180

FUNDAÇÃO CARGILL

XX REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

ANAIS DOS SIMPÓSIOS

COORDENADORES

ANTONIO ROQUE DECHEN
ANTONIO ENEDI BOARETTO
FRANCISCO DA COSTA VERDADE

XX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas

Piracicaba - 26 a 31/7/92

ADUBAÇÃO PRODUTIVIDADE ECOLOGIA

Promoção:

- **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**
- **Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**
- **Centro de Energia Nuclear na Agricultura**

Patrocínio:

- **Fundação Cargill**
- **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**
- **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo**
- **Ripasa S.A. Celulose e Papel**

PIRACICABA, SP
1992

1ª tiragem de 1.000 exemplares
Série Técnico-científica nº 180, julho de 1992

FUNDAÇÃO CARGILL
Sede: São Paulo, SP, Brasil
Escritório: Rua Álvaro Müller nº 370
Vila Itapura F (0192) 31-7519
13023-180 Campinas, SP, Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA PREPARADA PELA SEÇÃO DE LIVROS DA DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - PCAP/USP

Dechen, Antonio Roque

D293a Adubação, produtividade e ecologia; simpósios / coordenado por Antonio Roque Dechen, Antonio Enedi Boaretto e Francisco da Costa Verdade. -- Campinas, Fundação Cargill : 1992.

p. 1 - 425

Bibliografia.

1. Planta - Nutrição - Congresso 2. Solo - Fertilidade - Congresso I. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992 II. Boaretto, Antonio Enedi III. Verdade, Francisco da Costa.

CDD 631.42

Realização:

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Organização:

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP.
Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP.
Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz" (FEALQ).

Apoio:

Fundação Cargill.
Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnológico (CNPq).
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)
Prefeitura do Campus da USP em Piracicaba.
Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato (POTAFOS).
Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas (ANDA).
Curso de Pós-Graduação em Fisiologia e Bioquímica de Plantas - ESALQ, USP.
Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas-ESALQ, USP.
Curso de Pós-Graduação em Energia Nuclear na Agricultura, CENA-USP.
Associação dos Ex-Alunos da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ADEALQ).
RIPASA S.A. Celulose e Papel.
BANESPA
Associação de Engenheiros Agronômos do Estado de São Paulo (AEASP).

Colaboração:

Fertilizantes Mitsui S.A. Indústria e Comércio.
Microquímica Indústria Química Ltda.
Jaúfertil.
EMBRACAL.
Brahma.
Ultrafértil.
Copersucar.
Fazenda Sete Lagoas.
Cooperativa Agrícola de Cotia.
Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé Ltda.
Marte Balanças e Aparelhos de Precisão Ltda.
Magnesita S.A.
Indústria Mineradora Pagliato Ltda.
Instrumentos Científicos C.G. Ltda.

DIRETORIA DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO
(1991-1993)

Presidente: Egon Klamt
1º Vice-Presidente: Luiz Carlos Valladares Borges
2º Vice-Presidente: Antonio Carlos Moniz
Secretário: Otávio A. Camargo
Tesoureiro: Ronaldo S. Berton
Conselheiros: Sérvulo B. Rezende
Heitor Cantarella
Ary Delcio Cavedon
Marcos J. Vieira
Caio Vidor
Dejair Lopes de Almeida

COMISSÃO ORGANIZADORA DA XX REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

Presidente: Antonio Roque Dechen
Vice-Presidente: Antonio Enedi Boaretto

COMISSÃO DE FINANÇAS
- Jorge de Castro Kiehl (Coordenador)
- Antonio Enedi Boaretto
- Quirino Augusto de Camargo Carmello
- Antonio Roque Dechen

COMISSÃO DE RECURSOS MATERIAIS E PAINÉIS
- José Carlos Chitolina (Coordenador)
- Quirino Augusto de Camargo Carmello
- José Leonardo M. Gonçalves
- Francisco Antonio Monteiro

COMISSÃO DE ALOJAMENTO E TRANSPORTE
- Luis Ignácio Prochnow (Coordenador)
- Godofredo Cesar Vitti
- Hamilton Ceron Pereira
- Luisa Nakaiama

COMISSÃO DE DIVULGAÇÃO
- Antonio Roque Dechen
- Antonio Enedi Boaretto

COMISSÃO DE PALESTRAS, MESAS REDONDAS, ASSEMBLÉIAS E PUBLICAÇÕES
- Antonio Enedi Boaretto
- Tsuioshi Yamada
- Sonia Carmela Falci Dechen
- Antonio Roque Dechen

COMISSÃO DE EXCURSÕES
- Ronaldo Ivan Silveira (Coordenador)
- Maria Emilia Mattiazzo Prezotto
- Quirino Augusto de Camargo Carmello
- José Antonio Quaggio

COMISSÃO DE ATIVIDADES CULTURAIS
- Maria Emilia Mattiazzo Prezotto
- Raffaella Rossetto
- Maria Cristina Libardi

COMISSÃO DE INSCRIÇÕES
- Paulo Leonel Libardi
- Paulo César Ocheuze Trivelin
- Sonia Carmela Falci Dechen

COORDENADORES DE SIMPÓSIOS
- **Simpósio I:** Fertilizantes e Corretivos na Produção Agrícola
  Coordenador : Ronaldo Ivan Silveira

- **Simpósio II:** O solo como meio de descarte e degradação de resíduos.
  Coordanadora: Maria Emilia Mattiazzo Prezotto

- **Simpósio III:** Adubação: Aspectos relevantes
  Coordenador : Antonio Enedi Boaretto

- **Simpósio IV:** Nutrição de Plantas
  Coordenador : Francisco Antonio Monteiro

ANÁLISE DOS RESUMOS
- Francisco Antonio Monteiro (Coordenador)

COMISSÃO PARA ELABORAÇÃO DO PROGRAMA
- Paulo César Ocheuze Trivelin (Coordenador)
- Takashi Muraoka
- Francisco Antonio Monteiro
- Jorge de Castro Kiehl
- José Carlos Chitolina
- Ronaldo Ivan Silveira
- José Leonardo M. Gonçalves
- Raffaella Rossetto

COORDENADORES DAS EXCURSÕES
- Antonio Enedi Boaretto (Coordenador)

1. Fertilizantes Mitsui
   Ronaldo Ivan Silveira

2. EMBRACAL
   José Carlos Alcarde

3. Jaúfertil
   Ronaldo Ivan Silveira

4. Brahma
   José Carlos Chitolina

5. Ultrafértil
   Ronaldo Ivan Silveira

6. Agricultura Orgânica
   Toshiaki Kinjo

7. Copersucar/ESALQ/CENA
   Quirino Augusto de Camargo Carmello
   Takashi Muraoka

8. Fazenda Sete Lagoas
   José Antonio Quaggio

COORDENADORES DE MESAS REDONDAS E REUNIÕES
1. Reunião de Laboratórios de Análises de Solos
   José Antonio Quaggio

2. Reunião de Laboratórios de Análises de Plantas
   Godofredo Cesar Vitti

3. Ensino da Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas e de Adubos e Adubação no Brasil.
   Jorge de Castro Kiehl

4. Politica de Financiamento de Pesquisas no Brasil
   Egon Klamt e Bernardo van Raij

ESALQ/USP - Caixa Postal 9 - 13418-900
Piracicaba, SP - Brasil

APRESENTAÇÃO

Para a **XX REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS** foram programados quatro **SIMPÓSIOS**, sobre aspectos do tema **ADUBAÇÃO - PRODUTIVIDADE - ECOLOGIA.**

Foram convidados profissionais eminentes para, com total liberdade, desenvolverem os assuntos propostos, a fim de que os escritos servissem de núcleo central do assunto nos debates com os participantes durante a Reunião.

A presente publicação, **ADUBAÇÃO - PRODUTIVIDADE - ECOLOGIA: Simpósios**, reúne as palestras proferidas, nas quais, temos a certeza, os assuntos foram abordados com a necessária profundidade, e os objetivos propostos, plenamente atingidos.

Para que se tornasse possivel a presente publicação houve o suporte financeiro da Fundação Cargill, do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico E Tecnológico e da FAPESP - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, entidades que têm colaborado com o desenvolvimento da ciência em geral, com ênfase especial para a divulgação do conhecimento de Nutrição Mineral de Plantas, Fertilidade do Solo e Adubação, às quais manifestamos aqui nossos sinceros agradecimentos.

Não poderíamos deixar de manifestar nossos agradecimentos também aos palestrantes que, atendendo o convite dos coordenadores, prontamente aceitaram e cumpriram o compromisso de entregar os originais em tempo hábil para publicação.

Finalmente, temos a firme convicção de que esta obra será muito útil para consultas, de profissionais ou de estudantes ligados à ciência agronômica.

ANTONIO ROQUE DECHEN
ANTONIO ENEDI BOARETTO
FRANCISCO DA COSTA VERDADE

XX REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS
ADUBAÇÃO.PRODUTIVIDADE.ECOLOGIA - SIMPÓSIOS

S U M A R I O

Página

PALESTRA: Recent development and trends in fertilization techniques with particular reference to fluid fertilizers.
J.D. Beaton, L.S. Murphy, E.H. Halstead and J.C. W. Keng 01

SIMPÓSIO: FERTILIZANTES E CORRETIVOS NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA 37

Coordenador: Ronaldo Ivan Silveira

- Fertilizantes e Corretivos Agrícolas: Sugestões de Manejo para Uso Eficiente.
  Alfredo Scheid Lopes e Luiz Roberto Guimarães Guilherme 39

- Algumas Reflexões Sobre Análise de Solo para Recomendação de Adubação.
  Bernardo van Raij 71

- Fertilizantes, Corretivos e Produtividade: Mitos e Fatos.
  Eurípedes Malavolta 89

Página

SIMPÓSIO: O SOLO COMO MEIO DE DESCARTE E DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS 155

Coordenadora: Maria Emilia Mattiazzo Prezotto

- Química Ambiental e Agronomia.
  Maria Emilia Mattiazzo Prezotto 157

- Degradação de Resíduos Orgânicos Pela Microbiota do Solo
  Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso 179

- Uso Agronômico de Resíduos.
  Nadir Almeida da Glória 195

- O Uso Agronômico de Resíduos x Fertilizantes na Cultura da Cana-de-açúcar.
  José Luiz Ioriatti Demattê 213

SIMPÓSIO: ADUBAÇÃO: ASPECTOS RELEVANTES 253

Coordenador : Antonio Enedi Boaretto

- Fertilizantes Fluidos.
  Valdomiro Corrêa de Bittencourt e Edgard Gomes Ferreira de Beauclair 255

- Qualidade de Fertilizantes e Corretivos.
  José Carlos Alcarde 275

Página

- Fertilizantes e Poluição.
  Ronaldo S. Berton 299

- Eficiência da Adubação Foliar
  Ciro Antonio Rosolem 315

SIMPÓSIO: NUTRIÇÃO DE PLANTAS..... 353

Coordenador: Francisco Antonio Monteiro

- Hidroponia.
  Quirino Augusto de Camargo Carmello 355

- Diagnose Visual e Análise de Plantas.
  Ondino Cleante Bataglia, Antonio Roque Dechen e Wagner Rodrigues dos Santos 369

- Estudo do Sistema Radicular das Plantas
  Flávio Zanette e Jucinei José Comem 395

- Nutrição Mineral e Qualidade dos Produtos Agrícolas.
  Henrique Paulo Haag 405

RECENT DEVELOPMENTS AND TRENDS IN FERTILIZATION TECHNIQUES WITH PARTICULAR REFERENCE TO FLUID FERTILIZERS

J.D. Beaton[1], L.S. Murphy[2], E.H. Halstead[3], and J.C.W. Keng[4]

I. INTRODUCTION

The thin profit margins in most farming enterprises place all production inputs under close scrutiny by farmers contending with the current economic squeeze. Adequate supplies of available plant nutrients are an integral part of high yield production systems. Although fertilizers are a major income earning input, cutbacks in fertilizer investment are often contemplated because they can account for from 25 to 50 percent of the cash or variable costs.

As a consequence of these economic considerations, there is unprecedented interest in ways of improving fertilizer efficiency and in reducing energy and equipment costs. Improved fertilization practices can increase the cost effectiveness of fertilizer additions. A number of important advances in fertilizer application methods have been made recently, particularly with fluid fertilizer materials.

The objectives of this paper are (a) to briefly review trends in fluid fertilizer demand in Brazil and North America, (b) to distinguish between the types of fluid fertilizers and identify raw materials for production of fluid fertilizers, (c) to consider the objectives of fertilizer placement and clarify terminology, (d) to describe soil and cropping conditions where special attention should be given to proper fertilizer placement, and (e) to discuss latest developments and trends in fertilization techniques with special emphasis on fluid fertilizers.

This paper updates an earlier comprehensive review of most of this subject matter by Murphy and Beaton (1988).

---

[1]Senior Vice President, Potash and Phosphate Institute (PPI) and President, Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC), Saskatoon, Saskatchewan, Canada S7K 1J5

[2]Senior Vice President, PPI, Manhattan, KS 66502

[3]Consultant, Special Programs, PPIC

[4]Director, Special Programs, PPIC

II. FLUID FERTILIZER DEMAND IN BRAZIL AND NORTH AMERICA

A. BRAZIL

Serious use of fluid fertilizers for soil application in Brazil was started in the mid 1970's by sugarcane growers (Yamada, 1985). In 1987, 85 to 90 percent of the estimated consumption of 250,000 metric tons (tonnes) of fluid fertilizer was used for sugar cane production while the remainder was applied to a variety of crops including coffee, citrus, bean, corn, wheat, rice, tomato, potato and fruit. Demand for fluids is still small in comparison to the 9.65 million tonnes of solid products consumed in 1987 (Yamada, 1988).

Yamada (1985) showed that fluid fertilizers resulted in lower costs than solid products for several cropping-fertilization systems in Brazil. One of his examples is given in Table 1. As a consequence of such favourable economics, interest in fluid fertilizers is increasing.

B. UNITED STATES

After a modest beginning in California in the early 1920s the U.S. fluid fertilizer market grew slowly until the decade of the 1950s when it expanded rapidly in the Midwest and Pacific Northwest. Plant nutrient consumption of fluid fertilizers increased at the rate of seven percent annually during the 1970s and early 1980s (Tisdale et al., 1985). This growth rate greatly exceeded the four percent annual gain in total plant nutrient consumption taking place during the same period.

In 1980, 17 percent of the fertilizer consumed in the U.S. was in the form of fluid products (Tisdale et al., 1985). Eleven years later in 1991 fluids accounted for 20.3 percent of the total 44.3 million tonnes of fertilizer consumed (Hargett et al., 1991). This fluid fertilizer total includes non-pressure solutions 28-0-0, 30-0-0, 32-0-0, 12-0-0-26(S), 10-34-0 and 11-37-0. Anhydrous ammonia and aqua ammonia represented an additional 12.2 percent of the total U.S. fertilizer tonnage in 1991.

Mixed fluid fertilizers, those containing N and P, N and S, K and S, N,P and K or N,P,K and S were first marketed in the U.S. about 34 years ago (Balay et al., 1985). Subsequently fluid fertilizer mixtures have gained wide acceptance and by 1990 and 1991 they constituted about 22 percent of the total mixed fertilizer market Fertilizer mixtures sold in the U.S. in 1990 and 1991 totalled 16.7 and 16.0 million tonnes, respectively (Hargett et al., 1991). They are also becoming popular in other parts of North America, particularly Canada.

C. CANADA

According to the 1986 Census of Agriculture, Canadian farmers used nearly four million tonnes of fertilizer materials. Of this, 78 percent was in solid forms, 13 percent pressurized liquid, eight percent non-pressurized liquid and 0.7 percent was suspensions. Nitrogen and ammonium polyphosphate solutions accounted for at least six percent and perhaps as much as nine percent of the 3.92 million tonnes of total fertilizer materials sold in 1991 (Asselstine and Girard, 1992). Anhydrous ammonia amounted to 11.4 percent of the total tonnage of fertilizer products marketed the same year in Canada.

III. TYPES OF FLUID FERTILIZER AND RAW MATERIALS

Achorn and Balay (1985) defined the two types of fluid fertilizers, solutions and suspensions as follows: solutions are usually free of solids and are clear enough to see through; suspensions are of higher concentration and have small crystals of plant nutrients suspended by a gelling clay, such as attapulgite or sodium bentonite, in saturated fertilizer solutions.

Use of suspensions increased rapidly in the 1980s in the U.S.A. and Canada (Achorn & Balay, 1985) and at one time they probably accounted for up to 40 percent of the fluid mixtures consumed in the U.S. (Tisdale et al., 1985). Popularity of suspensions has declined in recent years and it is estimated that their share of the fluid market may now only be from 25 to 30 percent. Advantages of suspensions over clear liquids are:

(i) less expensive because lower purity materials can be used
(ii) higher analysis grades can be produced, especially those containing more than 10 percent K_2O
(iii) larger quantities of micronutrients can usually be suspended than can be dissolved in solution fertilizers
(iv) powdered pesticides not normally soluble in solution fertilizers can be suspended and uniformly distributed throughout the mixture.

Table 2 lists the raw materials used for fluid fertilizer production in Brazil along with the suppliers and prices of the materials in 1985. Those materials used most widely are anhydrous ammonia, phosphoric acid, rock phosphate, sulphuric acid and potassium chloride. Other important materials include urea-ammonium nitrate solution (32-0-0), urea, ammonium nitrate and ammonium sulphate. Bentonite and a mixture of zinc and iron sulphates are the usual suspending agents.

Other materials of some importance for the production of fluid mixed fertilizers in North America include ammonium nitrate solution (19 to 20 percent N), calcium ammonium nitrate solution (17-0-0-8.8), urea solution (19 percent N), aqua ammonia (20 to 24 percent N), ammonium polyphosphate solution (10-34-0 and

11-37-0), superphosphoric acid (68 to 70 percent P_2O_5), and ammonium thiosulphate (12-0-0-26). A new clear liquid product, potassium thiosulphate (0-0-25-17), is now available for blending with most liquid fertilizers.

Suspension manufacturing often involves one of the four following steps: combining orthophosphoric acid with ammonia, reacting polyphosphoric acid with ammonia, breaking down solid ammonium phosphates with ammonia, and combining diammonium phosphate with sulphuric acid.

IV. OBJECTIVES AND TERMINOLOGY OF FERTILIZER PLACEMENT

A. OBJECTIVES OF FERTILIZER PLACEMENT

Placing fertilizer in the proper part of the root zone ranks in importance with applying the correct amount of plant nutrients. There are four broad objectives to be considered in fertilizer placement (Randall & Hoeft, 1988). They are (i) to achieve efficient use of nutrients from plant emergence to maturity, (ii) to prevent or reduce any harmful effects on the environment, (iii) to avoid fertilizer salt injury to plants, and (iv) to provide a convenient and economical operation to farmers and/or the custom fertilizer applicator.

Realization of these objectives is influenced by numerous factors including soil chemical, physical, and biological properties; chemical and physical properties of the fertilizer; plant nutrient interactions; mechanisms of nutrient transport to roots; total nutrient needs of plants and nutrient uptake patterns during the growing season; environmental conditions, particularly moisture supplied, temperature, radiation, and carbon dioxide levels; tillage practices; cropping system; and type of fertilizer application equipment. It is apparent that there is a host of factors and conditions influencing both the selection of a particular fertilizer application technique and its effectiveness in soil fertility management.

B. FERTILIZER PLACEMENT TERMINOLOGY

Before describing specific soil and cropping conditions which necessitate new and innovative fertilization techniques, the current terminology of fertilizer placement methods should be clarified. Table 3 categorizes the various application procedures according to location and method of placement. With the exception of foliar application, fertilizers are normally applied either to the soil surface or under it at varying depths in the root zone. The method of placement or physical distribution is normally based on some form of either broadcasting or banding. Many of the new fertilization techniques involve banding or an even more concentrated localized placement below the soil surface.

Definitions and explanations of frequently used fertilizer placement terms (Murphy, 1984 a,b; Murphy, 1985; Murphy & Beaton, 1988; Randall & Hoeft, 1986) follow:

1. Broadcast. The application of either solid or fluid fertilizer to the soil surface with or without subsequent incorporation by tillage. No specific location relative to the plant is implied. May be applied prior to or after the crop is planted. Broadcast applications are particularly well suited to heavy rates of P and/or K being added for soil building purposes with resultant increases in available soil test levels.

This method of application is also expedient for high speed operations with big equipment for large areas of cropland. Broadcasting has the added advantage of providing complete soil surface coverage needed for fertilizer-herbicide combinations.

In some soil-cropping situations broadcasting is less efficient than below soil surface placement methods. The most serious limitations for broadcasting will be identified later in this paper.

2. Surface strip banding or dribble banding. This is the placing of solid or fluid fertilizers in bands or strips of varying widths on the soil surface. Zones of high nutrient concentration are produced which improve efficiency of fertilizer use. This method of placement can be used in surface sidedressing and surface topdressing.

3. Surface sidedressing. Surface fertilization of row crops with nutrients in either solid or fluid form applied in a band beside the row.

4. Surface topdressing. Broadcast applications of solid or fluid nutrient sources, usually for small grains or forages, after crop establishment. There is no incorporation and this method of fertilization can take the form of surface stripping or dribble banding.

This method of fertilizer spreading is frequently used for adding N to small grains and grassland and for applying other nutrients such as P, K, and S to alfalfa and other legumes.

5. Fertigation. Application of fertilizers in irrigation water, without regard to the type of irrigation system. More commonly employed for the application of N than for P or other nutrients but additional research is underway. Normally would involve the use of liquid nutrient sources. Selection of form of P to be used in fertigation is crucial to avoid the formation of relatively insoluble reaction products in the water. Orthophosphoric acid has been successfully applied in irrigation water even when high concentrations of calcium salts are present. Application through a drip irrigation system has resulted in

extremely high concentrations of P around the emitters with greater amounts of P movement than would normally be observed.

Troublesome precipitates of calcite may form when anhydrous ammonia or other fertilizer products containing free ammonia are added to irrigation waters high in Ca, Mg and HCO_3. Scaling and plugging problems can be prevented or corrected by the addition of acid to the water.

This method is most frequently used with tree fruits, vegetables and other intensively managed crops. Droplet size, nutrient sources and time of day are factors influencing nutrient absorption and leaf burn.

6. Below surface sidedressing. After crop emergence, placement of either solid or fluid fertilizer beside the row in a subsurface band.

7. Pop-up. Additions of small quantities of solid or fluid fertilizer in direct contact with seed at planting to stimulate early growth.

8. Starter. Solid or fluid fertilizer applied at planting either in direct seed contact, below the seed, or to the side and below the seed. Exact position is not implied. Application rates are usually higher than those used in pop-up treatments, but if placed with the seed the amounts must also be controlled to avoid germination and seedling damage.

9. Deep banding. The deep placement of solid or fluid fertilizers usually 5 to 10 cm (2 to 4 inches) below seeding depth. In some areas this fertilization technique is performed many months before the next crop is seeded. It is often done in conjunction with primary tillage.

The terms "double shooting" or "dual application" usually signify use of anhydrous ammonia as the principal N source coupled with placement of either solid or fluid P, K, S, etc. materials in the same subsurface soil zone.

Nutrient rates applied in deep banding techniques are normally much higher than in conventional starter fertilizer programs.

10. Experimental modifications to deep banding. Deep placed "nests" (or "chutkis" or "pockets"), large granules, point injection and pulse banding are experimental techniques for concentrating fertilizers, primarily ammoniacal containing or forming sources of N, in localized or concentrated zones at approximately the same soil depths as regular deep banding.

Solid sources of N such as urea or ammonium sulphate are often used for nesting while large granules of urea (one to three g each) act similarly to nests. Solution fertilizer products can also be placed in a concentrated area within the root zone by

pulse banding or other high pressure systems. Either fluids or anhydrous ammonia can be confined to small portions of the root zone by point injection.

Substantial reductions in overwinter losses of N, primarily due to denitrification and leaching, are achieved in western Canada by placing solid urea and other ammoniacal forms of N in "nests" or "pockets" at one central point in areas 46 x 46 cm (about 0.2 m^2) and at a depth of 5 to 6 cm (Malhi & Nyborg, 1985). The same effect can be obtained with large urea granules (Nyborg & Malhi, 1979) which have been investigated for fertilization of forests and rice.

Studies in Iowa (Baker et al., 1985) and Lethbridge, Alberta (Janzen & Lindwall, 1987, 1988) have shown that point injection of fluid N sources to depths of 10 cm and spacings of 20 cm will improve efficacy of N fertilizers.

11. Foliar fertilization. Applications of small amounts of nutrients to the foliage of growing plants. Not common except in some tree fruits and vegetables. More commonly used for N and micronutrients than for P.

V. SOIL-CROPPING CONDITIONS DICTATING NEW OR IMPROVED FERTILIZATION TECHNIQUES

A. POSITIONAL AVAILABILITY OF BROADCAST FERTILIZERS

Surface applications of fertilizer nutrients may be ineffective, especially where precipitation and/or irrigation is inadequate to carry them deeper into moister more favourable parts of the root zone. This is an important consideration in the management of plant nutrients with limited mobility such as P, K and other nutrients.

Stranding of mobile N, however, at or near the soil surface can also be a problem since rather large amounts of this nutrient must be available at all times for satisfactory crop growth. Broadcast spreading of N is, of course, effective when there is sufficient moisture to move added N sufficiently deep into the root zone.

The general problem of positional unavailability is most serious in regions characterized by low precipitation during the growing season or in unusual years when moisture supplies are much below normal.

B. AMMONIA VOLATILIZATION

There can be serious ammonia volatilization losses from ammoniacal containing or forming N fertilizers when left unincorporated on the soil surface. The magnitude of such losses is influenced by a number of factors including soil pH,

temperature, cation exchange capacity, texture, soil moisture, and rainfall patterns.

C. CONVERSION OF APPLIED NUTRIENTS TO LESS AVAILABLE FORMS

The practice of broadcasting and incorporating fertilizer exposes applied nutrients to large soil volumes. In many soils this exposure will encourage conversion of soluble nutrients, especially P and to some extent K, to less available forms. Fertilizer efficiency can be greatly reduced by these transformations in soils with chemical properties such as low pH, large amounts of iron and aluminum oxides, high clay content, etc., which favour reactions resulting in reduced availability of P, K and other nutrients.

Confinement of fertilizer to a very restricted zone or band of soil is critical in soils with a high capacity for conversion of soluble nutrients to difficultly available or unavailable forms. This is especially true when low rates of fertilizer are being added to infertile soils. For maximum nutrient efficiency, compromises are usually made between soil volume fertilized and the uniformity of distribution within the root zone so that the opportunity for root-fertilizer contact is optimized and tie-up or reversion of nutrients minimized (Randall & Hoeft, 1986, 1988).

D. ORGANIC MATTER AND/OR MICROBIAL IMMOBILIZATION

As a result of the marked shift to no-till and reduced tillage systems in North America, crops are often planted in the presence of relatively large amounts of crop residue on or near the soil surface. Microbial decomposition of these accumulated residues can immobilize mineral nutrients, particularly N and S, resulting in nutrient deficiencies early in the growing season and/or throughout the entire life of the crop.

Cereal straws are frequently low in N, P and S and the microorganisms decomposing them will compete with crops for these and other essential nutrients. Nitrogen immobilization by this means is usually averted when the residues are high in N, above 1.25 to 1.50 percent N.

E. LOW SOIL TEMPERATURES

Root development and activity are restricted by low temperatures and the diffusion of nutrients such as P and K to plant roots is also reduced by low soil temperatures. It is well known that starter applications of P and K are particularly effective at low soil temperatures and often produce large yield increases even when the soil test levels for these nutrients are medium to high (Beaton, 1985 a,b; Murphy, 1984 a,b). The chances of P, K and N and S starter fertilizers producing beneficial effects are high under no-till and reduced tillage systems because of the prevailing lower early growing season temperatures.

F. DISEASE SUPPRESSION

There is a strong possibility of fertilizer X plant disease interactions influencing crop response to fertilizer (Beaton, 1985 a,b). In western Canada, P placed with the seed of hard red spring wheat was a major factor in the virtual elimination of browning root rot caused by *Pythium spp.* The same fertilizer treatment has suppressed common root rot (*Cochliobolus sativus*) infection in spring wheat.

Banding Cl^- containing fertilizers such as KCl with or near wheat seed at planting has aided in suppression of take-all root rot of winter wheat in Oregon (Jackson et al., 1983). Spring broadcast applications of Cl^- sources also reduced take-all stress on this crop.

Both broadcast and drill applied KCl are effective in control of foliar diseases in spring grains in South Dakota (Fixen, 1987). Broadcast spreading is more versatile than seed placement because the average rates of about 80 kg of KCl/ha required for disease control are more than can be applied safely in direct seed contact.

G. WEED COMPETITION

Some weeds germinate very close to the soil surface and surface applied N can stimulate their germination and early development (Beaton, 1985 a,b). In some cases, weeds are more responsive than the crop to broadcast dressings of N. In the absence of proper weed control, aggressive weeds can thus outcompete the crop.

Broadcast applications of P can encourage weed growth at the expense of crop yields, whereas seed placed or banded P will favour the crop and depress weed competition (Todd, 1979).

Restricting access of weeds to fertilizer additions by adjustments in fertilizer placement is a worthy consideration in weed control strategies. Fertilizer management alone may be sufficient to control weeds when infestations are light.

Changes in tillage systems may also require shifts in fertilizer application techniques. Some weeds become more numerous and competitive under no-till and conservation tillage systems and fertilizer nutrients should be applied in ways that do not further promote their growth (Beaton, 1985 b).

H. DENITRIFICATION

This mechanism for N loss from soil is known to be an N management problem in warm climates with high rainfall. In the northern more humid regions of the Prairie Provinces of Canada, fall applied N fertilizers are often less effective than spring

applications for production of spring seeded small grains. Denitrification has been identified as the principal mechanism causing overwinter (fall to spring interval) N losses in Alberta soils. Such losses tend to be greatest in the high organic matter soils and in the areas receiving the most precipitation.

The efficiency of fall applied ammoniacal forms of N in the Prairies can be greatly improved by simply delaying application to late October or early November or by utilizing some form of localized placement accomplished by: (i) banding 5 cm deep in narrow bands 46 cm apart, (ii) applying very large granules of dry fertilizers weighing up to 1 or 2 g, (iii) placing regular sized products in nests of 2.5 g at depths of 5 to 6 cm at a central point in a 46 x 46 cm area (Malhi et al., 1984).

Nitrification inhibitors such as carbon disulfide and trithiocarbonate have also improved crop response to fall applied N in situations where there are substantial denitrification losses of N (Malhi & Nyborg, 1982).

Soil cultivation influences the potential for denitrification losses because of higher soil water and organic C contents in the surface soil of no-till fields than for conventionally tilled soil (Beaton, 1985 b, Murphy 1984, a,b). Also, populations and mass of denitrifying organisms can be higher in the surface of no-tilled than in plowed soil. In studies at several sites across the United States, numbers of denitrifying organisms were severalfold higher for no-till soils than for conventional tillage. Higher average CO_2 and N_2O concentrations in the air immediately above no-till field soils have also been found.

Attention to proper placement of N in reduced tillage systems is necessary not only to minimize denitrification losses but as was pointed out earlier to also cut down on immobilization losses and enhancement of weed growth.

I. NUTRIENT INTERACTIONS IN SUB-SURFACE BANDS

Placement of N, especially ammoniacal forms, and P in a common band has been found to increase P fertilizer efficiency and crop yields. Increased rooting density, metabolic effects of improved N nutrition on P uptake, and changes in P solubility are some possible explanations for this beneficial interaction.

Studies at Colorado State University (Hanson & Westfall, 1983; Westfall & Hanson, 1984) suggest the following causes for the greater effectiveness of P in the presence of NH_4-N:

(i) the initial high pH following application allows formation of sparingly soluble but nevertheless highly available Ca-P reaction products such as dicalcium phosphate and octacalcium phosphate.

(ii) then the production of H^+ during nitrification increases P solubility and phosphate potential moves upwards on the calcium phosphate isotherms towards those of Fe-P and Al-P.

(iii) this rapidly decreasing pH allows the soluble P reaction products to persist which results in higher P availability for a longer period of time.

Retardation of nitrification by an inhibitor such as nitrapyrin prolonged the existance of these more soluble P compounds. It was also observed that soil pH was higher with NO_3-N plus P dual treatments than it was when NH_4-N was added in combination with P. This is likely due to uneven anion and cation release and uptake by plants.

It has been observed under western Canadian conditions that plant uptake of nutrients, particularly P, from pre-plant deep bands can be impaired if seeding is done too soon after fertilization (Harapiak & Beaton, 1986). Phosphate recovery is restricted when ammoniacal sources of N at rates of 100 kg of N/ha are deep banded at 30 cm spacing shortly before the time of seeding. High rates of K in common N-P bands can similarly interfere with P uptake. This availability problem can be largely avoided by delaying seeding for about three weeks after deep banding fertilizer to permit the bands to "age" or "mellow". Deep banding in the fall will, of course, eliminate this problem for spring seeded crops.

Causes of restricted uptake of P from fresh deep bands of N-P are believed to be the high concentrations of free ammonia and nitrite and the elevated pH conditions that temporarily exist in the localized soil zones affected by ammoniacal fertilizer materials. These conditions prevent roots from entering the nutrient enriched soil area.

J. SPLIT APPLICATIONS AND NITROGEN FORMS

Split applications of N are known to be beneficial in soil-cropping situations where large amounts of this nutrient are required and where losses in or from the soil, primarily leaching of nitrate, reduce fertilizer efficiency. Under some conditions such as sandy soils, soils with low cation exchange capacity, and high rainfall areas it is also advantageous to make split applications of K.

Another sound reason for practicing split fertilizer applications is to more closely match plant nutrient needs of the crop with available supplies in the soil. This is particularly true at critical growth stages of crops such as corn and small grains. For example, corn has two intense periods of nutrient uptake and high-grain yields are related to sustaining slightly higher daily growth rates for longer periods of time during these two periods (Beaton et al, 1990). The first one occurs during vegetative growth stages V12 to V18 when ear size and number of ovules

(potential kernels) are being established and while photosynthetic reserves are accumulating in the stalk and leaves. The second period takes place during reproductive growth or the grain-fill stage when final kernel number and size are being determined.

Nitrogen and P have two-stage patterns of uptake while K uptake is confined mainly to the vegetative growth stage and virtually ceases shortly after 50 percent tassling and silking (Olness & Benoit, 1992). The maximal vegetative accumulation rate occurs simultaneously for N and K.

It has been clearly shown by Purdue University researchers that some maize hybrids will absorb large quantities of N after silking and responded particularly well to the presence of ammonium N in their late season nutrition (Tsai et al., 1984). Researchers in Illinois (Below & Gentry, 1988) have found that some corn hybrids perform better when N is provided in both the nitrate and ammonium forms rather than nitrate only. Olness and Benoit (1992) indicated that current corn hybrids seem to grow best when the ratio of nitrate to ammonium N is about 2 to 3:1. Corn yield increases ranging from 12 to 26 bu/A (807 to 1750 kg/ha) were obtained in field experiments in Colorado by increasing the amount of available N in the ammonium form and maintaining it throughout the growing season by means of a nitrification inhibitor (Olsen, 1986).

Optimum growth and development of wheat is very dependent on plentiful supplies of N at the following growth stages:

(i) onset of tillering (Feekes' 2 to 3 or Zadok's 20)
(ii) as stem elongation begins (Feekes' 5 to 7 or Zadok's 30)
(iii) at heading to increase kernel weight and protein content of kernels (Feekes' 10 to 10.5 or Zadok's 45 to 58)

Late tillering to the beginning of stem elongation is a particularly critical growth stage since the potential spikelet number per head is determined during this period. It is very important to avoid N stress during this growth interval and fertilizer N should be applied by the time tillering begins (Feekes' 2 or Zadok's 20) if soil levels of N are inadequate.

Bauer et al. (1988) have reported on the importance of N fertilization in relation to spring wheat development stages and concluded that N needed to optimize yields needs to be adjusted to match the water component potential. Since the water component can change during the growing season, with implications for yield potential, N supplies may have to be supplemented to achieve best yields.

Bock (1987) reported that increases in ammonium N supplies for spring wheat may result in significant yield increases. Controlled condition studies indicated that while ammonium levels

could not be too high because of potential ammonium toxicity, higher than normal ammonium N was related to better yield potential. This suggests that split N applications and maintenance of ammonium N presence may be a viable management option and could explain some of the advantages noted from split N applications and late season (Feekes' stage 10) urea applications on intensively managed wheat.

From this discussion of patterns of nutrient uptake and benefits of ammonium nutrition for growth of corn and wheat, it is apparent that more attention should be paid to splitting of N applications through fertigation and sidedressing. Also, the role of nitrification inhibitors should receive greater recognition. These practices are also environmentally protective.

Split N applications through irrigation water or sidedressed N applications including nitrification inhibitors such as N-Serve may enhance yields of certain corn hybrids.

K. VARIABILITY IN SOILS AND FERTILIZER RECOMMENDATIONS

Soil variability within farm fields has not been adequately accounted for in the development of fertilizer recommendations. Agricultural field boundaries seldom coincide with changes in soil types and most fields contain several soils with different crop production potential. In rolling landscapes there can be very large differences in nutrient status and available soil water depending on slope position.

Average fertilizer recommendations for entire fields, rather than for specific parts of the field with different soil types, can result in either inadequate or excessive application depending on the nature and productivity of the soils. Management of large fields as a single unit, even those that appear to be uniform, is becoming obsolete. Adjustment of fertilizers and other inputs to soil differences is being recommended by many soil fertility specialists and are being carried out by progressive farmers. By doing so costs can be reduced, profitability increased, and the quality of soil and water resources maintained or improved. Advances in the technology to better manage soil fertility differences in farm fields are reviewed later in this paper.

L. FARMING BY SOILS

Farming by soils (FBS) is a concept that is being investigated in an attempt to accommodate plant nutrient variability in soils within farm fields. There are two approaches conveniently identified as a) the soil potential and b) nutrient grid method (Wollenhaupt & Buchholz, 1992).

In the soil potential approach, plant nutrients are varied within field boundaries based on soil survey map units and/or in combination with aerial photography such as false colour infrared

photographs. The underlying assumptions are: 1) that soil test nutriant levels can be adequataly appraised by compositing soil cores collected within a soil type or grouping of similar soils, and 2) that soils have different yield potentials whereby significant nutrient management gains can be achieved by fertilizing for different yield goals.

The nutrient grid approach subdivides fields into small cells based on a grid. Size of the cells is usually 2 to 3 acres or 0.81 to 1.21 ha. Soil cores are collected within the cell and composited for analysis. A more recent development has been to collect and composite soil cores within a small radius of the grid intersection point. The soil samples are tested for available plant nutrients and the results summarized on nutrient management maps. Fertilizer rates are then varied according to the nutrient management maps.

Fertilizer rates may be modified further by taking into account soil yield potential differences.

Although variable-rate fertilization may lower costs for fertilizer inputs, total cost of FBS variable rate fertilizer management programs can be about U.S. $4 to $7 higher than a conventional, single rate per field, fertilization program. Items contributing to the higher costs for FBS include special application equipment, additional soil sampling and analysis, data management, and map making. There are, however, potential environmental benefits from FBS practice, the value of which are not readily calculated.

VI. TRENDS IN FERTILIZATION TECHNIQUES

The latest developments in fertilization techniques in the United States and Canada are discussed briefly in this section. Some of them are still in various stages of research and development while others are now commercial procedures. In some cases the initial experimentation was done solely with solid fertilizer materials but the same technique may be readily adapted to fluid fertilizers.

A. ANHYDROUS AMMONIA

Injection of this well-known N source is a form of deep banding. A number of modifications have been made to anhydrous ammonia application equipment to increase versatility and to avoid all or most of the usual pre-application tillage. These include the following:

1. Heavy duty spring shank and narrow profile knife openers one to two cm wide to permit deeper penetration and minimize soil and surface residue disturbance, especially in untilled soils.

2. Evaporators or convertors (also referred to as chambers or pots) for reducing anhydrous ammonia pressure to near atmospheric

allowing only about 15 percent of the ammonia to vapourize and the remaining 85 percent exists as a cold liquid. The need for deep injection and pre-application tillage is reduced.

One large convertor or pot may be used to supply several application knives or small mini-convertors may be attached to each injector knife (Figure 1). Some users of this technique report less freezing and soil accumulation on knives, spikes or shovels.

The large pots and accessories cost between $190 to $260 (Canadian) per m width of applicator. Systems with small pots on each injection shank are slightly more expensive at $215 to $295 per m.

3. Dual placement of anhydrous ammonia with either solid or fluid sources of P and mixtures of P with other nutrients can be accomplished by a number of variations in equipment.

(a) Pneumatic (air) delivery systems for the simultaneous application of solid granular fertilizer materials. Anhydrous ammonia and the solid fertilizers flow through separate tubes down the back of the ammonia knife or other devices used to penetrate the soil (Figure 2). Solid granular P fertilizer is often applied in this manner and the application technique is commonly referred to as "dual banding".

(b) Gravity feed systems for deep placing solid fertilizer in combination with anhydrous ammonia application. This technique is quite similar to the pneumatic delivery option referred to above. The solid fertilizer boxes are elevated to provide the required gravity flow.

(c) Systems for applying fluid fertilizers, often solutions, simultaneously with anhydrous ammonia. As with solid fertilizer dual banding, anhydrous ammonia and fluid fertilizer products are fed down separate lines attached to the back of the injection tool (Figure 3). A hose pump or a positive displacement pump delivers the fluid fertilizer to the same soil zone receiving anhydrous ammonia. This application method is known as "double shooting"

8. DEEP BANDING DURING TILLAGE

Undercutting blades, chisel plows, or field cultivators can be readily equipped for either (i) pneumatic or gravity application of solid fertilizers (ii) fluid fertilizer application and/or (iii) injection of anhydrous ammonia, especially in conjunction with the use of convertors for cold ammonia. Cost of the kits for equipping tillage equipment for fluid fertilizer application ranges from about $24 to $32 (Canadian) per run or each individual fertilizer supply line.

Cultivator-air seeder units originally developed for seeding can be used for deep placement of solid fertilizer either before seeding or applying fertilizer with seed during planting. Many of the popular units do not always place solid fertilizer in a narrow or tight band. However, modifications can be made to the fertilizer injection tool so that fertilizer will be more concentrated in the application zone. Also, attachments such as the recently developed forward mount banding boot make it possible to place solid fertilizer about 5 cm under the seed row during planting.

C. ONE-PASS SEEDING AND FERTILIZER PLACEMENT

Although placement of some fertilizer in the seed row is not new, provision of the total fertilizer requirement with seeding equipment is novel. A number of no-till seed drills have the capability of simultaneously placing fertilizer either with or below the seed row and deep banding fertilizers between the rows.. Solid fertilizer products are placed with the seed while there are options of deep banding either solids, fluids, or anhydrous ammonia at depths down to 19 cm.

The double-disk openers in some no-till drills cause considerable soil disturbance and may encourage weed growth in the fertilizer opener slots. This problem can be largely overcome by seeding pairs of closely spaced rows or "paired rows" with wider spacings in the interval between each set of "paired rows" and deeper placement of fertilizer between the rows of each set of "paired rows". Figures 4 to 7 show some of the different banding and seeding arrangements that are possible with some no-till drills.

A major disadvantage of one-pass seeding and deep fertilizer injection involving double-disk openers is that the equipment must be heavy, weighing as much as 2500 kg/m of drill width, to adequately penetrate hard soils. Also, these drills are expensive (approximately $65,000 (U.S.) per three m of unit) and tractor power needed to pull them is high, up to about 34.3 kW or 46 H.P. per m of drill. Simpler and lighter units are less costly and have lower power requirements.

There are other recently developed no-till drills that place fertilizer with the seed and either band fertilizer below the seed or to the side of the row. Others place fertilizer with the seed and broadcast fertilizer in the interval between each set of disc openers.

D. POINT INJECTION OF FLUID FERTILIZERS

Point injection of nutrients, particularly N, has been studied at Iowa State University since 1981 (Baker, 1986; Baker et al., 1985, 1989) and more recently at the Agriculture Canada Research Station at Lethbridge, Alberta (Janzen & Lindwall, 1987, 1988,

1989; Janzen et al., 1990, 1991). This relatively new fertilization technique employs a spoked wheel to physically inject either anhydrous ammonia or fluid fertilizer to depths of about 10 to 13 cm in the soil (Figure 8). A rotary valve in the wheel hub dispenses fertilizer solutions to the "down" spike. For fluid fertilizers, a positive displacement pump is needed. In the case of anhydrous ammonia, gaseous losses, ranging from 4 to 16 percent, are above acceptable limits.

At least four generations of point-injectors have been tested at Iowa State University. Diameter of the injection wheel in the current design is 72.6 cm with 12 spokes of 1.1 cm outside diameter. The horizontal point-to-point spacing on the soil surface is about 20 cm.

Despite some difficulties with early prototypes, the point injection fertilization technique has several significant advantages including:

(i) fertilizer can be injected in no-till and conservation tillage systems to reduce N losses (caused by ammonia volatilization), N immobilization (by soil microorganisms and crop residues at the soil surface) and P and K stratification, with minimal disturbance of crop residues at the soil surface

(ii) effective and accurate placement of fertilizer nutrients in the root zone to better satisfy plant nutrient needs during the growing season

(iii) little or no root damage or soil disturbance when used for close placement to growing crops, and

(iv) lower power and fuel needs because of decreased draft requirements compared to incorporation by knife banding or tillage.

Concentrated pockets or "nests" of fluid fertilizer are deposited in the soil by this method of application. Assuming an application rate of 935 l/ha of fluid fertilizer and a ground speed of 8 km/hour, about 15 ml of fluid fertilizer is injected each time a spoke enters the soil.

For maize production in Iowa, pre-plant fertilization by point injection had a 564 kg/ha yield advantage over knifed additions (Table 4). When the fertilizer program was split into pre-plant followed by side banding at growth stage V-6, maize yields were almost 2300 kg/ha more with point injection compared to knife placement.

Field studies with the experimental spoke wheel injector built by Agriculture Canada researchers at Lethbridge, Alberta are also promising (Janzen & Lindwall, 1987, 1988). Main components of this applicator which is patterned after the Iowa State University experimental units are:

(i) four 50.8 cm diameter wheels, spaced 40.6 cm apart on a 5 cm x 5 cm toolbar

(ii) 12 hollow metal spokes radiate from each wheel hub and protrude 10 cm beyond the rim

(iii) the outer ends of the spokes are 20 cm apart and penetrate soil to a depth of 10 cm

(iv) fluid fertilizer (solution types) is discharged into the soil from a small hole near the end of each spoke

(v) the applicator has wheels and is pulled as a trailing unit.

In microplot studies conducted by Janzen and Lindwall (1989) the optimum application parameters for point-injection of N in winter wheat were:

- lateral across-row interval of not more than 40 cm or the equivalent of two row spacings 20 cm apart
- longitudinal (along-row) interval of 40 cm
- injection depth of 10 cm with shallower depths being less effective and no advantage of deeper placement of 15 cm.

While the investigations in Iowa have focussed on fertilization of corn (Baker et al, 1989), those in western Canada have concentrated on improving N fertilizer management for winter wheat (Janzen & Lindwall, 1989; Janzen et al., 1990, 1991). The efficiency of fertilizer N applied to microplots of winter wheat was 0 to over 100 percent higher for point-injected compared to conventional broadcast methods of application (Janzen et al., 1990). Improvements in efficiency of point-injections were attributed to the direct placement of fertilizer N into the active rooting zone of the crop. Variations in the enhanced efficacy of point-injection were likely due to substantial differences in precipitation patterns. The greater efficiency of point-injected N was reflected in earlier studies by both higher wheat yield and protein concentration (Janzen & Lindwall, 1986).

One manufacturer in Saskatchewan produces spoke-wheel injection units ranging in width from 10 to 60 feet (3 to 18.3 m). The applicator has 28 inch (71 cm) diameter wheels spaced at intervals of 12 inches (30.5 cm). Each wheel has 12 evenly spaced hollow, stainless steel spokes radiating from a central hub and protruding through an outer wheel rim. The spokes are 13 inches (33 cm) long and have 1.5 inch (3.8 cm) long welded tips made of durable chrome-nickel alloy.

As the wheels turn, liquid fertilizer is transferred from the accompanying tank by means of a ground-driven pump and through stainless steel lines to each wheel hub. Fertilizer liquid flows through a special valve in each hub into the spoke that is deepest in the soil. The fertilizer is injected into nests or

pockets about 3 to 4 inches (7.6 to 10.2 cm) deep in the soil and approximately 8 inches (20.3 cm apart).

Application rates can be varied from 10 to 50 Imperial gallons/acre or 110 to 560 liters/ha. The units are typically operated in the field at speeds of 4 to 4.5 miles/hour or 6.4 to 7.2 km/hour. Capacity of the product tank pulled along with the injector unit is 833 Imperial gallons or 3750 liters.

The current purchase price for a 40 foot (12.2 m) spoke-wheel injector, complete with liquid tank and ground-driven pump is $27,000 (Canadian).

The present focus on point injection in western Canada is to improve N fertilizer management for winter wheat and forages. Small-scale field experiments conducted in 1986 and 1987 showed that on average, point-injection of N increased fertilizer efficiency by more than 80 percent over that obtained with conventional broadcast spreading of N (Janzen & Lindwall, 1988). This improved efficiency was reflected in both higher wheat yield and protein content.

At least one manufacturer in western Canada is attempting to make a simplified version of the point injector for commercial use.

E. HIGH PRESSURE INJECTION OF FLUID FERTILIZERS

The cutting action of high pressure streams of fluid fertilizer for placing plant nutrients below the soil surface is the basis of two fertilization techniques known as (1) Nutri-Blast 2000 and (2) the Pulse Bander which have had only limited acceptance.

1. NUTRI-BLAST 2000

This unique high pressure application system injects clear liquid fertilizer into the soil without the aid of knives, coulters or other tillage implements (Clapp, 1984). Fertilizer solutions are pumped through a small orifice under high pressures ranging from 56.2 kg cm^2 (5,515 kPa) to 140.6 kg cm^2 (13,800 kPa). These solutions cut through crop residues and surface soil resulting in placement of fertilizer at soil depths of five to seven and one-half cm.

Fertilizer placement depth depends on the amount of crop residue and soil density. The fertilizer nutrients are placed in a continuous narrow band.

Two commercial models were produced on a limited scale in the U.S.A. in the late 1980s One was a pull type while the other could be mounted on a three-point tractor hitch. They could be equipped with an optional shoe for sliding the orifice over the soil surface.

2. PULSE BANDER

A pulsating high pressure jet of liquid fertilizer is the main feature of the Pulse Bander (Rogers, 1987, 1988). The experimental three m wide model developed in Saskatoon, Sask. is capable of placing fertilizer 10 cm deep into the soil at spacings of 15 cm (Rogers, 1988).

Liquid fertilizer is pressurized to 422 kg cm^2 and its pulsating delivery is achieved by turning the flow off and on by means of an electronic controller and a solenoid valve. Power requirements are estimated to be a reasonable 2.45 kW per m of applicator.

Many of the advantages claimed below for this method of placement closely resemble those given earlier for the point injection procedure. They are:

(i) no soil disturbance which is compatible with soil and moisture conservation

(ii) fertilizer can be applied as and when it is needed by the crop; plant nutrients can be placed in the root zone of established crops and this procedure makes split applications feasible for the dryland cropping conditions of western Canada, and

(iii) lower power requirements with resultant savings in fuel costs of $8.65 (Canadian) per ha.

In the late 1980s considerable effort was made to evaluate the suitability of this application method and to test longevity of components such as the pump, valve, controller system, etc. Development work has now shifted to the design of pulse banding equipment for the turfgrass industry. Plans are underway to begin manufacturing a 4 foot (1.2 m) machine which applies high pressure pulses of liquid fertilizer on 3 inch (7.6 cm) centres.

A 35 H.P. tractor is needed for the energy requirements of this type of pulse bander (Rogers, 1992). Intended uses of the machine include aeration and placement of pesticides, fertilizers and polymers.

F. PLACEMENT OF SOLID FERTILIZERS IN "NESTS" (CLUMPS) OR AS OVERSIZED GRANULES

The improvements in N fertilizer efficiency in research plots by subsurface placement of solid ammoniacal sources in "nests" (clumps) or large granules has created interest in developing commercial application equipment. University of Alberta researchers attempted to interrupt the flow of solid granular products in pneumatic (air) applicators to produce placement of fertilizer in "nests" or clumps at prescribed intervals (Domier et al., 1985). They found that concentrating more than 90 percent of a "nest's" contents into less than 25 percent of

the inter-"nest" spacing would be difficult to accomplish commercially. Expensive modifications and/or equipment additions are needed to achieve the required metering and fertilizer distribution.

A different approach to concentrating solid fertilizer in pockets was tried at the University of Alberta. The feasibility of applying large urea granules; weighing one, two or three grams each, manufactured by Norsk Hydro; through a zero-till Melroe 701 drill has been demonstrated. This drill is one of the few available that has the capability of metering and distributing the large granules without making extensive and costly modifications (Mayko, 1988). The smaller one gram supergranules flowed most satisfactorily through this drill.

Field trials were established in the summer and fall of 1986 to compare the effectiveness of fall banded urea supergranules (at soil depth of 7.5 cm and in rows 36 cm apart) with urea dribble banded on the soil surface followed by incorporation. In-row spacing between urea supergranules varied from 20 to 23 cm.

G. VARIABLE-RATE FERTILIZATION

As was pointed out earlier, many fields do not have uniform fertilizer needs. Some parts of a field may contain adequate amounts of one or more plant nutrients while other parts of the same field may have varying degrees of deficiency in one or more nutrients. Fertilizer application technology is being developed which will make it possible to apply variable rates of plant nutrients as the fertilizer spreader moves across the field. A brief description of some of the better known variable-rate systems currently in use and some that are still in the development stage follows.

1. CHINOOK SYSTEM

This is one of the first systems to offer the progressive feature of on-the-go seed and fertilizer rate adjustments (Beaton, 1985a). A microcomputer mounted in the tractor cab and operated by the driver activates a series of switches to provide infinite adjustments to the metering units controlling flow of solid fertilizer from two 4 m^3 hopper tanks pulled behind either chisel plows or field cultivators. Rates of deep banded fertilizer can be altered according to the tractor operator's interpretation of important differences in soil properties and topography, etc.

2. SOILECTION SYSTEM

The Soilection system combines computer technology, soil classification information plus information on the specific needs of the crop. It is capable of adjusting to up to eight soil types within a field and altering type and rate of broadcast applied fertilizer as the blender/applicator equipped with six

bins for solid fertilizer travels over the field (Anonymous, 1985; Luellen, 1985).

Considerable preparatory work is necessary for this system. It all begins with either soil survey maps, aerial infrared photographs and/or grid maps to delineate soil types and other physical features. Square 2.6 km colour infrared photographs are particularly useful.

Soils are sampled wherever there is a significant change in soil type and tested for nutrient status. Soil survey maps and field checks are used to help confirm the exact topography. Slope and soil organic matter content are two factors that help characterize nutrient levels in each distinct area.

High points of knolls appear as light areas on the infrared photographs and they likely have low productivity because of infertility and droughtiness. Low points and lower slope positions are darker on the photographs and are generally more productive because of more favourable moisture and nutrient status.

Next the infrared photograph is enhanced using computer analysis to produce a digitized field map, using colours to more clearly define different soil types in the field. Following this digitizing, the field map is then imprinted or stored on a special computer chip which can be called up on a computer terminal mounted in the cab of the application vehicle. In the future small tape cassettes will replace the specially programmed computer chip.

On command the field map is displayed on a 38 cm computer monitor in the cab. As the applicator unit moves across the field, its position in the field is shown on the monitor. The computer needs to know precisely where the fertilizer spreader is at all times. Currently, this tracking is accomplished by a triangulation locator, a commercial system that uses an FM radio and three antennas (one on the applicator machine and two at the field margins) to automatically triangulate the machine's location.

In the future it may be possible to use the Global Positioning System for determining location during the fertilizer spreading operation.

Information on soil types, cropping, and rates of nutrients to be applied in the field of interest is previously entered in the computer. As the fertilizer spreader passes over the different soil types, the micro-processor sends a signal to each of the six fertilizer bins. The signal activates the metering mechanism for each bin and dispatches the desired amount and blend of plant nutrients for the specific soil type. Every time a programmed change in soil type is recognized, the fertilizer blend changes.

The minimum area for rate changes is presently limited to 0.8 ha because it is impractical to adjust for smaller areas. At present, fertilizer rates are not altered until the next soil area is entered. It is possible, however, to program in a gradual change to a different fertilizer treatment.

Future developments include adopting this system for herbicide impregnation of solid fertilizers and installing automatic variable-rate systems on air seeders for deep banding placement of solid fertilizers.

A liquid fertilizer variable rate system was used successfully in Illinois in March of this year.

3. OTHER VARIABLE-RATE FERTILIZATION TECHNIQUES IN WESTERN CANADA

Other western Canadian variable-rate fertilization equipment which has been offerred to farmers include the "Phazer I" ARC-1000 granular applicator which allows the operator to adjust rates on gravity-feed fertilizer boxes mounted on a cultivator. Variable-speed electric motors adjust solid fertilizer rates via a console in the tractor cab. A ground-speed sensor hooked into the computer system automatically changes electric motor speeds in response to differences in ground speed, thus keeping application rates constant even if field speed changes.

A variable-rate manual adjustment prototype for use on John Deere air seeders has performed satisfactorily in Saskatchewan trials (Bens & Hamm, 1987). By means of an electronically-controlled actuator at the bottom of the tanks for holding solid fertilizer, the tractor operator can manually change fertilizer rates on-the-go by adjusting the dial on a cab-mounted control box (Figure 9).

Developers of the above prototype expect to introduce a more sophisticated variable-rate unit for automatic adjustment in fertilizer rates as the air seeder traverses a field. The first stage of this system involves a detailed soil map of a particular field. Information on the map will be fed into a computer on the tractor-mounted control box.

Suitable location finding equipment will be used to notify the control system of the exact location of the air-seeder unit in the field. The computer then prompts the actuators on the fertilizer tanks to adjust the application rate to the specific rate recommended for the part of the field.

The Vary-N, an anhydrous ammonia variable rate control kit became available to farmers this year. A push button control in the tractor pulling the applicator unit enables the operator to adjust the amount of anhydrous ammonia being applied in different parts of the field, especially in areas of rolling landscapes.

4. PLANT NUTRIENT AND SOIL PROPERTY SENSORS IN VARIABLE RATE FERTILIZATION

The Soil Doctor is a unique on-the-go soil properties analyzer and prescription fertilizer application system (Anonymous, 1992; Borgelt, 1992; Murdock, 1991). It has been field tested since 1987 and was commercialized in 1990. The latest models use a rolling electrode sensor with an electronic interrogation system to examine soil properties. The sensor attached to a coulter opener detects the amount of NO_3-N in the top one foot (30 cm) of soil and electronically transmits this information to an on-board computer which automatically varies the application rate of N on-the-go.

Through the creation of steady and time-varying electrical fields within the soil, the Soil Doctor is reported to obtain readings from nearly 25 percent of the topsoil. The several models sell for between $10,000 to $13,000 U.S. with an anhydrous ammonia control option adding $3,765 to the price of these systems. The Soil Doctor adequately detected NO_3-N in surface soil and its N fertilization program improved corn yields slightly over conventional sidedressing of N in two years of evaluation in Kentucky (Murdock, 1991).

Schreier and Zheng (1986) and Zheng and Schreier (1988) reported that differences in soil properties such as organic C, water content and colour could be readily detected by sensors that measured spectral reflection. These differences were successfully used to develop differential fertilizer treatments for specific soil areas within a field.

Borgelt (1992) described a single wavelength, landscape dependent sensor and a multiple wavelength landscape independent sensor for estimating soil organic matter.

REFERENCES

Achorn, F.P., and H.L. Balay. 1985. Production, marketing and use of solid, solution, and suspension fertilizers. p. 483-502. In O.P. Engelstad (ed.) Fertilizer technology and use. 3rd ed. SSSA, Madison, WI.

Achorn, F.P., and M.F. Broder. 1984. Mechanics of applying nitrogen fertilizer. p. 475-491. In R.D. Hauck (ed.) Nitrogen in crop production. ASA, CSSS and SSSA, Madison, WI.

Anonymous. 1985. Check out the Soilection System. Farm Chemicals. 148(9): 50-52.

Anonymous. 1992. The Soil Doctor offers you ideas for frugal fertilizing. Grainews, March 2: 3.

Asseltine, A., and L. Girard. 1992. Canadian Fertilizer Consumption, Shipments and Trade 1990/91. Agriculture Canada Policy Branch. Ottawa, ON.

Balay, H.L., C.A. Cole, Jr., and J.L. Boles. 1985. Fluid fertilizer technology. p. 40-49. *In* Situation 84 TVA Fertilizer Conference. TVA/NFDC Bull. Y-187.

Baker, J.L. 1986. Fluid application equipment for conservation tillage. p. 29-33. *In* Proceedings 1986 Mid-Year Dealer Conference Round-Up, National Fertilizer Solutions Association. July 29-31, 1986. Chicago, IL.

Baker, J.L., T.S. Colvin, S.J. Marley, and M. Dawelbeit. 1985. Improved fertilizer management with a point-injector applicator. Paper No. 85-1516. 1985 Winter Meeting ASAE, Chicago, IL.

Baker, J.L., T.S. Colvin, S.J. Marley, and M. Dawelbeit. 1989. A point injection applicator to improve fertilizer management. Appl. Eng. Agric. 5: 334-338.

Bauer, A., A.L. Black, and A.B. Frank. 1988. Nitrogen fertilization in relation to spring wheat development stages. p. 129-136. *In* Proceedings Great Plains Fertility Workshop. Volume 2. March 8-9, 1988. Denver, CO.

Beaton, J.D. 1985. Present and future trends in soil fertility management. p. 111-128. *In* Proceedings Ninth British Columbia Soil Science Workshop. February 21-22, 1985. Vancouver, B.C.

Beaton, J.D., 1985. Fertilizer management and yield potential. p. 22-36. *In* Proceedings Fourth Annual Conservation Tillage Conference. Soil Conservation Society of America. February 26-27, 1985. Pullman, WA.

Beaton, J.D., M. Hasegawa, and J.C.W. Keng. 1990. Some aspects of plant nutrition/soil fertility management to consider in maximum yield research. p. 131-152. *In* Proceedings on Maximum Yield Research. August 12-18, 1990. Kyoto, Japan.

Below, F.E., and L.E. Gentry. 1988. Nitrogen source influences nutrient uptake. Better Crops with Plant Food 71(2): 18-20.

Bens, R.J., and J.W. Hamm. 1987. Field testing of "on the go" changes in fertilizer application rates. p. 222-235. *In* Proceedings 1987 Saskatchewan Soils and Crops Workshop. February 19-20, 1987. Saskatoon, Sk.

Berry, J.T., and N.L. Hargett. 1987. 1986 Fertilizer Summary Data. TVA/NFDC Bulletin Y-197.

Bock, B.R. 1987. Increases in maximum yield of spring wheat by maintaining relatively high ammonium/nitrate ratios in soil. J. Fert. Issues 4: 68-72.

Borgelt, S.C. 1992. Sensor technologies and control strategies for managing variability. *In* Proceedings Soil Specific Crop Management: A Workshop on Research and Development Issues. April 14-16, 1992. Minneapolis, MN.

Bridges, J.D. 1986. Fertilizer trends: Production, consumption and trade. TVA/NFDC Bulletin Y-195.

Clapp, J.G. Jr. 1984. Nutri-blast 2000: A new concept for clear liquid fertilizer application. p. 34-36. *In* Proceedings 1984 Round-Up NFSA's Midyear Dealer Conference. July 25-27, 1984. Chicago, IL.

Domier, K.W., J.J. Mayko, and J.A. Robertson. 1985. Equipment requirements for fertilizer placement in cereals and small grains. Paper No. 85-1502. 1985 Winter Meeting ASAE, Chicago, IL.

Fixen, P.E. 1987. Chloride fertilization: Recent research gives new answers. Crops and Soils 39)6): 14-16.

Hamm, J.W. 1985. Fertilization of eroded soils: Some preliminary research findings and hypothesis. p. 163-176. *In* Proceedings of Soils and Crops Workshop. University of Saskatchewan, February 18-19, 1985.

Hanson, R.L., and D.G. Westfall. 1983. Phosphorus solubility relationships of common N and P fertilizer injection zones. p. 50-52. *In* Abstracts of papers presented at the Western Phosphate Conference, Fort Collins, CO, March 17-18, 1983. Phosphate Work Group, Western Soil and Water Research Committee.

Harapiak, J.T., and J.D. Beaton. 1986. Review: Phosphorus fertilizer considerations for maximum yields in the Great Plains. J. Fert. Issues 3: 113-123.

Hargett, N.L., J.T. Berry, and S.L. McKinney. 1987. Commercial fertilizers. TVA/NFDC Bulletin Y-199. Muscle Shoals, AL.

Hargett, N.L., J.T. Berry, and M.H. Montgomery. 1991. Commercial Fertilizers 1991. TVA/NFERC Bulletin Y-225.

Jackson, T.L., R.L. Powelson, and N.W. Christensen. 1983. Combating take-all root rot of winter wheat in western Oregon. Oregon State University FS 250. Revised September 1983.

Janzen, H.H., and C.W. Lindwall. 1987. Nitrogen fertilization of winter wheat by point-injection of N solution. p. 269. *In* 1987 Agronomy Abstracts, 79th Annual Meeting Amer. Soc. of Agron. November 29-December 4, 1987. Atlanta, GA.

Janzen, H.H., and C.W. Lindwall. 1988. Nitrogen fertilization of winter wheat. Agriculture Canada, Research Station, Lethbridge, Alta. Weekly Letter No. 2814. January 20, 1988.

Janzen, H.H., and C.W. Lindwall. 1988. Optimum application parameters for point injection of nitrogen in winter wheat. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1878-1883.

Janzen, H.H., C.W. Lindwall, and C.J. Roppel. 1990. Relative efficiency of point-injection and surface applications for N fertilization of winter wheat. Can. J. Soil Sci. 70: 189-201.

Janzen, H.H., T.L. Roberts, and C.W. Lindwall. 1991. Uptake of point-injected nitrogen by winter wheat as influenced by time of application. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 259-264.

Johnson, J. 1987. Positional availability of K on soybeans. p. 45-51. *In* Proceedings 1987 Mid-Year Dealer Conference Round-Up. July 13-15. St. Louis, MO.

Luellen, W.R. 1985. Fine-tuned fertility: Tomorrow's technology here today. Crops and Soils 38(2): 18-22.

Malhi, S.S., and M. Nyborg. 1982. An evaluation of carbon disulphide as a sulphur fertilizer and as a nitrification inhibitor. Plant Soil 65: 203-218.

Malhi, S.S., and M. Nyborg. 1985. Methods of placement for increasing the efficiency of N fertilizer applied in the fall. Agron. J. 77: 27-32.

Malhi, S.S., M. Nyborg, J.T. Harapiak, and D.C. Penney. 1984. Efficiency of fall-applied nitrogen as influenced by method of placement and date of fall application. p. 75-101. *In* 21st Annual Alberta Soil Science Workshop Proceedings. February 21-22, 1984. Faculty of Extension, University of Alberta, Edmonton, Alta.

Mayko, J.J. 1988. Personal communication. Edmonton, Alberta.

Murdock, L.W. 1991. The Soil Doctor - A field trial. p. 127-133. *In* Proceedings of the Twenty First North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference. November 13-14, 1991. St. Louis, MO.

Murphy, L.S. 1984. Recent developments in fluid fertilizer application techniques. ANDA Fluid Fertilizers Seminar, October 25-26, 1984. Sao Paulo, Brazil.

Murphy, L.S. 1984. Recent developments in fertilizer application techniques in the United States and Caanda. p. 457-466. *In* E. Welte and I. Szabolcs (eds.) Fight against hunger through improved plant nutrition. 9th World Fertilizer Congress Proceedings, July 11-16, 1984. Budapest, Hungary.

Murphy, L.S. 1985. Management for efficient utilization. Symposium on nutrient use and the environment. The Fertilizer Institute, October 21-23, 1985. Kansas City, MO.

Murphy, L.S. 1987. Innovations for efficient fertilizer use and higher profits. University of Missouri Agricultural Chemicals Short Course, November 22-24, 1987. Columbia, MO.

Murphy, L.S., and J.D. Beaton. 1988. Advances in fertilizer application: Equipment, timing and placement. p 26-64. *In* Proceedings of 25th Anniversary Symposium of Division S-8, Soil Science Society of America. Advances in Fertilizer Technology and Use. November 28, 1988. Anaheim, CA.

Nyborg, M., and S.S. Malhi. 1979. Increasing the efficiency of fall-applied urea fertilizer by placing in big pellets or in nests. Plant Soil 52: 461-564.

Olness, A., and G.R. Benoit. 1992. A closer look at corn nutrient demand. Better Crops with Plant Food 76(2): 18-20.

Olsen, S.R. 1986. The role of ammonium nutrition in higher yields. p. 6-15. *In* Proceedings Great Plains Soil Fertility Workshop. Volume 1. March 4-5. Denver, CO.

Randall, G.W., and R.G. Hoeft. 1986. Fertilizer placement methods: New wrinkles on an old face. Crops and Soils 38(6): 17-22.

Randall, G.W., and R.G. Hoeft. 1988. Placement methods for improved efficiency of P and K fertilizers: A review. J. Prod. Agric. 1: 70-78.

Randall, G.W., K.L. Wells, and J.J. Hanway. 1985. Modern techniques in fertilizer application. p. 521-560. *In* O.P. Engelstad (ed.) Fertilizer technology and use. 3rd ed. SSSA, Madison, WI.

Rogers, R.B. 1987. Personal communication. Saskatoon, Sk.

Rogers, R.B. 1988. Personal communication. Saskatoon, Sk.

Rogers, R.B. 1992. Personal communication. Saskatoon, Sk.

Schreier, H., and F. Zheng. 1986. Using remote sensing techniques for field applications of variable rates of fertilizers. Report prepared for the Potash & Phosphate Institute. Febraury 20, 1986. 47 pp.

Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. 4th ed. Macmillan Publishing Company, New York, N.Y.

Todd, B.G. 1979. Inter-relationships between fertility and weed control. p. 13-17. *In* Proceedings 1979 Saskatchewan Soils and Crops Workshops. February. Saskatoon, Sk.

Tsai, C.Y., D.M. Huber, D.V. Glover, and H.L. Warren. 1984. Relationship of N deposition to grain yield and N response of three maize hybrids. Crop Sci. 24: 277-281.

Tyler, D.A. 1992. Positioning technology (GPS). *In* Proceedings Soil Specific Crop Management: A Workshop on Research and Development Issues. April 14-16, 1992. Minneapolis, MN.

Westfall, D.G., and R.L. Hanson. 1984. Reaction products of dual application of N and P fertilizers. p. 271. *In* Agron. Abrstr. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Wollenhaupt, N.C., and D.D. Buchholz. 1992. Profitability of farming by soils. *In* Proceedings Soil Specific Crop Management: A workshop on Research and Development Issues. April 14-16, 1992. Minneapolis, MN.

Yamada, T. 1985. Fluid fertilizers situation in Brazil. 31st Annual NFSA Convention, International Symposium. December 9-11, 1985. Las Vegas, Nevada.

Yamada, T. 1988. Personal communication.

Zheng, F., and H. Schreier. 1988. Quantification of soil patterns and field soil fertility using spectral reflection and digital processing of aerial photographs. Fertilizer Research 16: 15-30.

Table 1. Cost estimate for dry and fluid fertilization of sugar cane ratoon crop with vinasse in Brazil serviced by a dealer (Yamada, 1985).

Items	Dry	Fluid	Cost Reduction
Products	18-0-27	08-0-12	
Doses (kg/ha)	400	900	
NPK (kg/ha)	72-0-108	72-0-108	
Applic. effic. (ha/hour)	0.75	1.00	
Cost applic. US$/ha	16.10	12.08	4.02 (25.0%)
Cost product US$/ha	75.17	68.70	6.47 (8.6%)
Total cost	91.27	80.78	10.49 (11.5%)

Table 2. Raw materials for fluid fertilizer production in Brazil (Yamada, 1985).

Raw materials	% nutrients	Supplier	US$/t (FOB)
Anhydrous ammonia	82%	Petrofertil	179.00
Ammonium nitrate (dry)	34%	Petrofertil	116.00
Urea (dry)	45%	Petrofertil	125.00
URAN	32%	Petrofertil	118.00
Ammonium sulphate	20%	Several	76.00
Ground rock phosphate	34%	Several	34.00
Phosphoric acid	52%	Petrofertil/others	357.00
Ammonium phosphate	10-30-0	Petrofertil	175.00
MAP	09-48-0	Several	273.00
DAP	16-45-0	Several	270.00
Potassium chloride	60%	Several	120.00 (CIF)
Sulphuric acid		Several	69.00
Bentonite			300.00

Table 3. Location and method of fertilizer placement (modified after Randall et al., 1985).

Location of placement	Method of placement
Soil surface	- Broadcast - Stripped or dribble - Sidedressed and topdressed - Irrigation
Below soil surface	- Broadcast, plowed under - Broadcast, incorporated in varying degree by other tillage operations - Sidedressing - Row application with seed, pop-up or starter - Banded apart from seed, starter - Deep banding, in fall or spring before seeding. Also, referred to as dual application, deep placement, knifing, tillage implement application, pre-plant banding, double shooting, root zone banding, etc. - Irrigation
Directly onto plant	- Foliar sprays - Fertigation with sprinkler systems

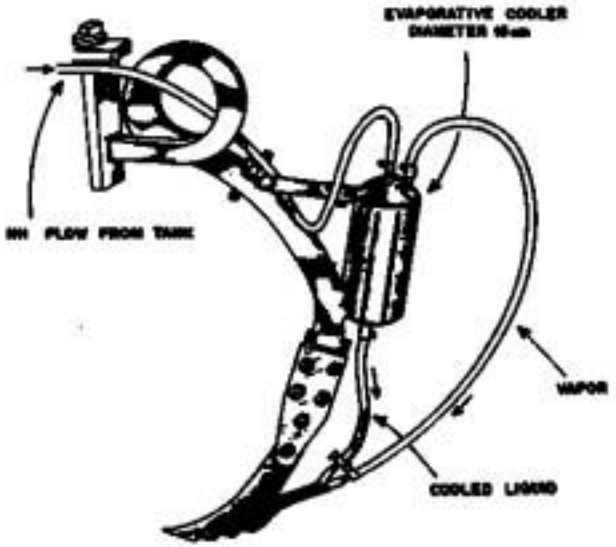


Fig. 1. Small NH_3 evaporator-cooler for each NH_3 tine (Achorn & Broder, 1984).

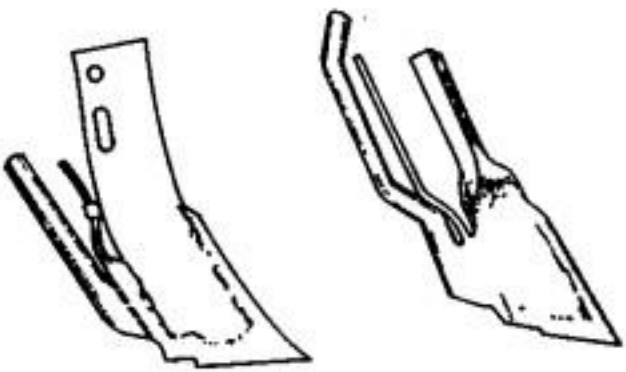


Fig. 2. Dual application knives for application of anhydrous ammonia and solid fertilizer products.

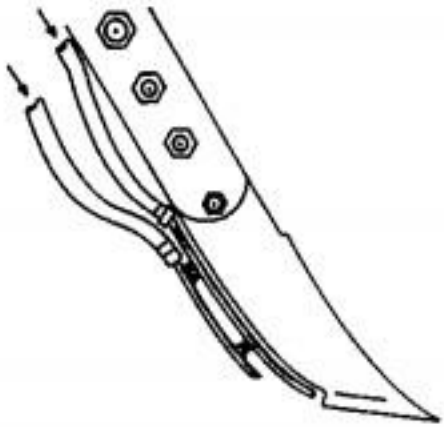


Fig. 3. Dual application kinife with separate tubes for anhydrous ammonia (inner line closest to knife) and fluid fertilizer.

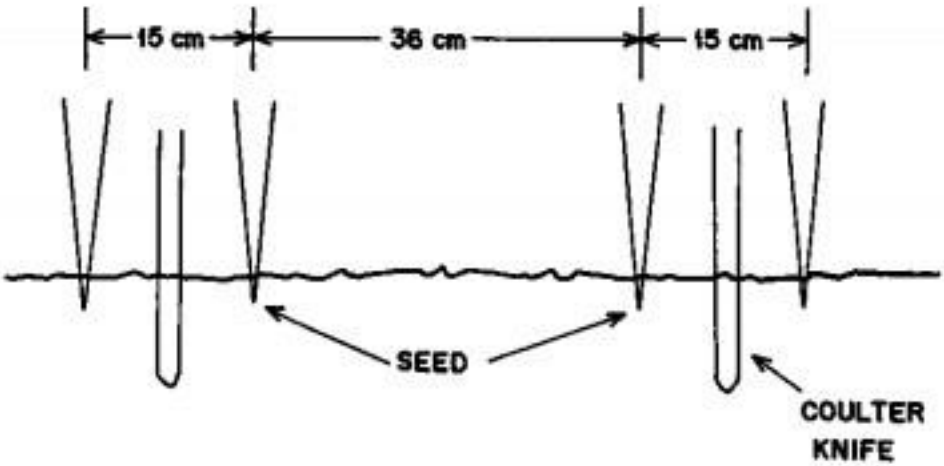


Fig. 4. Paired row 15 cm/36 cm with deep band anhydrous ammonia.

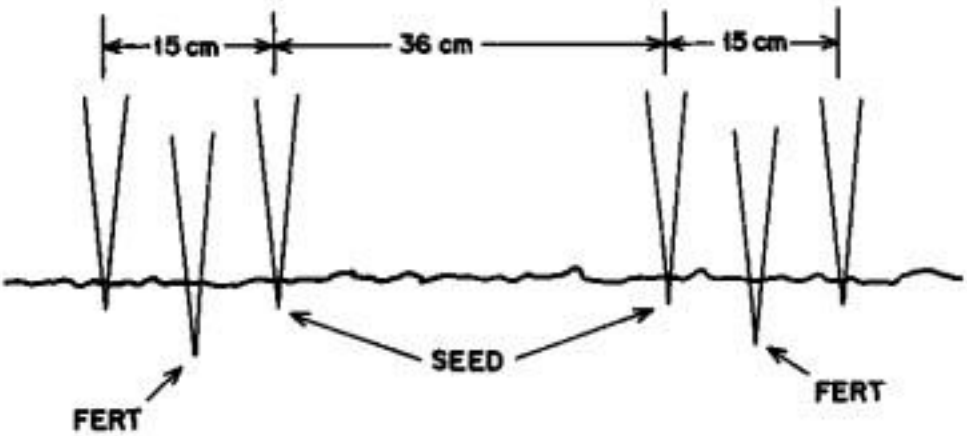


Fig. 5. Paired row 15 cm/36 cm disc system.

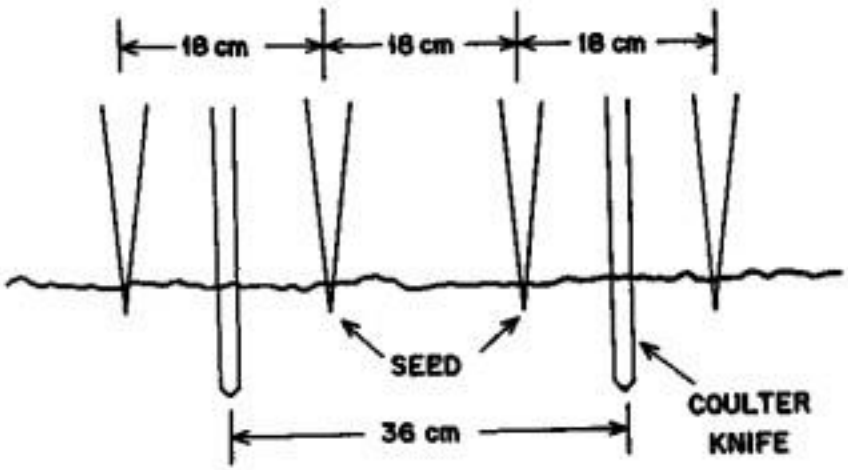


Fig. 6. Uniform row spacing with deep banded anhydrous ammonia.

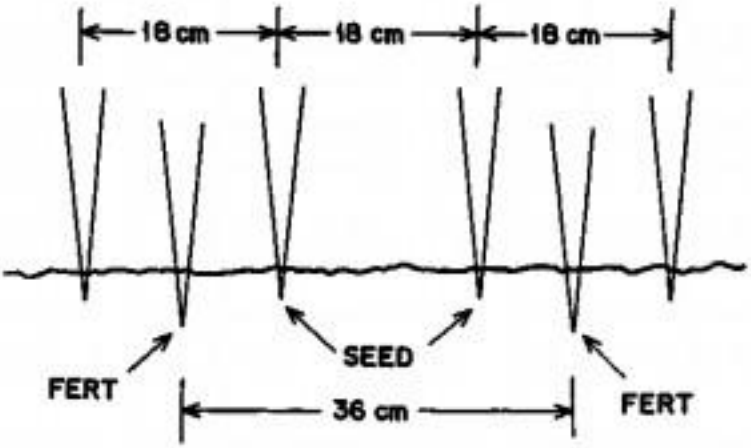


Fig. 7. Uniform row spacing with deep banded solid or fluid fertilizer.

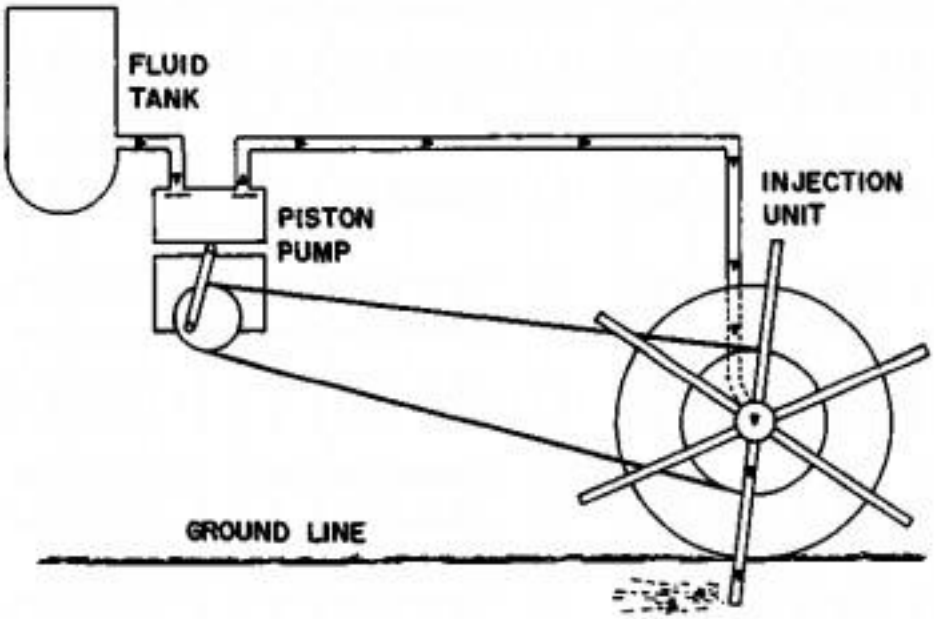


Fig. 8. Schematic of point-injector fertilizer applicator.

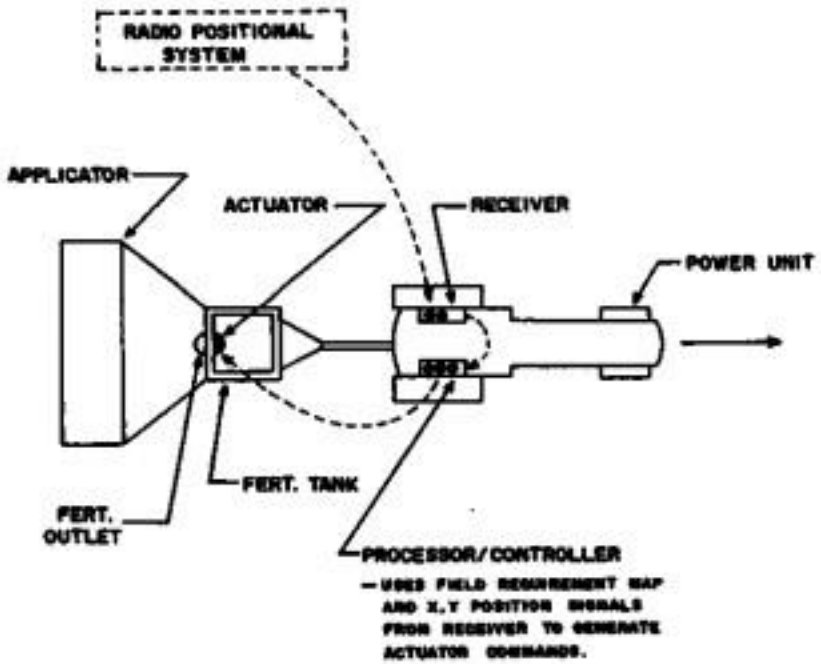


Fig. 9. Schematic of variable rate fertilization system (Hamm, 1985).

SIMPÓSIO

FERTILIZANTES E CORRETIVOS NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Coordenador: *Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira (ESALQ/USP)*

ALFREDO SCHEID LOPES e LUIZ ROBERTO GUIMARÃES GUILHERME - - Fertilizantes e Corretivos Agrícolas: Sugestões de Manejo para Uso Eficiente.

BERNARDO VAN RAIJ - Algumas Reflexões sobre Análise de Solo para Recomendação de Adubação.

EURÍPEDES MALAVOLTA - Fertilizantes, Corretivos e Produtividade: Mitos e Fatos.

FERTILIZANTES E CORRETIVOS AGRÍCOLAS: SUGESTÕES DE MANEJO PARA USO EFICIENTE[1]

Alfredo Scheid Lopes[2]
Luiz Roberto Guimarães Guilherme[3]

I. INTRODUÇÃO

As práticas da calagem, adubação e gessagem são responsáveis, anualmente, por grande parte dos ganhos de produção da agricultura brasileira. Por outro lado, o uso de fertilizantes e corretivos agrícolas representa, naturalmente, um acréscimo no custo de produção das culturas. A chave para o uso eficiente destes insumos está, pois, em fazer com que se obtenha a maior relação benefício/custo possível, em decorrência da utilização dos fertilizantes e corretivos na agricultura.

Certamente, além do aspecto econômico, há que se considerar também aspectos sociais e ambientais envolvidos neste processo, visto que os mesmos são de vital importância para a harmonia e sustentação do sistema como um todo. Vale relembrar, neste contexto, que aumentar a produção agrícola via aumento de produtividade pelo uso racional de insumos significa evitar a necessidade de abertura de novas áreas.

Dentro da filosofia de buscar ganhos cada vez maiores em produtividade agrícola, respeitando sempre o Homem e o Ambiente, procura-se, neste trabalho, apresentar e discutir tópicos relevantes para o uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas, com detalhamento de manejo para o melhor aproveitamento dos nutrientes contidos nesses insumos, bem como para a maximização dos seus benefícios no sistema "Homem-Solo-Planta-Atmosfera".

---

(1) Trabalho extraído e adaptado de "Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agronômicos", Boletim Técnico nº 4, ANDA (2ª edição, revisada).

(2) Engº Agrº, MSc, PhD, Professor Emérito do DCS-ESAL, C.P. 37, 37200-000, Lavras, MG. Consultor Técnico da ANDA, São Paulo, SP.

(3) Engº Agrº, MSc, Professor Assistente do DCS-ESAL, Lavras, MG.

Embora pretenda-se, neste trabalho, enfocar de maneira mais direta o uso eficiente dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados, potássicos, com enxofre e micronutrientes, bem como fazer algumas considerações sobre a utilização dos corretivos agrícolas-principais carreadores de cálcio e magnésio aos solos-, sugere-se ao leitor, como esclarecimento adicional quanto aos fatores envolvidos nestes processos, uma consulta ao Boletim Técnico nº da ANDA: Uso Eficiente de Fertilizantes e Corretivos Agrícolas - Aspectos Agronômicos (Lopes & Guilherme, 1992b).

2. FERTILIZANTES

2.1. Fertilizantes nitrogenados

Do ponto de vista agronômico, para a maioria das culturas sob condições de cultivo de sequeiro, ou dependente apenas das chuvas, a eficiência dos diferentes nitrogenados deverá ser semelhante. Evidentemente, na avaliação de casos específicos, esta eficiência tende a ser variável em função de alguns fatores, entre os quais citam-se: a) disponibilidade no local; b) outros nutrientes na composição; c) doses a serem aplicadas; d) forma de aplicação; e) condições do solo (umidade, textura, tipo de argila, pH, etc); f) condições de clima (índice pluviométrico e temperatura); g) condições da cultura (ciclo, variedade, capacidade de proliferação de raízes, eficiência metabólica, etc).

De uma maneira geral, a eficiência dos fertilizantes nitrogenados pode ser consideravelmente aumentada, levando-se em conta os vários aspectos:

a) Incorporação adequada. A incorporação adequada dos fertilizantes nitrogenados, tanto por ocasião do plantio, como no caso das coberturas, é de fundamental importância para se evitarem as perdas por volatilização de amônia, principalmente em solos alcalinos e calcários. Em geral, a recomendação de aplicar o fertilizante na dose necessária para o plantio, 5 cm ao lado e 5cm abaixo da semente, ainda é válida para a maioria das culturas produtoras de grãos. As aplicações de nitrogênio em cobertura, principalmente nas formas amídica (uréia) e amoniacais (sulfato de amônio e outros), devem ser feitas em sulco, cobrindo-se o fertilizante com cerca de 5cm de terra. Quando a incorporação do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura não é possível de ser feita, as perdas por volatilização de amônia podem ser minimizadas, misturando-se o fertilizante com a camada superficial do solo, conforme sugerem os dados da Figura 1.

b) Parcelamento da adubação. O parcelamento da adubação, de acordo com as necessidades da cultura e em função das características do solo e do clima é, sem dúvida, uma das práticas de manejo mais recomendadas para aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, conforme exemplificam os dados da Tabela 1.

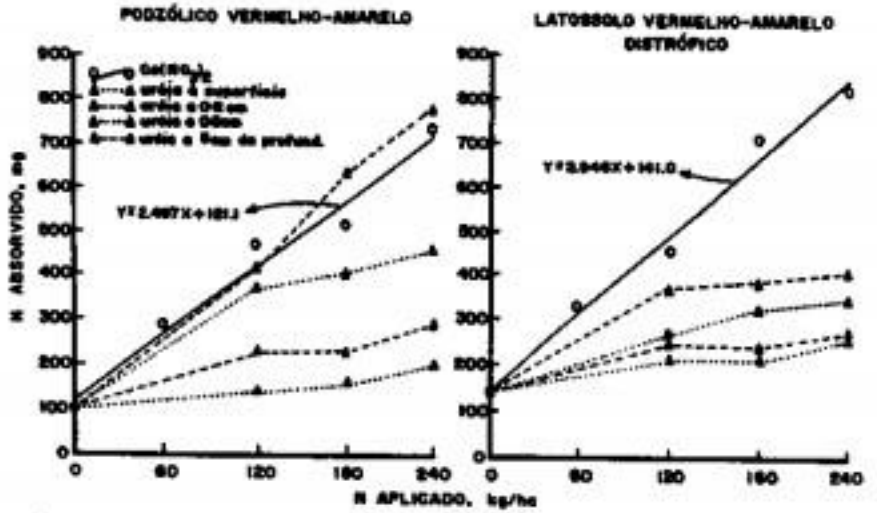


Figura 1. Absorção de N por plantas de milho cultivadas em dois solos, dez dias após tratamento com $Ca(NO_3)_2$ em diferentes doses ou com uréia em diferentes doses e modos de aplicação.
Fonte: Rodrigues e Kiehl (1986).

Tabela 1. Efeito do parcelamento da adubação nitrogenada no nitrogênio absorvido, produção relativa e teor de proteína em milho cultivado em um Podzólico-Vermelho-Amarelo.

Adubação nitrogenada	Nitrogênio total absorvido	Produção relativa	Proteína
kg N/ha	kg/ha	%	
0	31,2	39	8,31
40	44,8	59	8,31
120	60,0	69	8,44
40 + 40	85,2	96	9,56
40 + 40 + 40	80,8	100	9,19

FONTE: Adaptado de PEREIRA et al. (1981).

Em geral deve-se usar maior número de parcelamentos (3 a 4), sob as seguintes condições: a) altas doses de nitrogênio (120-150 Kgf N/ha); b) solos de textura arenosa e/ou solos argilosos com

baixa CTC; c) áreas sujeitas a chuvas de alta intensidade; d) variedades de ciclo longo, quando se tratar de culturas anuais. Um número menor de parcelamentos da adubação (1-2) deve ser feito sob as seguintes condições: a) doses de nitrogênio baixas ou médias (40-80 kg N/ha); b) solos de textura média ou argilosa, com alta CTC; c) áreas sujeitas a chuvas de baixa intensidade; d) variedades de ciclo curto, quando se tratar de culturas anuais.

c) Irrigação controlada. Muitas vezes, sob condições de agricultura intensiva, as aplicações de fertilizantes nitrogenados em cobertura não podem ser feitas com incorporação do produto. Nesse caso, o uso de irrigação controlada permite uma rápida solubilização do fertilizante aplicado, movimentação dos nutrientes na solução do solo até uma certa profundidade e redução das perdas por volatilização de amônia. Este princípio de manejo aplica-se, também, para as culturas de arroz sob inundação, sendo atingida maior eficiência dos fertilizantes nitrogenados, fazendo-se a drenagem do excesso de água, distribuindo-se o fertilizante nitrogenado a lanço, seguindo-se inundação controlada.

d) Contribuição dos estercos, fixação biológica do nitrogênio e adubação verde. Em certos sistemas de cultivo, notadamente em pequenas glebas, a contribuição do uso dos estercos não pode ser desconsiderada. Em função das doses aplicadas e das possíveis taxas de mineralização, sob condições ideais, esta contribuição pode chegar a níveis bem altos.

Da mesma forma, a fixação biológica de nitrogênio em leguminosas é um componente importante, tanto qualitativa como quantitativamente, no que diz respeito a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, quer seja em monoculturas ou em rotação de culturas. nas leguminosas, portanto, a técnica de inoculação de estirpes adequadas de bactérias fixadoras de nitrogênio ocupa lugar de destaque no processo global de eficiência deste nutrientes.

Estimativas da fixação de nitrogênio em diversas espécies leguminosas são apresentadas na Tabela 2. Além deste processo, cabe ressaltar a contribuição de outros sistemas fixadores de nitrogênio, tais como fixadores de vida livre, cianobactérias, associações com gramíneas e actinorrizas. Detalhes sobre estes sistemas podem ser vistos em SIQUEIRA & FRANCOS (1988).

Assim como a fixação biológica, também a adubação verde com leguminosas constitui-se em fator de grande importância na avaliação do uso eficiente de nitrogênio. A contribuição desta técnica na nutrição nitrogenada tende a ser expressiva, principalmente sob condições de solo cultivado intensivamente. Neste contexto, as doses de nitrogênio a serem aplicadas podem ser reduzidas consideravelmente, principalmente quando se cultivam variedades de baixa exigência em nitrogênio.

Tabela 2. Estimativas de fixação de nitrogênio em diversas espécies leguminosas.

Espécie leguminosa	N_2 fixado
Produtoras de grãos	kg de $N.ha^{-1}$ ano^{-1} ou ciclo
Soja (*Glycine max*)	60-178
Feijão (*Phaseolus vulgaris*)	2,7-110
Caupi (*Vigna unguiculata*)	73-354
Amendoim (*Arachis hypogaea*)	72-124
Guandu (*Cajanus cajan*)	168-280
Calopogônio (*Calopogonium mucunoides*)	370-450
Feijão mungo (*Vigna mungo*)	63-342
Grão de bico (*Cicer arietinum*)	50-103
Ervilha (*Pisum sativum*)	52- 77
Forrageiras	
Leucena (*Leucaena leucocephala*)	500-600
Centrosema (*Centrosema pubescens*)	126-398
Estilosantes (*Stylosanthes spp.*)	34-220
Pueraria (*Pueraria phaseoloides*)	30- 99
Espécie arbórea	
Acácia (*Acacia mearnsii*)	200
Floresta Tropical	
Em regeneração	71- 78
Após estabilização (40 anos)	35- 45

FONTE: Rennie (1984), Kang & Duguma (1985), Greenland (1985) e Duque et al. (1985), citados por SIQUEIRA & FRANCO (1988).

e) Uso de fertilizantes de disponibilidade controlada. Considerável esforço de pesquisa vem sendo desenvolvido no sentido de aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, principalmente uréia, através de recobrimento com enxofre, gesso, utilização de inibidores da urease, etc. Estes produtos têm sua

utilização limitada devido aos custos adicionais no processo de fabricação.

Sob condições de cultivo de arroz sob inundação, sem possibilidade de drenagem para aplicação da uréia perolada ou granulada convencional, resultados excelentes vêm sendo obtidos em outros países, com a utilização de supergrânulos de uréia, aplicados junto às mudas de arroz, incorporados a cerca de 10cm de profundidade, na zona de redução, conforme dados da Figura 2.

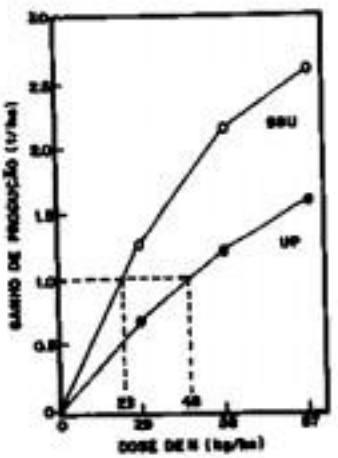


Figura 2. Estimativas médias de ganho de produção de arroz irrigado, pela incorporação profunda de supergrânulos de uréia (SGU) e aplicação parcelada de uréia perolada (UP). FONTE: Savant & Livingston (1988).

2.2. Fertilizantes fosfatados

Os princípios de manejo para se obter o máximo de eficiência dos fertilizantes fosfatados diferem, em certos aspectos, daqueles considerados para os fertilizantes nitrogenados. No caso dos fertilizantes nitrogenados, as formas principais de perdas, e a consequente diminuição da eficiência agronômica, ocorrem por lixiviação e volatilização. A eficiência dos fertilizantes fosfatados depende, principalmente, da minimização de perdas por erosão e fixação, embora este último processo não se apresente com características de irreversibilidade total. LOBATO (1982) menciona, por exemplo, que de um total de 160 kg/ha de P_2O_5 adicionado a um Latossolo Vermelho-Escuro de cerrado, cerca de 90 kg/ha foram recuperados após 10 colheitas de milho, fato este que comprova a possibilidade de reversão do processo de fixação de fósforo, com o tempo.

Assim, aspectos a seguir de manejo devem ser levados em consideração, quando se almeja maximizar a eficiência dos fertilizantes fosfatados.

a) Porcentagem de P_2O_5 solúvel em relação ao teor de P_2O_5 total. A eficiência agronômica dos fertilizantes fosfatados consumidos no Brasil, para culturas anuais e bianuais, tem sido comprovada como dependente dessa relação, como mostram os dados da Figura 3. Uma série de experimentos conduzidos no Brasil levou às seguintes conclusões básicas (GOEDERT & SOUSA, 1984): i) as fontes mais eficientes têm sido os fosfatos solúveis (superfosfatos e fosfatos de amônio); ii) os fosfatos com alta solubilidade em ácido cítrico (termofosfato e fosfatos naturais de alta reatividade - gafsa, por exemplo), têm mostrado eficiência similar aos solúveis em água, quando computado o efeito residual a longo prazo; iii) os fosfatos naturais brasileiros (Abaeté, Araxá, Alvorada, Catalão, Patos, Tapira, etc) têm mostrado, com relação aos solúveis em água, uma baixa eficiência inicial (3 a 20%), melhorando um pouco após alguns anos (15 a 45%) (Vide Figura 3).

b) Fertilizantes fosfatados solúveis. Os fertilizantes fosfatados mais solúveis (superfosfatos de amônio) têm sua eficiência agronômica aumentada de forma considerável, quando se levam em conta três aspectos: i) aplicação após uma calagem adequada; ii) na forma granulada e iii) de maneira localizada (em sulcos). As Figuras 4 e 5 ilustram alguns destes aspectos.

A finalidade básica dessas três ações de manejo é diminuir a taxa de fixação do fósforo, isto é, diminuir a transformação do P lábil em não lábil.

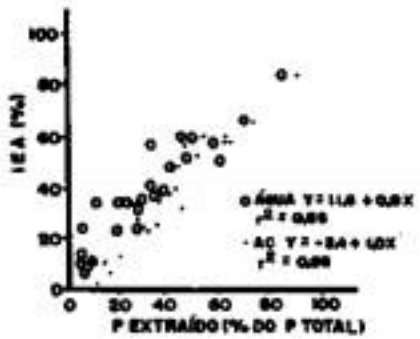


Figura 3. Correlação entre a eficiência agronômica e a taxa de extração de P por água e por ácido cítrico (AC), de fosfatos parcialmente acidulados com ácido sulfúrico, a partir dos fosfatos naturais de Araxá, Patos, Catalão, Tapira, Olinda e Anitápolis. FONTE: Goedert & Sousa (1984).

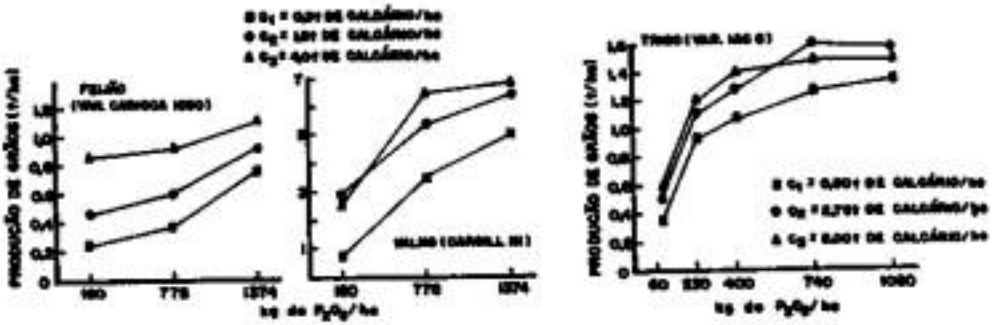


Figura 4. Produção de feijão, milho e trigo, em função de níveis de fósforo e de calcário, aplicados em solo LE. FONTE: EMBRAPA/CPAC (1976).

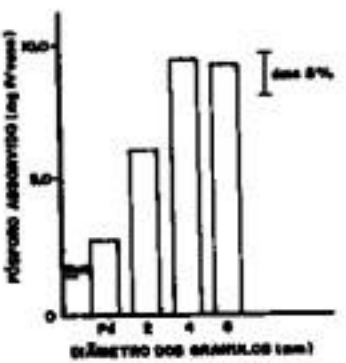


Figura 5. Fósforo absorvido pelo milho cultivado em vasos de 5,5 litros de solo (Latossolo Roxo Distrófico), ao qual foi adicionado superfosfato triplo (120 mg de P/vaso) em pó e em grânulos. FONTE: Sousa (1980).

Ressalta-se que em algumas situações, notadamente em solos da região dos cerrados, em áreas com alta probabilidade de veranicos, o processo de "construção" da fertilidade do solo, visando a incorporá-lo à produção de grãos, envolve uma calagem bem feita e uma adubação fosfatada corretiva, além de, em alguns casos, também uma adubação potássica corretiva, conforme será discutido posteriormente.

Nestes casos, não só os termofosfatos, mas também as fontes solúveis em água devem ser distribuídas a lanço e incorporadas com gradagem (0-10 cm), seguindo-se as operações de plantio e adubações de manutenção. Para estimar as doses de P_2O_5 solúvel a aplicar, utiliza-se a relação seguinte: kg de P_2O_5/ha = 4 x % de argila (LOPES, 1984; LOPES & GUIMARAES, 1989; LOPES & GUILHERME, 1989). Alternativas ao conceito clássico de adubação fosfatada corretiva para a cultura da soja no cerrado foram apresentadas recentemente por, SOUSA (1989), as quais podem ser encontradas no Boletim Técnico nº 5 da ANDA: Solos sob cerrado - Manejo da Fertilidade para a Produção Agropecuária (LOPES & GUILHERME, 1992a).

c) **Fosfatos naturais.** Os fosfatos naturais, principalmente os brasileiros que, em geral, são de baixa solubilidade, apresentam razoável eficiência agronômica para pastagens tolerantes à acidez e certas culturas perenes.

Para atingir maior eficiência destas fontes quando da formação de pastagens é necessário considerar: i) distribuição do fosfato natural finamente moído (Figura 6); ii) incorporação o mais uniformemente possível, através de aração e/ou gradagem; iii) a dose de calcário, quando necessária, deve levar em conta apenas a correção das deficiências de cálcio e magnésio.

Tendo em vista a baixa solubilidade inicial desses produtos, é recomendável sua utilização em conjunto com fontes mais solúveis (respectivamente, 2/3 e 1/3 da dose de P_2O_5) em um sistema integrado. O mesmo princípio de aplicação pode ser seguido na adubação de culturas perenes na cova de plantio, sendo, neste caso, a calagem feita nas doses normais.

O ponto relevante quando se usam fosfatos naturais e calagem, é que esta última prática deve ser feita preferencialmente após a incorporação dos fosfatos naturais, conforme sugerem os dados da Figura 7.

d) **Sequência de culturas.** Sob condições de limitação de recursos, ou sistemas de cultivos sequenciais, a prioridade de aplicação do fertilizante fosfatado deve ser dada à cultura de ciclo mais curto, com menor desenvolvimento do sistema radicular e com maior intensidade de resposta ao fósforo. As culturas com ciclo mais longo, com maior desenvolvimento do sistema radicular e menor intensidade de resposta a este nutriente podem, muitas vezes, ser razoavelmente bem supridas pelo efeito residual da adubação precedente.

e) Grau de micorrização. A micorrização, através de seu efeito físico na extensão do sistema de absorção das plantas e dos efeitos fisiológicos de utilização de fósforo pela planta, representa um importante mecanismo para a maximização da eficiência de fertilizantes fosfatados. Esta associação favorece ainda o crescimento das raízes e a fixação biológica de nitrogênio, nas plantas que formam simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (Siqueira & Franco, 1988).

A Figura 6 mostra o efeito desta associação na simbiose rhizobium - feijoeiro.

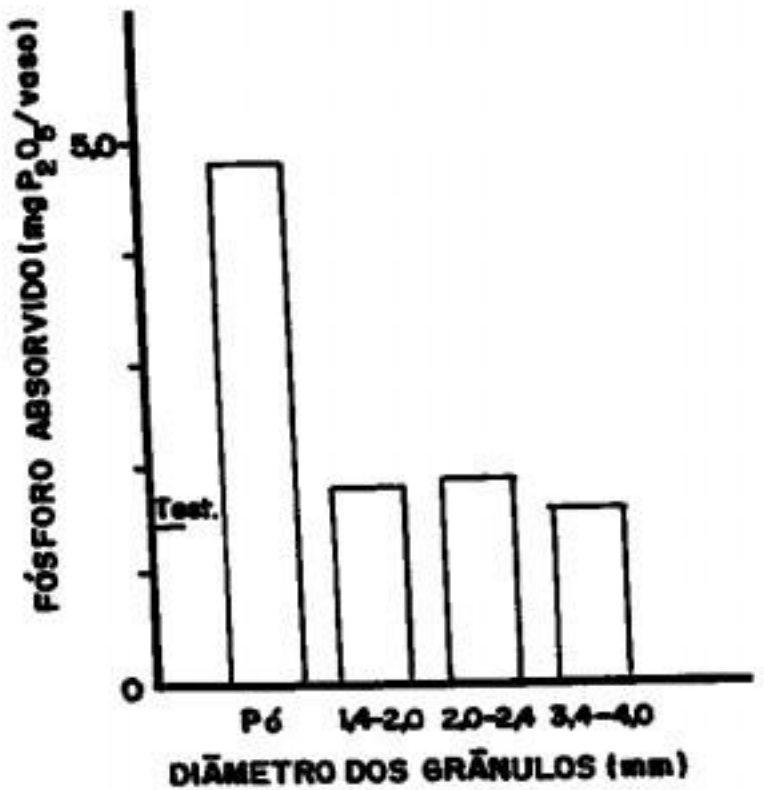


Figura 6. Fósforo absorvido pelo trigo cultivado em vasos de 1,7 litros de solo (Latossolo Roxo), ao qual foi adicionado fosfato de Gafsa (200 mg de P_2O_5/vaso) em pó e em grânulos. FONTE: Barreto (1977).

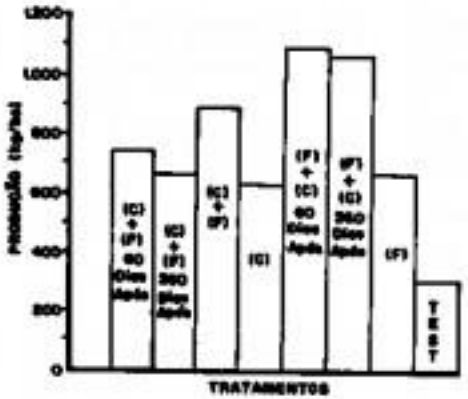


Figura 7. Produção de soja em função de sequências de aplicação da calagem (C) e "fosfatagem" (F) com fosfato de Patos (2.400 kg/ha) em Latossolos sob "cerrado". Dados médios de 4 colheitas, 3 locais. FONTE: Silva et alii (1983).

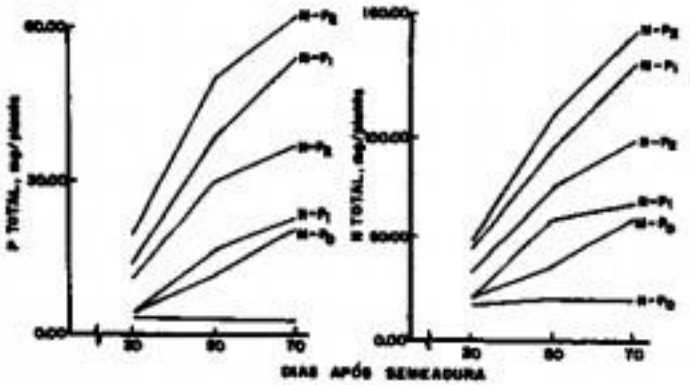


Figura 8. Quantidade acumulada de P e N (mg) na parte aérea do feijoeiro (cv. Carioca), em função do estádio do ciclo da planta, na ausência (N) ou na presença (M) de micorriza, sob diferentes doses de fósforo (P_0 = 0; P^1 = 11 e P^2 = 22 ppm P). FONTE: Silveira & Cardoso (1987).

2.3. Fertilizantes Potássicos

A quase totalidade do potássio consumido na agricultura brasileira é fornecida na forma de cloreto de potássio, que é um produto solúvel em água. Embora o problema de deficiência deste nutriente não seja tão acentuado no Brasil, como a deficiência de fósforo, a demanda para aplicação de fertilizantes potássicos tem aumentado consideravelmente nos últivos anos, notadamente em áreas com aplicação de alta tecnologia, para atingir a Produtividade Máxima Econômica (PME).

Para maximizar a eficiência dos fertilizantes potássicos, os alguns pontos devem ser considerados.

a) **Textura, tipo de argila e CTC.** Esses três fatores, somados às informações quanto ao teor de potássio trocável e, logicamente, às exigências da cultura, são de fundamental importância na tomada de decisão sobre as doses de potássio a serem aplicadas.

A relação entre o teor de potássio trocável e a concentração deste nutriente na solução do solo indica, claramente, que os solos com maior percentagem de argila (principalmente as de alta atividade), precisam ter muito potássio trocável do que os solos arenosos, para manter a mesma concentração de potássio na solução do solo (Figura 9).

Com relação, um exemplo da utilização deste parâmetro nas recomendações de adubação potássica para solos do Rio Grande do Sul, está demonstrado na Figura 10.

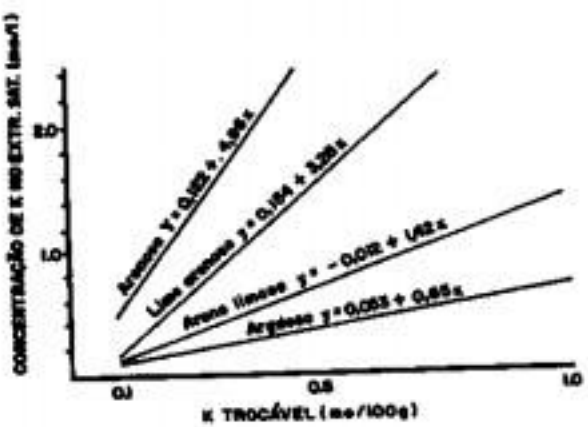


Figura 9. Correlação entre o potássio trocável e a concentração de potássio no extrato saturado, em solos de diferentes texturas. FONTE: NEMETH (1982).

Esforço considerável por parte da pesquisa deve ser implementado para que estes parâmetros sejam incluídos nas recomendações de adubação potássica, nas diversas regiões do Brasil.

b) Parcelamento da adubação. Solos arenosos ou de textura média/argilosa, mas com argilas de baixa atividade e sujeitos a chuvas intensas, devem receber a adubação na forma parcelada, com o objetivo de minimizar possíveis perdas. Os benefícios decorrentes desta prática de manejo têm sido comprovados, notadamente com a cultura da soja na região dos cerrados, como mostram os dados do Tabela 3.

Tabela 3. Produção de grãos de soja para diferentes modos de adubação potássica, em um Latossolo Vermelho-Amarelo arenoso da região de Barreiras-BA.

Doses de potássio	Modo de aplicação	Produção de grãos
kg K_2O/ha		kg/ha
0		2252
60	sulco de plantio	2618
60	lanço antes do plantio	2881
60	sulco (1/2 plantio + 1/2 cobertura) (1)	2979

(1) Cobertura realizada 30 dias após a emergência
FONTE: Oliveira (1985), citado por SOUSA (1989).

c) Adubação potássica corretiva. Embora uma maneira eficiente de se fazer a adubação potássica, para culturas anuais e bianuais plantadas em linha, seja a distribuição do fertilizante em sulcos, ao lado e abaixo das sementes, em algumas situações é também recomendada uma adubação potássica corretiva.

Este é o caso, bastante comum, quando da incorporação de solos extremamente pobres, como os sob cerrado, ao processo produtivo e, principalmente, quando o agricultor for fazer na gleba uma adubação fosfatada corretiva, conforme mencionado anteriormente. As doses recomendadas neste caso são para atingir 2 a 5% da CTC a pH 7,0 saturadas por potássio, sendo a distribuição do fertilizante a lanço, seguindo-se de incorporação com gradagem (mais ou menos 10 cm) (LOPES, 1984).

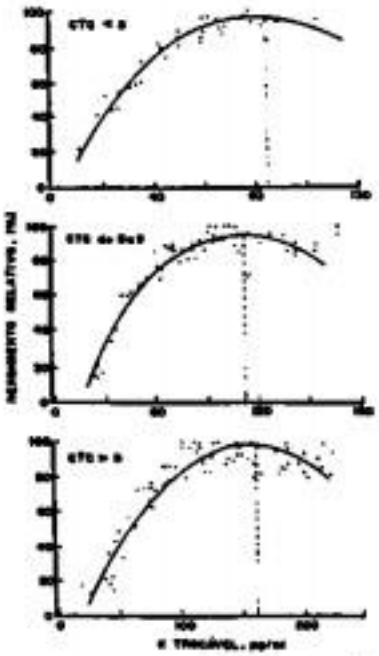


Figura 10. Relação entre o teor de potássio trocável (NH_4OAc) e o rendimento relativo de matéria seca de trigo, em solos com diferentes capacidades de troca de cátions (CTC). FONTE: Adaptado de Silva & Meurer (1988).

À semelhança do que foi comentado para o fósforo, também no caso da adubação potássica corretiva, variações ao conceito clássico, através de uma correção gradual, têm sido sugeridas para os solos sob cerrado (Sousa, 1989). Também neste caso, maiores detalhes podem ser encontrados no Boletim Técnico nº 5 da ANDA: Solos sob Cerrado: Manejo da Fertilidade para a Produção Agropecuária (LOPES & GUILHERME, 1992a).

d) Manejo dos restos culturais. Diferentemente do nitrogênio e do fósforo, a maior parte do potássio absorvido encontra-se nas folhas, talos e ramos. Este aspecto é relevante, pois o manejo adequado dos restos culturais irá devolver grande parte do potássio utilizado pelas plantas, contribuindo para um maior equilíbrio na dinâmica deste nutriente no solo.

e) Equilíbrio nitrogênio - potássio. Embora o princípio da adubação equilibrada e balanceada seja válido para todas as situações de solos, climas e culturas, a interação nitrogênio-potássio merece lugar de destaque.

Como o potássio promove a absorção e utilização do nitrogênio, a adubação nitrogenada somente terá máxima eficiência se as

plantas também forem supridas com quantidades adequadas de potássio. Este aspecto assume relevância ainda maior em sistemas de agricultura intensiva sob irrigação, em que, muitas vezes, pequenas doses de fertilizantes potássicos podem levar ao baixo aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados, baixas produções e menores lucros por parte do agricultor. Um exemplo da interação nitrogênio-potássio é mostrado na Figura 11.

2.4. Enxofre

Apesar de não se dispor, no Brasil, de informações suficientes para recomendações de doses de enxofre, com base na análise de solos, aceita-se que aplicações anuais, variando de 10 a 40 kg desse nutriente por hectare, sejam suficiente para prevenir deficiências (VITTI, 1986).

Estas necessidades são, em geral, supridas via fornecimento de fertilizantes carreadores de macronutrientes primários e também portadores de enxofre (sulfato de amônio - 24% de S; superfosfato simples - 12% de S), ou fórmulas fabricadas com esses fertilizantes simples ou enriquecidas com enxofre elementar (100% de S) ou gesso agrícola (18% de S).

Para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes contendo enxofre na agricultura brasileira, deve-se levar em conta os aspectos a seguir.

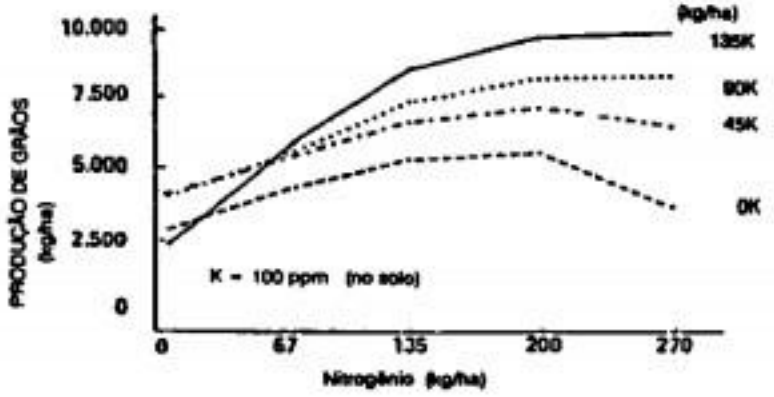


Figura 11 Efeito da fertilização potássica na resposta do milho ao nitrogênio.
Fonte: Usherwood (1968), citado por Usherwood (1982).

a) Análise de solos. Embora a grande maioria dos trabalhos de calibração envolvendo métodos de extração de enxofre tenham sido desenvolvidos em casa de vegetação, um nível crítico em torno de 10 ppm de $S\text{-}SO_4^{2-}$, extraído com $Ca(H_2PO_4)_2.2H_2O$ - 500 ppm de P, parece ser uma aproximação razoável (KLIEMANN, 1987).

O que é relevante em relação à análise de solos é que a avaliação deste parâmetro não deve se restringir apenas à camada superficial (0 a 20 cm). Face à movimentação do enxofre para as camadas sub-superficiais, as camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm também devem ser amostradas e submetidas a determinações de $S\text{-}SO_4^{2-}$.

b) Textura e matéria orgânica. Solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica são os mais prováveis de apresentar deficiências de enxofre. Esta predisposição é ainda mais acentuada em áreas sujeitas a queimadas anuais, como a região dos cerrados brasileiros com pastagens nativas.

c) Necessidades das culturas. Embora haja variação considerável da necessidade de enxofre entre as várias culturas, as leguminosas produtoras de grãos alimentícios (feijão, soja, ervilhas), as plantas produtoras de sementes oleaginosas e as crucíferas são as mais exigentes.

d) Teor de enxofre na água de irrigação. Em certas condições de agricultura intensiva sob irrigação, a contribuição do teor de enxofre na água pode atingir níveis elevados. O conhecimento desse teor e a possível contribuição para manter níveis adequados no solo devem ser levados em consideração.

e) Relação nitrogênio: enxofre. A existência de uma relação nitrogêni:enxofre aproximadamente rígida nas proteínas leva à necessidade de um adequado balanço na nutrição das plantas quanto a estes elementos. Níveis adequados de adubação nitrogenada, sob baixos teores de enxofre no solo, podem levar à acumulação de formas não protéicas de nitrogênio, resultando em uma ineficiente utilização dos fertilizantes nitrogenados e baixa qualidade dos produtos. Os dados apresentados na Figura 12 mostram que, para a cultura do milho, a não aplicação, ou mesmo a aplicação insuficiente de enxofre no solo, resultou no maior acúmulo de formas solúveis de nitrogênio (não-protéicas), em detrimento das formas insolúveis (protéicas). Pode-se observar inclusive uma tendência de estabilização da relação nitrogênio: enxofre na planta, acompanhada de uma estabilização das frações de N-insolúvel, a partir da dose de 10 mg S/dm³ de solo.

2.5. Cálcio e magnésio

A nutrição com cálcio e magnésio não se constitui, geralmente em grande preocupação nos programas de adubação, tendo em vista

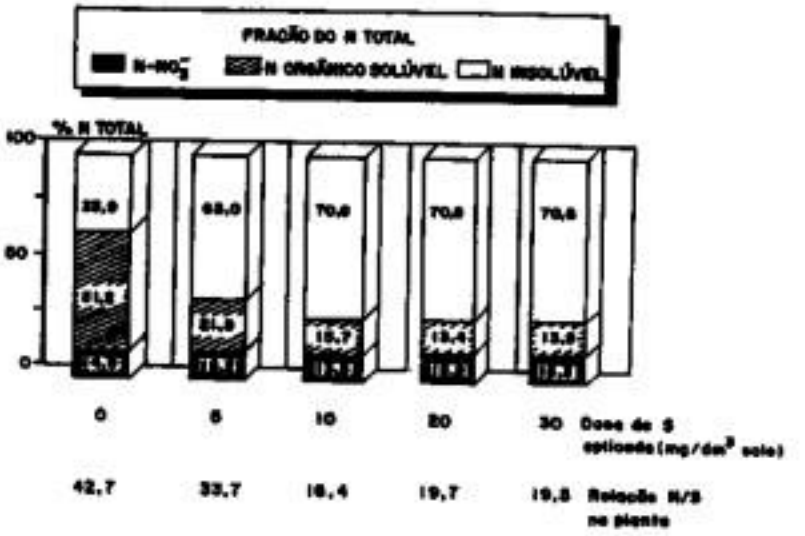


Figura 12. Frações do N total e relação N/S em planta de milho sob diferentes doses de enxofre adicionadas ao solo. FONTE: VALE et al. (1992).

que a prática da calagem ainda é a maneira mais usual de fornecimento destes nutrientes às plantas. Neste contexto, informações detalhadas acerca das doses de calcário a serem recomendadas através dos diversos métodos em uso no Brasil podem ser obtidas no Boletim Técnico nº 1 da ANDA: Acidez do Solo e Calagem (LOPES et al., 1991). Para esclarecimentos adicionais quanto a conceitos relativos ao uso eficiente de corretivos da acidez, não abordados neste trabalho, sugere-se a leitura do Boletim Técnico nº 6 da ANDA: Corretivos da Acidez dos Solos - Caracteristicas e Interpretações Técnicas (ALCARDE, 1992).

Alguns pontos a serem considerados no uso eficiente da prática da calagem como fonte de cálcio e magnésio são descritos a seguir.

a) **Relação cálcio : magnésio.** O conhecimento dos teores de cálcio e magnésio de um calcário, aliado ao conhecimento destes teores no solo, é de grande importância para um fornecimento balanceado e eficiente destes nutrientes às plantas. Embora sejam níveis bastante gerais, as recomendações para o balanço cálcio : magnésio situam-se em torno de 60 a 70% da CTC, a pH 7,0, saturada por cálcio e 10 a 20% saturada por magnésio (LOPES & GUIDOLIN,

1989). Um exemplo da importância da existência deste balanço na cultura do milho está demonstrado no Quadro 4. Vale ressaltar, neste tópico, que para algumas culturas, entretanto, pode haver uma maior flexibilidade quanto a este balanço. como exemplo, cita-se a cultura da soja, para a qual relações cálcio : magnésio no solo têm sido recomendadas como situando-se desde 1:1 a 10:1 (SOUSA, 1989) até 1:1 a 20:1 (LOPES & GUIMARAES, 1989)

Quadro 4. Resultados de matéria seca de raizes e parte aérea do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro e um Latossolo Vermelho-Amarelo, para diferentes situações de balanço Ca : Mg.

Solo	Ca : Mg		Saturação de Cálcio	Matéria seca (g/vaso)	
	Adicionado	No solo		Raizes	Parte aérea
			%	------ g/vaso ------	
	75:25	2,86	62,6	19,0266 a	12,9025 a
	50:50	0,99	43,2	14,9124 b	11,6192 b
LE	100:0	14,80	79,2	14,6575 b	10,1916 b
	0:100	0,05	4,5	4,0625 c	2,6349 c
	75:25	3,14	70,1	17,2717 a	12,1725 a
LV	50:50	1,06	48,3	14,9325 b	10,9625 b
	100:0	9,20	83,3	13,5692 c	9,4017 c
	0:100	0,06	5,8	4,1475 d	2,3508 d

FONTE: SILVA (1980).

b) Granulometria. O fornecimento eficiente de cálcio e magnésio às plantas, via calagem, está relacionado não somente ao teor destes nutrientes no calcário mas também à granulometria do produto em si.

De uma maneira geral, quanto mais fina for a granulometria do calcário, mais rápidos serão efeitos quanto à correção da acidez, ao fornecimento de cálcio e magnésio, e às respostas das culturas em produção, principalmente nos primeiros cultivos após a aplicação. Trabalho conduzido por SOUZA & NEPTUNE (1979) com as culturas da mamoneira, milho e soja. consubstanciam estas argumentações.

Vale ressaltar, entretanto, que em situações onde se deseja um maior efeito residual do calcário, como no caso de formação de

áreas com culturas perenes e pastagens, a utilização de corretivos com granulometria mais grosseira, dentro de certos limites, pode ser recomendável, conforme evidencia ALCARDE (1992).

c) Aplicação em linha. Embora não substitua a técnica de distribuição a lanço com incorporação, quanto ao efeito de correção da acidez, conforme evidenciam CARVALHO & MEURER (1980), a aplicação de calcário na linha de semeadura merece ser considerada quando do fornecimento de cálcio e magnésio na nutrição das culturas, principalmente em relação a este último nutriente.

Em regiões onde a disponibilidade de calcários magnesianos ou dolomíticos é pequena, a utilização calcítico a lanço, com posterior adição de fontes de magnésio no sulco de plantio, é prática que já esta sendo adotada por um grande número de agricultores. Neste contexto, SOUSA (1989) menciona que, para solos sob cerrado pobres em magnésio, a aplicação de 300 a 500 kg/ha de calcário magnesiano ou dolomítico, no sulco de plantio, pode ser usada como técnica para suprir as necessidades deste nutriente para a cultura da soja.

Além da calagem, também a gessagem constitui-se em importante prática de fornecimento de cálcio às plantas, principalmente àquelas crescendo em regiões de sub-solos ácidos. O uso eficiente do gesso agrícola, nestas condições, requer uma correta diagnose baseada em critérios químicos que levem à recomendações seguras das doses a serem aplicadas.

Trabalhos recentes têm sugerido a camada de 30 a 50 cm como a recomendada para a amostragem visando a determinação da dose de gesso agrícola (RAIJ 1992; SOUSA et al., 1992). Os critérios, nesses casos, se aproximam bastante daquelas sugeridos por Lopes (1986): teores de Ca $\leq$ 0,3 meq/100 ml e/ou de Al $\geq$ 0,5 meq/100 ml e/ou saturação por Al $\geq$ 30%.

Quanto às dosagens, levando-se em consideração trabalho recente desenvolvido por SOUSA et al. (1992) e dada à facilidade da determinação do teor de argila em análises de solo, sugere-se, para os solos sob cerrado, com algumas adaptações ao trabalho original visando a facilidade de cálculo, o uso da seguinte expressão:

Necessidade de gesso (kg/ha) = 40 x % de argila.

Esta expressão seria válida para culturas anuais, considerando-se a camada de 20 a 60 cm como suficiente para uma boa atividade do sistema radicular. Para culturas perenes a camada considerada seria de 20 a 80 cm, sendo a dose acima multiplada por 1,5.

Estas doses sugeridas equivalem aproximadamente à metade daquelas propostas por RAIJ (1992), as quais, entretanto, não são referidas como sendo específicas para solos sob cerrado.

Independentemente disso, conforme ressaltam LOPES & GUILHERME (1992a), o ponto relevante a ser considerado quanto à avaliação da melhor dose a ser utilizada é o monitoramento das análises de solo em profundidade, para que se possa avaliar a redistribuição de cálcio no perfil do solo.

Cabe ressaltar ainda, com relação à nutrição com cálcio e magnésio, a consideração dos teores destes nutrientes contidos nos fertilizantes portadores de macronutrientes primários ou mesmo em outros produtos não específicos. O conhecimento destes teores é fundamental para uma avaliação correta das doses a serem complementadas por produtos específicos.

2.6. Micronutrientes

O uso eficiente de fertilizantes contendo micronutrientes ocupa, atualmente, lugar de destaque na agricultura brasileira, notadamente nas áreas de expansão da fronteira agrícola como nos cerrados. Entretanto, a eficiência destes fertilizantes somente pode ser atingida se os seguintes aspectos forem levados em consideração.

a) Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes. Embora o conhecimento dos fatores que afetam a disponibilidade de nutrientes seja um dos instrumentos de diagnose mais importantes para o uso eficiente dos fertilizantes, esse aspecto assume ainda maior relevância para os micronutrientes.

Solos arenosos e/ou argilosos, mas com argilas de baixa atividade, baixos teores de matéria orgânica e baixa CTC, são mais propensos a apresentar problemas de deficiência de micronutrientes, principalmente zinco, cobre e boro. Quanto mais elevado for o valor do pH, menor a disponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês.

Detalhes dos fatores que afetam a disponibilidade de cada nutriente são apresentados em vários trabalhos (LOPES, 1984; LOPES & CARVALHO, 1988).

b) Filosofias de aplicação. Existem, basicamente, duas filosofias de aplicação de micronutrientes (MORTVEDT, 1985):

b1) Filosofia de seguro - é aquela pela qual deve-se adicionar pequenas quantidades de mais de um, e, algumas vezes, todos os micronutrientes ao solo. Este método pode ser considerado como um programa de manutenção e não considera as necessidades específicas das culturas e a disponibilidade de micronutrientes, podendo representar, portanto, gastos não necessários.

Uma modificação da filosofia de seguro vem sendo adotada nas áreas de cerrado no Estado de Goiás, através do uso de uma adubação corretiva a lanço, com uma aplicação, por hectare, de 6

kg de zinco, 1 kg de boro, 1 kg de cobre e 0,25 kg de molibdênio a cada quatro ou cinco anos (CFSG, 1988).

b2) Filosofia de prescrição - utiliza resultados de análise foliar e de solo para avaliar a disponibilidade de micronutrientes e recomenda que somente aqueles necessários sejam aplicados, nas doses adequadas para atingir niveis especificos de produtividade das culturas.

De uma maneira geral, a filosofia de prescrição deve ser adotada nas adubações com micronutrientes para todas as culturas. Os retornos econômicos por unidade de área são geralmente muito elevados para algumas culturas, mas podem ser baixos para outras. Consequentmente, os custos devem ser minimizados, procurando-se, entretanto, buscar sempre a Produtividade Máxima Econômica (PME). Neste contexto, a consideração do efeito residual é de grande importância na avaliação de doses mais econômicas, conforme evidenciam alguns trabalhos (SILVA & ANDRADE, 1983; SILVA et al., 1986).

Para implantação da filosofia de prescrição em uma região, torna-se necessário um amplo programa de calibração de análise de solo e análise foliar envolvendo avaliação de niveis criticos para micronutrientes. Sugestões de niveis criticos para interpretação de análise de micronutrientes, nos solos sob cerrado, situam-se em torno de: zinco = 1 ppm; cobre = 0,8 ppm; manganês (a pH 6,0) pelo extrator HCl 0,05 + H_2SO_4 0,025 N = 5 ppm; e, boro extraido com água quente = 0,5 ppm (CFSG, 1988; LOPES & GUILHERME, 1989; SOUSA, 1989). Com relação aos niveis criticos para interpretação da análise foliar em diversas culturas, algumas sugestões podem ser encontradas em MALAVOLTA (1980), TRANI et al. (1983), CFSG (1988); LOPES & CARVALHO (1988); LOPES & GUIMARAES (1989).

c) Fontes de micronutrientes. Segundo VOLKWEISS (1988), sais, ácidos e óxidos inorgânicos simples, naturais ou artificiais, silicatos complexos (fritas) contendo um ou vários micronutrientes e quelatos naturais ou artificiais são usados como fontes de micronutrientes, isoladamente ou incorporados em adubos com micronutrientes. Adubos orgânicos como estercos, tortas, compostos, etc, apesar de apresentarem baixa concentração em micronutrientes, quando utilizados em altas quantidades, 10 ou mais toneladas por hectare, são fontes importantes de micronutrientes (STEVENSON & ARDAKANI, 1972).

A eficiência agronômica dessas fontes de micronutrientes é extremamente dependente de uma série de fatores e suas interações, tornando-se dificil determinar, num aspecto amplo, qual a melhor.

Entretanto, alguns principios básicos sobre eficiência dessas fontes são mencionadas a seguir.

c1 Sob condições de alto indice pluviométrico, solos com textura arenosa e baixa CTC, as fontes não solúveis em água

(óxidos inorgânicos simples, silicatos complexos-fritas e outros) podem levar a uma maior eficiência da adubação. Os dados da Tabela 5, adaptados do trabalho de WINDSOR (1950), ilustram este aspecto.

Tabela 5. Efeitos de fontes de B, com diferentes graus de solubilidade em água, na produção de Anileira spp. (kg/parcela), em um solo arenoso da Flórida.

Fonte de B	Solubilidade	0	1,25	2,50	5,00
		2,84			
Borax	alta		2,86	1,84	0,64
Colemanita	moderada		2,72	1,84	2,14
Borosilicato[1]	baixa		2,91	3,55	2,36

[1] Doses aplicadas de 2,25; 4,5 e 9,0 kg de B/ha, respectivamente
FONTE: WINDSOR (1950).

c2) A eficiência agronômica da fonte depende da dose aplicada. Doses de zinco de 0; 0,11; 0,33 kg/ha resultaram em diferentes graus de eficiência das fontes ZnEDTA, $ZnSO_4$ e ZnO para a cultura de milho (HERGERT et al., 1977). A ordem de eficiência observada na menor dose foi ZnEDTA > $ZnSO_4$ > ZnO; em contraste, as produções na dose maior foram menores com ZnEDTA do que com $ZnSO_4$ e ZnO, porque a nutrição da planta com ferro foi afetada.

c3) Fontes não solúveis em água (óxidos inorgânicos simples, silicatos complexos - fritas e outros) são mais eficientes, sob aspectos agronômicos, quando utilizadas na forma de pó.

d) Métodos de aplicação. O principal problema prático de aplicação de micronutrientes no solo reside na dificuldade de distribuição uniforme, devido às pequenas quantidades empregadas. Neste contexto, cabem alguns comentários práticos pertinentes a alguns métodos de aplicação:

d1) Aplicação direta ao solo. Este tipo de adubação pode ser feita a lanço, antes das práticas de preparo do solo, ou em sulcos por ocasião do plantio.

A aplicação a lanço, com incorporação, permite que uma maior proporção do solo, na zona de proliferação de raízes, seja afetada pelos fertilizantes; mas isso resulta em uma maior reação com as partículas do solo, o que pode diminuir sua eficiência agronômica (MORTVEDT, 1985). Este tipo de aplicação, sem posterior incorporação, geralmente é menos eficiente, porque os

micronutrientes metálicos (zinco, cobre, ferro, manganês) não se movimentam muito para a zona de proliferação das raízes.

Ainda segundo MORTVEDT (1985), a aplicação em sulco por ocasião do plantio é, geralmente, mais eficiente para os fertilizantes contendo manganês e ferro, uma vez que mesmo as formas solúveis em água destes micronutrientes oxidam-se rapidamente com as aplicações a lanço, com acentuada redução na eficiência agronômica.

d2) Tratamento de sementes e imersão de raízes. O tratamento de sementes é, possivelmente, o método mais usado para a aplicação de molibdênio, cujas pequenas quantidades exigidas pelas plantas podem ser facilmente distribuídas de modo uniforme, via revestimento de sementes. De modo semelhante, o cobalto, necessári à fixação simbiótica de nitrogênio em leguminosas, também pode ser aplicado dessa forma.

A imersão de mudas de arroz em suspensão de óxido de zinco a 1% é uma forma barata e eficiente de fornecer zinco a esta cultura, em sistema de irrigação por inundação, como mostram os dados do Tabela 6. Esta prática é comum, na rizicultura sob inundação, na Ásia.

Tabela 6. Efeito de fontes e métodos de aplicação de zinco na cultura de arroz, no Paquistão.

Fonte de Zn	Dose de Zn	Método de aplicação	Produção[1]
	(kg/ha)		(t/ha)
-	-	-	4,32 a
$ZnSO_4$	10	Pré-plantio	5,98 bcd
$ZnSO_4$	100	Pré-plantio	6,52 cd
$ZnSO_4$	10	A lanço após-preparo	6,01 bcd
$ZnSO_4$	100	A lanço após-preparo	6,92 d
$ZnSO_4$	10	A lanço após-1º* sintomas	5,69 bcd
$ZnSO_4$	100	A lanço após-1º* sintomas	6,17 bcd
ZnO	0,1 (2)	Imersão das mudas em suspensão de ZnO a 1%	5,86 bcd

(1) Valores seguidos da mesma letra não são significantemente diferentes ao nível de 95% de probabilidade.
(2) dose aproximada de Zn.
FONTE: YOSHIDA et alii, (1970).

d3) Adubação foliar. Soluções contendo um ou mais nutrientes são amplamente utilizadas para fornecer micronutrientes às plantas, forma de aplicação que pode ser vantajosa em algumas situações. Segundo Mortvedt 91985) as vantagens são as seguintes:

1) as doses aplicadas são muito menores que as fornecidas via solo; 2) a distribuição uniforme é fácil de ser obtida; 3) a resposta ao nutriente aplicado é mais imediata, e, consequentemente, as deficiências podem ser corrigidas no mesmo ciclo da cultura; 4) a suspeita de deficiência pode ser facilmente diagnosticada com uso desta técnica. O mesmo autor, entretanto enumera as seguintes desvantagens: 1) a demanda de nutriente é geralmente alta quando as plantas são pequenas e a superfície (área) foliar é insuficiente para a absorção foliar; 2) quando a concentração salina é elevada pode ocorrer queima das folhas; 3) pode ser muito tarde para corrigir a deficiência e ainda obter produção elevada; 4) o efeito residual é pequeno; 5) muitas vezes são necessárias várias aplicações, o que representa custos extras.

Uma das conclusões do 2º Simpósio Brasileiro de Adubação Foliar, realizado na UNESP-Botucatu, SP, é que a aplicação foliar de micronutrientes é um recurso efetivo e econômico no controle de deficiências em citrus, café e frutíferas, podendo ser recomendada em programa de adubação, desde que haja controle das necessidades das plantas e sejam utilizados produtos específicos (ANDA, 1987).

Maior eficiência da adubação foliar pode ser obtida levando-se em conta os seguintes aspectos: 1) a presença de uréia nas soluções, cria condições para a "difusão facilitada", e maior absorção; 2) uso de surfactantes que promovem maior grau de aderência da solução nas folhas; 3) efetuar as pulverizações no período da manhã ou final da tarde; 4) quando em combinação com pesticidas, utilizar micronutrientes na forma de quelatos; 5) quando possível, utilizar pesticidas que contenham micronutrientes; 6) não misturar, dado o alto grau de incompatibilidade, sais de zinco com óleos minerais e nem sais de cobre com sulfato de magnésio, ácido bórico ou boratos; 7) para soluções com alta concentração, ajustar o pH entre 5,5 e 6,5.

d4) Aplicação com fertilizante NPK. A aplicação de micronutrientes, em combinação com fertilizantes contendo NPK, é bastante conveniente, pois permite uma distribuição mais uniforme com o uso de equipamentos convencionais.

As opções ideais neste caso seriam a incorporação dos fertilizantes contendo micronutrientes nas misturas granuladas durante o processo de fabricação ou o revestimento das misturas de grânulos ou misturas granuladas com o(s) micronutriente(s) na forma de pó. ELLIS et al. (1965) não encontraram diferenças significativas na produção e concentração de zinco em ervilha, em decorrência da utilização de $ZnSO_4$ ou ZnO incorporados ou em revestimento de grânulos. Embora existam ainda poucas informações nesta área em nosso país, trabalho realizado por KORNDORFER et al. (1987) evidenciou uma maior eficiência na cultura do milho, para a técnica de incorporação, quando comparada ao revestimento dos grânulos do adubo com diferentes fontes de Zn. Em síntese, o ideal

é que cada grânulo de fertilizante carreie também o micronutriente.

Uma outra opção, porém menos eficiente, é a granulação do fertilizante contendo micronutriente e a mistura subsequente com misturas de grânulos ou misturas granuladas. com esta opção, dois aspectos devem ser levados em consideração: 1) o fertilizante contendo micronutriente(s) granulado(s) deve ter pelo menos 1/3 na forma solúvel em água; 2) o grânulo do fertilizante contendo micronutriente(s) deve ser de tamanho e forma semelhantes aos outros grânulos para evitar segregação.

A aplicação de fontes de micronutrientes na forma granulada, reduz o número de pontos de aplicação no solo. Por exemplo, o número de pontos quando da aplicação de 1 kg de zinco por hectare, na forma granulada é $20/m^2$. Em contraste, se o $ZnSO_4$ for incorporado a misturas granuladas ou revestindo misturas granuladas ou mistura de grânulos, para conter 2% de zinco, o número de pontos atingidos com a aplicação dos mesmos 1 kg de zinco por hectare é de $350/m^2$ (MORTVEDT, 1985).

e) Interações com micronutrientes. O uso eficiente de fertilizantes contendo micronutrientes depende, também, das interações que ocorrem com alguns macronutrientes. Tais interações podem ocorrer no solo ou dentro da planta e elas precisam ser entendidas e consideradas para se obter um adequado suprimento de micronutrientes para as plantas.

O leitor deve consultar o Capitulo 11: Micronutrient Interactions, do livro Micronutrients in Agriculture, para conhecimento detalhado das mesmas. Um resumo dessas interações detalhadas por OLSEN (1972), é apresentado a seguir: a) doses excessivas de fertilizantes fosfatados diminuem a disponibilidade de zinco, ferro e cobre para as plantas; b) da mesma forma doses acentuadas de fertilizantes nitrogenados e contendo enxofre diminuem a eficiência agronômica do zinco e molibdênio, respectivamente; c) o fósforo aumenta a eficiência do molibdênio, e o magnésio a do zinco; d) excesso de zinco, cobre e molibdênio pode causar deficiência de ferro; e) excesso de ferro, manganês e alumínio reduz a disponibilidade de cobre para as plantas; f) ferro e manganês são interrelacionados em suas funções metabólicas: a eficiência de um é determinada pela presença do outro; g) molibdênio afeta o metabolismo do cobre e vice-versa.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conceito de uso eficiente de fertilizantes e corretivos na agricultura brasileira nos dias atuais passa, necessariamente, pela verticalização da produção e envolve uma avaliação criteriosa dos retornos econômicos sobre os investimentos.

A tendência natural do agricultor em situações de dificuldade de crédito para custeio, desfavorável relação de troca entre custos de insumos e preços de venda dos produtos agrícolas, é, como primeira medida, reduzir os gastos com esses insumos, notadamente com fertilizantes e corretivos agrícolas.

A alternativa mais razoável em situações como a que ocorre hoje na agricultura brasileira é exatamente aquela que passa pela verticalização da produção, ou seja, aumentar a produtividade e reduzir os custos fixos, almejando sempre atingir a Produtividade Máxima Econômica (PME). Com isso, além de aumentar o seu lucro por unidade de área, o agricultor estará contribuindo para a preservação de novas áreas que necessitariam ser abertas caso se optasse por aumento de produção via aumento da área plantada. Este aspecto é discutido em detalhes no trabalho: Preservação Ambiental e Produção de Alimentos (LOPES & GUILHERME, 1991).

O exemplo mostrado a seguir (Tabela 7), extraído de Goedert & Sousa (1984), ajuda a ilustrar esse aspecto: "A situação é de um empreendimento agrícola em que o capital é limitado, ou seja, só existem recursos disponíveis para adquirir 12 toneladas de P_2O_5 solúvel. São apresentadas quatro alternativas ou combinações de áreas cultivadas com níveis de aplicação de fosfato, ou seja, este fertilizante pode ser distribuído em 100, 150, 200 ou 300 ha.

Através da alternativa "A", pode-se obter a maior produção global da empresa; contudo, os custos fixos serão muito elevados, já que é necessário preparar a terra, semear e cultivar uma área maior. Desse modo a receita líquida é insignificante e o empreendimento deficitário. Ademais, esta alternativa representa um desperdício dos fatores mão-de-obra, terra e insumos (semente, adubos, defensivos, combustíveis, etc).

Por outro lado, a alternativa "D" procura uma utilização ideal dos fatores de produção, obtendo-se uma boa renda líquida, em termos de produção e produtividade (relação produção/custo). Em adição, essa alternativa representa o uso mais eficiente do recurso fósforo, obtendo-se uma receita líquida de 8,5 kg de grãos de soja para cada kg de P_2O_5 incorporado ao solo.

As alternativas "B" e "C" representam situações intermediárias e talvez mais próximos da realidade atual das lavouras situadas em solos de baixa fertilidade natural. Mostram um uso eficiente do fósforo em relação a alternativa "A", mas constituem um uso ainda inadequado desse recurso, quando comparadas com sistemas mais recionais de manejo agrícola.

Os princípios ilustrados na Tabela 7, embora enfoquem o uso eficiente de fertilizantes fosfatados na cultura da soja, na região dos cerrados, podem ser extrapolados para outras situações de uso eficiente de fertilizantes e corretivos em outras culturas ou regiões.

Quadro 7. Produção potencial de quatro lavouras de soja implantadas em solo de alta resposta à adubação fosfatada, utilizando a mesma quantidade total de fertilizantes fosfatados.

Alternativa	Área (ha)	Adubação P ($kg\ P_2O_5$/ha)	Rendimento Potencial (t grãos/ha)	Produção empresa (t grãos)	Custos (1) (t grãos) Fixos	Fosfato	Total	Receita líquida da empresa (t grãos)	Prod./custos	Prod. liq. por Unid. P_2O_5
A	300	40	0,9	270	210	48	258	12	1,04	1,0
B	200	60	1,3	260	140	48	188	72	1,38	6,0
C	150	80	1,6	240	105	48	153	87	1,57	7,3
D	100	120	2,2	220	70	48	118	102	1,87	8,5

(1) Baseado em custos fixos (custo total - custo fertilizante fosfatado) de 700 kg grãos/ha e na condição de que são necessários 4 kg de soja para pagar 1 kg P_2O_5.
FONTE: Adaptado de GOEDERT & SOUSA (1984).

A adoção desta filosofia de manejo, aliada ao conhecimento e aplicação dos aspectos básicos que contribuem para o uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas discutidos neste trabalho, é o caminho para aumentar a probabilidade de sucesso daqueles que militam no processo produtivo da agricultura brasileira.

BIBLIOGRAFIA CITADA

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos:** características e interpretações técnicas. São Paulo, ANDA, 1992. 26p. (Boletim Técnico, 6).

ANDA-Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. 2º. Simpósio brasileiro de adubação foliar. **Solos & Adubos**, São Paulo, **XX**(145):9, 1987.

BARRETO, A.C. **Efeito da acidulação parcial de misturas com superfosfato triplo e enxofre e da granulação na eficiência de fosfatos naturais.** Porto Alegre, UFRGS, 1977. 63p. Tese de Mestrado.

CARVALHO, T.A.A. & MEURER, E.J. Aplicação de calcário a lanço e em linhas para o cultivo da soja. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 4:170-73, 1980.

CFSG - COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DE GOIÁS. **Recomendação de corretivos e fertilizantes para Goiás.** Convênio Informativo Técnico, 1. 5ª Aproximação. Goiânia, GO, EFG/EMGOPA. 1988. 101P.

ELLIS, B.G.; DAVIS, J.F. & JUDY, W.H. Effect of methods of incorporation of zinc in fertilizer on zinc uptake and yield of pea beans. Soil. Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 29:635-36, 1965.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de pesquisa agropecuária dos cerrados. Planaltina - DF. Rel. Técn. Anu. Cerrados. Planaltina, 1976. 154p.

GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.M.G. de. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: ESPINOZA, W. & OLIVEIRA, A.J. de. ed. Anais do Simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira. Brasília, EMBRAPA - DEP, 1984. p.255-89.

HERGERT, G.W.; WIESE, R.A. & REHM, G.W. Effectiveness of band-applied zinc sources. Fert. Solns, 21:66-74, 1977.

KLIEMANN, J.J. Contribuição ao estudo da disponibilidade de enxofre a solos brasileiros. Piracicaba, ESALQ, 1987. 231 p. Tese (Doutorado).

KORNDORFER, G.H.; KIMORI, I.E. & TELLECHEA, M.C.R. Efeito de técnicas de adição do zinco a fertilizantes granulados na produção de matéria seca do milho. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 11: 320-32, 1987.

LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da Região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A.J. et al. ed. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA - DID, 1982. p.201-40.

LOPES, A.S. Calagem e gesso agrícola. Encontro técnico sobre gesso agrícola. Belo Horizonte, 1986. 58p.

LOPES, A.S. Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo. 2 ed. Piracicaba, Assoc. Bras. para Pesq. da Potassa e do Fosfato, 1984. 162p.

LOPES, A.S. & CARVALHO, J.G. de. Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiência e excessos. In: BORKERT, C.M. & LANTMANN, A.F. ed. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, EMBRAPA, CNPSo/IAPAR/SBCS, 1988. p. 133-78.

LOPES, A.S. & GUIDOLON, J.A. Interpretação de análise do solo: conceitos e aplicações. 2 ed. São Paulo, ANDA, 1989. 64p. (Boletim Técnico, 2).

LOPES, A.S. & GUILHERME, L.R.G. Plant nutrition problems and management in rain dependent food crop production in cerrado region of Brasil. Palestra apresentada em FAO/FIAC Working Party on the Economics of Fertilizer Use, Roma, Itália, 10 a 15/abril/1989. 29p. (mimeo).

LOPES, A.S. & GUILHERME, L.R.G. Preservação ambiental e produção de alimentos. São Paulo, ANDA, 1991. 16p.

LOPES, A.S. & GUILHERME, L.R.G. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária.** São Paulo, ANDA, 1992a. 60p. (Boletim Técnico, 5).

LOPES, A.S. & GUILHERME, L.R.G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas:** aspectos agronômicos, 2 ed. rev. São Paulo, ANDA, 1992b. 64p. (Boletim Técnico, 4).

LOPES, A.S. & GUIMARÃES, P.T.G. (coord.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais;** 4ª aproximação. Lavras, CFSEMG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1989. 176p.

LOPES, A.S.L; SILVA, M. de C. & GUILHERME, L.R.G. **Acidez do solo e calagem.** 3 ed. rev. São Paulo, ANDA, 1991. 22p. (Boletim Técnico, 1).

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1980, 251p.

MORTVEDT, J.J. Micronutrient fertilizers and fertilization practices. In: VIEK, P.L.G. ed. **Micronutrients in tropical food crop production.** Dordrecht, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, 1985. p.221-35.

NEMETH, K. Métodos de análise de potássio do solo e sua interpretação. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O. & USHERWOOD, N.R. ed. **Potássio na agricultura brasileira.** Piracicaba, Instituto de Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1982. p. 77-94.

OLSEN, S.R. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J.J. et al. ed. **Micronutrients in Agriculture.** Madison, Soil Science Society of America, Inc, 1972. p.243-64.

PEREIRA, P.A.A.; BALDANI, J.I.; BRAÑA, R.A.G. & NEYRA, C.A. **Assimilação e translocação de nitrogênio em relação à produção de grãos e proteínas em milho (*Zea mays* L.) R. bras. Ci. Solo,** Campinas, 5:28-31, 1981.

RAIJ, B. van. Reações de gesso em solos ácidos. In: Seminário sobre o uso do gesso na agricultura, 2, Uberaba, 1992. São Paulo, IBRAFOS, 1992. p.105-19.

RODRIGUES, M.B. & KIEHL, J.C. Volatização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modo de aplicação. **R. bras. Ci. Solo,** Campinas, 10:37-43, 1986.

SAVANT, N.K. & LIVINGSTON, O.W. Urea supergranules: an appropriate urea fertilizer small rice farmers of developing countries. **Fertilizer News,** New Delhi, 33(10):33-37, 1988.

SILVA, A.R. da, ANDRADE, J.M.V. de. **Efeito de micronutrientes no chocamento do trigo de sequeiro e nas culturas de soja e arroz, em Latossolo Vermelho-Amarelo. Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 18:593-601, 1983.

SILVA, A.R. da; ANDRADE, J.M.V. de & PERES, J.R.R. Efeito residual de micronutrientes no teor foliar e na produção de soja no cerrado. **Pesq. agropec. bras,**, Brasília, 21:597-613, 1986.

SILVA, J.B.S. da; LOPES, A.S. & CARVALHO, M.A. de. Sequência de intervalos de calagem e aplicação de Fosfato de Patos para produção de soja em Latossolos sob cerrado. Trabalho apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Curitiba, 17 a 24/julho/1983 (Resumo).

SILVA, J.E. da. Balanço de cálcio e magnésio e desenvolvimento do milho em solos sob cerrado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 15:329-33, 1980.

SILVA, J.R.T. da & MEURER, E.J. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do Rio Grande so Sul em função da capacidade de troca de cátions. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 12:137-42, 1988.

SILVEIRA, A.P.D. da & CARDOSO, E.J.B.N. Efeito do fósforo e da micorriza vesículo arbuscular na simbiose rhizobium-feijoeiro. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 11:31-36, 1987.

SIQUEIRA, J.O. & FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo**: fundamentos e perspectivas. Brasília/Lavras, MEC/ABEAS/ESAL/FAEPE, 1988. 236p.

SOUSA, D.M.G. de. **Calagem e adubação da soja no cerrado**. Porto Alegre, DEAGRO/ADUBOS TREVO S/A, 1989. 17p.

SOUSA, D.M.G. de; REIN, T.A.; LOBATO, E. & RITCHEY, K.D. Sugestões para diagnose e recomendação de gesso em solos de cerrado. In: Seminário sobre o uso de gesso na agricultura, 2, Uberaba, 1992. São Paulo, IBRAFOS, 1992. p.139-58.

SOUSA, E.A. & NEPTUNE, A.M.L. Efeitos da granulometria de calcário dolomítico sobre as propriedades químicas de um latossolo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 3:120-125, 1979.

STEVENSON, F.J. & ARDAKANI, M.S. Organic matter reactions involving micronutrient in soils. In: MORTVEDT, J.J. et al. ed. **Micronutrient in Agriculture**. Madison, Soil Science Society of America, inc, 1972, p.79-114.

TRANI, P.E.; HIROCE, R. & BATAGLIA, O.C. **Análise foliar**: amostragem e interpretação. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 18p.

USHERWOOD, N.R. Interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O. & USHERWOOD, N.R. ed. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.227-47.

VALE, F.R. do; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, R. & PAIVA, P.J.R. **Efeito do enxofre no crescimento e assimilação de nitrogênio em milho**. Ciência e Prática, Lavras, 1992. (no prelo).

VITTI, G.C. O enxofre na agricultura - situação, perspectivas e sugestões. In: SILVA, M. de C. coord. Anais do seminário fósforo, cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes - situação atual e perspectivas na agricultura. São Paulo, MANAH S/A, 1986. p.98-1-100.

VOLKWEISS, S.J. Fontes e métodos de aplicação de micronutrientes. In: FERREIRA, M.E. coord. Simpósio sobre micronutrientes na agricultura. Jaboticabal, FCAV - UNESP/IAC/ANDA/POTAFOS, 1988. p.635-63.

WINDSOR, H.W. Boron sources of moderate solubility as supplements for sandy soils. **Soil Sci.**, **69**:321-332, 1950.

YOSHIDA, S.; McLEAN, G.W.; SHAFI, M. & MUELLER, K.E. Effects of different methods os zinc application on growth and yields of rice in calcareus soil. **West Pakistan, Soil Sci. Plant. Nutr.**, **16**:147-49, 1970.

ALGUMAS REFLEXÕES SOBRE ANÁLISE DE SOLO PARA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO

Bernardo van Raij[1]

1. INTRODUÇÃO

A análise de solo pode parecer algo simples de usar. Basta retirar amostras, enviá-las ao laboratório e esperar os resultados e as recomendações. Tudo isso a um custo irrisório de 8 dólares.

Mas a sua utilização pelos agricultores é, ainda, insuficiente. Mesmo muitos engenheiros-agrônomos ainda não lhe atribuem a devida importância, mesmo estando já demonstrado que a adubação mineral é o mais importante fator de aumento da produtividade agrícola.

O potencial da técnica é pouco conhecido, pouco explorado. Os pesquisadores ainda podem fazer muito para melhorar o seu uso, embora a simples implementação das recomendações regionais já existentes represente um enorme avanço frente ao que se faz na maioria dos casos.

Neste artigo são discutidos seis diferentes tópicos sobre o assunto. São abordagens que visam fazer o leitor refletir sobre a análise de solo para, talvez, descobrir aplicações pouco conhecidas.

2. USO DA ANÁLISE DE SOLO PARA FÓSFORO: BASE CIENTÍFICA E ECONÔMICA

Nenhum nutriente teve o seu comportamento no solo tão bem estudado como o fósforo. Muito se conhece sobre as combinações do elemento com outros no solo, os compostos e minerais formados, a reatividade e a solubilidade dessas substâncias, as diversas técnicas para acessar o fósforo de diferentes maneiras, os múltiplos procedimentos de extração visando elucidar a sua disponibilidade, a adsorção de fosfatos nas superfícies dos minerais do solo, a aplicabilidade de conceitos e modelos, etc.

As pesquisas têm o propósito de aumentar o conhecimento e, assim, aprimorar a nossa capacidade de diagnosticar o grau de suficiência do fósforo no solo, visando melhorar as recomendações de adubação fosfatada.

Com tudo que já se tem sobre fósforo, inclusive um extenso livro de 910 páginas (Khasawneh et al., 1980), o uso prático de toda a pesquisa realizada com fósforo é decepcionante. Em muitos

---

[1] Pesquisador Científico do Instituto Agronômico, Caixa Postal 28, 13020.902 Campinas, SP. Bolsista do CNPq.

laboratórios de análise de solo, inclusive de países desenvolvidos, os métodos utilizados para extrair fósforo são de qualidade agronômica inferior, sendo mantidos em uso por questões de simplificações das rotinas.

Parece uma coisa simples, a decisão por um ou outro método no laboratório. Mas não é. Os resultados de análise de solo servem de base para decisões importantes, que envolvem dinheiro e o próprio desenvolvimento do conhecimento.

Na questão econômica, o que vale não é a economia no laboratório e sim na agricultura. Os engenheiros-agrônomos devem basear suas decisões técnicas, sobre recomendações de adubação, na análise de solo, e a eficiência dessas recomendações é efetada pela qualidade da diagnose feita. Os agricultores são afetados no resultado econômico de seus empreendimentos.

Em trabalhos de pesquisa há uma tendência crescente por abordagens mais abrangentes, em que se procura avaliar o efeito de diferentes fatores na produção de culturas, em geral através de modelos complexos testados em computador. No caso do fósforo, para que o resultado analítico possa ser útil nesses estudos, é importante que ele tenha fundamento científico e a melhor correlação com a resposta biológica a fósforo.

Tabela 1. Valores médios dos coeficientes de determinação (r^2), para diversos métodos de extração de fósforo, comparados em agrupamentos de dados da literatura.

Método 1953-1977	Coeficiente de determinação (r^2) - %			
		1953 a 1989[1]		
		Solos ácidos	Solos alcalinos e neutros	Solos diversos
Resina	71	84	83	69
Olsen	55	47	52	58
Mehlich	49	56	38	41
Bray I	46	55	25	48
Bray II	38	60	43	44
Morgan	32	26	40	32

[1] Há superposição com o período anterior.
FONTE: Raij (1978); Silva (1991).

Uma das maneiras comuns para comparar extratores de P em solos é através de correlações entre as respostas de plantas cultivadas a fósforo e os teores no solo. A resposta das plantas pode ser expressa como P absorvido pelas plantas, teor de P em folhas,

produção relativa, etc. Os melhores métodos são aqueles que apresentam os maiores coeficientes de correlação.

No caso do fósforo existe um método que, sistematicamente, em qualquer tipo de solo, supera os outros métodos. Isso foi demonstrado pela revisão de Raij (1978), atualizada recentemente por Silva (1991) e, conforme está demonstrado na Tabela 1, a resina de troca de ânions supera os demais métodos. O mesmo foi verificado por Sibbesen (1983), revendo 29 trabalhos em que a resina foi testada.

Fixen & Grove (1990) em seu capítulo sobre análise de solos para fósforo, no importante livro **Soil Testing and Plant Analysis**, assim se referem sobre o assunto, na página 161: "Uma ampla faixa em coeficientes de correlação foi encontrada para todos os métodos de análise testados. Quase todos os métodos testados variaram de correlação não-significativas até explicar mais de 90% da variabilidade na disponibilidade de P(r^2). Os métodos com resina parecem ser exceção pois o valor de r mais baixo reportado na literatura foi de 0,69. Isso pode ser uma indicação de que os procedimentos com resina são mais adequados sob uma ampla gama de variação em propriedades de solos que outros métodos".

Os dados referidos por Fixen & Brove são reproduzidos no Tabela 2.

Tabela 2. Amplitude de variação de coeficientes de correlação reportados em diversos estudos dos métodos mais comuns de análise de solo para fósforo.

Método	Coeficiente de correlação	
	Mínimo	Máximo
Bray I	0,13	0,98
Olsen	0,03	0,96
Mehlich I	0,25	0,91
Água e sais	0,03	0,99
Resina	0,69	0,98

FONTE: Fixen & Grove (1990).

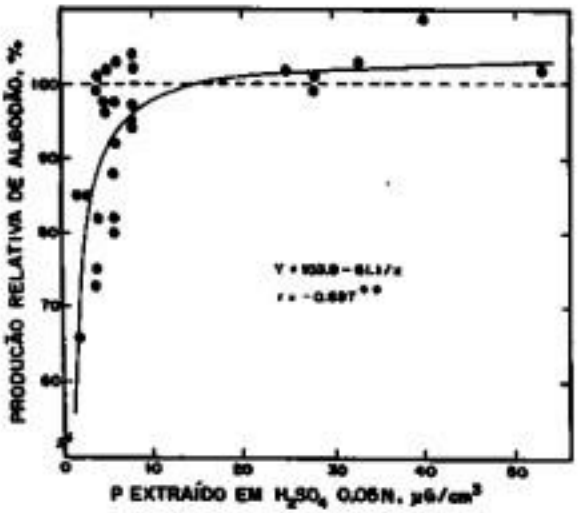


Figura 1. Relação entre as respostas de algodão a fósforo e o teor de P no solo pelo método de ácido sulfúrico.
Fonte: Raij et al. (1986).

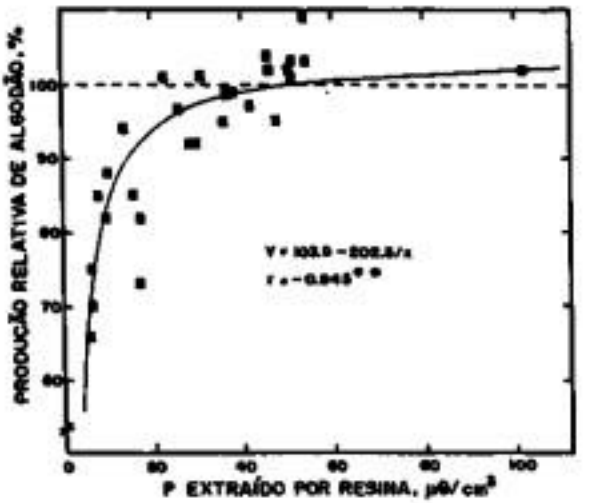


Figura 2. Relação entre as respostas do algodão a fósforo e o teor de P no solo pelo método da resina
Fonte: Raij et al. (1986)

A extração de fósforo de solos com resina é mais complexa do que a realizado com outros métodos. Há necessidade de uma longa extração de resina com solo (16 horas), separação da resina do solo e extração de P da resina. Isso tem inibido o uso rotineiro do método, que só foi viabilizado para uso em larga escala no Brasil (Raij et al., 1986).

Evidentemente, havia razões suficientes para optar pela resina. Mas vamos discutir mais alguns argumentos, com base nas curvas de calibração de fósforo para algodão, apresentadas na Figura 1 para o método do H_2SO_4 0,05 N e na Figura 2 para resina.

A maior parte dos solos são argilosos, da unidade latossolo roxo. Esse tipo de solo apresentava um problema muito sério, que era o de apresentar teores muito baixos de fósforo, mesmo em solos originalmente férteis ou adubados, nos quais não se observava respostas importantes à adubação fosfatada. Isso pode ser percebido na Figura 1, onde fica evidente que, em valores de P em torno de 5 mg dm^{-3}, é praticamente impossível decidir se há ou não resposta a fósforo, já que, com esse teor, ocorrem ou não respostas.

Já com o uso da resina, a curva discrimina melhor e o coeficiente de correlação é mais elevado.

Qual é o resultado prático disso?

Vamos admitir que uma análise de P pela resina custa dois dólares (deve ser menos do que isso).

Considere-se o grupo de pontos, situados em torno de 5 mg dm^{-3} de P e com produção relativa em torno de 100%. Um teor de P desses, pela tabela de interpretação para H_2SO_4 0,05N, apresentado no Tabela 3, significaria teores baixos.

Esses mesmos pontos, com a resina, passam para teores da ordem de 50 mg dm^{-3} de P (Figura 2), o que, pela tabela de interpretação da resina, equivale a teores altos.

A mudança de teor baixo para alto significa, para culturas como milho, soja ou algodão, uma redução na adubação da ordem de 40 kg/ha de P_2O_5 (Raij, 1985), sem perda de produção. Essa quantidade de adubo vale em torno de 20 dólares. Admitindo análise de gleba de 10 ha e que a análise é válida para 3 anos, no caso de culturas anuais, a economia passa a 600 dólares, para um máximo de 2 dólares gastos na análise.

Tabela 3. Tabela de interpretação de fósforo em solos, para H_2SO_4 0,05N e para resina trocadora de íons.

Classe de Teor	Produção relativa	Teor de P no solo pelos métodos	
		H_2SO_4 0,05 N[1]	Resina[2]
	--- % --	-------- mg dm^{-3} de terra ---------	
Muito baixo	0- 70	0- 3	0- 6
Baixo	71- 90	3- 7	7-15
Médio	91-100	7-15	16-40
Alto	100	15-30	41-80
Muito alto	100	>30	>80

[1] Raij (1977); [2] Raij et al. (1985).

3. CALAGEM E FÓSFORO: UM RESULTADO CURIOSO PARA ANÁLISE DE SOLO

Há tempos vínhamos observando, em diversos ensaios de calagem, efeito da correção do solo na elevação dos teores de P nas folhas. Nada inesperado. É o que se espera, já que o aumento do pH libera fósforo ligado a ferro e alumínio. Isso está nos livros de fertilidade do solo.

A dúvida seria o comportamento da análise de solo frente a esse efeito. Foram retiradas amostras das parcelas experimentais e submetidas a quatro processos de extração de P: a) resina, o método oficial de São Paulo; b) Mehlich, o método oficial nos demais estados brasileiros; c) Olsen, o método mais usado no mundo; d) Bray I, método bastante usado e adequado para liberar P ligado a Al.

Os resultados estão sintetizados no Tabela 4. A calagem teve amplo efeito no pH dos solos e proporcionou consideráveis aumentos nas produções das culturas. Os teores de P nas folhas foram, também, aumentados de forma significativa. Deve-se lembrar que não é fácil imprimir aumentos dessa ordem em teores de P nas folhas, mesmo com adubações fosfatadas e, nesse caso, todas as parcelas foram igualmente adubadas. Assim, as diferenças de teores de P podem ser atribuídos ao efeito da calagem em tornar o elemento no solo mais disponível.

Tabela 4. Efeito da calagem no pH de solos, produções, teor de P em folhas e fósforo no solo por diversos processos de extração.

Nível de calagem	pH em $CaCl_2$ 0,01M	Produção	Teor de P nas folhas	P no solo pelo método			
				Mehlich	Bray I	Olsen	Resina
		kg ha^{-1}	%	mg dm^{-3}			
Feijão							
1	3,8d	1080a	0,244b	17a	20a	41a	33b
2	4,2c	1530ab	0,321a	18a	21a	33b	36ab
3	4,7b	1740b	0,325a	18a	23a	26c	38ab
4	5,1a	1720b	0,326a	19a	18a	19d	43a
5	5,2a	1760b	0,325a	20a	19a	21d	43a
Girassol							
1	4,3c	900a	0,279c	12b	24a	17a	22b
2	4,6c	1513b	0,327b	12b	22a	17a	25ab
3	5,3b	2058bc	0,381a	16a	25a	16a	33ab
4	5,5ab	2055c	0,387a	15a	20a	12a	35a
5	5,7a	2490c	0,380a	16a	20a	12a	37a
Soja							
1	4,3e	1274a	0,185c	6a	15a	10a	13c
2	4,8d	2020b	0,206bc	7a	16a	11a	16c
3	5,5c	2308bc	0,244ab	5a	13a	7a	17bc
4	6,1b	2649cd	0,226a	7a	17a	8a	22ab
5	6,4a	2720d	0,255a	7a	15a	8a	27a
Soja							
1	4,5d	1734a	0,235b	9a	20a	18a	16c
2	4,9c	2246b	0,269ab	8a	22a	15ab	19bc
3	6,1b	2483cb	0,288a	8a	20a	13ab	23b
4	6,6a	2622c	0,285a	10a	24a	12b	34a

FONTE: Raij & Quaggio (1990).

E os métodos de solo para fósforo, o que eles permitem concluir?

Os métodos Mehlich e Bray I indicam que não houve efeito da calagem nos teores de P no solo. Já o método Olsen surpreende e indica que a "disponibilidade" de fósforo foi reduzida pela calagem, ou seja, o inverso do atestado pelas plantas - quatro ensaios, três culturas, em solos diferentes, portanto não é uma observação casual. Os teores de fósforo pela resina aumentaram com

a calagem, acompanhando o aumento dos teores nas folhas, além de ser o resultado teoricamente esperado.

Deve-se frisar a importância desse resultado, já que ele leva a economia de fósforo, mas isso só é possível através de método de diagnose de P no solo que tenha sensibilidade para detectar o efeito da calagem na disponibilidade do elemento.

As observações trazem de volta o problema denominado por White (1983) "o enigma das relações pH e solubilidade de P em solos". Pode ser que, em muitos casos, a avaliação da disponibilidade tenha sido feito com um extrator inadequado. Deve-se frisar que o método Olsen é o mais usado no mundo e que há evidências de que o P por esse método é reduzido pela calagem mesmo em clima temperado (Horneck et al., 1990).

4. AMOSTRAGEM EM CULTURAS PERENES: COMO CONSIDERAR A VARIAÇÃO ESPACIAL?

Em muitos cafezais, a aplicação localizada de adubos nitrogenados, na projeção das copas dos cafeeiros, leva a uma acentuada acidificação localizada. A arruação, que consiste em puxar os resíduos para o meio da rua, antecedendo a colheita, concentra ainda mais o solo mais fértil no meio da rua. Outrossim, a aplicação de calcário e adubo na superfície do solo, ocasiona uma concentração superficial de nutrientes. Os dados do Tabela 5 ilustram isso muito bem.

Nota-se uma acidificação na amostra retirada a 0-20cm, na projeção das copas, mas note-se o fato curioso: a amostra retirada a 0-5 cm não é muito ácida. Há portanto acúmulo de calcário na superfície. No meio da rua há um acúmulo de cátions básicos. O boro, um elemento móvel, está igualmente distribuído no solo; já o Zn, imóvel, acumula-se na camada superficial.

É possível que o manejo atual mais comum, com aplicação localizada de nitrogênio, talvez não seja a melhor opção. Talvez por isso perca-se por lixiviação dois terços do nitrogênio aplicado para café.

E fica a dúvida: qual a melhor amostragem para cafezal?

Não temos a resposta para essa cultura. Para citros, Quaggio (1991) verificou que a amostragem no meio da rua permitiu melhor correlação com o teor de Mg em folhas (figura 3). Ocorre que a amostragem recomendada é no local de aplicação dos adubos, ou seja, sob a copa. Isso então, traz uma dúvida sobre a retirada das amostras: na parte mais adubada ou na parte mais fértil? Ou em ambas e, então, como interpretar os resultados? E quanto à profundidade, ficamos com 0-20 ou há mérito em considerar-se a amostragem de 0-5cm?

Tabela 5. Análise de solo de amostras retiradas em cafezal, na projeção das copas e no meio da rua - DRISCAFÉ, ÁREA 1.

Determinação	Amostragem a 0-20cm		Amostragem a 0-5cm	
	Projeção da copa	Meio da rua	Projeção da copa	Meio da rua
Mat. orgânica, g/100cm³	1,6	1,9	3,6	4,2
pH em CaCl, 0,01M	3,9	6,0	6,0	6,8
P resina, mg/dm³	24	41	132	101
K, meq/100cm³	0,37	0,26	0,80	0,29
Ca, meq/100 cm³	1,2	3,8	8,1	15,8
Mg, meq/100 cm³	0,5	1,5	3,6	4,8
H+Al, meq/100 cm³	3,4	1,2	1,4	0,9
B, mg/dm³	0,8	0,6	0,8	1,3
Zn, mg/dm⁻³	4,0	5,2	19,2	19,1
Mn, mg/dm⁻³	48	44	69	60
Fe, mg/dm⁻³	47	37	76	63
Cu, mg/dm⁻³	5	16	40	32

FONTE: Dados do projeto DRIS-Café, não publicados.

As respostas a essas perguntas não são fáceis. Até a pesquisa para tentar respondê-las não deverá ser de concepção simples.

5. PRODUÇÃO RELATIVA: É VÁLIDO O SEU USO?

A busca de relações quantitativas em fertilidade do solo remonta aos primórdios da química agrícola, com os trabalhos de Liebig, em meados do século passado. Os conceitos de Mitscherlich, Spillman e Baule, desenvolvidos no início deste século, foram de extraordinária importância para a melhor compreensão das relações entre a variação de produção de culturas e a aplicação de fertilizantes (Tisdale et al., 1985). Muitos dos conceitos daqueles autores foram sintetizados em uma função matemática exponencial, conhecida como função de crescimento Mitscherlich - Bray. (Melsted & Peck, 1977) que não iremos discutir, mas apenas ilustrar um aspecto de seu uso. Essa equação pode ser escrita na seguinte forma:

$$\log (A-Y) = \log A - c_1 b_1$$

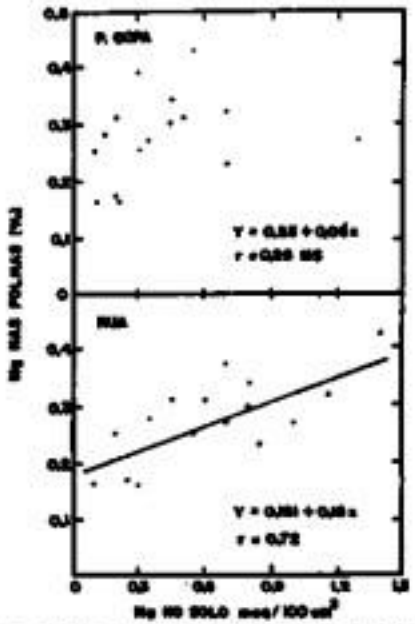


Figura 3. Relações entre teores de Mg nas folhas de citros e no solo, considerando-se dois locais de amostragem.
Fonte: Quaggio (1991).

na qual A é a produção máxima, para um teor no solo do nutriente b_1, sendo c_1 uma constante de proporcionalidade.

Bray (1948) aplicou essa equação para uma série de ensaios de adubação potássica em milho. A particularidade é que A foi considerado como 100 e as produções de cada ensaio, sem K, expressas como porcentagem do máximo, ou produção relativa. Nessa condições foi observado um coeficiente de correlação de 0,929, o que é extraordinário para ensaios de campo.

A produção relativa é calculada por:

$$\text{Produção relativa} = \frac{\text{produção sem o nutriente} \times 100}{\text{produção com o nutriente}}$$

Produções atualmente observadas em experimentos não correlacionam bem com resultados de análise de solo, devido a diferenças entre locais, atribuídas a variáveis climáticas, edáficas e de manejo.

Assim, produções relativas têm sido usadas na maioria dos estudos de correlação nos Estados Unidos (Nelson & Anderson,

1977). No Brasil a produção relativa também é muito usada para calibração da análise de solo, mas o modelo matemático é do tipo $Y = a_o + a_1X^{-1}$, inicialmente usado por Freitas et al. (1966), para calibração de potássio no solo para o algodoeiro.

Nelson & Anderson (1977) chamam atenção para algumas limitações da produção relativa, que não permite interpretação direta em termos de quantidades de adubos a aplicar e avaliações econômicas. Além disso, se há interação entre efeitos de nutrientes, há dificuldade em decidir o que utilizar no denominador. Os autores sugerem o uso de produções absolutas, com partições arbitrárias em teores altos e baixos, para P e K. Outra alternativa seria incorporar resultados de análise de solo em um modelo multivariado.

Colwell et al. (1988) apresentam, como objeção ao uso de produções relativas, os seguintes argumentos: a) a produção relativa não fornece base para estimativa de doses mais econômicas de nutrientes; b) a produção máxima, necessária para calcular produções relativas, em geral é difícil de estimar; c) a relação funcional básica entre produções e análise de solo difere entre locais e não é simplesmente proporcional à produção máxima; d) o cálculo de valores de produção porcentual introduz um bias estatístico; e) testes de significância das regressões estimadas são inválidas, pela combinação de diferentes experimentos.

O argumento a não procede, já que a produção relativa só é usada para criar classes de teores e não para a análise econômica (Raij, 1991). O argumento b aplica-se tanto aos casos de produções relativas como de produções absolutas; em nenhum caso será possível corrigir relações não bem definidas. O argumento c é duvidoso - como explicar as excelentes correlações entre produções relativas e resultados de análise de solo? Os argumentos d e e devem ser examinados por estatísticos.

Enquanto isso, ficamos com o problema básico: recomendar adubações com base nas informações que temos. Modelos gerais de fertilidade do solo, utilizado por Colwell (1977) para relacionar produções com quantidades aplicadas de NPK e a fatores climáticos e edáficos, são de difícil desenvolvimento e necessitam, ainda, maiores estudos antes de poderem ser utilizados na prática. Uma versão mais simples de desenvolvimento de modelos gerais foi recentemente sugerida por Colwell et al. (1988).

Voltando à produção relativa, tem sido mostrado que com seu uso para estabelecer relações entre resultados de análise de solo e de respostas de culturas a um nutriente aplicado, as correlações observadas são pouco ou menos influenciadas por fatores edáficos, climáticos e até de manejo, como por exemplo infestação de ervas daninhas (Melsted & Peck, 1977).

Talvez ainda não estejamos usando a produção relativa em todo o seu potencial. No modelo geral, como o descrito por Colwell et al. (1988), almeja-se prever produções absolutas, o que é, reconhecidamente, muito difícil.

E se for possível trabalhar com metas de produtividade? Isso é viável, dentro de limites, conhecendo o histórico da área e, também, considerando que, com ou sem modelo geral, previsões de colheitas futuras têm grande margem de erro. Assim, ficaria-se com a necessidade de prever respostas e não produções absolutas, o que é bem mais promissor, considerando as relações com produções relativas já discutidas.

6. CURVAS DE RESPOSTA: SEU USO É ESSENCIAL

A relação de produção de cana-de-açúcar e a adubação fosfatada, em ensaio publicado por Alvarez et al. (1959), pode ser expressa por:

$$Y = 41,8 + 0.305X - 0,00088X^2$$

É a curva de resposta, expressa pelo polinômio do 2o. grau, um dos mais usados em fertilidade do solo.

Porque trazemos o assunto aqui? Porque ainda pouco gente utiliza resultados de adubação de forma quantitativa. A maior parte dos trabalhos pára na análise de variância, com a constatação dos efeitos significativos.

As curvas de resposta nos permitem inferâncias econômicas, como cálculo da dose mais econômica, calculada, para uma relação de preços de cana-de-açúcar e de P_2O_5, de 0,075, por:

$$X' = \frac{0,305 - 0,075}{2 \times 0,00088} = 131$$

O lucro previsto, devido à adubação fosfatada, pode ser calculado por:

- aumento de produção: 25,0;
- custo da adubação : 9,8;
- lucro : 15,2 t/ha de cana.

Note-se que a "moeda" utilizada nos cálculos foi a própria cana-de-açúcar.

As curvas de resposta permitem, ainda, planejar adubações para o caso de agricultores descapitalizados.

Vamos exemplificar um caso para milho, em região de latossolo roxo, em que as respostas às adubações, são representadas pelas curvas de resposta seguintes:

. $Y_n = 36N - 0,090N^2$
. $Y_p = 14P - 0,070P^2$
. $Y_k = 25K - 0,120K^2$.

As relações de preços são de 8 para N, 7 para P_2O_5 e 4 para K_2O.

As doses mais econômicas seriam:

$Xn' = 156$ $Xp' = 50$ $Xk' = 88$

O balanço econômico dessa recomendação seria:

	N	P_2O_5	K_2O	Total
Aumento de produção	3426	525	1271	5222
Custo do nutriente	1248	350	352	1950
Lucro	2178	175	919	3272

Contudo tal adubação, que não difere muito de recomendações usuais, em geral não é aceita por muitos agricultores, que não conseguem praticá-la, por ser demasiadamente arenosa.

O agricultor, talvez por essa impossibilidade financeira, optaria por sua adubação tradicional, algo como 300kg/ha de 4-14-8 e 20 kg/ha de N em cobertura. Essa adubação daria, em kg/ha, 32 de N, 42 de P_2O_5 e 24 de K_2O.

O balanço seria o seguinte:

	N	P_2O_5	K_2O	Total
Aumento de produção	1060	465	531	2056
Custo do nutriente	256	294	96	646
Lucro	804	171	435	1410

Com essa adubação, o agricultor gastaria tres vezes menos em adubo e o lucro possivel cai a menos da metade.

Mas seria essa a melhor opção? Observando os coeficiente das equações, bem como os balanços acima, percebe-se que há maiores respostas a N, seguido do K e que este último nutriente é mais barato. Assim, é possivel sugerir uma adubação alternativa, com quase o mesmo custo, em kg/ha de 50 de N, 20 de P_2O_5 e 40 de K_2O. O balanço seria o seguinte:

	N	P_2O_5	K_2O	Total
Aumento de produção	1575	252	808	2635
Custo do nutriente	400	140	160	700
Lucro	1175	112	648	1935

Nesse caso, gastando apenas 36% com adubo, em relação à adubação máxima, é possivel obter 60% do lucro possivel.

Convém deixar claro o que esses exemplos representam.

O primeiro é a base da adubação máxima econômica, que é aquela que leva ao maior lucro por área. Ela exige mais capital e, portanto, oferece maior risco, mas é a que permite otimizar o uso dos fatores de produção.

O segundo exemplo representa o que, infelizmente, acontece muito na prática. São as adubações-padrão por cultura, que prejudicam o agricultor, que deixa de ganhar, o comerciante de fertilizantes, que fica com um freguês descapitalizado, e o país, que ganha mais ineficiência.

O terceiro exemplo representa o caso de recursos escassos, mas usados da melhor maneira possivel. Deveria servir de base para o caso de agricultores descapitalizados, em uma estratégia de uso mínimo de insumos, com crescimentos gradual com o passar dos anos, para evitar riscos.

7. ANÁLISE DO SUBSOLO: PARA QUE SERVE?

Nos últimos anos tem havido um interesse crescente na análise química do subsolo, para fins de fertilidade. Em parte isso foi motivado pelos estudos realizados em ensaios de calagem e de gesso, nos quais constatou-se influência desses corretivos em propiciar maior desenvolvimento de raízes no subsolo, tendo como consequência maior absorção de água e nutrientes.

Uma amostragem adequada do subsolo poderia ser retirada de 30 a 50cm de profundidade. Como é necessária amostra composta (15-20 amostras simples) é uma amostragem difícil, assim não é conveniente recomendar amostragem de várias camadas, pelo menos na

fase atual, em que o conhecimento do manejo do subsolo é ainda incipiente. A profundidade de 30-50 garante amostras livres de contaminação da camada arável, sujeita a misturas mecânicas. Ela é suficientemente profunda para abranger uma parte do solo importante para as raízes, embora amostragens mais profundas possam, as vezes, ter grande utilidade, principalmente em trabalhos de pesquisa.

Vamos discutir alguns casos, com base nas análises de solos apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Alguns resultados de análise de amostras de solo coletadas abaixo da camada arável.

No.	Profundidade	pH $CaCl_2$	Ca	Mg	K	Al	SO_4	m
	cm		-------- meq/100 cm^3 ---------					%
1	15-218	4,0	0,03	0,03	0,02	0,6	tr.	88
2	20-40	4,0	0,20	0,10	0,13	1,5	2,3	78
3	20-40	4,4	2,20	0,90	0,52	n.d.	n.d.	n.d.

A primeira amostra representa um subsolo ácido, com teores baixíssimos de cálcio e saturação de alumínio muito elevada. Nesse caso espera-se que raízes de plantas cultivadas não penetrem no subsolo pela existência de uma barreira química, representada por excesso de alumínio e deficiência de cálcio. São casos como esse em que o gesso ou calagens elevadas podem melhorar muito o desenvolvimento profundo de raízes. No caso específico isso ficou comprovado: a análise de solo em questão foi apresentada no trabalho clássico sobre o efeito favorável do gesso sobre o crescimento de raízes de milho, de Ritchey et al. (1980).

A segunda amostra é um caso curioso. Abstraindo a análise de sulfato, parece até um solo ácido de cerrado. Mas não é. Trata-se de latossolo roxo, originalmente fértil, acidificado por décadas de aplicação de sulfato de amônio em cafezal. O solo tem muito mais SO_4 do que bases, o que atesta o excesso de acidez presente no solo. Pode ser uma situação muito difícil de reverter.

A terceira amostra, foi retirada em cafezal. Ela mostra um caso de excesso de aplicação de potássio, erro muito comum na prática. No caso, é possível a ocorrência de desequilíbrios com cálcio e magnésio e pode estar havendo depressão da produção, por excesso de K. Além disso há o desperdício. Uma quantidade de 0,1 meq/100 cm^3 de K equivale a cerca de 100 kg/ha de KCl, o que significa meia tonelada do adubo só nessa camada de 20-40 cm. É importante analisar o subsolo, em casos como esse, já que é possível

constatar K lixiviando, com base nos teores elevados. Isso porque o potássio, pela ciclagem via biomassa, concentra-se na camada superficial do solo, se nessa não houver excesso.

BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ, R.; SEGALLA, A.L.; ARRUDA, H.V. de Adubação da cana-de-açúcar. II. Adubação fosfata quantitativa. **Bragantia**, Campinas, **16**(21):297-302, 1957.

BRAY, R.M. Correlation of soil tests with crop response to added fertilizers and with fertilizer requirements. In: KITCHEN, H.B., ed. **Diagnostic Techniques for Soils and Crops**. Washington, American Potash Institute, 1948. p.53-86.

COLWELL, Y.D. **National soil fertility project**. 7. Objectives and procedures. Adelaide, CSIRO Division of Soils, 1977.

FIXEN, P.E. & J.H. GROVE. Testing soil for phosphorus. In WESTERMAN, R.L., ed. **Soil Testing and plant analysis**. Third ed. Madison, American Society of Agronomy, 1990. p.141-180.

FREITAS, L.M.M. de; McCLUNG, A.C. & GOMES, F.P. Determinação das áreas deficientes em potássio para a cultura do algodão. **Fertilité**, Paris, **26**:37-47, 1966.

HORNECK, D.A.; HART, J.M. & PEEK, D.C. The influence of sampling intensity, liming, P rate and method of P applications on P soil test values. Commun. **Soil Sci. Plant Anal.**, New York, **21**(13-16):1090, 1990.

KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.Y., ed. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, 1980. 910p.

MELSTED, S.W. & PECK, T.R. The Mitscherlich-Bray growth function. In: STELLY, M., ed. **Soil testing: correlating and interpreting the analytical results**. Madison, American Society of Agronomy, 1977. p-1-18.

NELSON, L.A. & ANDERSON, R.L. Partioning of soil test-crop response probability. In: STELLY, M. ed. **Soil testing: correlating and interpreting the analytical results**. Madison, American Society of Agronomy, 1977. p.19-38.

QUAGGIO, Y.A. **Respostas da laranjeira valência sobre limoeiro cravo à calagem e ao equilíbrio de bases num latossolo vermelho escuro de textura argilosa**. Piracicaba, 1991. 107p. (Doutorado-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p. Campinas, 29/30:63-73, 1977.

RAIJ, B. van. Interpretação da análise de terra. **O Agronômico**, Campinas, **29/30**:63-73, 1977.

RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, **2**(1):1-9, 1978.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. & SILVA, N.M. da. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. Commun. **Soil Sci. Plant Anal.**, New York, **17**:547-566, 1986.

RAIJ, B. van; SILVA, N.M. da & et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agronômico, 1985. 107p. (Boletim Técnico, 100).

RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORREIA, O. Calcium leaching to increasing rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. **Agron. J.**, Madison, **72**(1):40-44, 1980.

SIBBESEN, E. Phosphate soil tests and their solubility to assess the phosphate status of soil. **J. Sci. Food. Agric.**, **34**:1368-1374, 1983.

SILVA, F.C. da. **Avaliação da disponibilidade de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1991. 164p. (Mestrado-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. & BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 4 ed. New York, Macmillan Publishing Company, 1985. 754p.

WHITE, R.E. The enigma, of pH-P solubility relationships in soil, p.53-63. In: Institut Mondial du Phosphate, ed., Third International Congress on Phosphorus Compounds, **Proceedings**. IMPHOS, Brussels. 1983.

FERTILIZANTES, CORRETIVOS E PRODUTIVIDADE - MITOS & FATOS

Euripedes Malavolta[1]

1. INTRODUÇÃO

1.1. Definição

A agricultura pode ser definida como "a arte de modificar os ecossistemas, em termos econômicos e sem produzir danos irreversíveis". É o que o homem vem fazendo há 10 - 12.000 anos desde que inventou essa arte, deixando de ser apenas caçador e catador de grãos, tornando-se agricultor com a domesticação de plantas e animais: florestas e pastagens de países hoje desenvolvidos do hemisfério norte foram substituidas por cereais e leguminosas de grãos; 30-40 milhões de búfalos das grandes planícies norte americanas foram trocados por gado Hereford e Black Angus; o canguru australiano deu seu lugar para o gado europeu; na Ásia os bubalinos domesticados se multiplicaram nos vales dos rios mais importantes (BROWN, 1970). Nos últimos 30 anos o pau-torto, a barba-de-bode, o sapé e a samambaia do cerrado brasileiro foram substituidos pelo algodão, pelo arroz, pelo café, pela cana-de-açúcar, pelo eucalipto e pelo Pinus spp, pela laranja, pelo milho, pela soja e pelo trigo: comida, fibra, matéria prima e energia renovável.

É verdade que ao tentar mudar a biosfera, o homem muitas vezes causou danos irreversíveis por ter abusado ou mal usado o solo e a vegetação primitiva: o Norte da África, que foi o celeiro do Império Romano é hoje um deserto ou quase; nos EUA na década de 30 apareceu a "panela de poeira", a erosão eólica tomou conta de quase 25 milhões de hectares que os russos pretendiam cultivar numa região em que a falta de chuva não permitia produção continuada.

Estima-se que, não tivesse sido inventada a Agricultura, a população total não passaria de 10 milhões de habitantes, uma estimativa coerente com a área hoje entregue aos 6.000 ianomanes como sendo necessária para sua subsistência de caçadores e catadores nômades.

---

[1] Professor Catedrático aposentado. Pesquisador voluntário. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Caixa postal 96. 13416.000 Piracicaba SP.

Mas, como o homem inventou essa nova arte, a população cresceu. A "aritmética de coelhos" é conhecida: no ano 2.000 a população mundial deverá ser de 6.2 bilhões. No ano 2.050 deverá ser de 11 bilhões. Esses aumentos se verificarão num planeta em que 15 por cento dos habitantes mal se alimentam, em que 500 milhões estão mal nutridos e onde 15 milhões de crianças morrem de fome todos os anos - 41.000 por dia (FREEMAN , 1989-90).

1.2. Os fins da agricultura

O setor agrícola da economia tem três fins clássicos: produção de alimento; produção de matéria prima para a indústria; produção de excedentes exportáveis. A estes o Brasil acrescentou um quarto: produção de energia renovável

Dado o crescimento esperado da população nas próximas 2-4 gerações a Agricultura será chamada a produzir uma quantidade de comida (para não falar dos três fins restantes) igual à que produziu nos 10 - 12.000 anos de sua história.

Parte dessa tarefa cabe ao Brasil

Duas perguntas se apresentam: será isso possível? será possível satisfazer as necessidades crescentes de comida, fibra, matéria prima e energia renovável sem danos irreversíveis ao meio modificado pela atividade agrícola?

As respostas são duas afirmativas, como se verá em seguida.

1.3. As opções

Para atingir seus objetivos em escala crescente e respeitar a restrição da definição que foi dada no início, a Agricultura tem, em princípio, duas opções não mutuamente excludentes: aumentar a produção mediante a expansão da área cultivada; aumentar a produção mediante ganhos na produtividade. Sempre em princípio, as duas alternativas levariam à desejada compatibilização do crescimento populacional com o fim principal que é o de "encher a panela".

As duas opções serão examinadas separadamente, com suas consequências nos ecossistemas e no homem, as reais e as imaginárias - os mitos e fatos.

2. EXPANSÃO DA ÁREA

2.1. Agricultura Sustentável com Baixos Insumos (ASBI) e Colheitas Econômicas Máximas (CEM)

A alternativa de se aumentar a produção mediante a expansão da fronteira agrícola faz parte do movimento que se pretende por em

marcha em países em desenvolvimento e de Agricultura não amadurecida, inclusive no Brasil, movimentos esses que tem recebido denominaçoes diversas: tecnologias de baixos insumos foi a primeira (low input technology); agricultura sustentável com baixos insumos (low input sustainable agriculture, LISA, ASBI em português) parece ser preferida hoje em dia. Veja-se, por exemplo GRACEY (1990). É evidente que LISA ou ASBI não considera terra como insumo. E tão pouco considera o tempo necessário para aumentar a área cultivada como insumo. Usar pouco insumo, particularmente corretivo e adubos, significa manter a produção em níveis baixos e insuficientes, visto que não se pode revogar a lei básica da Ecologia: "na natureza não há refeição grátis". À LISA ou ASBI apresenta-se a opção das CEM: não se usa nem muito insumo; não se aumenta necessariamente a área cultivada; procura-se, com a tecnologia disponível produzir mais com menos dinheiro. É que, os fins da Agricultura, didaticamente estabelecida, não são a motivação do agricultor que é, simplesmente, a obtenção de lucros que compensem o seu capital e o seu esforço. Ao que parece o conceitio das CEM foi enunciado no Brasil pela primeira vez por MALAVOLTA, 1954, p. 11) que voltou ao assunto mais recentemente (MALAVOLTA, 1990). Nesse interstício de tempo a idéia das CEM (Maximum Economic Yield, MEY) foi apresentada nos E.U.A. (WAGNER, 1979; PPI, sem data), com muito menos fanfarra que a da LISA (HOLT, 1989; PIMENTEL et al., 1989).

2.2. Evolução da área plantada

A Tabela 2-1 mostra, no período 1950-89, a evolução da área plantada, produção e produtividade das 11 principais culturas brasileiras. A Figura 2-1, por sua vez dá a evolução da área plantada e a da população brasileira no mesmo período. As retas foram traçadas manualmente e por isso podem não representar o melhor ajuste. Aceitando-as, porém, como aproximadas vê-se que o coeficiente angular daquela que descreve o crescimento populacional é muito maior que o da correspondente à expansao da área das principais culturas. Segue-se daí que o aumento da área não acompanhou os fins da Agricultura ou a necessidade da população. De fato, a relação hectare/caput, exceção feita para o ano de 1970 - foi época do "milagre brasileiro" - manteve-se praticamente constante. Se não forem consideradas as culturas da cana-de-açúcar e a da soja, a relação decresceria fatalmente. Como a área cresceu relativamente menos que a população deve-se aceitar que os quatro fins da Agricultura foram cumpridos, ainda que insatisfatoriamente, graças, em parte, aos ganhos na produtividade, com exceção de dois casos pelo menos: feijão e mandioca. Por que a restrição "ainda que insatisfatoriamente"? o Brasil tem importado comida (arroz, feijão, milho, para não falar do trigo). Boa parte da população - 20 a 30% - ainda não come o suficiente.

Tabela 2-1. Evolução da área plantada, produção e produtividade das principais culturas brasileiras.

Cultura	Variável(1)	ANO 1950	55	60	65	70	75	80	85	89
Algodão	Área	2689	2617	2930	4004	4298	1546	1353	2252	1493
	Produção	774	812	1609	1986	1954	1330	1439	2667	1797
	Produtividade	0,442	0,490	0,549	0,496	0,455	0,859	1,063	1,184	1,203
Arroz	Área	1964	2511	2965	4618	4979	5306	6243	4754	5252
	Produção	3217	3737	4794	7579	7553	7781	9775	9024	11043
	Produtividade	1,638	1,488	1,617	1,641	1,517	1,466	1,565	1,896	2,103
Cacau	Área	275	368	470	482	443	451	482	649	660
	Produção	152	157	163	160	197	281	319	430	394
	Produtividade	0,554	0,429	0,347	0,333	0,628	0,624	0,661	0,662	0,597
Café (côco)	Área	2663	3265	4419	3511	2402	2216	2433	2533	-
	Produção	2142	2739	4169	4588	1509	2344	2122	3821	-
	Produtividade	0,805	0,839	0,943	1,308	0,628	1,148	0,872	1,508	-
Cana	Área	828	1072	1340	1705	1725	1969	2607	3912	4093
	Produção(2)	32	41	57	76	79	91	148	247	260
	Produtividade	39	38	42	44	46	46	57	63	63
Feijão	Área	1807	2228	2560	3272	3484	4145	4643	5315	5205
	Produção	1248	1474	1730	2289	2211	2282	1968	2548	2327
	Produtividade	0,690	0,662	0,676	0,700	0,635	0,550	0,425	0,479	0,447
Laranja	Área	77	77	112	150	202	403	575	663	882
	Produção	985	1054	1366	1875	2545	5037	8855	11602	14729
	Produtividade	12,8	13,7	12,2	12,5	12,6	12,6	15,4	17,5	16,7
Mandioca	Área	957	1149	1342	1749	2024	2041	2015	1868	1896
	Produção (2)	12	14	17	25	29	26	23	23	23
	Produtividade	13	13	13	14	14	12	11	12	12
Milho	Área	4681	5623	6661	8771	9858	10854	11451	11798	12890
	Produção	6023	6689	8671	12111	14216	16334	20372	22018	26566
	Produtividade	1,287	1,190	1,298	1,381	1,442	1,504	1,729	1,866	2,061
Soja	Área	-	73	171	431	1318	5824	8774	10153	12206
	Produção	-	107	205	523	1508	9893	15155	18278	24085
	Produtividade	-	1,455	1,200	1,212	1,144	1,698	1,727	1,800	1,973
Trigo	Área	652	1196	1414	766	1895	2931	3122	2676	3260
	Produção	532	1101	713	585	1844	1788	2701	4320	5295
	Produtividade	0,816	0,921	0,625	0,764	0,973	0,610	0,865	1,614	1,624

(1) Área - 1000 ha; Produção - 1000 t; Produtividade - t/ha.
(2) Milhões de t.

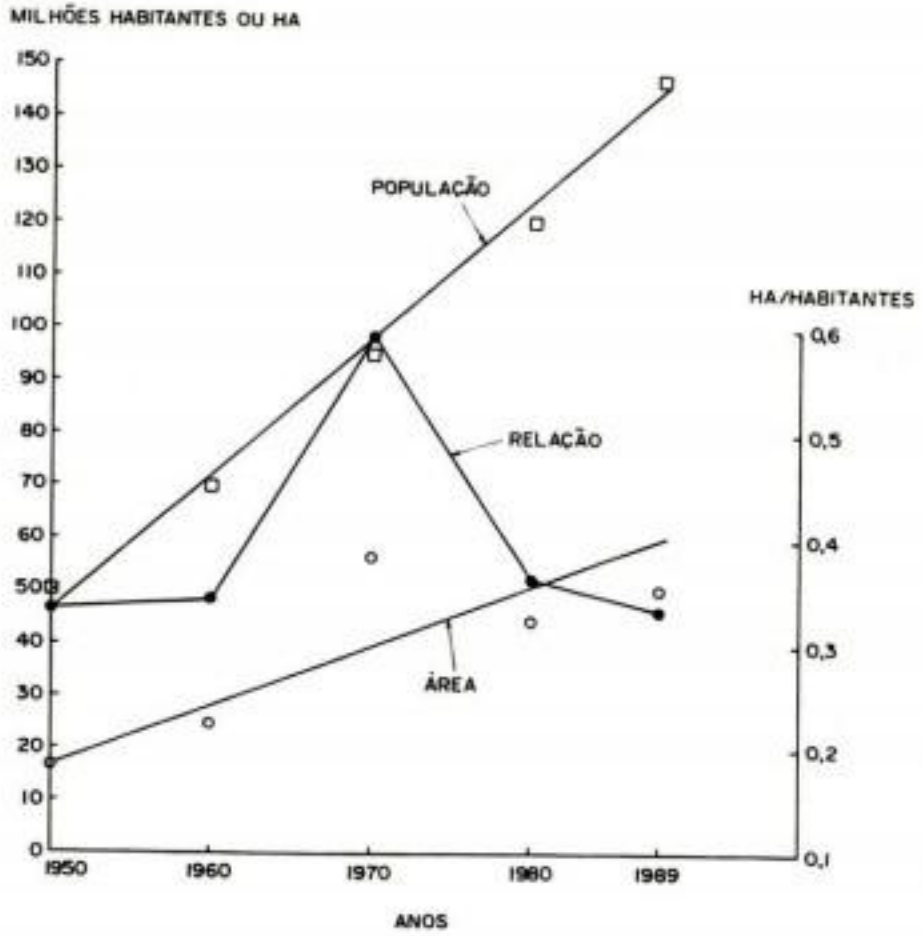


FIGURA 2-1. Crescimento da população, de área cultivada (11 culturas principais), e variação na relação área/habitante.

A expansão da fronteira agrícola é limitada pela falta de capital por parte do agricultor, motivação e deficiência na infraestrutura: de estradas às facilidades para comercialização das

safras. A falta de uma política agrícola elementar em que crédito e preço mínimo tem um papel central é, talvez, a causa maior das dificuldades para o setor agrícola.

Embora evidente, não é geralmente praticada a idéia de que para alcançar os fins da Agricultura os esforços maiores devem ser colocados no aumento da produtividade, como há muito tempo se prega (SCHUH & ALVES, 1970; PAIVA, 1979; VERA FILHO & TOLLINI, 1979; MALAVOLTA, 1984; HOMEM DE MELLO, 1985).

Com base nas projeções feitas pela Organização para a Agricultura e a Alimentação (FAO) das Nações Unidas, DUDAL (1982) apresentou a Tabela 2-2, considerando-se o período 1975-2000. Considerando-se os 90 países em desenvolvimento, 26% da produção adicional seriam obtidas aumentando a área, 14% aumentando a intensidade do cultivo (mais de uma colheita por ano) e 60% seriam conseguidos mediante ganhos de produtividade. Na América Latina a participação maior seria a da expansão da área em 55%; a produtividade teria que aumentar em 31%. Nos 8 anos que restam até o ano 2000, dificilmente essas metas serão alcançadas. As diferenças nos porcentuais refletem condições como disponibilidade de terra, clima, sistemas de cultivo, níveis de produtividade.

Tabela 2-2. Contribuições para aumentar a produção no período 1975-2000.

Região	Aumento porcentual		
	Área cultivada	Intensidade de cultivo	Produtividade
90 países	26	14	60
África	27	22	51
Oriente remoto	10	14	76
América Latina	55	14	31
Oriente próximo	6	25	69

3. EVOLUÇÃO DA PRODUTIVIDADE

3.1. Principais culturas

Os dados da Tabela 2-1 permitem verificar as tendências gerais resumidas na Tabela 3-1. Todas as culturas, exceto duas alimentícias, feijão e mandioca, apresentam tendência para aumento produtividade.

Tabela 3-1. Tendências gerais na evolução da produtividade das principais culturas (1).

Cultura	Período 1950 - 70	Período 70 - 79	Variação 79 - 89	Variação Anual
			%	
Algodão (2)	Estável	Crescente	+ 168	+ 8,3
Arroz	Estável	Crescente	+ 40	+ 2,0
Cacau	Decrescente	Crescente, Estável	+ 44	+ 2,2
Café	Decrescente	Crescente	+ 130	+ 6,5
Cana	Crescente	Crescente	+ 41	+ 2,0
Feijão	Estável	Decrescente	- 31	- 1,5
Laranja	Estável	Crescente	+ 33	+ 1,6
Mandioca	Decrescente	Estável	- 15	- 0,75
Milho	Crescente	Crescente	+ 41	+ 2,0
Soja	Decrescente	Crescente	+ 65	+ 3,3
Trigo	Estável	Crescente	+ 68	+ 3,4

(1) Variação % 70 - 89 (produtividade 89/produtividade 70) x 100 - 100
(2) Dados imprecisos 1950-70.

Entretanto, as produtividades médias das culturas brasileiras estão abaixo das obtidas no próprio País por agricultores tecnificados como mostra a comparação contida na Tabela 3-2. Esses números mostram que:

(1) há conhecimento tecnológico gerado pela pesquisa o qual permite produtividade muito maiores que as médias;

(2) é possivel substituir terra por tecnologia;

(3) a diferença entre a produtividade média e a realizada pela técnica dá uma medida do tamanho do fosso tecnológico a transpor.

3.2. Limitações

Por que há agricultores que obtem produtividades sustentadas muito maiores que as médias nacionais? A resposta, de certo modo, foi dada anteriormente: aplicam o conhecimento tecnológico disponivel. E o fazem por dois motivos: o conhecimento, convem repetir, gerado pela pesquisa, lhes foi transferido pela extensão provocando o câmbio de atitude em favor da inovação; tiveram recursos para implementar o conhecimento. Conhecimento, no caso, vai desde a semente melhorada até o cuidado com os corretivos da acidez, o fertilizante e os defensivos hoje xingados oficialmente de agrotóxicos.

As condições de solo e clima que prevalecem no Brasil não são sempre compativeis com altas produtividades. Se essas limitações não forem afastadas, no todo ou em grande parte, não será possivel realizar na prática todo o potencial de colheita contido na semente melhorada.

Tabela 3-2. Comparação das produtividades médias no Brasil e as obtidas por agricultores tecnificados.

Cultura	Unidade	Média brasileira	Agricultores tecnificados	Diferença	
				absoluta	equiv.ha
Algodão	kg/ha	1.200	3.700	2.500	2,1
Arroz	kg/ha	2.100(1)	8.000	5.900	2,8
Cacau	kg/ha	600	1.500	900	1,5
Café beneficiado	sacas/ha	10	30	20	2,0
Cana	t/ha	63	95	32	0,5
Feijão	kg/ha	450	2.400(2)	1.950	4,3
Laranja	Caixa/ha	409	1.397	988	2,4
Mandioca	t/ha	12	?	-	-
Milho	kg/ha	2.000	8.000	6.000	3,4
Soja	kg/ha	1.900	3.000	1.100	0,6
Trigo	kg/ha	1.600	?	-	-

(1) Irrigado e sequeiro. (2) Irrigado.

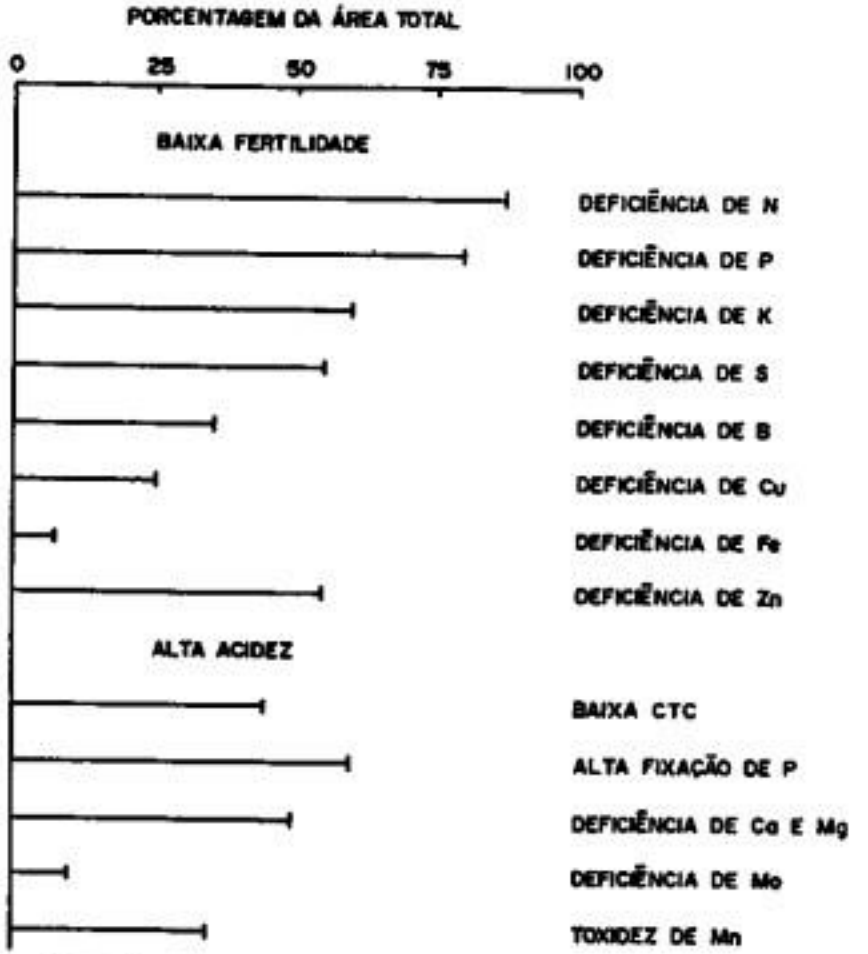


Figura 4-1. Estimativa da extensão da acidez e das limitações da fertilidade nos solos da América Tropical.

4. CORRETIVOS E PRODUTIVIDADE

4.1. Acidez dos solos das regiões tropicais e subtropicais

Os solos brasileiros são geralmente ácidos: do Oiapoque ao Chuí, para citar os extremos geográficos que definem a extensão do País.

Os dados de SANCHEZ & SALINAS (1981) resumidos na Figura 4-1, referem-se a toda a América Tropical. Dão, por isso, uma estimativa da situação no Brasil.

São várias as consequências, todas elas desfavoráveis para a produtividade (detalhes em MALAVOLTA, 1985):

(1) menor mineralização da matéria orgânica e menor disponibilidade de N, S e B principalmente;

(2) diminuição na fixação livre e simbiótica do N_2;

(3) deficiência de Ca e Mg;

(4) menor aproveitamento do fertilizante;

(5) maiores custos de produção;

(6) necessidade de área maior para a mesma produção geral.

Os dados apresentados referem-se à condições de camada arável. A acidez de subsuperfície pode também estar presente: pouco Ca e muito Al dificultam ou impedem o desenvolvimento do sistema radicular tornando a cultura menos resistente à seca e diminuindo a capacidade de aproveitar nutrientes do solo ou do próprio adubo (veja-se RAIJ, 1988).

Para ilustrar o efeito que se pode esperar da correção através da calagem pode-se citar a estimativa de GARCIA et al. (1983): a calagem nos cafezais do Sul de MG poderia trazer um ganho na produtvidade de 40%. Não há dúvida que a acidez excessiva é uma das causas de baixa produtividade do cafeeiro e das outras culturas.

4.2. O corretivo no Sistema Solo-Planta

A Figura 4-2 é uma representação simplificada do sistema solo-planta (modificado de MALAVOLTA et al., 1991), onde: M = nutriente; fase sólida = minerais primários, secundários e matéria orgânica; fase lábil = complexo de troca; solução do solo = a mesma; corretivos M = Ca e Mg.

A aplicação do corretivo além de colocar Ca e Mg na solução do solo influencia várias reações de transferência, seja pela elevação do pH, seja pelo efeito do Ca e do Mg: disponibilidade (M fase sólida → M fase lábil → M solução); absorção (M solução do solo → M raiz).

4.3. Adaptação da planta ao solo ou adaptação do solo à planta

Como parte do "pacote" da ASBI aparece, com certa dominância, a utilização de variedades com características herdáveis da

Figura 4-2. O lugar do corretivo e do adubo no sistema solo-planta.

adaptação a condições de acidez o que, evidentemente dispensaria o uso de corretivos ou pelo menos diminuiria as doses. Maiores informações sobre tolerância aos componentes da acidez (pouco Ca, muito Al, muito Mn) podem ser obtidas em FOY (1984) e FURLANI (1989).

Ao confrontar as duas alternativas a questão que se coloca é a seguinte: a produção obtida com uma variedade tolerante é próxima ou maior da obtida com outra não tolerante em presença de calagem? Se no segundo caso a colheita for maior e compensar o uso do corretivo, é evidente que a variedade tolerante tem pouco ou nenhum interesse para o agricultor. É reciprocamente.

Recorde-se que paradoxalmente, os solos brasileiros são muito ácidos e há muita jazida de calcário no País (veja-se o levantamento feito por ABRAHÃO, 1985): 13 bilhões de t.

4.4. Corretivos - Necessidade e consumo

MALAVOLTA (1982) estimou que cada hectare de terra cultivada no Brasil exigiria, para manter o índice de saturação em bases entre

60 e 70% na profundidade de 0 - 30 cm, 2 tonelada de calcário com PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) de 70%. Admitindo-se que as 11 principais culturas cubram uma área de 60 milhões de ha (ver Figura 2-1) seria necessário usar anualmente 60 milhões de toneladas de calcário: o Brasil está empregando ao redor de 12 milhões, ou seja um quinto do necessário. O que ajuda a explicar as baixas produtividades.

As necessidades de gesso para "corrigir" a acidez de superfície não podem ser estimadas com aproximação aceitável visto ser relativamente pequeno o número de análise de solo referentes a camada de 20 - 40 cm ou 30 - 60 cm, dados necessários para o cálculo aproximado. O consumo deve estar entre 500.000 e 1 milhão de toneladas.

4.5. Respostas

Vários trabalhos de revisão contém levantamentos dos ensaios sobre calagem no Brsil (MALAVOLTA & ROMERO, 1975; RAIJ et al., 1983; VOLKWEISS & TEDESCO et al., 1985; MALAVOLTA, 1985, 1986). Com respeito ao gesso mencionem-se: MALAVOLTA et al. (1981), IBRAFOS (1986); RAIJ(1988), MALAVOLTA (sem data). Alguns exemplos aparecem em seguida.

A Figura 4-3, preparada com dados de MUZILLI (1983), mostra um aumento de 400 kg na produção de feijao, em relação à testemunha.

Resposta impressionante foi conseguida com o algodoeiro, como se vê na Figura 4-4, cujos dados originais são de SILVA (1983): a colheita aumentou 5 vezes. Dados de QUAGGIO (1991) foram usados para fazer a Figura 4-5: note-se que o calcário dolomítico aplicado no plantio apresentou efeito nas 4 primeiras safras.

A Tabela 4-1 mostra como o milho, a soja e o trigo responderam ao emprego do calcário calcinado, gesso e à mistura de ambos na proporção de 70 e 30%, respectivamente.

Um ganho de 15 t/ha no 2º corte de cana foi obtido por J.L.I. Demattê (comun. part.) na cana de açúcar como se vê a seguir.

Dose de gesso	Produção
t/ha	
0,0	91
0,8	99
1,0	102
2,0	106

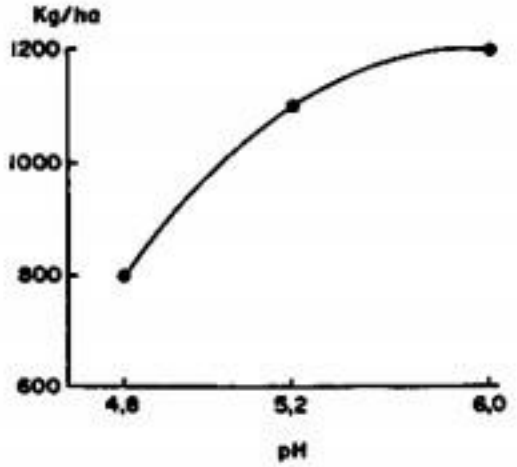


Figura 4-3. Resposta média de 10 variedades de feijão à calagem no PR.

GUIMARÃES (1988) obteve respostas notáveis à combinação da calagem e da gessagem no cafeeiro em cerrado de MG: como média de 5 safras os efeitos foram os seguintes em relação à testemunha (N P K + micro):

calcário	-	5 sacas/ha ;
gesso	-	18;
gesso + calcário	-	23.

Note-se que a produção média de testemunha (N P K + micro) bastante alta, 25 sacas beneficiadas por hectare.

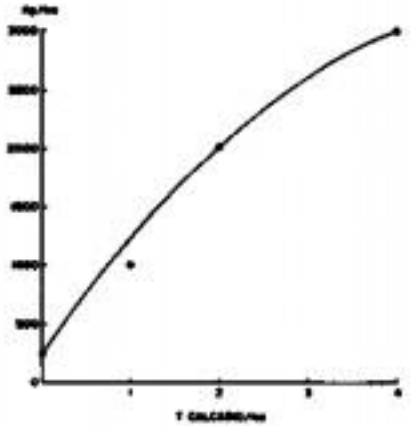


Figura 4-4. Efeito de doses de calcário na produção de algodão no cerrado de SP.

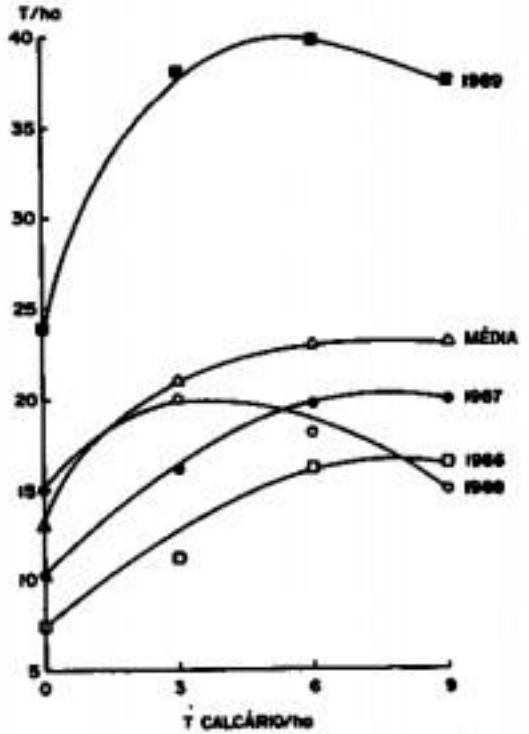


Figura 4-5. Resposta das 4 primeiras colheitas da laranjeira ao calcário dolomítico.

4.6. Substituição de adubo por corretivo

Em 4.1 foi mencionado que a correção da acidez de superfície e subsuperfície aumenta a eficiência da adubação, o que equivale a dizer: em solo corrigido pode-se usar menos fertilizantes para se obter a mesma produção.

A Figura 4-6, tirada de MALAVOLTA (1985) mostra como a calagem, reduzindo a fixação e melhoramento o crescimento das raízes pelo suprimento de Ca e neutralização do Al tóxico, aumenta a eficiência da adubação fosfatada: 100 kg de P_2O_5 por hectare, em presença de calcário aumentam a produção muito mais que 300 kg sem correção prévia da acidez.

Tabela 4-1. Produção de milho, soja e trigo no cerrado em função da aplicação de calcário calcinado, gesso e da mistura (70 : 30) de calcário calcinado e gesso.

Tratamento	Milho	Soja	Trigo
1. N P K + micro	6.450	1.740	1.620
2. 1. + calcário calcinado	7.100	2.520	2.280
3. 1. + gesso	6.590	1.980	1.800
4. 1. + calcário calcinado + gesso	7.330	3.060	2.700

A Figura 4-7, por sua vez, indica que 100, kg de K_2O, sem calagem, aumenta a colheita de soja em 75%, enquanto que, com calagem, o aumento foi de 250%, provavelmente devido à diminuição na lixiviação e ao menor aproveitamento garantido pelas raízes mais desenvolvidas (YAMADA & BORKERT, 1991).

É evidente que a calagem, funcionando como fator de eficiência para a adubação pode trazer como consequência final economia de adubo o que, por sua vez, poderia resultar em necessidade menor de expandir a indústria de fertilizantes, no que tange ao P_2O_5, pelo menos, e necessidade menor de importar K_2O. É de se esperar igualmente eficiência maior no aproveitamento dos adubos nitrogenados nos solos corrigidos.

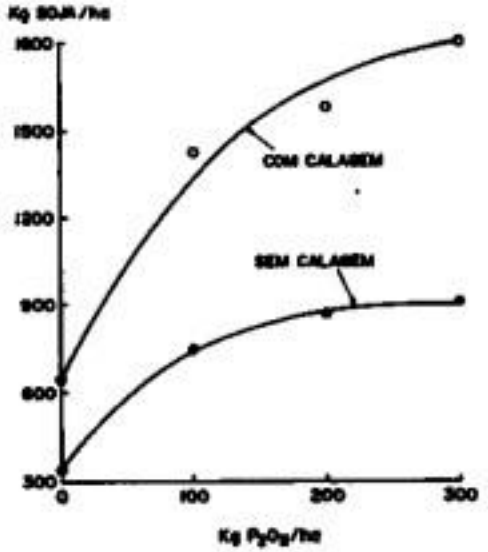


Figura 4-6. Em solo ácido de cerrado o efeito do fósforo é pequeno quando não se faz calagem.

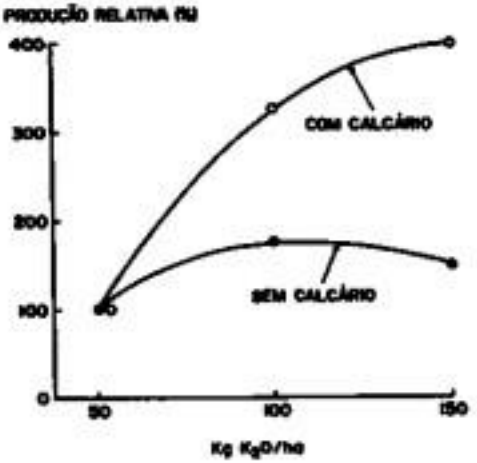


Figura 4-7. Efeito do K_2O em presença e ausência da calagem na soja.

4.7. Substituição de terra por corretivo

É claro que, sempre que for possivel "colher duas folhas de pasto ou duas espigas de milho onde antes somente se colhia uma" com a ajuda da correção da acidez, haverá necessidade de se cultivar menos área: cumprido o aforisma de Jonathan Swift, bastaria cultivar a metade.

Um exemplo baseado nos dados experimentais e outro baseado em projeções realistas mostram como se pode substituir terra por calcário.

Os dados da Tabela 4-3 foram tirados de MALAVOLTA & ROCHA (1981). No caso do milho, trigo e soja, usar calcário implica em economizar 40% de área e no caso das forrageiras, cada 4 hectares adubados mas sem receber calagem seriam substituidos por 1 apenas.

São particularmente interessantes os dados da Tabela 4-3 simplificada de LOPES & GUILHERME (1991): o Brasil poderia no Cerrado do Centro Oeste obter 12,5 milhões de toneladas de grãos adicionais de duas maneiras - expandindo a área em quase 8 milhões de hectares, sem o beneficio de calagem; mantendo a área mas fazendo calagem. A segunda alternativa custaria 5,5 vezes menos que a primeira. A primeira tardaria uns 10 anos. A segunda, 1-2 anos. A primeira se realizaria se o País pudesse desembolsar 0,5 bilhões de dólares o que não parece possivel no momento. Se o fizesse, porém, estaria o Governo Brasileiro mais uma vez desperdiçando dinheiro. E terra.

Tabela 4-2. Resposta de diversas culturas do RS à adubação e à calagem, em algumas dezenas de experimentos.

Cultura	Testemunha	Adubação	Adubação + Calagem	Equivalência Adubo	Equivalência Calcário
	kg/ha			ha	
Milho	2400	5190	6560	1,1	0,6
Trigo	800	1500	2000	0,9	0,6
Soja	1200	2500	3200	1,1	0,6
Forragem	2000	4000	12000	2,0	4,0

Tabela 4-4. Alternativas para aumentar a produção de grãos no Brasil Central.

Cultura	Aumento na Produção	Aumento na Área sem Calagem	Custo Sem Calagem	Custo Com Calagem
	10^3t	10^3ha	U$ 10^6	
Milho	7650	4100	240,0	42,0
Trigo[1]	95	58	3,6	-
Feijão	286	530	30,0	14,7
Arroz	1520	804	60,0	11,2
Soja	2697	2265	145,0	20,0
TOTAL	12500	7757	478,6	87,9

[1]Efeitro residual da calagem para a soja.

5. FERTILIZANTES E PRODUTIVIDADE

5.1. Fertilidade dos Solos Subtropicais e Tropicais

Na Figura 4-1 foi apresentada uma visita geral de fertilidade - ou falta de - na América Tropical. A situação dos solos brasileiros não é melhor como se vê na Tabela 5-1 na qual os dados sobre o cerrdo foram retirados de LOPES (1983) os quais justificam o titulo do livro de MALAVOLTA & KLIEMANN (1985) que traduz as consequências da baixa fertilidade e alta acidez para as plantas que cultivam nesse ecossistema. Os dados sobre a Amazônia foram compilados por MALAVOLTA (1987).

Como se vê, a pobreza em nutrientes é generalizada quando se compara a fertilidade dos solos dos dois ecossitemas com a de um solo que se pode considerar adequado.

A baixa fertilidade dos solos do cerrado e da Amazônia mostra desde logo que não se pode falar em expansão da fronteira agrícola nessas direções sem recorrer a dois insumos externos: o corretivo e o fertilizante. Não se deve esquecer que a vegetação do cerrado é indicadora não de falta d'água (FERRI, 1944), mas de deficiências e excessos, da síndrome do escleromorfismo oligotrófico (ARENS, 1958; ALVIM & ARAUJO, 1952). A floresta tropical úmida, por sua vez, subsiste no seu climax natural; graças principalmente à ciclagem interna de nutrientes (GOLLEY et al., 1975; JORDAN, 1985; FASSBENDER, 1985).

Tabela 5-1. Comparação entre solos "adequado", do cerrado e da Amazônia.

Característica	Adequado	Cerrado	Amazônia [1]
N %	0,13 - 0,16	0,09	0,13
pH (H_2O)	6,0 - 6,5	5,0	4,5
P disponível, ppm[2]	10 - 15	0,4	1,6
S-SO_4, ppm	10 - 15	7	?
Trocáveis meq/100 ml			
K^+	0,20 - 0,30	0,08	0,10
Ca^{+2}	3 - 4	0,25	0,48
Mg^{+2}	1 - 1,5	0,09	0,23
Al^{+3}	< 0,6	0,6	0,5
% T			
K^+	3,0 - 5,0	1	1
Ca^{+2}	50 - 60	10	6
Mg^{+2}	10 - 15	10	3
V, %	50 - 70	30	10
Saturação em Al	< 30	59	44
B ppm[3]	0,5 - 1	0,10	?
Cu[2]	0,8 - 1,6	0,6	?
Fe[2]	30 - 40	32	?
Mn[2]	10 - 20	8	?
Zn[2]	1 - 5	0,6	?

(1) Média ponderada LA, LVA e PVAd.
(2) Mehlich 1.
(3) Água quente

Entretanto, é possivel, modificar-se o componente edáfico do ecossistema em termos econômicos e nele fazer Agricultura permanente e alcançar-se CEM: um exemplo está na Tabela 5-2. No solo em questão tem sido mantida uma produtividade do cafeeiro de 30 sacas/ha, média móvel de 4 anos. Para comparação foram incluidos na Tabela 5-2, os parâmetros de fertilidade de um solo de Meio Oeste norte americano onde se obteve o record mundial de produtividade de milho não irrigado: 21 toneladas/ha.

Tabela 5-2. Fertilidade de um solo cafeeiro de MG e de um solo do Meio Oeste Norte-Americano.

Caracteristica Atual	Solo Cafeeiro Inicial (1971)		Meio Oeste
pH ($CaCl_2$)	5,5 - 6,0	5,6	4,0 - 4,5
Matéria Orgânica	2,5 - 3,0	6,1	2,0 - 2,5
P, ($\mu g/cm^3$) [1]	20 - 30	180	1 - 5
S-SO_4, ppm	20 - 30	47	5 - 10
K, meq/100 cm^3	0,4 - 0,5	1,3	1,10 - 0,15
CTC, %	4,0 - 5,0	7	1,7 - 2,1
Ca meq/100 cm^3	4 - 5	12	1 - 2
CTC, %	50 - 60	67	17 - 28
Mg meq/100 cm^3	1 - 2	2	0,3 - 0,6
CTC, %	12 - 20	11	5 - 9
H, meq/100 cm^3	2,4 - 2,5	3,4	2,6 - 3,2
Al, meq/100 cm^3	0 - 0,2	0	1 - 2
Saturação (m)	0 - 10	0	40 - 60
CTC (pH 7), meq/100 cm^3	8 - 10	18	6 - 7
SB meq/100 cm^3	5,4 - 7,5	15	1,4 - 2,7
V, %	65 - 75	86	23 - 40
B, ppm [2]	0,6 - 1,0	0,9	0,1 - 0,3
Cu [3]	1 - 2	1,0	0,3 - 0,6
Fe [3]	30 - 40	76	20 - 30
Mn [3]	20 - 30	235	15 - 20
Zn [3]	4 - 5	11	0,3 - 0,6

[1] Resina.
[2] HCl 0,05 N.
[3] Mehlich 1.

5.2. O Adubo no sistema solo-planta

Na Figura 4-2 foi indicado o lugar do adubo no sistem solo-planta: aumentar a concentração de M na solução. O elemento pode ter vários destinos: absorção pela raiz, entrada na fase lábil; imobilização na fase sólida. Pode ainda ser perdido irremediavelmente pela erosão e ser lixiviado. Deve-se notar que as reações de transferência são todas elas reversiveis. Umas mais, outras menos. O elemento lixiviado pode subir por capilaridade à camada arável quando a umidade o faz, desde que não tenha, ao descer, atingido o lençol freático. No caso do N e do S há passagem de compostos voláteis para a atmosfera, de onde, entretanto, podem voltar ao solo geralmente na água da chuva. Quer dizer, pois que a única transferência que implica em perda total do elemento é a representada pela erosão, o proceso que "rouba hoje a herança do brasileiro de amanhã". Em nivel mundial LAL (1984) estimou que anualmente perde-se nas terras cultivadas 1 cm de solo e que a natureza leva 1000 anos para refazê-lo no processo pedogenético.

Usando-se as perdas médias de solo por erosão transcritas por COSTA (1985) foi feita uma estimativa da perda de macronutrientes que aparece na Tabela 5-3. Convertendo-se P em P_2O_5, K em K_2 e Ca e Mg em CaO e MgO tem-se os seguintes números:

N	-	863 mil t
P_2O_5	-	198 mil t
K_2O	-	1122 mil t
CaO	-	12082 mil t
MgO	-	3670 mil t
S	-	86 mil t

Como se verá mais adiante o Brasil consumiu em 89: 870 mil t de N, 1130 mil t de P_2O_5 e 1230 mil de K_2O. O CaO contido no calcário consumido pode ser estimado numas 4 milhões de t. O S aplicado como sulfato de amônio importado correspondeu a umas 144 mil t. Os elementos perdidos pela erosão equivalem, portanto, a 100% do N aplicado como adubo, a 1/6 do P_2O_5, a todo o K_2O fornecido, a 3 vezes o calcário consumido e a mais da metade de S importado como sulfato de amônio.

5.3. Adubação da planta ao solo ou adaptação do solo à planta

Do mesmo modo que se viu com os corretivos, faz parte da "nova sintese" para a agricultura, contida na ASBI (LISA para os norteamericanos) a utilização de espécies e variedades mais eficientes na utilização de nutrientes do solo ou do adubo: plantas que fazem mais com menos.

Tabela 5-3. Estimativa das perdas por erosão nas principais culturas[1].

Cultura	Perda Anual t/ha[2]	Perda Total (1000 t) N	P	K	Ca	Mg	S
Algodão	25	37,5	3,75	37,5	375	93,7	3,75
Arroz	25	131,2	13,12	131,12	1312	328,0	13,12
Cacau	0,9	0,6	0,06	0,6	6	1,5	0,06
Café	0,9	2,2	0,22	2,2	22	5,5	0,22
Cana	12	48,0	4,80	48,0	480	120,0	4,80
Feijão	28	145,6	14,5	145,6	1456	364,0	14,5
Laranja	0,9	0,8	0,8	0,08	8	2	0,08
Mandioca	34	64,6	6,4	64,6	646	161	6,4
Milho	12	156,6	15,6	156,0	1560	390	15,6
Soja	20	244	24,4	244	2440	610	3,3
Trigo	10	33	3,3	33	330	82	3,3
TOTAL	-	363	86	863	8630	2157	86

[1] Composição percentual média (teores totais) do solo perdido: N - 0,1; P - 0,01; K - 0,1; Ca - 1; Mg - 0,25 e S - 0,01 Áreas consideradas: Tabela 2-1.

[2] Solo.

Dentro da biodiversidade agrícola, não ecológica, é possível encontrar-se, dentro duma mesma espécie, plantas mais eficientes para utilizar este ou aquele elemento. Veja-se, por exemplo, MALAVOLTA & AMARAL (1978), CLARK & BROWN (1980). Acontece quase sempre, porém, que produzir mais com menos significa produzir pouco.

Em obediência à lei básica da Ecologia, "na natureza não há refeição grátis" o que se deve buscar na verdade, são espécies e variedades eficientes e responsivas. Eficiente neste caso quer dizer maior capacidade de aproveitar baixos níveis de nutrientes no

solo. Responsiva quer dizer responder de modo quase linear ao adubo aplicado em termos de aumento na colheita, aspecto discutido, entre outros, por MALAVOLTA & NEPTUNE (1983).

Adubar, pois, é preciso.

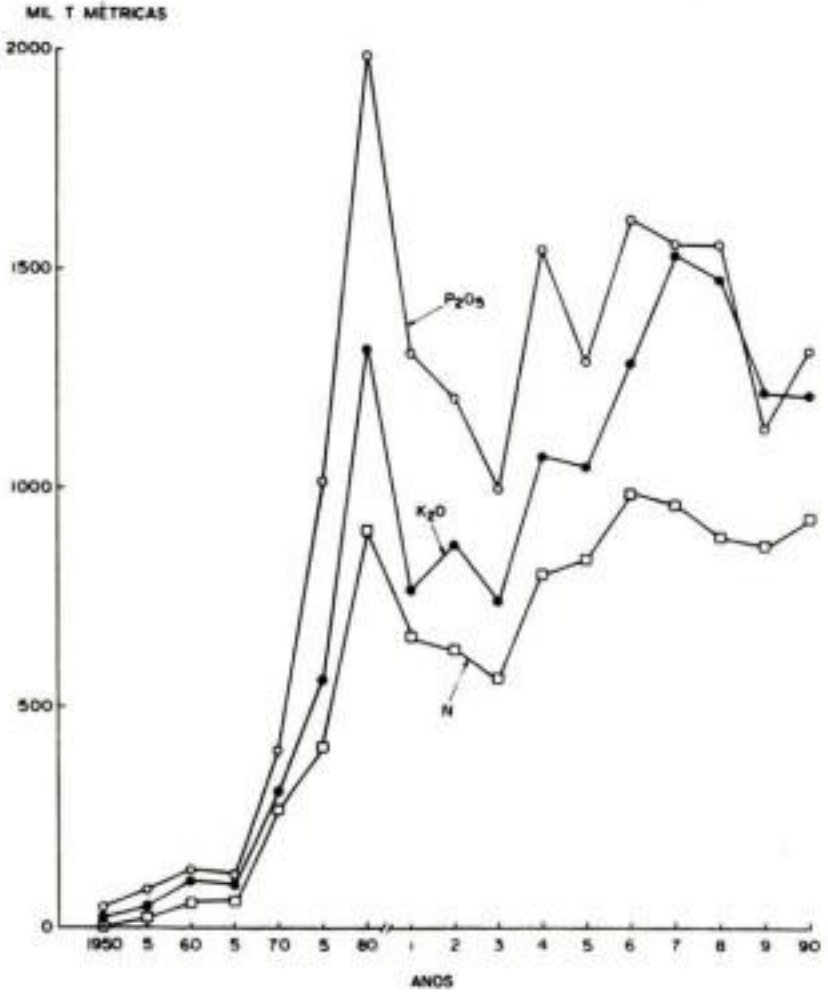


Figura 5-1. Evolução do consumo de Fertilizante no Brasil.

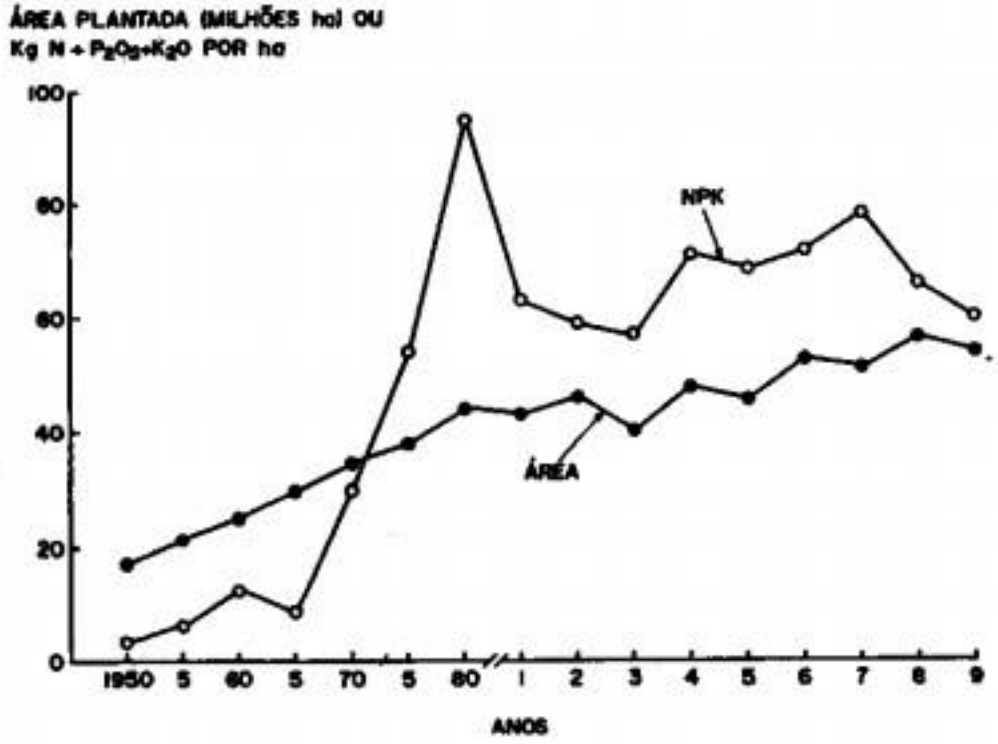


Figura 5-2. Evolução da área plantada e do consumo unitário de nutrientes no Brasil.

5.4. Adubos minerais - Necessidades e consumo

A evolução do consumo de adubos no Brasil no período 1950-1990 é representada na Figura 5-1. As curvas se dividem em 4 segmentos:

1950/65 - aumento muito pequeno (90 mil a 280 mil t de N + P_2O^5 + K_2O);

Tabela 5-4. Participação das principais culturas no consumo brasileiro de adubos (1990)[1].

Cultura	Área	Consumo de Adubo
	---------- % ----------	
Algodão	2,2	3,4
Arroz	6,0	6,2
Cacau	0,9	0,6
Café	4,3	6,8
Cana	7,0	18,7
Feijão	7,9	6,2
Laranja	1,2	4,3
Mandioca	2,8	0,8
Milho	18,2	14,7
Soja	16,6	18,0
Trigo	4,8	6,9
Outras	28,1	13,2

[1]Área Total: 69237 mil ha

1965/80 - aumento acentuado (280 mil a 4,1 milhões de t);

1980/83 - queda pronunciada (4,1 a 2,3 milhões de t);

1983/90 - retomada deo crescimento (2,3 a 3,4 milhões de t).

Causas dessas variações foram discutidas por PUGGINA (1986), ANDA, (1987), MALAVOLTA (1991).

Tabela 5-5. Estimativa das necessidades brasileiras de adubos das principais culturas[1].

Cultura	Doses Médias			Necessidade			Consumo		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
	kg/ha			mil t			mil t		
Algodão	80	80	60	59	118	88	26	52	39
Arroz	40	60	40	210	315	210	61	92	61
Cacau[2]	30	60	30	20	120	20	5	10	5
Café	160	40	160	405	101	405	104	26	104
Cana[3]	80	80	80	327	327	327	216	216	216
Feijão	30	60	30	156	312	156	54	108	54
Laranja	120	30	120	105	26	105	64	16	64
Mandioca	30	60	40	57	104	75	6	12	7
Milho	60	80	40	773	1028	514	118	154	118
Soja	0	60	40	0	732	550	0	373	249
Trigo	20	60	30	65	195	86	43	130	64
TOTAL	-	-	-	2177	3378	2536	697	1189	981

[1]Exceto para cacau, baseado em RAIJ (1985).

[2]Cacau: COM. EST. FERT. SOLO (1989).

[3]Média ponderada plantio e duas socas.

No últimos 30 anos houve, como se vê na Figura 5-2, um aumento no consumo por unidade de área: 4 kg de N + P_2O_5 + K_2O por hectare em 1950 e 60 em 1989. O consumo per caput subiu de 2 para 26 kg. As médias mundiais (1988) foram 98 e 28 kg por ha e per caput, respectivamente. O maior consumo unitário ocorreu na Holanda: 650 kg/ha. OS EUA apresentam o maior consumo per caput: 72 kg (FAO, 1989).

Há desigualdades no consumo, tanto do ponto de vista regional como no das culturas. O N e o NE respondem por 11%, o Centro por 69 e o Sul por 20. A participação das principais culturas, de

acordo com estimativas feitas pela ANDA e pela Manah S.A. (comunicações particulares, 1991) aparece na Tabela 5-4. Notar que as culturas que apresentaram ganhos maiores de produtividade (Tabela 2-1) tem também uma participação maior no consumo quando se considera esta com a área que ocupam. Feijão e mandioca, com produtividade decrescente, apresentam situação inversa.

Os dados de área cultivada apresentados na Tabela 2-1 e os da participação no consumo da Tabela 5-4 foram usados para preparar a Tabela 5-5. As necessidades globais de adubo das principais culturas representam a seguintes relações com o consumo aparente:

N	-	32%
P_2O_5	-	35%
K_2O	-	38%

En números aproximados o Brasil está usando cerca de 1/3 do adubo que deveria aplicar se todos os agricultores usassem as adubações médias recomendadas oficialmente. A estimativa para uma área de 50 milhões de ha é de 8091 mil t. Usando critério semelhante a CEPAL/FAO/BID (1966) havia estimado que 15860 mil ha necessitariam 3288 mil t. As quantidades consumidas por ha seriam, respectivamente: 162 a 207 kg.

Devido ao efeito residual do P e de K não se deve esperar, entretanto, que as doses recomendadas deveriam ser usadas indefinidamente. Se os fertilizantes fosfatados e potássicos forem empregados eficientemente, com o tempo, as doses a usar seriam menores tendendo a estabilizar-se num nivel mais baixo de adubação, como acontece nos países de Agricultura amadurecida (MALAVOLTA & NEPTUNE, 1974). As doses de N , entretanto, poderiam ser mantidas num nível alto ou mesmo crescer. O K_2O ocuparia uma posição intermediária entre o N e o P_2O_5. Em outras palavras: a longo prazo, 10 - 20 anos, talvez menos, a tendência é usar-se relativamente mais N e K_2O do que P_2O_5.

5.5. Respostas

As respostas à adubação são conhecidas a nivel mundial e local.

A Figura 5-3, dados da FAO (1981), mostra uma correlação muito forte entre consumo unitário de fertilizantes no mundo e produção de cereais (arroz, milho e trigo).

Tabela 5-6. Resumo dos resultados dos experimentos e demonstrações em 40 países (1961-1972).

Região	Experimento e demonstrações	Média da melhor resposta	Média da Relação benefício/custo
	nº	%	
África (Sul do Sahara)	43430	67	6,0
Oriente Próximo e Norte da África	37609	56	3,2
Oriente Remoto	9513	73	5,6
América Latina	10745	99	4,9
TOTAL	101297	67	4,8

Tabela 5-7. Efeito de 1 kg de NPK na colheita de várias culturas.

Cultura	Ensaios	Aumento médio na colheita	Dose média NPK/ha	Aumento kg produto/kg NPK
	nº	kg/ha	kg	
Algodão	642	409	151	2,7
Amendoim	278	715	126	5,7
Arroz	1198	1571	182	8,6
Mandioca	337	9960	184	54,1
Milho	1964	1559	182	8,8
Soja	132	637	115	5,5
Sorgo	454	1328	162	8,2
Trigo	444	1790	245	7,3

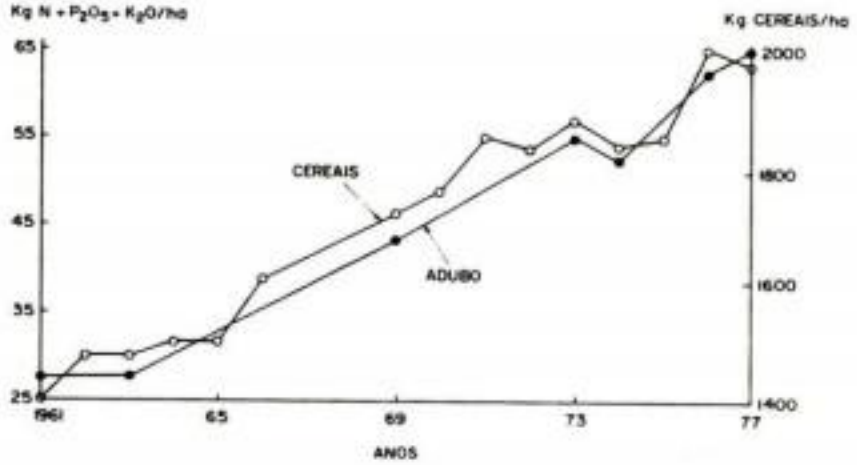


Figura 5-3. Relação entre consumo de adubo e produção mundial de cereais.

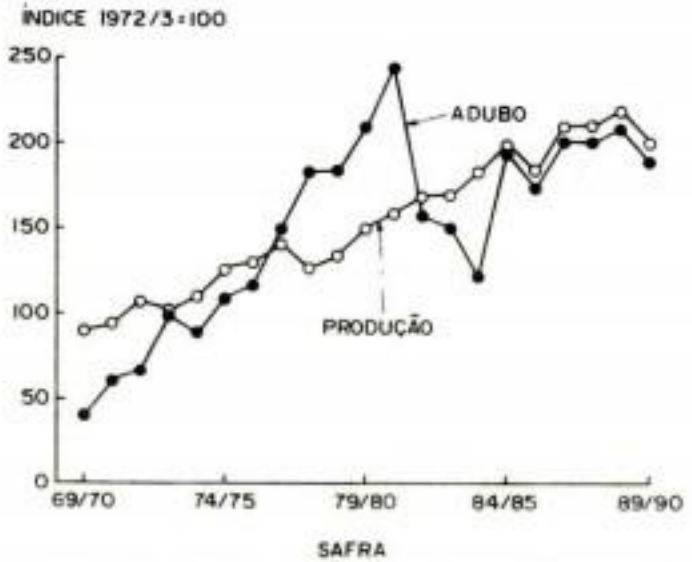


Figura 5-4. Relação entre consumo de fertilizantes e produção agregada de 16 culturas no Brasil.

Os resultados de milhares de demonstrações e ensaios de adubação conduzidos pela FAO foram resumidos por PETER (1980) e encontram-se nas Tabelas 5-6 e 5-7. Os aumentos médios obtidos, 67%, são substantivos. Além disso vê-se, considerando-se apenas os cereais e as leguminosas de grãos (Tabela 5-6) que cada kg de nutriente gerou entre 2,7 e 8,8 kg de grãos. PETER (1980) cita ainda outras pesquisas com cereais, exclusivamente em que cada kg de N P K produziu entre 9,8 e 25 kg de grãos, a mediana sendo 10.

A semelhança entre os dados brasileiros que aparecem na Figura 5-4 com os mundiais da Figura 5-3 não é mera coincidência (dados da Manah S.A., 1991, comun. particular). O mesmo se diga com respeito à semelhança entre as Tabelas 5-6 e 5-7 (dados reunidos por MALAVOLTA & ROCHA, 1981). Em valores porcentuais os aumentos obtidos no Brasil foram: arroz - 117, milho - 246, soja - 69 e feijão - 132.

5.6. Adubo mineral como substituto de área

Voltando a lembrar Swift: se forem obtidas duas folhas de pasto ou duas espigas de milho - com ajuda do adubo - claro está que a área necessária se reduziria à metade.

Os seguintes exemplos servem para demonstar que essa conclusão não está longe da verdade.

A Figura 5-5, preparada a partir dos dados da FAO (1981) mostra que no período 1919 a 1955 o adubo mineral foi responsável por cerca de um quarto da produção norteamericana de grãos. No mesmo período respondeu por 50% dos ganhos de produtividade. Note-se que a área cultivada encolheu em 16%.

Na Figura 5-6 mostra o efeito combinado do adubo e do calcário num ensaio de longa duração conduzido por SANCHEZ (1985) na Amazônia peruana. A soma das 19 colheitas sucessivas dá 7 t no tratamento sem insumos e 51 t no que recebeu fertilizante e corretivo. Em média a cada tratamento produziu, por cultivo, 0,37 e 21,68 t/ha. A relação entre os dois números, 2,68/0,37 = 7,2. Isto quer dizer que cada ha corrigido e adubado produziu tanto quanto 7,2 ha sem calcário e sem fertilizante. Em outras palavras: calcariar e adubar 1 ha significa uma economia de 7,2 ha de mata que deixariam de ser derrubadas e queimadas, contribuindo assim para a tranquilidade ambiental, objeto de tanta preocupação do mundo inteiro (SETZER & PEREIRA, 1991).

Veja-se agora os dados da Tabela 5-8. Dividindo-se os aumentos de produção obtidos com 45-90-45 pela colheita sem adubo chega-se aos seguintes números:

arroz	-	0,71
milho	-	1,68
soja	-	0,37
feijão	-	1,45

Figura 5-5. Fontes de variação na produção, E.U.A., 1919-55.

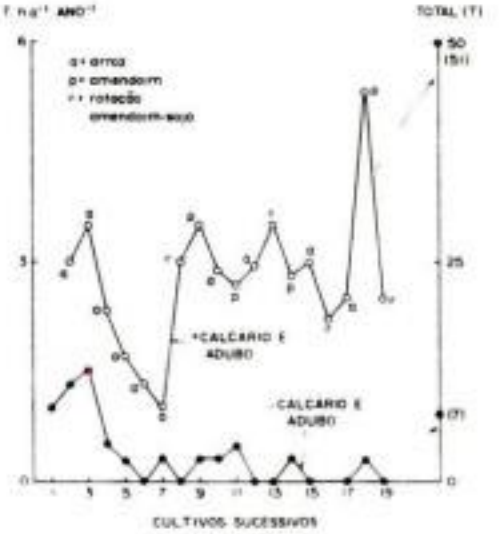


Figura 5-6. Efeitos da correção da acidez e da adubação na produção de grãos na Amazônia Peruana (SANCHEZ, 1985).

Tabela 5-8. Resumo dos resultados obtidos em ensaios e demonstrações conduzidas em Brasil Central (1969-1976)[1].

Cultura	Ensaios	Média Local	Colheita econômica máxima	Média da relação
	nº	---------- kg/ha ----------		kg produto/ka NPK
Arroz	1676	1282	2783	8,3
Milho	1417	1400	4853	19,1
Soja	850	1060	1793	4,1
Feijão	756	500	1153	3,6

[1]Dose média de adubo: 45 kg N + 90 kg P_2O_5 + 45 kg K_2O

O que equivale a dizer: 0,71 ha de arroz adubados produzem tanto quanto 1 ha sem adubo; 1 hectare de milho, nos mesmos tratamentos produz o equivalente a 1,68 ha sem adubar. Com a soja o resultado é mais modesto. No caso do feijão 1 ha adubado equivale a quse 1,5 ha sem adubo. Obviamente o uso adequado dos adubos reduz a necessidde de expansão da área no cerrado. Ao contrário, torna possivel reduzi-la.

5.7. Adubos orgânicos - Papéis, disponibilidade, uso e limitações

Os adubos orgânicos são cantados em prosa e verso pelos partidários da ASBI (LISA para os norteamericanos) que deles dizem algumas coisas que são novas e outras que são verdadeiras. Acontece, porém, que as coisas novas não são verdadeiras e as verdadeiras não são novas...

Para tornar curta uma história longa, pode-se resumir assim os papéis dos adubos orgânicos: fornecem nutrientes para as plantas; ajudam a melhorar as propriedades teóricas, físico-químicas e microbiológicas do solo.

No caso do fornecimento de nutrientes os adubos orgânicos podem ser substituidos pelos minerais, geralmente com vantagem prática e econômica.

No segundo caso a substituição direta não é possivel: a ureia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio não são capazes de melhorar a estrutura do solo, promover a formação de agregados e aumentar o armazenamento e a circulação do ar e da água e não são sedes de cargas negativas para aumentar a capacidade de

troca catiônica. Exceção feita para a primeira, não são fonte de carbono para os microorganismos heterotróficos e nem insetos e minhocas. Os adubos minerais e o calcário são, entretanto, capazes às vezes de diminuir o efeito desfavorável do mau uso nas propriedades físicas do solo e aumentar as colheitas, como se verá mais tarde.

Propriedades físicas, físico-químicas, químicas e biológicas do solo devem ser colocadas dentro da lista dos fatores de produção. E estes dentro da velha lei do mínimo: se uma delas for limitantes para a produção, ter-se-ia que recorrer aos adubos orgânicos. Mas, para fazê-lo seria obrigatório considerar apenas dois aspectos: o da viabilidade técnica e o da viabilidade econômica. Se essas duas restrições não puderem ser contornadas ou vencidas em prazo curto ou médio, há que buscar outra terra para cultivar onde as limitações apontadas não existam.

Aceita-se sem discussão, entretanto, que todo esforço deve ser feito para reciclar os adubos orgânicos e os resíduos urbanos, agroindustriais desde que a dupla viabilidade ocorra. Como acontece em muitos casos, jogar os estercos, a palha do café ou o casqueiro de cacau não faz sentido nem prático e nem econômico. Lançar a vinhaça nos rios é crime econômico e ambiental. No caso particular do lixo doméstico e do esgoto também doméstico cuja utilização é feita em escala desprezível no País, dever-se-ia promover sua reciclagem, ainda que não econômica, a sociedade pagando a conta mediante impostos ou taxas apropriadas: afinal, ela os gerou. A ela - a sociedade - cabe lhes dar o destino adequado que é o agrícola. E não os aterros sanitários ou os rios e oceanos. Recorde-se a propósito que o fósforo do solo ou do adubo vai terminar nas dejeções, ou seja, no esgoto urbano. E o P_2O_5 é um recurso finito (ao contrário do N), não renovável e não substituível (ao contrário do petróleo). As plantas não vivem sem P e o homem não vive sem plantas.

A Tabela 5-9, resumida de COSTA (1985) contem uma estimativa da disponibilidade de adubos orgânicos em São Paulo no ano 1982-3. Se todo o lixo e o esgoto "produzido" pelos paulistas fosse reciclado total de nutrientes passaria para: N - 33972, P_2O_5 - 4662; K_2O - 23408. Tudo em mil t. É tentador comparar esses número com os relativos ao consumo e às necessidades de adubos no Brasil (Tabela 5-5).

São várias as limitações para a reciclagem das fontes de matéria orgânica tabuladas, exceto os restos de cultura e os adubados verdes:

resíduos agroindustriais - tortas são usadas na alimentação animal; transporte para a vinhaça.

resíduos urbanos - falta de decisão política

Tabela 5-9. Disponibilidade de várias fontes de matéria orgânica no Estado de São Paulo[1].

Fonte	Volume 1000 t/ano	Quantidade de Nutrientes (1000 t) N	P_2O_5	K_2O
Resíduos aminais	63221	1247	812	1043
Resíduos vegetais	30918	404	81	499
Adubos verdes	41	1	0,24	0,7
Res.agro-industriais	81536	239	113	163
Res. urbanos[2]	118	2	0,7	2
TOTAL	175036	1897	1008	1709

[1] Resíduos animais - estercos. Resíduos vegetais - restos de culturas. Resíduos agro industriais - tortas de oleaginosas, vinhaça, resíduo de frigoríficos, resíduos beneficiamento. Resíduos urbanos - esgoto e lixo.

[2] Quantidades recicladas equivalentes a 5% do lixo produzido e 0,01% do esgoto.

No caso particular do esgoto das cidades, havendo mistura do doméstico com o industrial, metais pesados podem estar presentes em níveis tóxicos para a planta como lembra COSTA (1985).

6. CORRETIVOS - OS MITOS E OS FATOS

Ao que parece, os partidários de algumas seitas em que se divide o movimento ASBI (LISA para os norteamericano) não tem maiores objeções com relação ao uso do calcário: talvez por ser este um produto "natural". É possível, entretanto, que apresentem restrição ao calcário calcinado porquanto este sofreu tratamento térmico. Mas, se o calor for gerado pela queima de madeira, outro produto "natural", quem sabe o calcário calcinado seja aceitável. Há, entretanto, algumas crendices em meios menos esclarecidos com relação ao emprego do calcário: é o que VOLKWEISS & TEDESCO (1984) com muita propriedade chamam de "supostos malefícios da calagem". E que aqui são denominados mitos, mitos esses que não tem fundamento experimental, isto é, não encontram apoio nos fatos como se mostrará em seguida, usando-se em parte dados de VOLKWEISS & TEDESCO (1984).

6.1. Esterilização e Diminuição de Matéria Orgânica do Solo

Os dados obtidos no RS e resumidos nas Tabelas 6-1 e 6-2 mostram que a calagem, elevando o pH a valores perto de 7, cria condições favoráveis para as bactérias e pode aumentar um pouco o teor de matéria orgânica. Aumentando a população e a atividade bacteriana, aumenta também a disponibilidade de elementos como o N,

o P, o S e o B que são liberados quando os microrganismos mineralizam a matéria orgânica que contem esses elementos.

Os "Morrow Plots" (parcelas Morrow) localizados na Universidade de Illinois em Urbana-Champaign, E.U.A. são dos mais velhos ensaios de adubação e calagem que se conhece tendo sido estabelecidos em 1876 (ODELL et al., 1982). Recentemente REETZ et al. (1989-90) resumiram alguns dos dados obtidos. Parcelas continuamente cultivadas com milho sem adubo, calagem ou esterco até 1955 nesse ano passaram a receber calcário e N P K. Como mostra a Tabela 6-3 esse tratamento fez subir o teor de matéria orgânica do solo. O efeito favorável da calagem no teor de matéria orgânica do solo, ou pelo menos evitando sua diminuição, se explica por aumentar o crescimento e, portanto, a quantidade de restos de cultura e do próprio mato, restos esses que são humificados pela ação de microrganismos.

6.2. Ressecamento do solo

A calagem aumenta o crescimento das plantas. As vezes vindo um período de seca nota-se que o solo também seca: as plantas mais desenvolvidas absorvem mais água. E produzem mais.

Tabela 6-1. Efeito da calagem na produção de bactérias em quatro solos do RS.

Solo	Tratamentos	
	Sem calagem	Com calagem
	Milhões de bactérias/kg solo	
Farroupilha	20	480
Bom Jesus	100	190
S. Jerônimo	890	1000
Bom Retiro	340	1290

Tabela 6-2. Efeitos da calagem nos teores de matéria orgânica 6,5 anos após a aplicação do calcário no RS.

Solo	Tratamentos	
	Sem calagem	Com calagem
	---------- % ----------	
S. Jerônimo	3,0	3,1
Tupanciritã	0,5	0,6
Vacaria	5,9	5,9

Tabela 6-3. Teor de matéria orgânica em algumas parcelas de Morrow.

Ano	Tratamentos	
	Sem calagem	Calcário + NPK
	---------- % ----------	
1955	2,4	2,4
1980	2,3	2,4
1982	2,5	2,6
1984	2,2	2,5
1986	2,3	2,5
1988	2,4	2,6

6.3. Destruição da estrutura e compactação do solo

Solos usados durante alguns anos podem ter estrutura degradada e apresentar compactação. Isto se deve, entretanto, ao mau uso desses solos: muita aração e gradagem que pulverizam o solo; número excessivo de passagens de máquinas e caminhões que compactam; implementos inadequados; trabalho como o solo muito úmido, queima dos restos de cultura que assim deixam de dar sua contribuição para a matéria orgânica do solo; falta de rotação de culturas. A calagem, ao contrário, melhora a porosidade do solo devido à maior quantidade de raízes nos solos corrigidos, com o que aumentam a taxa de infiltração da água e a resistência à erosão, diminuindo a enxurrada.

6.4. Enriquecimento do pai e empobrecimento do filho

A calagem pode aumentar consideravelmente a produção no ano da aplicação e em outros mais: enriquecimento do pai. Maior produção acarreta maior extração e maior exportação de macro e micronutrientes. Se esses elementos não forem restituídos mediante a adubação, a falta de um ou mais poderá, com o tempo, limitar a produção: empobrecimento do filho. Assim, o empobrecimento do filho não será causado pela calagem mas pela falta de adubação.

O falso axioma foi importado da Europa onde os solos, por terem argilas do tipo das esmectitas, apresentam cargas negativas permanentes. Nessas condições, calagens excessivas podem provocar deslocamento do K trocável pelo Ca, facilitando a sua perda por lixiviação, o que diminuiria a colheita. No caso dos solos brasileiros, entretanto, cujas cargas são geralmente dependentes do pH, a calagem, em vez de facilitar, dificulta a lixiviação do K (MIELNICZUK, 1972; MALAVOLTA, 1985).

6.5. O Gesso provoca lixiviação e perda de K e Mg

A lixiviação de K e Mg como consequência da aplicção de gesso tem sido observada em alguns ensaios de campo (QUAGGIO et al., 1982) e em trabalho de laboratório nos quais o corretivo é aplicado em colunas de solo que recebem água para simular lençol freático) pode não se dar, como acontece em solos canavieiros. Por outro lado, a perda é diminuída ou evitada quando se associa a calagem à gessagem (PAVAN, 1984).

Os resultados experimentais reunidos por PEREIRA et al. (1986), PAVAN & VOLKWEISS (1958), SOUZA et al. (1986), PAOLINELLI et al. (1986) e MALAVOLTA et al. (1986) mostram que o fosfogesso teve efeito positivo na produção ou não afetou em nenhum sentido.

6.6. O fosfogesso aumenta a radioatividade ambiental e a dos alimentos

Os estudos de ROESSLER (1984, 1986) nos EUA mostraram que a aplicação do fosfogesso não causa aumento na radioatividade do solo e do alimento diferente da radiação de fundo (back ground) no primeiro caso, não atingindo a dosagem permissível no segundo.

7. FERTILIZANTES - OS MITOS E OS FATOS

O fato maior com respeito aos adubos minerais é, sem dúvida o seu papel na produção de alimento, fibra e energia renovável e na substituição de terra, como se demonstrou no item 5.

Há, contudo, alguns mitos que devem ser refutados, como se verá em seguida, todos eles dentro do bôjo da ASBI e das "agriculturas alternativas" (plural e letras minúsculas).

7.1. O Fertilizante destroi a matéria orgânica

O Campo de Sanborn (Sanborn Field) localizado no campus da Columbia da Universidade Missouri, Missouri, EUA, vem recebendo cultivo contínuo desde 1888. Amostras de solo foram coletadas e conservadas desde 1915. O efeito da cultura de trigo na dinâmica da matéria orgânica foi estudado com a ajuda de uma técnica baseada na extensão com que a cultura é marcada pelo isótopo estável, carbono-13, fixado na fotossíntese. O teor de matéria orgânica foi medido diretamente e a medição do C-13 permitiu distinguir as contribuiçoes da pastagem original e da cultura do trigo. Como se vê na Figura 7-1, pouco modificada de WAGNER (1988-90), houve um decréscimo acentuado no teor de matéria orgânica quando a pastagem começou a ser cultivada, até 1938. Depois de 1950 o trigo passou a receber adubação mais generosa e os seus restos foram incorporados ao solo. Essa mudança no manejo, quase dobrou, a entrada anual de C e consequentemente o teor de matéria orgânica passou a subir quase atingindo o valor inicial. A proporção da matéria orgânica devida à pastagem nativa, depois de cair até 1928, tornou-se estável. Na figura a área entre as duas curvas indica a matéria orgânica resultante da incorporação dos restos de trigo.

A Tabela 7-1, tirada de MORAES (1981) mostra que, num ensaio de certa duração com cafeeiro, o teor de matéria orgânica na camada de 0-10 cm aumentou como resultado do uso de corretivos e adubo minerais, em relação ao controle não adubado: a maior produção de mato e de restos (folhas, galhos pequenos) deve explicar o resultado.

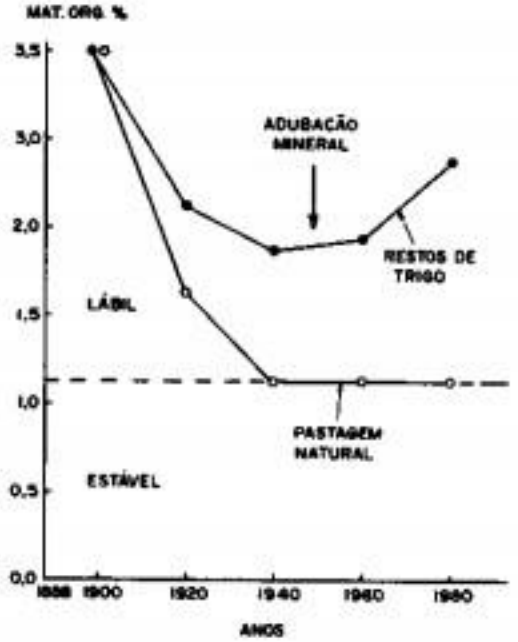


Figura 7-1. Variação no teor de matéria orgânica em um solo de pastagem nativa cultivada com trigo.

Tabela 7-1. Efeito da aplicação combinada de adubos orgânicos e minerais sobre o teor de matéria orgânica de um solo de cerrado.

Tratamento	Profundidade 0-10cm	11-20cm	21-50cm
	-- Matéria orgânica % --		
Controle não adubado	2,43	2,33	2,17
Esterco	4,53	3,00	2,50
Esterco + NPK + calcário	4,60	2,63	2,33
NPK + Calcário + Micronutrientes	3,87	2,17	2,36
d.m.s.	0,55	0,52	0,33
c.v. %	5,8	7,0	5,1

Tabela 7-2. Propriedades físicas de dois perfis das parcelas de Morrow.

Profundidade	Densidade	Porosidade %	Umidade cm/cm(1)	C%	Sat. Base %	CTC meq/100g
cm	g/cm³		Sem tratamento			
0-22,5	1,45	45	0,25	1,32	65	17
22,5-30,0	1,34	49	0,24	1,49	71	18
30,0-37,5	1,43	46	0,20	1,20	83	23
		Calcário + NPK desde 1955				
0-25,0	1,39	47	0,25	1,94	72	21
25,0-45,0	1,31	50	0,17	1,90	74	24
45,0-57,5	1,40	47	0,18	1,24	79	26

Tabela 7-3. Efeito do sistema de preparo do solo, da calagem e da adubação em culturas na Amazônia.

Tratamento	Preparo do Solo: Derrubada e queima		Preparo do Solo: Bulldozer	
	Arroz	Mandioca	Arroz	Mandioca
	t/ha			
Sem aração	1,7	22	1,0	10
Aração	1,9	23	1,0	9
Aração + 50-0-40	2,3	22	1,2	12
Aração + 50-172-40	2,5	29	1,6	23
Aração + 50+172+40 + cal	3,2	34	2,6	32

(1)Velocidade de infiltração: derrubada e queima 10 cm/ha bulldozer 0,5 cm/ha

7.2. O adubo deteriora as propriedades físicas do solo

Se verdadeiro o mito de que o fertilizante destroi a matéria orgânica do solo, este também o seria, como corolário do primeiro.

Já foi visto (Tabela 6-3) como no tratamento calcário + N P K o teor de matéria orgânica de parcelas de Morrow é maior que o encontrado na testemunha. A Tabela 7-2 mostra algumas características físicas, químicas e físico-químicas de parcelas que não receberam nenhum tratamento e daquele que a partir de 1955 foi tratada com calcário + N P K verifica-se que estas apresentam menor densidade aparente e maior porosidade: não se pode, pois, falar em deterioração das propriedades físicas.

A Tabela 7-3, simplificada de SEUBERT et al. (1977) mostra que o bulldozer provocou deterioração nas propriedades físicas (medidas pela velocidade de infiltração da água) a qual se refletiu em diminuição na colheita de arroz e mandioca. Entretanto, o uso de adubo e calcário teve a virtude de elevar a colheita aos níveis do tratamento de preparo de solo, derrubada e queima, em que as propriedades físicas foram conservadsas. Esse resultado se explica tendo em conta a compactação do solo restringe o desenvolvimento das raízes e, portanto, sua capacidade de absorver nutrientes. Mais nutrientes do adubo e do corretivo compensam, pois, a existência de menos raízes e dificuldades na absorção impostas por falta d'água e adubação. DELVER (1980) apresentou um tratamento matemático da compensação que ajuda a entender o observado.

7.3. O adubo mineral envenena o solo e o produto agrícola

Ao que parece, o mito se refere unicamente, aos adubos sintéticos. Alguns ambientalistas aceitam o emprego do salitre do Chile (nitrato de sódio) e o dos fosfatos naturais moídos por serem produtos "naturais". Neste particular os fertilizantes são equiparados aos defensivos agrícolas.

Em um livro que recebeu o patrocínio da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (COSTA, 1985) lê-se, para exemplo do que foi escrito acima: "A chamada modernização da agricultura, com seus insumos, seus fertilizantes, sua mecanização intensiva, pesticidas e outros venenos altamente tóxicos, **causou efeitos colaterais dramáticos**, atingindo de maneira perigosa o meio ambiente e a **qualidade dos alimentos produzidos**". "Este quadro vem tornando cada vez mais urgente, a necessidade de desenvolver técnicas agrícolas menos agressivas ao meio ambiente". (Os grigos não são do texto). Tais técnicas agrícolas menos agressivas seriam as relacionadas com a adubação orgânica que dá o título ao livro. Desnecessário dizer que o texto não comprova com exemplos brasileiros ou do exterior esses "efeitos colaterais dramáticos" causados pela adubação mineral e nem a perda na "qualidade do alimento produzido". É possível que o livro aqui publicado tenha se inspirado em outro

produzido originalmente nos E.U.A. e traduzido para o português sob auspícios da SEPLAN e do CNPq (ANÔNIMO,1984), bem mais moderado que a sua contrapartida nacional.

Para demonstrar a improcedência das alegações pode-se dividir o assunto em dois aspectos. O primeiro diz respeito ao adubo mineral em si. O segundo se relaciona com impurezas que o mesmo possa conter. Para simplificar apenas alguns adubos serão considerados.

Nas condições naturais as plantas absorvem o N nas seguintes formas (excluídas as leguminosas e algumas gramíneas que, mediante associações simbióticas, menos íntima ou na rizosfera, com ajuda de bactérias fixam N_2 da atmosfera): NH_4^+ e NO_3^-. Devido à rapidez com que o NH_4^+ liberado na mineralização da matéria orgânica é convertido em nitrato esta é a forma predominante absorvida pelas raízes. Quando se usa nitrato de amônio na adubação, parte do N já se encontra na forma nítrica. O restante, NH_4^+, é transformado em NO_3^-. Segue-se daí que o adubo em questão não coloca no solo nada que lhe seja estranho ou que envenene. Ao se usar a uréia esta é transformada em NH_4 que também é nitrificado. Na faixa de pH que vai de 4 a 8 a forma de P predominante na solução do solo é $H_2PO_4^-$. Qualquer que seja o adubo fosfatado empregado - dos fosfatos de amônio ao fosfato natural moído ou à farinha de ossos - a planta somente absorve depois de sofrer transformações no solo que levam à produção de $H_2PO_4^-$. O K na solução do solo encontra-se na forma iônica, K^+, em equilíbrio com o adsorvido ao complexo de troca. Quando se aplica KCl como adubo este se dissocia para dar K^+ que a raiz absorve. Para maiores detalhes veja-se MALAVOLTA (1980), RAIJ (1991).

Devido à matéria prima utilizada na produção dos fertilizantes alguns contaminantes, como metais pesados, por exemplo, podem em parte chegar ao produto final. Uma revisão muito abrangente do assunto encontra-se em SWAINE (9162). Os calcários (VALADARES, 1974) e o fosfato contem-nos (MAY & SWEENEY, 1983). Alguns dos metais pesados são micronutrientes o que, em princípio, é benéfico. Outros elementos, entretanto, são tóxicos, como o Cd e o Hg. Com respeito aos elementos tóxicos, o esgoto tratado é particularmente rico, como já foi mencionado, havendo uma relação direta e linear entre o teor dos mesmos nesse adubo orgânico e o nível encontrado nos solos tratados (ADRIANO, 1986, p. 11).

No caso dos fertilizantes minerais, entretanto, não há motivo para preocupação.

Para SINGH & BISWAS (1982) nas condições da Índia o emprego de fosfogesso contendo 1% de F não deve contribuir para aumentar o teor desse elemento no solo.

Como se pode ver na Tabela 7-4, com anos de aplicação de adubo fosfatado praticamente não elevam teor de contaminantes (úteis ou tóxicos) no solo (BOCKMAN et al., 1990, p. 143).

MORTVEDT (1987) estudou a acumulação de vários metais pesados em ensaios de longa duração conduzidos nos E.U.A. e já mencionados (parcelas de Morrow e Campo Sanborn). Os dados encontram-se na Tabela 7-5. Verificam-se diferenças significativas, em relação à testemunha, somente no Campo de Sanborn. Entretanto, o efeito do super triplo é igual ao do esterco. Entretanto, como mostra, a Tabela 7-6, não houve aumento significativo nos teores dos metais pesados nos grãos dos cereais, colheita de 1978. JONES (1992) encontrou 3,04 ppm de U .

Tabela 7-4. Metais pesados em rocha fosfática e no solo.

Elemento	Média mg/kg[1]	Variação mg/kg rocha	Médias mg/kg rocha	Médias mg/kg solo[2]	Adição ao Solo em 100 anos mg/kg[3]
Arsênico	45	1 - 30	7	6	0,04
Cádmio	170	0,01- 120	25	0,35	0,14
Cromo	1000	0,3 - 460	150	70	0,83
Cobalto	13	0,5 - 6	2	8	0,01
Cobre	200	6 - 80	30	30	0,17
Chumbo	40	3 - 40	6	35	0,03
Manganês	200	6 - 300	30	1000	0,17
Mercúrio	0,2	0,11- 0,10	0,03	0,06	0,0017
Molibdênio	33	1 - 10	5	1,2	0,03
Níquel	230	1 - 85	35	50	0,19
Zinco	660	3 - 800	100	90	0,55

[1]Rocha com 34% P_2O_5
[2]Mediana
[3]Camada 0-20 cm, densidade 1,2.
Aplicação anual: 50 kg P_2O_5/ha anos nas parcelas de Morrow.

Tabela 7-5. Concentrações de alguns metais pesados no solo (0-20 cm) em ensaios de longa duração (teores totais)

Tratamento	Ano	Elemento (ppm) Cd	Ni	Zn
		Parcelas de Morrow[1]		
Testemunha	1933	0,206	29	70
	1978	0,226	29	72
Esterco	1933	0,206	29	73
	1953	0,206	29	71
	1978	0,220	30	74
Super Triplo	1978	0,192	30	68
Esterco + Super Triplo	1978	0,206	30	71
		Campo de Sanborn[2]		
Testemunha	1938	0,291	21	62
	1978	0,290	25	66
Esterco	1938	0,346	23	69
	1978	0,402	32	80
Super Triplo	1938	0,360	22	65
	1978	0,426	31	74
D.M.S. (0,05)		0,086	4	4

[1]Esterco aplicado desde 1905. Super Triplo aplicado desde 1954. Esterco + Super Triplo - esterco somente desde 1905 a 1953, juntos entre 1954 e 1967, somente Super Triplo desde 1968. Cultura: Milho.

[2]Esterco desde 1888; super triplo ou outros adubos fosfatados desde 1914.

Tabela 7-6. Teores totais de alguns metais pesados nos grãos dos cereais em ensaios de longa duração.

Tratamento	Elemento (ppm) Cd	Cu	Mn	Ni	Zn	Produção kg/ha
Parcelas de Morrow[1]						
Testemunha	0,020	2,3	5,8	2,5	23	3700
Esterco	0,011	2,4	5,0	2,7	25	6200
Super Triplo	0,028	4,7	4,7	1,4	20	10200
Est.+Super Triplo	0,016	2,5	5,0	3,3	21	10500
Campo de Sanborn[2]						
Testemunha	0,058	5,3	6	2,1	24	800
Esterco	0,031	1,7	5	1,2	26	8000
Supewr Triplo	0,039	1,8	5	0,6	21	4600
Parcelas de Magruder[3]						
Testemunha	0,058	5,3	40	0,06	41	1300
Esterco	0,042	5,1	34	0,06	33	2100
Super Triplo	0,030	4,8	38	0,05	32	2100

[1]Grãos de milho. Ver nota na Tabela 7-5.

[2]Grãos de milho. Ver nota na Tabela 7-5.

[3]Grãos de trigo. Esterco desde 1899. Super Triplo desde 1930.

nas parcelas sem adubo e 3,78 nas adubadas com P_2O_5 depois de 82 anos nas parcelas Morrow.

Tem-se que concluir, pois, que o envenenamento do solo e do produto agrícola pelos fertilizantes minerais é um mito. Se verdadeira a alegação, dever-se-ia esperar uma relação direta entre adubo usado por ha e mortalidade infantil e uma relação inversa entre a primeira variável e a duração de vida nos diversos países: quanto mais adubo usado, mais veneno consumido no alimento e, portanto, maior mortalidade infantil e vida mais curta. Que isso não acontece a Figura 7-2 demonstra. Os dados foram tirados de ALLAWAY (1971, p. 553). É evidente que não se pretende que o uso de adubo tenha uma relação de causa e efeito com as duas variáveis. Maior mortalidade infantil e menor duração de vida se explica pela "poluição da miséria" na expressão de Roberto Campos.

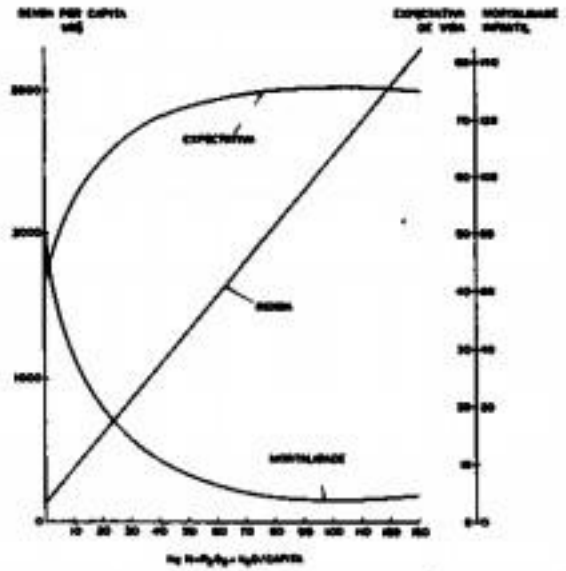


Figura 7-2. Consumo de adubo, renda percapita, expectativa de vida (anos) e mortalidade infantil (mortes antes de 1 ano por 1.000 nascimentos) em 19 países (simplificado).

7.4. O Adubo mineral polui

Poluição no caso presente refere-se principalmente ao aumento no teor de $N\text{-}NO_3$ na água potável e deste e de fosfato em lagos e lagoas onde provocam a eutroficação.

Como mostra a Figura 4-2, M pode ser absorvido, lixiviado ou erodido. Se M = N então, há possibilidade de passagem para a atmosfera. Absorção, lixiviação e erosão tratam indistintamente M nativo do solo e M proveniente do adubo.
Devido à fixação pelo solo o $H_2PO_4^-$ praticamente não se lixivia. O $N\text{-}NO_3^-$ por sua carga negativa e fraca retenção pelas cargas positivas do complexo de troca está mais sujeita à lixiviação embora possa ascender quando o solo seca como foi demonstrado no Brasil por VERDADE (1951). O K em solos de baixa CTC, pode ser lixiviado, embora não tão intensivamente como no nitrato (FRANCO & MEDINA, 1960). Segue-se daí não ser lícito atribuir eutroficação ao P lixiviado do adubo o qual através de águas subterrâneas atingiria as água paradas dos lagos e lagoas. A entrada do fósforo nesses corpos d'água somente é possível pelo arrastamento do solo na enxurrada o que denuncia mau uso, sem o emprego de práticas conservacionistas. KOLLENBRANDER (1982), lembra que em áreas densamente povoadas a carga de P das águas superficiais é determinada principalmente pelas águas residuais produzidas pelos habitantes, como acontece na Holanda. A contribuição para o total de 8,2 milhões de t/ano, excluindo-se os detergentes, apresentou a

seguinte distribuição quanto à origem:

excrementos da população	49%
água residual da indústria	21%
agricultura	18%
origem natural	12%

A Tabela 7-7, resumida de CEA, IFA & IPI (1983) mostra o destino do N, P e do K do adubo aplicado. Os dados se referem às condições da Europa. No caso das condições subtropicais e tropicais do Brasil possivelmente haja perdas maiores de K por lixiviação como foi lembrado. Vê-se que há faixas largas na lixiviação o que deve refletir variação no manejo do fertilizante e outras práticas culturais.

Tabela 7-7. Destino do N, P e do K aplicados como adubo.

Processo	N	P	K
	-------- % do aplicado --------		
Acumulação pela cultura no ano da aplicação[1]	25 - 70	5 - 30	50 - 100
Lixiviação e enxurrada	0 - 30	0 - 10	0 - 10
Imobilização na matéria orgânica	0 - 30	-	-
Volatização como NH_3	0 - 40	-	-
Desnitrificação	0 - 30	-	-
Fixação no solo	-	70 - 95	0 - 50

[1]Em três anos no caso do P.

No que tange a lixiviação e seu impacto ambiental há preocupação séria, que às vezes se torna exagerada pela extrapolação e generalização indevidas, no caso dos nitratos que podem atingir a água potável. A Organização Mundial da Saúde fixou em 10 mg $N\text{-}NO_3$ (45 mg NO_3) por litro o nível máximo permissível na água para que não haja risco de methemoglobinemia (Mhb) infantil (ECETOC, 1988). O No_3 absorvido é reduzido a nitrato no tracto gastro intestinal o qual passa para o sangue produzindo Mhb a qual não transporta O_2 e, em níveis excessivos, causa cianose e anoxia dos tecidos.

Os nitratos da água de fontes e poços podem ter 5 origens principais: atmosfera, mineralização da matéria orgânica, fixação biológica, adubos orgânicos inlusive restos de culturas) e adubos minerais. Didaticamente essas fontes são divididas em confinadas (point sources) e não confinadas (non point sources) (veja-se KEENEY, 1982). A contribuição dos adubos minerais e orgânicos é classificada como não confinada. Há exemplos na literatura mostrando que o maior uso do N como fertilizante ou esterco contribui para o aumento no teor de nitrato na água. Isto, entretanto, acontece quase sempre quando a adubação nitrogenada é mal feita, menos eficiente, seja pelo uso de doses excesivas, seja pela aplicação inadequada. Convém lembrar que só recentemente apareceram métodos que permitem recomendar adubação nitrogenada com base na análise de solo e que o seu uso, pelas dificuldades de colocá-los na rotina ainda é restrito (STANFORD, 1982). Por causa disso as doses usadas nem sempre são as adequadas. Embora a culpa pela entrada de nitrato nas águas seja mais frequentemente posta nas costas dos adubos minerais, a participação dos adubos orgânicos como os estercos pode ser considerável e maior como ocorre nas proximidades dos confinamentos (LOEHR, 1984, p. 42-43). Nem sempre, porém niveis indesejáveis de $N\text{-}NO_3$ são atingidos. O emprego de técnicas mais eficientes na adubação nitrogenada e no manejo das culturas em geral tende a diminuir o teor de $N\text{-}NO_3$ na água como demonstram PPI (1973) e VIETS (1971), entre outros.

O alarme provocado pela possibilidade de que o uso de adubos nitrogenados poderia tornar a água imprópria para o consumo humano ou dos animais domésticos, levou à proposta de alternativas para restringir o consumo dos mesmos (HEADY & VOCKE, 1979; SWANSON, 1982; KOLLENBRANDER, 1982). Se o consumo de N nos E.U.A. fosse reduzido a 55 kg/ha, metade da dose usada nos anos 70, uma opção considerada "politica uniforme não apropriada" devido à diversidade das regiões e culturas ("a injustiça está em tratar igualmente as coisas desiguais" ensinava Ruy Barbosa) teria o impacto que se vê na Tabela 7-8. Se a hipótese se verificar, somente a produção de milho e soja e de silagem seria afetada. Em todos os casos, entretanto, teria que aumentar a área cultivada para compensar a diminuição na produtividade. E, exceto no caso da silagem, haveria a necessidade de aumentar o uso de inseticida. Além disso o retorno obtido pelos agricultores diminuiria em 18 e 15%, respectivamente, no Sudeste e no Pacífico. KOLENBRANDER (1982) fez um exercício em que estimou as doses máximas de N que poderiam ser usadas, em solos arenosos e argilosos cultivados ou com pastagens, de modo a não exceder a norma da OMS de 22 mg N na forma nítrica. Para isso levou em conta a lixiviação, cuja intensidade varia, em função daquelas variáveis (textura e tipo de cultivo) admitindo que 50% da quantidade de nitrato no percolado fosse desnitrificada e que, de outro lado, não houvesse desnitrificação. Como se pode ver na Tabela 7-9, no nivel A de lixiviação em solo arenoso cultivado não se poderia usar N na adubação. Somente no nivel C de percolação haveria possibilidade

de adubação com N em solo arenoso arado compatível com a necessidade da cultura. Nesses solos a dose de 70 kg seria insuficiente para atender as exigências da planta.

Tabela 7-8. Variações percentuais nos insumos e produtos consequências da alternativa de restrição no consumo de nitrogênio nos E.U.A.

Cultura	Produção	Hectares	N	Inseticidas
Milho e Sorgo	-4	+ 5,5	-47	+ 7
Cevada, aveia e trigo	+8	+ 5,0	- 3	+26
Algodão	0	+11,5	-56	+35
Feno	+6	+ 6,5	-44	+22
Silagem de milho e sorgo	-6	+ 1	-23	- 2

Nas condições brasileiras as doses médias de N empregadas não devem ser motivo de preocupação. Em culturas intensivas - batatinha, tomate - em que são usadas doses muito pesadas de fertilizantes é possível que haja escapamento de N para as águas subterrâneas. De acordo com REICHARDT et al. (1982) as perdas de N de várias culturas por lixiviação variam entre 6 e 32 kg/ha: apenas 0.4 e 11 vieram do adubo aplicado.

Dentro dessas considerações sobre os efeitos das restrições no uso de adubos minerais vale a pena transcrever dados de VIETS (1971) os quais estimam as perdas porcentuais nas colheitas norte americanas se não fossem usados N e P por motivo ou pretexto qualquer. Como mostra a Tabela 7-10, as perdas podem ser muito grandes. Para compensá-las seria necessário usar mais terra o que aumentaria o preço final dos produtos para o consumidor interno e para a exportação, com queda na competividade no mercado externo.

Como se vê, o risco de contaminação da água por nitrato e o da eutroficação existe, embora seja errado generalizá-lo. Aceita-se sem discussão que em sistemas de produção intensivas deve-se procurar aumentar a eficiência da adubação nitrogenada (mineral e principalmente orgânica). Com isso haverá diminuição nos riscos e aumento nas relações benefício/custo. Sugestões são encontradas em KEENEY (1982) e ECETOC (1988).

Tabela 7-9. Aplicações máximas permissíveis de N ($kg.ha^{-1}.ano^{-1}$).

Nível	Perda máxima por lixiviação em 300mm de água	Norma da CMS mg N-NO_3/l		Terra arada Solo:		Pastagem solo:	
		-50%desnit.	+50%desnit.	Arenoso	Argiloso	Arenoso	Argiloso
	$kg\ N\text{-}ha^{-1}.ano^{-1}$						
A	33	11	-	0	100	320	500
B	66	22	11	70	360	450	725
C	125	-	22	260	900	650	1100

Tabela 7-10. Exemplos do impacto da eliminação dos adubos N P nas colheitas de algumas culturas norte americanas.

Cultura	Adubação		Colheita		Diminuição
	N	P_2O_5	com adubo	sem adubo	
	----------		kg/ha	----------	%
Milho	68	41	6580	4970	25
Soja	4	21	2475	2325	7
Algodão	88	67	346	212	39
Fumo	85	142	1927	500	75
Grapefruit[1]	200	0	37	2,5	94
Cana[1]	0	20	82	25	70
Trigo	30	18	1960	1260	36
Arroz	91	32	4910	2500	49
Hortaliças[1]	160	85	30	14	52
Alface[1]	0	74	14	8	42
Batata[1]	125	100	25	16	36

[1]Produção em t/ha

7.5. O adubo mineral piora a qualidade dos produtos agrícolas

Para efeito da discussão deste item considera-se como qualidade caracterisrtica física e químicas que aumentam o valor nutritivo, o aroma, o sabor, a cor, o valor comercial do produto ou combinações dos mesmos. Exemplos: o tamanho do grão de café ou as características da bebida avaliada na prova de xícara; o teor de proteína ou de óleo no grão da soja; o tamanho (dentro de limites) ou a cor externa da laranja; o teor de ácidos e de sólidos totais do suco; a resistência ao armazenamento; ao transporte e ao manuseio; o teor de açúcar e a sua extração no caldo de cana. E assim por diante.

Alguns desses componentes são consequência direta da nutrição mineral: o N aumenta o teor de proteína pois dela faz parte. Outros - a maioria - podem ser consequência indireta da nutrição e, portanto, da adubação: açúcares, ácidos orgânicos, vitaminas, constituintes da cor e do sabor, são constituintes orgânicos que nem, o adubo mineral e nem, o adubo orgânico possuem. Elementos minerais podem, entretanto, ser essenciais para a sua biossíntese que tem lugar dentro da própria planta. Neste caso, tanto o adubo mineral quanto o orgânico funcionam através do fornecimento de nutrientes, sendo por isso impossível diferenciar o papel de um e de outro.

Há muitos trabalhos de revisão que dão exemplos ou explicam o efeito favorável da adubação (= fornecimento de macro ou micronutrientes) na qualidade dos produtos agrícolas: ALLAWAY (1971), IPI (1975, 1977), MALAVOLTA (1981), CEA, IFA & IPI (1983).

ANÔNIMO (1985) não defende o mito de que os adubos orgânicos melhorem a qualidade dos produtos agrícolas. COSTA (1985) também não o faz.

7.6. Os adubos minerais são um desperdício de energia fóssil

A crise energética do início dos anos 70 chamou a atenção para o consumo de energia para a Agricultura em geral e para a produção de fertilizantes em particular (PIMENTEL & PIMENTEL, 1979; FLUCK & BAIRD, 1980). A Agricultura passou a ser considerada por alguns como esbanjadora de energia não renovável. Trata-se de mais um exagero ou de mais uma demonstração de ignorância dos ambientalistas. Conforme se vê na Tabela 7-11 a produção de alimento nos E.U.A. corresponde a menos de 3% do total da energia consumida naquele País: gasta-se mais energia para prepará-lo do que para produzi-lo no campo (os dados são de FLUCK & BAIRD, 1980, p. 24). Além disso, o sistema de alimentação norte americano - da produção ao preparo para consumo - representa menos de um quarto de toda a energia consumida. A Tabela 7-12 baseada em FLUCK & BAIRD (1980, p. 28) mostra a repartição do consumo energético nos E.U.A. na produção agrícola. A produção dos adubos minerais representa 36% do total. Entretanto, como se viu na Tabela 7-10, a parcela

debitada ao adubo é 2,9% do total geral. Assim, na Agricultura norteamericana, o adubo representa 0,36 x 3,9 = 1,05% do consumo total de energia.

Tabela 7-11. Consumo de energia em sistema norte americano de produção de alimento como percentagem do consumo total.

Componente	Percentagem
Produção	2,9
Manufatura	4,8
Distribuição (atacado e varejo)	1,3
Preparação	
não doméstica	2,8
doméstica	4,3
TOTAL	16,1

Tabela 7-12. Consumo de energia em diferentes aspectos de produção agrícola norte americana em 1974.

Item	Consumo MJ x 10^9	%
Produção de fertilizantes	6500	36
Irrigação	2500	14
Colheita	1500	8
Preparo de solo	1500	8
Transpoprte na fazenda	2400	13
Secagem	1250	7
Produção de defensivos	1000	5
Cultivo	250	1,4
Proteção da geada	250	1,4
Plantio	250	1,4
Aplicação de adubo	100	0,5
Aplicação de defensivo	100	0,5
Diversos	150	0,7
Operação de silos	100	0,5
TOTAL	17850	100,0

Tabela 7-13. Balanço energético em ensaios de adubação e calagem.

Cultura	Número de ensaios	Tratamento	Produção kg/ha	Produção Mcal/ha	Mcal Produto adicional/Mcal adubo
Milho	11	0-0-0	1327	4609	
		45-90-30	3271	11702	6,5
Feijão	19	0-0-0	502	1651	
		30-45-30 +1,5t cal	1019	3302	1,4
Soja	16	0-0-0	706	2793	
		20-120-40	1636	6385	4,6
Arroz	16	0-0-0	1497	5488	
		45-45-30	2522	9147	3,8
Cana	22	0-0-0	62689	69741	
		50-150-50 +1,5 t cal	92134	102951	19,1
	1	NPK	84000	92988	
		NPK + 3t cal	128000	141698	51,4

Há, porém, outra maneira de se olhar a energia gasta na produção do fertilizante, relacionando-se o aumento na colheita obtido com a adubação, a energia contida na produção adicional e dividindo-se esta pela energia consumida. Ou seja, calcular-se, em termos energético, a relação benefício/custo da adubação. A Tabela 7-13, tirada de MALAVOLTA (1985) demonstra que a relação benefício/custo energético em ensaios de adubação conduzidos no Brasil varia entre 1,4 e 51,5, sendo sempre favorável. O que equivale a dizer: sai mais energia (output) na forma de produto colhido do que entra como adubo (input).

7.7. O adubo mineral é caro

Na Tabela 5-5 foi visto que em cem mil ensaios de adubação e demonstrações práticas a relação benefício/custo varia entre 3,2 e 6,0, sendo mais frequentes os valores próximos de 5. Isto significa, pois, que cada unidade monetária investida em adubo rendeu cerca de 5. Em outras palavras: o fertilizante pagou-se e deu lucros, convertendo-se em um investimento muito rentável.

A Manah S.A. (comunicação particular, 1990) estudou a variação no preço da tonelada de misturas típicas usadas para as culturas de algodão, arroz, cana, feijão, laranja, milho, soja, trigo e café e o valor do produto correspondente, em dólares. Dividindo o preço da tonelada de mistura pelo valor da unidade de produto (arroba de algodão, t de cana, saca de café beneficiado, por exemplo) obteve as relações de troca ao longo do período 1980-1989. Em seguida fez igual a 100 o índice da relação de troca em 1980. A evolução do preço do adubo, do custo relativo do adubo (100 em 1980) e do índice das médias das relações de troca para todos os produtos encontra-se na Figura 7-2. De um modo geral o preço do adubo caiu no período, mostrando tendência para subir em 88 e 89, sem contudo atingir o nível inicial (1980). O índice das relações de troca, entretanto, mostra uma tendência gral para aumentar o que quer dizer: mais unidades de produto para pagar 1 tonelada de mistura. Isto foi causado, portanto, não pelo aumento no custo do adubo mas pela diminuição no valor do produto agrícola, com exceção para o ano de 1989 em que o preço do adubo, em termos relativos cresceu mais.

8. RESUMO E CONCLUSÕES

Alguns países em desenvolvimento, e este é o caso do Brasil, tem, em princípio, duas opções não mutuamente excludentes, para aumentar a produção de alimento, fibras e energia renovável, em escala compatível com o crescimento da população e das necessidades de exportar. O Brasil nos últimos 40 anos usou mais a primeira do que a segunda opção. E com isso, exceção feita para a meta de obtenção de energia renovável, nem sempre conseguiu atingir os objetivos do setor primário como mostram a alimentação insatisfatória de parte da população e as importações periódicas de alimentos básicos. Embora os dados mostrem tendências favoráveis para aumentar a produtividade, exceto no caso do feijão e da mandioca, os rendimentos médios obtidos são geralmente baixos quando se os compara com os obtidos com os de outros países e, dentro do País, como os conseguidos por produtores rurais tecnificados. Devido às restrições de tempo e capital impostos à expansão de área cultivada considera-se que atenção maior, ainda que não exclusiva, deva ser dada à opção de se produzir mais alimento, fibra, energia renovável e excedentes exportáveis mediante ganhos de produtividade. Tal opção preferencial representa menor pressão em expandir a fronteira agrícola em ecossitemas como a Amazônia, o Cerrado e o Pantanal. Dada a acidez

e a baixa fertilidade de solos brasileiros, os corretivos e os fertilizantes tem um papel maior a desempenhar nos aumentos de produtividade. Além disso, o cultivo de novas áreas na Amazônia, no Cerrado e no Pantanal não é possivel sem a introdução desses insumos externos. Em qualquer caso - aumento de rendimentos, expansão de área - o o enfoque das colheitas econômicas máximas (CEM) tem que ser preferido ao da agricultura sustentada com baixos insumos (ASBI), pois esta, como regra, significa gastar pouco e produzir insuficientemente para as necessidades que crescem todos os anos.

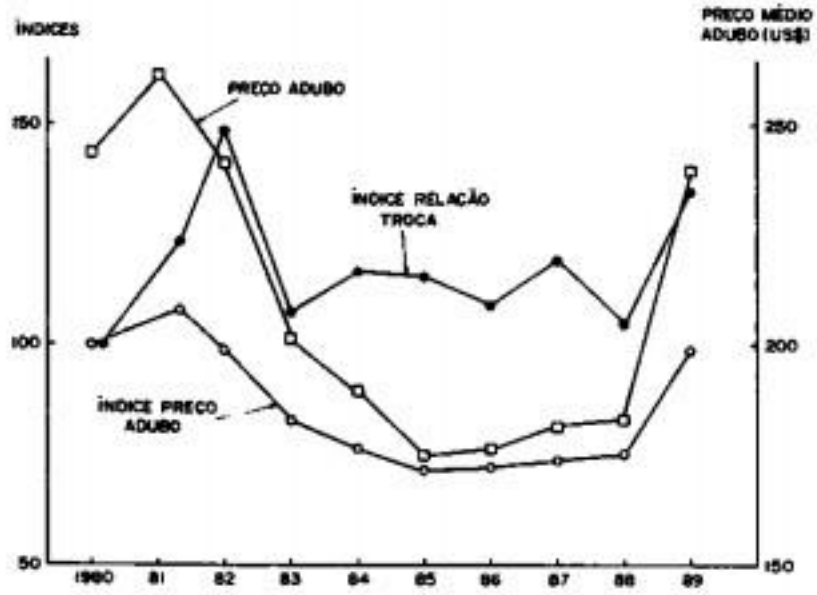


Figura 7-3. Evolução do preço médio dos adubos, média dos índices de preço do adubo e médias do índice de relação de troca (ver texto).

O uso adequado de corretivos da acidez de superfície e de subsuperfície, calcário e fosfogesso ou gesso, respectivamente, tem a virtude de, diretamente, aumentar a produtividade e o lucro e, indiretamente, é capaz de aumentar a eficiência do fertilizante e reduzir a necessidade de se expandir área. No caso particular do cerrado, a meta de aumentar a produção de grãos pode ser alcançada com auxílio da calagem a um custo cinco vezes menor que o do aumento na área cultivada.

Os fertilizantes minerais, complementados pelos orgânicos, sempre que necessário e viável técnica e economicamente, podem ser considerados como o meio maior, mais rápido e mais barato para se aumentar a produção através de ganhos sustentados na produtividade. A experiência mundial e local mostra que cada kg de N P K aplicado gera, em média, 10 kg de grãos em uma relação benefício/custo de 5/1. Na Amazônia 1 hectare adubado substitui 7 ha não adubados.

Impactos ambientais desfavoráveis atribuídos aos corretivos e aos fertilizantes minerais não são comprovados experimentalmente devendo por isso ser considerados como mitos e não fatos. A população microbiana aumenta com a calagem que, além disso, mentém ou aumenta o teor de matéria orgânica do solo através de incorporação de maiores quantidades de restos de cultura ou de mato. Propriedades físicas do solo são melhoradas. Dependendo da cultura e da dose o efeito da correção da acidez se prolonga por vários anos. O aproveitamento do adubo se faz mais eficientemente. As perdas de solo na erosão são menores. O uso do fosfogesso não contribui para aumentar a radioatividade da água, do solo e do alimento.

A contaminação da água por nitrato e a eutroficação causada por nitrato e fosfato é ilustrada por fatos isolados mas pode, quando há risco, ser evitada mediante o emprego de técnicas adequadas e conhecidas de adubação, sendo certo, entretanto, que risco maior é representado pelo uso indiscriminado de estercos em regiões onde haja muito gado confinado. A contaminação por metais pesados não é significativa, ao contrário do que pode ocorrer pela utilização de resíduo de esgoto. Os adubos minerais representam 1% de energia total consumida em países desenvolvidos. A relação benefício custo decorrente do emprego dos fertilizantes é, em geral, do ponto de vista energético da ordem de 5 para 1. A qualidade de muitos produtos agrícolas é aumentada pelo emprego de adubos minerais. Restrições indevidas no uso de adubos minerais provocariam diminuições nas colheitas, aumento no custo dos produtos para o consumidor final, acarretando a necessidade de expandir a área cultivada para que a produção total não diminuisse.

10. BIBLIOGRAFIA CITADA

ABRAHÃO, I.O. 1985. Reservas brasileiras de calcário. Em: Seminário Sobre Corretivos Agrícolas. p. 205-56. E. Malavolta. Coord. Fundação Cargill. Campinas. 357 p.

ADRIANO, D. C. 1986. **Trace elements in the terrestrial environment**. Springer-Verlag. Nova Iorque, Berlim, Heidelberg, Toquio. 533 p.

ALLAWAY, W.H. 1971. Feed and food quality in relation to fertilizer use. Em: **Fertilizer Technology and Use**. 2ª ed., p. 533-56. R.A. Olson, ed. Sci. Soc. of America, Inc., Madison, 611 p.

ALVIM, P.T. & W.A. ARAUJO, 1952. **El suelo como factor ecologico en el desarrollo de la vegetación en el centro-oeste de Brasil**. Turrialba (San Jose) 2(4): 153-60.

ANDA. 1987. **Plano nacional de fertilizantes - Sintese**. ANDA. São Paulo, 47 p.

ANÔNIMO. 1984. **Relatórios e recomendações sobre agricultura Orgânica**. 2ª ed. Trad. de I.M.C. Della Santa. SEPLAN & CNPq. Brasília, 128 p.

ARENS, K. 1958. **O cerrado como vegetação oligotrófica**. B. Fac. Fil. Ci. e Letras da Universidade de São Paulo (São Paulo) (224). Bot. (15): 59-77.

BOCKMAN, O. C.; O. KAARSTAD; O. H. LIE & I. RICHARDS. 1970. **Agriculture and fertilizer**. Norsk Hydro. Oslo. 245 p.

BROWN, L. R. 1970. Human food production as a process in the biosphere. **Sci. Amer.**, Nova Iorque, 223(3): 160-173.

CEA, IFA & IPI. 1983. **Handbook on environmental aspects of fertilizer use**. Martinus Nijhoff/dr. W. Junk Publ. Haia, Boston, Londres. 103 p.

CEPAL, FAO, BID. 1966. Brasil - **Investigación sobre el uso de insumos en la agricultura - Fertilizantes**. Santiago. 127 p.

COM. EST. FERTILIDADE DO SOLO. 1989. **Manual de adubação e calagem para o estado da Bahia**. Salvador. 173 p.

COSTA, M.B.B. (Coord.). 1985. **Adubação orgânioca - Nova síntese e novo caminho para a agricultura**. Icone Editora. São Paulo. 104 p.

CLARK, R. B. & J. C. BROWN. 1980. Role of the plant mineral nutrition as related to breeding and genetics. Em: **Moving up the yield curve: advances and obstacles**. p. 45-70. L.S. Murphy, E.C. Doll & L.F. Welch, ed. ASA Publ. Nº 39. Amer. Soc. Agronomy & Soil Sci. Soc. America. Madison. 103 p.

DELVER, P. 1980. Uptake of nutrients by trees grown in herbicide strips. Em: **Mineral nutrition of fruit trees**. p. 229-240. D. Atkinson, J.E. Jackson, R.O. Sharples & W.M. Waller, ed. Butterworths. Londres, Boston. 435 p.

DUDAL, R. 1982. Land resources and production potential for a growing world population. Em: **Optimizing yields - The role of fertilizers**. Proc. 12th International Potash Institute (Goslar), p. 277-288. International Potash Institute. Berna, 305 p.

ECETOC. 1988. **Nitrate and drinking water.** Tech. Rep. 27. European Chemical Industry Ecology and Toxicity Centre. Bruxelas. 165 p.

FAO. 1981. **Crop production levels and fertilizer use.** Roma. 69 p.

FAO. 1989. **FAO-Fertilizer Yearbook,** vol. 39. Roma. 127 p.

FASSBENDER, H. W. 1985. Ciclos da matéria orgânica e dos nutrientes em ecossistemas florestais dos trópicos. Em: **Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos.** p. 203-230. P. Cabala Rosand, ed. CEPLAC, Ilhéus. 341 p.

FERRI, M. G. 1944. Transpiração de plantas permanentes dos cerrados. **B. Fac. Fil. Ci. e Letras da Universidade de São Paulo** (São Paulo) (41) Bol. (4): 115-224.

FOY, C.D. 1984. Physiological effects of hydrogen, aluminium and manganese toxicities in acid soil. Em: **Soil acidity and liming,** 2ª ed., p. 57-98. F. Adams, ed. Amer. Soc. Agron., Inc., Crop Sci. Soc. America. Inc., Soil Sci. Soc. America, Inc. Madison, 380 p.

FURLANI, P.R. 1989. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. Em: An. II Simp. Avançado de Solos e Nutrição de Plantas. p. 73-90. A.R. Dechen, Q.A.C. Carmello & E.L. Floss, Coord. Fundação Cargill, Campinas. 148 p.

FLUCK, R.C. & C.D. BAIRD. 1980. **Agricultural Energetics.** AVI Publ. Co., Inc., Westport. 192 p.

FRANCO, C.M. & H.P. MEDINA. 1960. Arrastamentop de potássio e fósforo pela água de infiltração do solo. **Bragantia,** Campinas, 19: LXXIII-LXXVI.

FREEMAN, O. 1989-90. Ending hunger and protecting environment are equally important, challenging goals. **Better crops** (Atlanta), 74(1): 28-31.

GARCIA, A.W.R.; J.B. COREA; A.C.F. FREIRE, 1983. Levantamento das caracteristicas químicas dos solos e estado nutricional das lavouras cafeeiras do sul de Minas Gerais. An. 10º Congr. Bras. Pesq. Cafeeiras (Poços de Caldas): 5-8.

GOLLEY, F.B.; J.T. MCGINNIS; R.G. CLEMENTS; G.I. CHILD; M.J. DUEVER. 1975. **Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystem.** University of Georgia Press. Athens. 248 p.

GUIMARÃES, P. T. G. 1988. Nutrição e adubação do cafeeiro. Em: **Curso de atualização em fertilidade do solo.** p. 123-167. ESACMA, ANDA & POTAFOS. Machado. 308 p.

HEADY, E.O. & G. VOCKE. 1979. Programmed impacts of environmental restraints applied to U.S. agriculture. **J. Environ. Qual.**, (Madison) **8** (2): 143-148.

HOLT, D. 1989. A love affair with LISA. **Better Crops**, (Atlanta) **73** (3): 4-6.

HOMEM DE MELLO, F. 1985. **Prioridade agrícola: sucesso ou fracasso?** FIPE & Livraria Pioneira Editora. São Paulo. 200 p.

IBRAFOS. 1986. **Anais do I Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura**. IBRAFOS, EMBRAPA & PETROFERTIL. Brasília. 296 p.

IPI. 1975. Fertilizer use and protein production. Proc. 11th Coll. International Potash Institute (Ronne - Bornholm). Internatl. Potash Institute. Berna. 308 p.

IPI. 1977. Fertilizer use and production of carbohydrates and lipids. Proc. 13th Coll. International Potash Institute (York). International Potash Institute. Berna. 356 p.

JONES, R.L. 1992. Uranium and phosphorus contents in Morrow Plots soils over 82 years. Commun. **Soil Sci. Plant Anal.** (Nova Iorque) 23 (1&2): 67-73.

JORDAN, C.F. 1985. Ciclagem de nutrientes e silvicultura de plantações na Bacia Amazônica. Em: **Reciclagem de Nutrientes e Agricultura de Baixos Insumos nos Trópicos**. p. 187-202. P. Cabala Rosand, ed. CEPLAC. Ilhéus. 341 p.

KEENEY, D.R. 1982. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. Em: **Nitrogen in Agricultural Soils**. p. 605-50. F.J. Stevenson, ed. Amer. Soc. Agronomy. Inc., Crop Sci. Soc. America, In., Soil Sci. Soc. America, Inc., Madison, 940 p.

KOLENBRANDER, G.J. 1982. Fertilizers and pollution. Em: **Whither Soil Research**. p. 248-268. Trans. 12th International Congress of Soil Science, Panel Discussion Papers. Nova Delhi. 494 p.

LAL, R. 1984. Soil erosion from tropical arable land and its control. **Adv. Agron.**, (Orlando) 37: 183-248.

LOEHR, R. C. 1984. **Pollution control for agriculture**. 2ª ed. Academic Press, Inc. Orlando, San Diego, Nova Iorque, Londres, Toronto, Montreal, Sidney, Tóquio. 467 p.

LOPES, A. S. 1983. **Solos sob "Cerrado" - Características, Propriedades e Manejo**. Inst. da Potassa & Fosfato (EUA) e Inst. Internacional da Potassa (Suiça). Piracicaba. 162 p.

LOPES, A.S. & L.R.G., GUILHERME. 1991. **Preservação ambiental e produção de alimentos.** ANDA. São Paulo. 14 p.

MALAVOLTA, E. (Coord.) Sem data. **Gesso Agrícola.** Informe Técnico. Petrobras Fertilizantes. Sem indicação local. 48 p.

MALAVOLTA, E. 1954. **Elementos de química agrícola - adubos e adubação.** São Paulo. 308 p.

MALAVOLTA, E. 1980. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. 251 p.

MALAVOLTA, E. 1981. Adubação, qualidade dos produtos agrícolas e do meio. Em: **Manual de química agrícola - adubos e adubação.** 3ª ed. p. 576-596. Editora Agronômica Ceres Ltda. S.P. 596 p.

MALAVOLTA, E. 1982. Exigências nutricionais das plantas e necessidades de fertilizantes e corretivos. Em: An. Simp. Sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira (Brasília), p. 159-178. W. Espinoza & A.J. Oliveira, ed. EMBRAPA, ANDA, POTAFOS. Brasília, 641 p.

MALAVOLTA, E. 1984. Agricultura development of Latin America the role of fertilizers and liming materials. **Fertilizers and Agriculture,** (Paris) **38** (88): 3-41.

MALAVOLTA, E. 1985. Uso eficiente de adubos e corretivos. Em: **Energia na Agricultura.** p. 245-264. M.E. Ferreira & M.C.P. Cruz, ed. Fac. Ci. Agr. e Vet., UNESP & FUNEP. Jaboticabal. 505 p.

MALAVOLTA, E. (Coord.) 1985. **Seminário sobre Corretivos Agrícolas.** Fundação Cargill, Campinas. 357 p.

MALAVOLTA, E. 1985. Potassium status of tropical and subtropical region soils. Em: **Potassium in Agriculture.** p. 164-200. R.D. Munsion, ed. Amer. & Soc. Agronomy, Crop Sci. Soc. America, Soil Sci. Soc. America. Madison, 1223 p.

MALAVOLTA, E. 1986. **A prática da calagem.** 6ª ed. Grupo Pagliato. Sorocaba. 46 p.

MALAVOLTA, E. 1987. Fertilidade dos solos da Amazônia. Em: **Amazônia seus solos e outros recursos naturais.** p. 374-416. L.S. Vieira & P.C.T. dos Santos, autores. Editora Agronômica Ceres. São Paulo, 416 p.

MALAVOLTA, E. 1990. Colheitas econômicas máximas. **IV Curso de Planejamento e Administração na Empresa Agropecuária.** FEALQ. Piracicaba. 53 p.

MALAVOLTA, E. & A.M.L. NEPTUNE. 1974. Recent development of K fertilization in several countries in Latin America. 10th Congr. Internatl. Potash Institute (Budapest): 231-250.

MALAVOLTA, E. & J.P. ROMERO (Coord.). 1975. **Manual de adubação**. 2ª ed. ANDA, São Paulo, 346 p.

MALAVOLTA, E. & F.A.L. AMARAL. 1978. Nutritional efficiency of 104 bean varieties. Proc. 8th Internatl. Coll. Plant Analysis and Fertilier Problems (Auckland): 313-317.

MALAVOLTA, E. & M. ROCHA, 1981. Recent brazilian experience on farmer reaction and crop response to fertilizer use. Em: **Transferring Technology for Small Scale Farming**. p. 101-113. N.R. Usherwood, ed. American Soc. of Agronomy, Madison, 150 p.

MALAVOLTA, E. & A.M.L. NEPTUNE. 1983. Increasing the efficiency of utilization of soil and fertilizer phosphorus in the subtropical and tropical agriculture systems. **An. Esc. Sup. Agr. "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, **40**: 825-863.

MALAVOLTA, E. & H.J. KLIEMANN. 1985. **Desordens nutricionais no cerrado**. Potafos. Piracicaba. 136 p.

MALAVOLTA, E.; J.P. ROMERO; T.H. LIEM; G.C. VITTI. 1981. **Gesso agrícola - seu uso na adubação e correção do solo**. 2ª ed. Ultrafertil - São Paulo. 30 p.

MALAVOLTA, E.; M.R. GUILHERME; T.H. LIEM. 1986. Associações fosgogesso-calcário: princípios e aplicações. Em: Anais I Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. p. 177-196. IBRAFOS. Brasília. 296 p.

MALAVOLTA, E.; A.S. LOPES; L.R. GUILHERME. 1991. Fertilizantes, corretivos e produtividade. Simp. O Solo e a produtividade Agrícola. 43ª Reu. Anu. Soc. Bras. Progresso da Ciência (Rio de Janeiro) 74 p.

MAY, A. & SWEENEY. 1983. **Evaluation of radium and toxic elements leaching characteristics of Florida phosphogypsum stockpiles**. U.S. Dept. of Interior, Bureau of Minas Rept of Investigation. 8776. 18 p.

MIELNICZUCK, J. 1982. **O potássio no solo**. Bool. Tec. 2. 4ª ed. Inst. Potassa e Fosfato (EUA) & Inst. Internacional da Potassa (Suiça) Piracicaba. 79 p.

MORAES, F.R.P. 1981. Adubação do cafeeiro. Micronutrientes e Adubação orgânica. Em: **Nutrição e adubação do cafeeiro**. p. 77-90. E. Malavolta, T. Yamada & J.A. Guidolin, ed. Inst. da Potassa & Fosfato (EUA) & Inst. Internacional da Potassa (Suiça) Piracicaba. 226 p.

MORTVEDT, J.J. 1987. Cadmium levels in soils and plants from some long term soil fertility experiments in the United States of America. **J. Environ. Qual.**, Madison, **16**(2): 137-42.

MUZILLI, O. 1983. Calagem para o feijoeiro. Em: **acidez e calagem no Brasil**. p. 165-178. B. Van Raij, O.C. Bataglia & N.M. Silva, Coord. Soc. Bras. Ci. Solo. Campinas, 361 p.

ODELL, R.T.; W.M. WALKER; L.V. BOONE; M.G. OLDHAM. 1982. **The Morrow plots - a century of learning**. Agr. Exp. Sta., College of Agriculture, University of Illinois. Bull. 775. Urbana Champargn. 22p.

PAIVA, R. M. 1979. Modernização agricola e processo de desenvolvimento econômico: problema dos paises em desenvolvimento. Em: **Ensaios sobre politica agricola brasileira**, p. 37-86. A. Veiga, Coord. Gov. do Est. de São Paulo, Secr. da Agricultura. São Paulo. 294 p.

PAOLINELLI, M.T.; P.M. OLIVEIRA; P.R.R.S. SANTOS; V.P. LENADRO; W.V. MORAES. 1986. Aplicação direta do fosfoesso. Em: Anais I Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. p. 197-208. Brasilia. 296 p.

PAVAN, M.A. 1984. O cálcio como nutriente das culturas. Em: Anais do Seminário P, Ca, Mg, S e Micronutrients - Situação Atual e Perspectiva na Agricultura. p. 82-97. M.C. Silva, Coordenador. Manah S.A. São Paulo. 144 p.

PAVAN, M.A. & VOLKWEISS. 1986. Efeitos do gesso nas relações solo-planta: principios. Em: Anais do I Serminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. p. 107-118. IBRAFOS. Brasilia. 296 p.

PEREIRA, J.R.; C.R. VALDIESO; G.G. CARNEIRO. 1986. Recuperação de solos afetados por sódio através do uso do gesso. Em: Anais do I Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. p. 85-106. IBRAFOS Brasilia. 296 p.

PETER, A. VON. 1980. **Fertilizer requirements in developing countries**. The fertilizer Society (Londres) Proc. 188. 58 p.

PI, 1983. **Facts from your environment**. Potash Institute of North America. Atlanta. SEm. num. de páginas.

PIMENTEL, D. & M. PIMENTEL. 1979. **Food, energy and society**. Edward Arnold. Londres. 165 p.

PIMENTEL, D.; T.W. CULLINNY; I.W. BUTLER; D.J. REINEMANN; K.B. BECKMAN. 1989. Low input sustainable agriculture using ecological management practices. **Agric. Ecosystems and Environment**, Amsterdam. 27: 3-24.

PPI. Sem data. **Maximum economic yield manual.** Potash and Phosphate Institute. Atlanta. 116 p.

PUGGINA, W.A. 1986. **Perspectivas para os fertilizantes e suas matérias primas no Brasil - oferta e demanda.** ANDA. São Paulo. 40 p.

QUAGGIO, J.A. 1991. **Resposta da laranjeira Valencia em formação à calagem e ao equilíbrio de bases no solo.** Tese de Doutorado ESALQ/US, Piracicaba. 107 p.

QUAGGIO, J.A.; A.R. DECHEN; V. van RAIJ. 1982. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de base no sllo. **R. bras. Cí. Solo,** Campinas, 6: 189-194.

RAIJ, B.van (Coord.). 1985. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Sec. Agr. e Abastecimento, Instituto Agronômico, Campinas, Bol. Tec. nº 100. 107 p.

RAIJ, B. van. 1988. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo.** ANDA, São Paulo. 88 p.

RAIJ, B. van. 1991. **Fertilidade do solo e adubação.** Editora Agronômica Ceres Ltda. e Asociação Brasileira para Pesquias da Potassa e do Fosfato. São Paulo e Piracicaba. 343 p.

RAIJ. B. van.; O.C. BATAGLIA; N.M. SILVA (Coord.). 1983. **Acidez e calagem no Brasil.** Soc. bras. Ci. Solo. Campinas. 361 p.

REETZ JR., H.F.; T.R. PEWCK; M.G. OLDHAM. 1989-90. Long-term evidence for sound fertility management (the Morrow Plots). **Better Crops,** Atlanta, 74(1): 18-20.

REICHARDT, K.; P. L. LIBARDI; S. C. URQUIAGA. 1982. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. Em: **Agrochemicals: fate in food on the environment.** p. 277-290. Proc. Symp. Roma. Internal. Atomic Energy Agency. Vienna, 362 p.

ROESSLER, C.E. 1984. The radiological aspects of phosphogypsum. Proc. 2nd. Workshop on by products of phosphate industries (Bartow): 11-48.

ROESSLER, C.E. 1986. Radiological assessment of the application of phosphogypsum to agricultural lands. Em: Condenesd Papers of the Second International Symposium on Phosphogypsum. p. 1-12, Florida. Inst. Phosphate Research. Miami.

SANCHEZ, P.A. 1985. Fertilizers make possible continuous cropping in the Amazon. **Better Crops International**, Atlanta, Junho: 12-15.

SANCHEZ, P.H. & J.G. SALINAS. 1981. Low input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. **Adv. Agronomy**, Madison, **34**: 279-406.

SETZER, W. & M.C. PEREIRA. 1991. Amazonia biomass burning in 1987 and an estimate of their tropospheric emisions. **Ambio**, Estocolmo, **20** (1): 19-22.Z

SEUBERT, C.E.; P.A. SANCHEZ; C. VALVERDE. 1977. Effect of land clearing methods on soil properties of an ultisol and crop performance in the Amazon jungle of Peru. **Trop. Agric.**, Port of Spain, **54**: 307-321.

SILVA, N.M. 1983. Acidez do solo e calagem para o algodoeiro. Em: **Acidez e calagem no Brasil**. p. 259-276. B. van RAij, O.C. Bataglia: N.M. Silva, Coord. Soc. bras. Ci. Solo. Campinas. 361 p.

SINGH, R. & B.C. BISWAS. 1982. Fertilizer use and environmental quality in the tropics and subtropics. Em: Whiter Soil Research. p. 227-247. Trans. 12th Internatl. Congr. Soil Science. Panel Discussion Papers. Nova Delhi. 494 p.

SOUZA, D.M.G. & K.D. RITCHEY. 1986. Uso do geso no solo de cerrado. Em: Anais do I Seminário sobre o uso do fosfogesso na agricultura. p. 119-144. IBRAFOS. Brasília. 296 p.

SCHUH, G.E. & E.R. ALVES. 1970. **The agricultyural development of Brazil**. Praeger Publ. Nova Iorque, Washington, Londres, 456 p.

STANFORD, G. 1982. Assessment of soil nitrogem availability. Em: **Nitrogen in agriculture soils**. p. 651-686. Stevenson, ed. Amer. Soc. Agronomy, Inc., Crop Sci. Soc. America, Inc., Soil Sci. Soc. America, Inc., Madison. 940 p.

SWAINE, D. J. 1962. **The trace element content of fertilizers**. Tech. Comm. 52. Comonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal, Berks. 306 p.

WANSON, E.R. 1982. Economic implications of conctrols on nitrogen fertilizer use. Em: **Nitrogen in Agricultural Soils**. p. 773-790. F.J. Stevenson, ed. Amer. Soc. Agronomy, Inc., Crop Sci. Soc. America, Inc., Soil Sci. Soc. America, Inc., Madison 940 p.

TEDESCO, M.J.; S.J. VOLKWEISS; C.F. GOEPFERT; E.A. LANZER. 1985. **Acidez e necessidade de calcário dos solos do Rio Grande do Sul**. UFRS, Fac. Agronomia, Dep. Solos Bol. Tec. 3. Porto Alegre. 16 p.

VALADARES, J.M.A.S.; O.C. BATAGLIA; P.R. FURLANI. 1974. Estudo de materiais calcários usados como corretivo do solo no estado de São Paulo. III - Determinação de Mo, Co, Cu, Zn, Mn e Fe. **Bragantia**, Campinas, **33**(15): 147-152.

VERA FILHO, F. & H. TOLLINI. 1979. Progresso tecnológico e desenvolvimento agrícola. Em: **Ensaios sobre política agrícola brasileira**, p. 87-136. A. Veiga, Coord. Gov. do Est. de São Paulo, Secr. da Agricultura. São Paulo. 294 p.

VERDADE, F.C. 1951. Estudo da variabilidade dos nitratos num solo tipo terra roxa misturada. **Bragantia**, Campinas, **11**: 269-276.

VIETS, F.G. 197 . Fertilizer use in relation to surface and ground water pollution. Em: **Fertilizer Technology and Use**. 2ª ed. p. 517-532. R.A. Olson, T.J. Army, J.J. Hanway, V.J. Kilmer, ed. Soil Sci. Soc. America, Inc., Madison, 611 p.

VOLKWEISS, S.J. & M.J. TEDESCO. 1984. **A calagem dos solos ácidos. Prática e benefícios**. UFRS, Fac. Agronomia, Dep. Solos. Boletim Técnico 1, Porto Alegre. 28 p.

YAMADA, T. & C.M. BORKERT. 1991. Adubação da soja. **Informativo agronômico**, Piracicaba, **55**: 1-3.

WAGNER, R. E. 1979. **Interactions of plant nutrients in a high yield agriculture**. PPI Special Bull. 1. Potash and Phosphate Institute. Atlanta. 16 p.

WAGNER, G.H. 1989-90. Long term studies indicte differences in a stability of soil organic matter. **Better Crops**. **74**(1): 21-23.

SIMPÓSIO

O SOLO COMO MEIO DE DESCARTE E DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS

Coordenador: *Profª. Drª. Maria Emília Mattiazzo Prezotto (ESALQ/USP)*

MARIA EMILIA MATTIAZZO PREZOTTO - Química Ambiental e Agronomia.

ELKE JURANDY BRAN NOGUEIRA CARDOSO - Degradação de Resíduos Orgânicos pela Microbiota do Solo.

NADIR ALMEIDA DA GLÓRIA - Uso Agronômico de Resíduos.

JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ - O Uso Agronômico de Resíduos x Fertilizantes na Cultura da Cana-de-Açúcar.

QUÍMICA AMBIENTAL E AGRONOMIA

Maria Emilia Mattiazzo-Prezotto[1]

1. INTRODUÇÃO

No inicio de nossa civilização, o homem exercia pequena influência sobre o seu ambiente, apesar de, como os outros animais, atuar como predador nas comunidades naturais de que fazia parte. Da transição da etapa de coleta e caça para a agricultura, o fogo desempenhou papel fundamental como modificador do ambiente. Cortar árvores e queimar foram técnicas básicas de cultivo e o inicio da alteração do equilíbrio da biosfera.

Em meados do século XIX, a revolução industrial introduziu no processo de produção máquinas acionadas por novas fontes de energia, produzidas por combustão. Nessa época a produção humana de "bens de consumo" ainda era limitada porque a exigência da população também era limitada. Ao se aumentar a produção de matériais devido às exigências de uma população sempre crescente, as alterações no ambiente se acentuaram devido ao aumento dos resíduos gerados por essa produção e população. Assim é que enquanto que há poucas décadas atrás os resíduos eram predominantemente catabolitos (excrementos humanos e de animais), atualmente eles estão cada vez mais formado de descartes de nossa sociedade industrial. A Tabela 1 mostra os principais componentes presentes no esgoto de uma cidade nos nossos dias, suas fontes e efeitos quando descartados em águas (BRAILLE e CAVALCANTI, 1979; MANAHAN, 1990).

Desde o inicio de nossa civilização o ar, o solo e os cursos dagua foram usados como forma natural de descarte dos resíduos gerados pela atividade humana. A preocupação atual com o volume e destino final desses resíduos tem origem na conscienti-zação de que não se pode continuar considerando a natureza como fonte inesgotável de recursos de que o homem necessita para viver, como sítio para descarte indiscriminado de seus resíduos e sobretudo da conscientização de que o nosso meio tem uma capacidade especifica, limitada para a depuração do que lhe é adicionado: os gases que fluem para a atmosfera, os esgotos domésticos e industriais sem tratamento. O ciclo dos resíduos no ambiente, de acordo com MANAHAN (1990) é apresentado na Figura 1.

---

[1] Departamento de Química - ESALQ/USP. Piracicaba, SP.

Tabela 1. Constituintes principais do esgôto de uma cidade (BRAILLE e CAVALCANTI, 1970; MANAHAN, 1990).

Constituintes	Fonte	Efeito em águas
Substâncias consumidoras de oxigênio	Materiais orgânicos (particularmente fezes humanas)	Consomem oxigênio dissolvido
Compostos químicos sintéticos	Resíduos industriais Produtos domésticos	Tóxicos à vida aquatica
Microrganismos	Fezes humanas	Doenças, fator principal para a qualidade da água
Detergentes	Detergentes domésticos	Estético, tóxicos à vida aquática
Fosfatos e Nitrogênio	Detergentes Resíduos industriais Resíduos domésticos	Eutrofização
Óleos e gorduras	Processamento de alimentos Resíduo industrial	Estético, prejudicial à vida aquática
Sais	Resíduos humanos, Resíduo industrial Amolecedores de água	Salinidade da água
Metais	Resíduos industriais Laboratórios químicos	Toxicidade para organismos vivos

Entre os métodos atualmente usados para descarte de resíduos, incluem-se o bombeamento para oceanos, a incineração e os aterros sanitários/industriais, porém tais métodos não são mais considerados suficientes para acomodar uma sempre crescente quantidade de resíduos produzidos, e o uso as vezes indiscriminado dessas soluções ou complicações de seu mecanismo, podem levar à situações criticas de deterioração do ambiente, trazendo consequências indesejáveis e perigosas como são a poluição das reservas hídricas e do solo, impedindo o seu uso futuro.

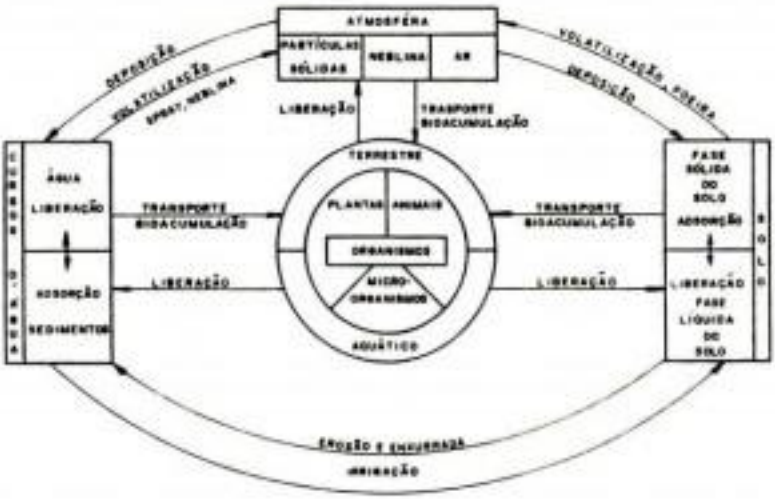


Figura 1. Ciclo de poluentes no ambiente (Manahan, 1990).

Uma forma de minimizar o problema do descarte de resíduos é a sua reciclagem racional, mediante uma análise abrangente de suas características, potencial de uso e consequências desse uso, e nesse aspecto surge como atraente a reciclagem do resíduo através de seu uso agronômico. Porém quando se considera essa possibilidade verifica-se a necessidade de um conhecimento ampliado de fenômenos químicos por parte dos agrônomos, uma vez que resíduos além dos desejáveis nutrientes e materiais orgânicos decomponíveis, podem conter compostos orgânicos e metais considerados tóxicos para organismos vivos.

Quando o tema Química Ambiental e Agronomia foi proposto, objetivo foi exatamente de mostrar essa necessidade para o agrônomo, particularmente quando se considera que é um desafio para o professor de Química, numa escola de Agronomia, motivar o aluno para o fato de que os conhecidos fenômenos químicos de dissolução e precipitação, oxidação e redução, equilíbrios ácido-base e formação de complexos, são aplicados não somente no laboratório, mas regulam o curso das reações que ocorrem na natureza. A diferença é que enquanto que num laboratório pode-se tratar de um problema de uma forma quantitativa, precisa, na natureza, não podemos controlar com exatidão todas as variáveis que afetam os processos naturais. Porém isso não inviabiliza a aplicação daqueles princípios básicos à situações onde há carência

de informações, e nesse caso, seremos obrigados a fazer especulações, aproximações e quantificações em termos de ordem de grandeza. De qualquer forma mesmo ao considerar os processos triviais no sistema solo-água-planta, o engenheiro-agrônomo já deveria interpretar os fenômenos que observa com profundidade. Quando se trata do tema utilização agronômica de resíduos essa necessidade é redobrada.

2. ALGUMAS DEFINIÇÕES

No estudo de Química Ambiental se fazem necessárias algumas definições.

Química Ambiental é o estudo das fontes, reações, transporte, efeitos e destino de espécies químicas no solo, na água e no ar, assim como a influência do homem nesses processos. De uma forma simplista pode-se definir Química Ambiental como a ciência que estuda os fenômenos químicos no ambiente em que vivemos. Na verdade os princípios básicos da química são aplicáveis sempre que se esteja tratando de processos em que ocorrem transformações químicas (uma substância dá origem a outra). Por pura conveniência a Bioquímica é o ramo que se faz necessário para explicar destino, transporte e funções de compostos químicos em organismos vivos. Assim como a Química de Solo se faz necessária para explicar o comportamento de espécies químicas em solos, a química ambiental é o ramo da química que se faz necessário para explicar comportamento de resíduos gerados (espécies químicas) pela atividade humana no ambiente. Portanto Química Ambiental como a química do ar, da água e do solo inclui a Química de Solo como a qual estamos familiarizados em agronomia.

Num sentido amplo **poluição** pode ser definida como uma alteração do ambiente natural de forma a torna-lo inadequado à diferentes formas de vida. Frequentemente características químicas, concentração e quantidades produzidas determinam o que pode ser considerado poluição. Por exemplo, um resíduo com pequena concentração de substâncias orgânicas facilmente decomponíveis, pode ser uma fonte de grande poder poluidor se gerado em grandes quantidades. Por outro lado podemos ter um resíduo com elevada carga orgânica, também facilmente decomponível, que sendo gerado em pequenas quantidades tem baixo potencial poluidor. Entretanto podemos ter casos de resíduos orgânicos, gerados em pequenas quantidades e com teores baixos de substância orgânica, entretanto esta pode ser de alta toxicidade e de lenta decomposição o que caracteriza uma fonte altamente poluidora. O potencial poluidor de um resíduo orgânico provém do fato de que a sua adição em água ou em solos consome oxigênio dissolvido, vital para o metabolismo dos seres vivos. Os parâmetros que medem o potencial poluidor de um resíduo orgânico são a **Demanda bioquímica de oxigênio** (DBO) e a **Demanda química de oxigênio** (DQO). A DBO envolve a medida do da quantidade aproximada de oxigênio que será utilizada pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica num

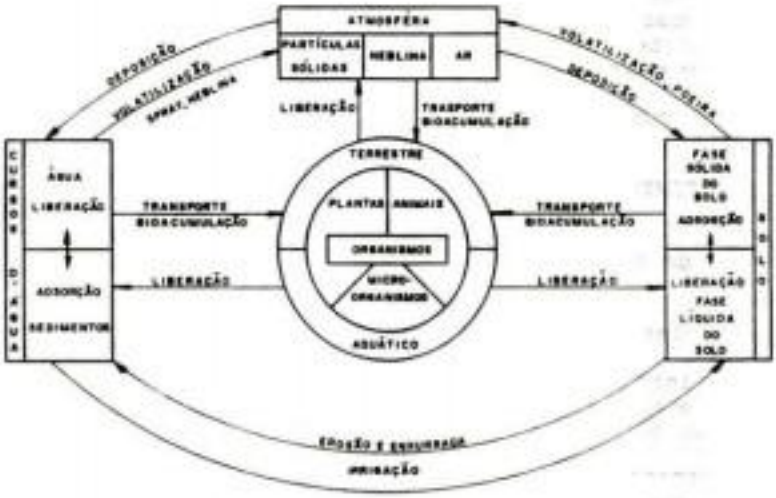


Figura 1. Ciclo de poluentes no ambiente (Manahan, 1990).

Uma forma de minimizar o problema do descarte de resíduos é a sua reciclagem racional, mediante uma análise abrangente de suas características, potencial de uso e consequências desse uso, e nesse aspecto surge como atraente a reciclagem do resíduo através de seu uso agronômico. Porém quando se considera essa possibilidade verifica-se a necessidade de um conhecimento ampliado de fenômenos químicos por parte dos agrônomos, uma vez que resíduos além dos desejáveis nutrientes e materiais orgânicos decomponíveis, podem conter compostos orgânicos e metais considerados tóxicos para organismos vivos.

Quando o tema Química Ambiental e Agronomia foi proposto, objetivo foi exatamente de mostrar essa necessidade para o agrônomo, particularmente quando se considera que é um desafio para o professor de Química, numa escola de Agronomia, motivar o aluno para o fato de que os conhecidos fenômenos químicos de dissolução e precipitação, oxidação e redução, equilíbrios ácido-base e formação de complexos, são aplicados não somente no laboratório, mas regulam o curso das reações que ocorrem na natureza. A diferença é que enquanto que num laboratório pode-se tratar de um problema de uma forma quantitativa, precisa, na natureza, não podemos controlar com exatidão todas as variáveis que afetam os processos naturais. Porém isso não inviabiliza a aplicação daqueles princípios básicos à situações onde há carência

de informações, e nesse caso, seremos obrigados a fazer especulações, aproximações e quantificações em termos de ordem de grandeza. De qualquer forma mesmo ao considerar os processos triviais no sistema solo-água-planta, o engenheiro-agrônomo já deveria interpretar os fenômenos que observa com profundidade. Quando se trata do tema utilização agronômica de resíduos essa necessidade é redobrada.

2. ALGUMAS DEFINIÇÕES

No estudo de Química Ambiental se fazem necessárias algumas definições.

Química Ambiental é o estudo das fontes, reações, transporte, efeitos e destino de espécies químicas no solo, na água e no ar, assim como a influência do homem nesses processos. De uma forma simplista pode-se definir Química Ambiental como a ciência que estuda os fenômenos químicos no ambiente em que vivemos. Na verdade os princípios básicos da química são aplicáveis sempre que se esteja tratando de processos em que ocorrem transformações químicas (uma substância dá origem a outra). Por pura conveniência a Bioquímica é o ramo que se faz necessário para explicar destino, transporte e funções de compostos químicos em organismos vivos. Assim como a Química de Solo se faz necessária para explicar o comportamento de espécies químicas em solos, a química ambiental é o ramo da química que se faz necessário para explicar comportamento de resíduos gerados (espécies químicas) pela atividade humana no ambiente. Portanto Química Ambiental como a química do ar, da água e do solo inclui a Química de Solo como a qual estamos familiarizados em agronomia.

Num sentido amplo **poluição** pode ser definida como uma alteração do ambiente natural de forma a torna-lo inadequado à diferentes formas de vida. Frequentemente características químicas, concentração e quantidades produzidas determinam o que pode ser considerado poluição. Por exemplo, um resíduo com pequena concentração de substâncias orgânicas facilmente decomponíveis, pode ser uma fonte de grande poder poluidor se gerado em grandes quantidades. Por outro lado podemos ter um resíduo com elevada carga orgânica, também facilmente decomponível, que sendo gerado em pequenas quantidades tem baixo potencial poluidor. Entretanto podemos ter casos de resíduos orgânicos, gerados em pequenas quantidades e com teores baixos de substância orgânica, entretanto esta pode ser de alta toxicidade e de lenta decomposição o que caracteriza uma fonte altamente poluidora. O potencial poluidor de um resíduo orgânico provém do fato de que a sua adição em água ou em solos consome oxigênio dissolvido, vital para o metabolismo dos seres vivos. Os parâmetros que medem o potencial poluidor de um resíduo orgânico são a **Demanda bioquímica de oxigênio** (DBO) e a **Demanda química de oxigênio** (DQO). A DBO envolve a medida do da quantidade aproximada de oxigênio que será utilizada pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica num

período de incubação de, usualmente, 5 dias a 20°C. A DQO mede matéria orgânica que pode ser oxidada pelo dicromato de potássio em meio ácido. A DQO de um resíduo orgânico constuma ser mais alta do que a DBO em virtude da maior facilidade com que compostos químicos podem ser oxidados por via química do que por via biológica. Esses dois parâmetros são considerados indicadores primários para poluição causada por substâncias orgânicas decomponíveis, porem muitas substâncias que podem tornar a água não potável não tem nenhum efeito sobre esses índices.

Uma definição razoável de poluante é a de uma substância presente numa concentração maior que a natural como resultado da atividade humana e que tem um efeito prejudicial ao ambiente ou em algum elemento de valor do ambiente. Entre os poluentes estão classificados os metais, que em virtude da intensidade com que são usados pela nossa sociedade podem atingir concentrações elevadas nos seus resíduos. A tabela 2 compilada de ADRIANO (1986) e MANAHAN (1990) mostra alguns metais pesados, suas fontes antropogênicas, sua ocorrência natural e os limites aceitos para a água de acordo com os padrões do Serviço Americano de Saúde.

Tabela 2. Fontes antropogênicas e naturais de metais para o ambiente. Teores limites de metais em águas de acordo com o Serviço Americano de Saúde. (compilada de Adriano, 1986; Manahan, 199).

Elemento	Fonte	Ocorrência Natural	Limites
			mg/l
Cádmio	Resíduos de mineração, Galvanoplastia, Indústria de pilhas	Como contaminante em minérios de Zn e Pb (sphalerite, wurzite e galena)	0,01
Crômio	Galvanoplastia Ligas metálicas Esgôto industrial Produtos químicos contendo cromio (inclusive cromatos usados como anticorrosivos)	Mineral cromita $[Mg^{+2}, Fe^{+2}][Cr^{+3}, Al^{+3}, Fe^{+3}]_2O_4$ Depósitos na Africa do Sul e Rodésia	0,05

Continua

Tabela 2. Continuação.

Elemento	Fonte	Ocorrência Natural	Limites
			mg/l
Cobre	Galvanoplastia Ligas metálicas Esgôto industrial Esgôto doméstico Resíduos de mineração, Produtos químicos contendo cobre (usados também em tratamento de águas)	Ocorre em baixos níveis como sulfêtos, carbonatos e óxidos em minerais	1,00
Chumbo	Indústrias de baterias, Encanamentos carvão, aditivos de gasolina Pigmentos de tintas e corantes	Mineral galena (PbS). Reservas globais em torno de 140 milhões de toneladas, sendo 39 milhões nos EUA	0,05
Mercúrio	Resíduo industrial Resíduo de mineração. Pesticidas Carvão,	Do mineral cinabar (HgS) Produção anual, cerca de 11500 ton. sendo 1/3 usados nos EUA	-
Zinco	Ligas metálicas Pigmentos de tintas e corantes. Galvanoplastia Resíduo industrial Encanamentos	Encontrado em muitos minerais como sulfêtos, óxidos e silicatos. Produção mundial de 5milhões de ton. consumo nos EUA de 1,5 milhões de ton.	5,0
Níquel	Ligas metálicas Indústrias de baterias Resíduo industrial (catalizador em indústria de óleos vegetais)	O teor de Ni da crosta terrestre é de 80ppm tornando-o 23º elemento mais comum, minerais laterita, pentlandita e mais de 100 outros onde é constituinte essencial	-

Todo poluente tem uma fonte. Essa fonte é particularmente importante porque é o local lógico para se eliminar a poluição. Após o poluente deixar a fonte ele pode agir sobre um **receptor**. O receptor é tudo aquilo que é afetado pelo poluente. Eventualmente se o poluente é de vida longa ele pode ser depositado em **aterros**,

que nada mais é do que um depósito de poluentes. Ali ele ficará por um longo tempo senão permanentemente.

Contaminante é tudo aquilo que causa um desvio da composição normal do meio ambiente. Contaminantes só são classificados como poluentes quando têm efeito prejudicial. Em Química Ambiental os fertilizantes podem ser considerados contaminantes uma vez que além dos elementos nutrientes as plantas, podem fornecer quantidades variáveis de elementos traços. Por exemplo, fertilizantes fosfatados contem quantidades variáveis de metais em função da composição da rocha fosfatada que lhe deu origem, com especial destaque para Zn e Cd. Nesse caso, esses elementos traços podem contaminar o ambiente. Porém isso não significa que os teores desses metais, adicionados por uma aplicação normal de fertilizantes fosfatados tenha algum efeito prejudicial. De acordo com Mortvedt e Giordano 1977), citados por ADRIANO (1986), a aplicação de 500 kg/ha de fosfato diamônio, originário de rocha fosfatada da Carolina do Norte, por 100 anos contribuirá com a seguinte quantidade de metais em kg/ha: Zn = 14,25; Cu = 0,05; Cd = 1,50; Cr = 9,75; Ni = 1,90 e Pb = 0,24. Também os tradicionais estercos animais podem ser classificados como contaminantes uma vez que em função do sistema de manejo dos animais, eles podem conter Cu e Zn.

Uma definição de **resíduos** ou material residual é bastante ampla e variável, porem eles podem ser definidos como materiais descartáveis, de pouco ou nenhum valor econômico. Resíduos, em função de sua composição química e quantidade produzida podem ser poluentes e consequentemente causar poluição.

O termo **elementos traços** se refere aqueles elementos que ocorrem em níveis bastante baixos, de poucas partes por milhão, em um sistema. Esse termo tem sua origem na química clássica onde se dizia: "é possível detectar a presença de um determinado elemento porém o nível apresentado por ele é de traços". São considerados sinônimos para elementos traços os seguintes: microelementos, micronutrientes, metais pesados. A designação **micronutrientes** á um metal lhe confere um caráter inequívoco dentro da ciência da Nutrição de Plantas. Os metais cobre, ferro, zinco manganês, cobalto e molibdênio são micronutrientes, ou seja elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, embora exigidos em pequenas quantidades. O termo **metais pesados** se refere aos elementos que tem densidade maior que 5,0 sendo que os metais considerados micronutrientes são também classificados como metais pesados, aos quais se somam também Cd, Ni, Pb, Sb, Ti, Sn, Hg e outros elementos de transição de tabela periódica.

Essencialidade, Toxicidade e Biodisponibilidade. No reino vegetal, especialmente para as plantas superiores e no reino animal, os critérios de essencialidade de um elemento são similares, isto é, um elemento é considerado essencial quando preenche as seguintes condições:

a) o elemento deve estar implicado diretamente na nutrição da planta/animal, isto é, o elemento faz parte de um composto químico vital para a vida da planta/animal;

b) a sua omissão impede que a planta/animal complete algum estágio do seu ciclo vital;

c) o efeito do elemento carente é especifico e nenhum outro elemento pode substituir esse elemento em questão.

Para plantas superiores C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mo e Zn são essenciais; Co é essencial para a fixação de N por bactérias e algas; Se e V são essenciais para *E. collie* para a alga *Scenedesmus obliqus*. Em animais são essenciais os elementos: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Co, Zn, Mn, Se, Cr, V, Sn, Ni, F, As e Mo (ADRIANO, 1986).

Para alguns elementos metálicos a simples menção de sua ocorrência no solo já induz a idéia de efeito tóxico às plantas ou aos animais. É o caso de elementos como cádmio ou chumbo, os quais são potencialmente tóxicos e não apresentam nenhuma evidência de serem benéficos aos seres vivos.

Entretanto existem elementos que são citados como essenciais às plantas e aos animais e também como potencialmente tóxico a ambos, como ocorre com o zinco. O quadro se complica quando consideramos os diversos outros metais pois para alguns o caráter benéfico é duvidoso e o caráter tóxico pode estar associado à determinada condição de pH, ou concentração do elemento ou mesmo ser incerto.

Desse modo deduz-se que é temerário tratar da condição de toxidez num sentido geral e sem restrições. Considere-se o caso dos metais classificados como nutrientes e portanto essenciais. Uma planta posta em contato com concentrações crescentes de um desses metais, poderá ter seu desenvolvimento beneficiado considerando uma faixa inicial de concentração. Em seguida, poderá ocorrer um intervalo, no qual maiores concentrações de metal serão inócuas, mas logo se atingirá um limite à partir do qual ocorrerá claro prejuizo para a planta. Portanto o elemento essencial tornou-se tóxico. Com relação ao conceito de toxicidade pode-se dizer ele é função, além da toxicidade intrinseca do elemento, do nivel fornecido. Assim é que Cu que é um elemento essencial para plantas e animais, pode se tornar tóxico em função de níveis fornecidos. Pelo exame da Figura 2, extraida de Orlando Fº e Rodella (1983), fica evidente o intervalo bastante estreito para que os efeitos benéficos do Cu presente no solo se manifestem na produtividade de cana-de-açúcar. Teores de até 0,4 ppm de Cu no solo são classificados como baixo, enquanto que teores de 1-1,4 ppm são classificados como altos. Acima de 1,4 ppm de Cu não se detecta ganho de produtividade para cana-de-açúcar.

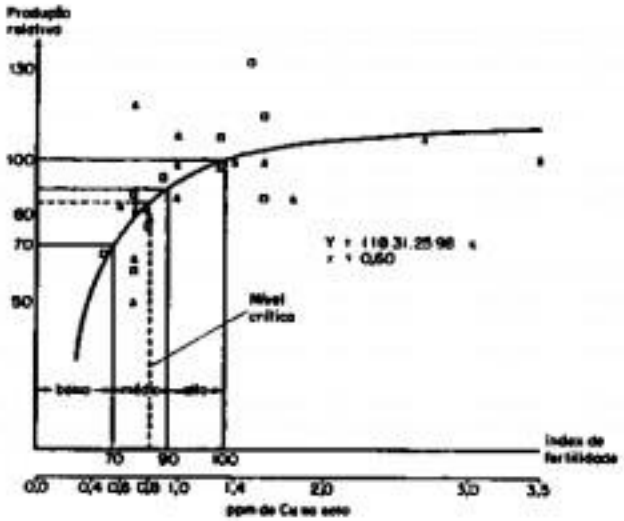


Figura 2. Relação entre os teores de Cu no solo e a produção relativa da cana-de-açúcar (Orlando Fº e Rodella, 1983).

Assim toxidez e essencialidade estão relacionadas: são partes de uma mesma curva de resposta à presença do metal no solo e a passagem de uma condição para outra dependerá de inúmeros fatores, tanto ligados ao solo com à planta.

Para manifestar sua essencialidade ou toxidez um metal deverá estar biodisponível. Um elemento essencial ou tóxico é **biodisponível** se está numa forma química que as plantas podem absorver num espaço de tempo relevante para a vida da planta, e uma vez absorvidos afetam o ciclo de vida da planta (SPOSITO, 1989). A expressão afeta o ciclo de vida da planta significando que o elemento produz crescimento e desenvolvimento se essencial ou toxicidade. Por exemplo, lodos de esgoto podem conter quantidades variáveis de N, P, K, S e metais. Quando lodos são aplicados em solos é grande a preocupação com os metais Cd, Cu, Zn, Ni e Pb que podem estar contidos nesse lodos e ao serem colocados no solo ficarem numa forma que possa ser absorvida pelas plantas, isto é, serem biodisponíveis e causarem efeitos indesejáveis às plantas ou mesmo serem transferidos para a cadeia alimentar (LOGAN e CHANEY, 1983). A **biodisponibilidade** pode ser avaliada usando extratores químicos, porém é mais frequentemente avaliada através de ensaios em vasos de vegetação, usando plantas testes.

Eutrofização descreve a condição de lagos ou reservatórios onde há excesso de crescimento de algas, o que pode eventualmente

conduzir à deterioração do corpo dágua. Numa primeira etapa da eutrofização há uma adição de nutrientes ao corpo dagua por fertilizantes carregados por enxurradas ou por descarte de esgotos. No corpo dagua rico em nutrientes há crescimento de biomassa de plantas através da fotossintese, ao lado de pequena quantidade de biomassa animal. Biomassa morta acumula-se no fundo do lago/reservatório onde se decompõe reciclando nutrientes. Se o lago/reservatório não é muito fundo as plantas começam a crescer acelerando a acumulação de material sólido no fundo. Eutrofização não é um fenômeno novo (é o responsável pela formação de imensos depósitos de carvão e turfa) entretanto a atividade humana pode acelerá-lo, através de descarte inadequado de residuos ricos em nutrientes.

3. QUÍMICA ANALITICA E QUÍMICA AMBIENTAL

Atualmente o maior desafio que se apresenta à Química Ambiental é a determinação da natureza, quantidade e comportamento de poluentes no ambiente. Assim é que a **Química Analitica** é de importância vital na pesquisa em Química Ambiental. Realmente é dificil se analisar elementos poluentes no meio ambiente uma vez que em muitos casos eles ocorrem em niveis menores que 1 ppm (1 micrograma por grama). Quantificando-se os diferentes poluentes se depara com problemas de especificidade e sensibilidade e nesse aspecto, todo químico analitico sabe que o sinal obtido pela várias técnicas analiticas pode não estar relacionado com a quantidade de elemento traço presente na amostra analisada. A determinação de um elemento traço numa matriz complexa é uma tarefa dificil que se torna cada vez mais dificil à medida que diminui a concentração do elemento analisado. A Figura 3, extraida de MORRISON (1979), mostra valores de cromo em amostras sangue humano de 1948 à 1974.

Pelo exame da Figura 3 pode-se concluir, de forma errônea, que o nivel de cromio no sangue decresceu nesse periodo. Na realidade o que ocorre é que esses valores não indicam que houve uma diminuição dos teores de cromio efetivamente presente em sangue, mas sim um declinio de concentração devido(s) à(s) continuas modificações da técnica analitica, seja devido à um maior controle da contaminação das amostras ou devido à maior especificidade dos métodos analiticos atualmente usados. Algumas técnicas analiticas são melhores para alguns elementos do que para outros, e todos os métodos estão sujeitos à interferência da matriz em maior ou menor grau. É então necessário que se inclua em algumas técnicas separações químicas e outros pré-tratamentos do material a ser analisado, para encontrar a necessária especificidade para análises precisas.

As modernas técnicas de análise química como voltametria de redissolução anódica, cromatografia, espectrofo-tometria de absorção atômica sem chama, espectrofotometria por emissão de plasma, espectrometria de massa, fluorescência de raio- X,

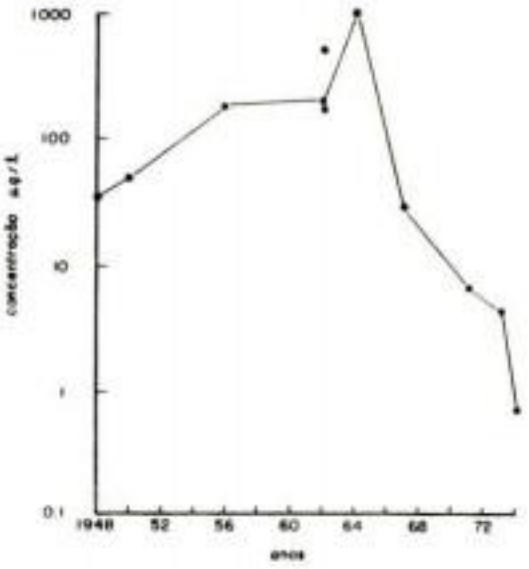


Figura 3. Variação nos valores reportados de cromio em sangue humano de 1948-1974. (Morrison, 1979).

eletrodos de ion seletivos entre outros, permitiram progressos notáveis pelo aumento da sensibilidade de instrumentos de medida, sendo que atualmente alguns componentes podem ser detectados em niveis de até ppb[2]. A tabela 3, compilada de Manahan (1990), indica métodos analiticos utilizados para detecção de alguns metais e sua sensibilidade.

Embora esse avanço da Quimica Analitica permita identificar um grande número de substâncias com alta sensibilidade, frequentemente não há um único método isolado que permita identificação inequivoca de muitas espécies inorgânicas,assim temos que depender de modelos químicos para reconhecimento das espécies e interdependência entre elas.

---

[2] ppb - parte por bilhão

Tabela 3. Comparação dos limites de detecção entre os métodos de absorção atômica convencional, absorção atômica com forno de grafite e espectrofotometria de emissão de plasma (Manahan, 1990).

Elemento	Limite de detecção		
	Absorção atômica		Emissão por plasma
	Forno de grafite	Chama convencional	
	mg/l		
Hg	2.10^{-3}	0,5	3.10^{-2}
Cd	3.10^{-4}	10^{-3}	10^{-4}
Pb	2.10^{-4}	10^{-2}	10^{-3}
Mn	2.10^{-5}	2.10^{-3}	3.10^{-4}
Fe	10^{-4}	5.10^{-3}	4.10^{-4}
Cu	2.10^{-5}	2.10^{-3}	4.10^{-4}
Cr	10^{-4}	3.10^{-3}	2.10^{-2}

4. CONCEITOS BÁSICOS DE QUÍMICA E SUA APLICAÇÃO EM QUÍMICA AMBIENTAL

Conforme já mencionado anteriormente, o uso agronômico de resíduos é atraente no aspecto de que eles podem ser fontes de matéria orgânica e nutrientes, porém, como aspecto desfavorável existe a possibilidade de excessivas aplicações de material orgânico e/ou presença de compostos orgânicos sintéticos e metais pesados, que em função de sua biodisponibilidade podem ser tóxicos para organismos vivos.

Quando se considera o uso agronômico de resíduos contendo metais em solos, o conhecimento das interações entre metais e solo é essencial para avaliação e predição do comporta-mento desses elementos no sistema. O sistema solo é uma mistura dinâmica e complexa de constituintes inorgânicos e orgânicos. A um dado momento, a concentração de um metal na solução do solo (fase líquida) é governada por vários equilíbrios tais como o do ácido-base, equilíbrios de complexação com ligantes orgânicos e inorgânicos, equilíbrios de solubilidade e precipitação de sólidos, equilíbrios de oxidação e redução e adsorção iônica. A concentração do metal na solução do solo é função da proporção em que essas reações ocorrem e da taxa de absorção pelas plantas. Entretanto, previsões confiáveis da distribuição de metais dentro do sistema solo são dependentes da exatidão com que os efeitos das

várias classes de reações podem ser estimados. A interrelação entre essas reações no sistema solo-água são esquematizados pela Figura 4 extraída de SPOSITO (1989).

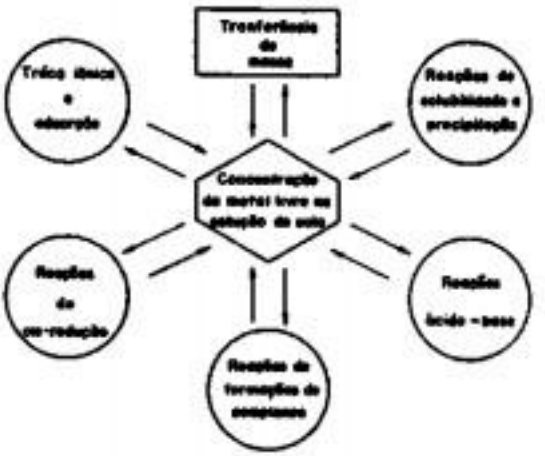


Figura 4. Representação esquemática das reações que controlam o teor de metais presentes na solução de solo (Sposito, 1989)

A importância da química para a compreensão dos fenômenos que ocorrem num sistema complexo como o solo, é o que se procurará exemplificar adiante. Vamos considerar o equilíbrio ácido-base do cation Fe^{3+}. Assim como todos os metais, o ferro se encontra em solução aquosa como íon hidratando, coordenado com 6 moléculas de água, assumindo a forma: $[Fe(H_2O)_6]^{3+}$. O cátion ferro hexahidratado é um doador de prótons ao meio, segundo Bronsted-Lowry:

$$\underset{\text{ácido}}{[Fe(H_2O)_6]^{3+}} + \underset{\text{base}}{H_2O} \longleftrightarrow \underset{\substack{\text{base conjugada}\\ \text{ao ácido } [Fe(H2O)6]^{3+}}}{[Fe(H_2O)_5OH]^{2+}} + \underset{\substack{\text{ácido conjugado}\\ \text{à base água}}}{H_3O^+}$$

A constante de ionização do cátion hexaquoferroII (Ka_1) é igual à $8,9.10^{-4}$. Só como termos de comparação vale dizer que a constante de ionização do ácido acético é $1,8.10^{-5}$, o que indica que o íon ferro hexahidratado é cerca de 10 vezes mais eficiente como doador de prótons, portanto mais forte, que o ácido acético. Esse equilíbrio ácido-base do cátion Fe^{3+} é significativo em soluções aquosas puras, porém a medida que há elevação do pH da solução,

outros equilíbrios se sobrepõem, assim é que o Fe^{3+} pode formar precipitados com OH^-, em valores de pH tão baixos quanto 3,5 (constante do produto de solubilidade para o $Fe(OH)_3$=$2,0.10^{-39}$). Em presença de fosfatos também pode ocorrer a precipitação de ferro ($KsFePO_4 = 2,0.10^{-26}$). Também o cátion ferro hidratado pode agir como agente oxidante e ganhar um eletron de acordo com a reação abaixo:

$$[Fe(H_2O)_6]^{3+} + é \quad <=====> \quad [Fe(H_2O)_6]^{2+} \quad E_0 = 0,771V$$

Existe também a possibilidade do Fe^{3+} formar complexos de alta estabilidade com compostos orgânicos entre eles moléculas simples como citrato, acetato, glicinato até moléculas mais complexas como E.D.T.A., ácidos húmicos e fúlvicos, cada um com sua respectiva constante de estabilidade.

Por esse exemplo do cátion ferro III se pode perceber as várias possibilidades de comportamento do Fe^{3+}, sendo que o nosso interesse reside nas pegunta: qual é a reação que ocorre em maior intensidade? Pode-se extrapolar o comportamento do ferro para outros metais?

Considere-se agora o comportamento de uma suspensão aquosa de $CaCO_3$. Nesse sistema coexistem dois equilíbrios: o equilíbrio de solubilidade do composto pouco solúvel e o equilíbrio ácido-base:

$$CaCO_3(S) <===> CaCO_3 <===> Ca^{2+} + CO_3^{2-} \qquad K_s = 4,47.10^{-9}$$
$$Co_3^{2-} + H_2O <===> HCO_3^- + OH^- \qquad K_b = 2,1.10^{-2}$$

De acordo com Bronsted-Lowry essa suspensão terá pH maior do que 7,0 devido à presença do ânion CO_3^{2-}, que é uma base de Bronsted (constante de ionização da base carbonato=$2,1.10^{-2}$). Apenas como termo de comparação, vale dizer que a conhecida base amônia (NH_3), tem uma constante de ionização igual à $1,8.10^{-5}$, o que indica que a base CO_3^{2-}, é cerca de 1000 vezes mais forte que a base NH_3.

Se o sistema é aberto deve-se considerar a influência do CO_2 do ar, então podemos escrever:

$$CaCO_3(S) + H_2O + CO_2 <===> Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

Em resumo, na suspensão de $CaCO_3$ em equilíbrio com o ar, estão presentes e em equilíbrio as seguintes espécies químicas: $[CO_2]$, $[HCO_3^-]$, $[CO_3^{2-}]$, $[Ca^{2+}]$, $[OH^-]$ e $[H^+]$.

O termo espécie química se refere à forma sob a qual um íon ou molécula está presente em solução. No exemplo apresentado o

conhecimento das espécies químicas presentes é fácil, porém à medida que se aumenta o grau de complexidade do sistema, como é o caso do sistema solo-água, esta tarefa torna-se difícil, extremamente trabalhosa e somente exequível mediante a utilização de programas e computador (GEOCHEM, MINEQL, REDEQL2). Exatamente para facilitar o trabalho de determinação das espécies químicas presentes em um sistema, houve necessidade da padronização das diferentes constantes que medem equilíbrios. É por isso que atualmente se usa o conceito de Lewis ampliado por Pearson em 1963, para classificação de ácidos e bases, uma vez que, de acordo com essa classificação as reações químicas são divididas em apenas duas categorias: as reações de oxi-redução e as reações ácido-base (STUMM e MORGAN, 1981).

A teoria de Lewis classifica como bases toda substância ou íon que possua um par de elétrons livre e que ofereça esse par de elétrons em compartilhamento. Para ácidos a classificação de Lewis é bastante generalizada e não atribui caráter ácido à uma substância em particular, mas à um arranjamento eletrônico: a disponibilidade de um orbital vazio em aceitar um par de elétrons. Ainda de acordo com Lewis a ligação que se estabelecia entre o ácido e a base era de natureza coordenada, daí o nome antigo de compostos de coordenação. As reações de formação de complexos são as tradicionais reações ácido-base de Lewis, sendo os cátions metálicos os ácidos de Lewis e os grupamentos doadores de elétrons, com os quais o cátion metálico se coordena, as bases de Lewis ou ligantes que podem ser de natureza inorgânica ou orgânica. Esse tipo de reação pode ser expressa pela equação:

$$aM^{z+} + bL^{-y} \iff M_aL_b^{az-by}$$

onde,

M = cátion metálico com carga z+;
L = ligante com carga y-;
a, b coeficientes estequiométricos.

A constante de equilíbrio para esta reação é representada como:

$$K_{M_aL_b^{az-by}} = \frac{[M_aL_b]}{[M^{z+}][L^{y-}]}$$

Os ligantes contêm em sua molécula os seguintes possíveis átomos doadores de elétrons, chamados átomos ligantes: C, N, P, As, O, S, Se, Te, F, Cl, Br e I (estes ligantes estão colocados respectivamente na 4ª, 5ª, 6ª e 7ª coluna vertical da tabela periódica). Dentre os átomos ligantes pode-se dizer que os mais competentes são: N, O e S. Se as moléculas do ligante possuem mais de um átomo ligante, eles podem se unir ao cátion metálico em mais de um ponto. Nesse caso os ligantes são referidos como formadores

de complexos multidentados, e classificados como bidentados (oxalato, trietanolamina, glicina), tridentados (citrato), ou polidentados (E.D.T.A. é ligante hexadentado), em função dos pares de elétrons disponíveis para ligação: respectivamente 2, 3 ou mais. A formação de complexos com ligantes polidentados é conhecida como quelação e os complexos resultantes, como quelatos. As mais conhecidas características dos quelatos são a estrutura em anel (Figura 5) e a alta constante de estabilidade.

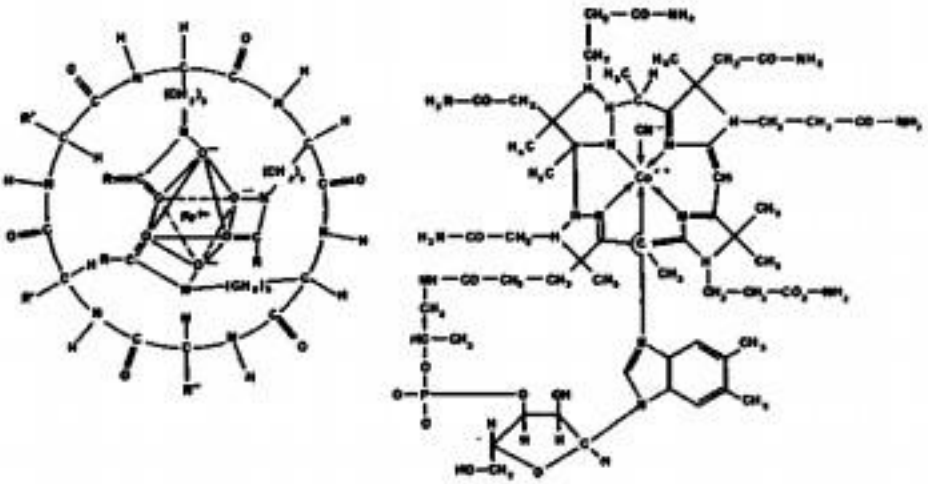


Figura 5. Quelatos de importância biológica. (a) Estrutura do ferricromo, um dos mais estáveis complexos conhecidos para o Fe. (b) Estrutura da vitamina B12, um dos mais estáveis complexos conhecidos para o Co (extraído de Stumm e Morgan, 1981).

Em soluções aquosas a preferência de um cátion metálico por um ligante é característica desse cátion (tamanho, carga e polarizibilidade), e levando em conta esse aspecto os cátions foram divididos em três categorias: metais do tipo A, metais do tipo B e os intermediários. Os metais do tipo A podem ser visualizados como esferas simétricas, suas camadas eletrônicas não são prontamente deformáveis pela influência do campo elétrico do ligante, daí o nome de esferas duras e como consequência ácidos duros. Os metais do tipo B, tem camada eletrônica deformável (alta

polarizibidade) e podem ser visualizados como esferas moles, daí o nome ácidos moles. Os intermediários podem ser enquadrados numa ou noutra categoria em função de vários fatores entre os quais se destaca o solvente. A classificação de metais e ligantes de acordo com PEARSON (1963) aparece na Tabela 4.

Entre as características dos metais do tipo A se inclue a de formar complexos com bases preferencialmente de mesmas características (bases duras), com F^- e com ligantes que tenham oxigênio como átomo ligante. A ligação que se estabelece entre metais do tipo A e bases é predominantemente eletrostática, sendo portanto função da carga e tamanho do íon. Todos os macronutrientes são classificados como ácidos duros e dessa forma o que se espera é que se liguem à bases também duras como é o caso de OH^-, CO_3^{2-} e PO_4^{3-}. Na Tabela 5, aparecem alguns prováveis complexos de um metal divalente classificado como ácido duro, com ligantes classificados como bases duras, que se espera, em função de sua estabilidade, sejam dominantes na solução do solo (MATIGOD et al., 1981). Portanto as reações de precipitação estão, de acordo com a classificação de Lewis ampliada por Pearson, englobadas como reações ácido-bases duros.

Tabela 4. Classificação dos metais e ligantes de acordo com a teoria dos ácidos/bases duros e moles (teoria HSAB de Pearson, 1963).

Ácidos duros	Intermediários	Ácidos moles
(H^+), Li^+, Na^+, K^+, Be^+,	V^{2+}, Cr^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Co^{2+},	Cu^+, Ag^+, Au^+, Tl^+,
Mg^{2+}, Ca^{2+}, Sr^{2+}, Al^{3+},	Ni^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+}, Bi^{3+}	Cd^{2+}, Sn^{2+}, Tl^{3+},
Sc^{3+}, La^{3+}, Si^{4+}, Ti^{4+},		Au^{3+}, In^{3+}
Ar^{4+}, Th^{4+}, Cr^{3+}, Mn^{3+},		
Fe^{3+}, CO^{3+}, UO^{2+}, VO^{2+}		
Tambem espécies como:		
BF_3, BCl_3, SO_3, RSO_2^+, RPO_2^+, NO^+, $B(CH_3)_2$		Todos átomos metálicos I_2, Br_2,
CO, RCO^+, R_3C^+		ICN, I^+, Br^+
	Preferência por ligante	
N>>P		P>>N
O>>S		S>>O
F>>Cl		I>>F

Continua

Tabela 4. Continuação.

Ácidos duros	Intermediários	Ácidos moles
estabilidade é função da carga e tamanho do ion	estabilidade segue a série de Irving-Williams $Mn^{2+}<Fe^{2+}<Co^{2+}<Ni^{2+}<Cu^{2+}>Zn^{2+}$	
Ligantes		Ligantes
$F>O>N=Cl>Br>I>S$		$S>I>Br>Cl=N>O>F$
$OH^->RO^->RCO_2^-$		
$CO_3^{2-}>NO_3^-$		
$PO_4^{3-}\leq SO_4^{2-}\geq ClO_4^-$		
Bases duras	Intermediárias	Bases moles
$H_2O, OH^-, F^-, CH_3COO^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Cl^-, CO_3^{2-} ClO_4^-, NO_3^-, ROH, RO^-, R_2O^-, NH_3, RNH_2, N_2H_4$	$C_6H_5NH_2, C_5H_5N, N_3^-, Br^- NO_2^-, SO_3^{2-}$	$R_2S, RSH, RS^-, I^-, SCN^-, S_2O_3^{2-}, R_3P, R_3As, (RO)_3P, CN^-, RNC, CO, C_2H_4, C_6H_6, H^-, R^-$.

Tabela 5.Prováveis complexos de metal divalente com ligantes inorgânicos presentes na solução do solo (MATTIGOD et al., 1981).

OH	SO_4	CO_3	PO_4
MOH^+	$MHSO_4^+$	$MHCO_3^+$	$MH_2PO_4^+$
$M(OH)_2^0$	MSO_4^0	$M(HCO_3)_2^0$	$MHPO_4^0$
$M(OH)_3^-$	$M(SO_4)_2^{2-}$	MCO_3^0	MPO_4^-
$M(OH)_4^{2-}$		$M(CO_3)_2^{2-}$	

Metais do grupo B coordenam-se com bases moles que contem I, S ou P como doador de elétrons. Esses ácidos formam, assim como os intermediários, complexos solúveis de alta estabilidade com grupamentos S^{2-} e HS^-, donde se pode verificar que a toxicidade de metais pesados como Cd e Hg (ácidos moles) provem do fato de formarem complexos com grupamentos SH^- de enzimas inativando-as. Nesse grupo a ligação que se estabelece entre o ácido mole e o ligante não é de natureza eletrostática. Metais que tendem a formar ligações de natureza covalente são os que formam complexos de maior estabilidade. A tendência do metal em formar ligações covalentes, é quantificada pela parâmetro de Misono (Y) que é definido pela equação:

$$Y = 10^{\frac{I_p R}{\sqrt{Z.I_{p-1}}}}$$

onde,

R = raio do metal;

Z = número de oxidação do metal;

I_p = potencial de ionização.

O parâmetro de Misono foi utilizado para a construção da sequência de toxicidade dos metais que aparece na Tabela 6, extraida de SPOSITO (1989). Pelo exame dessa tabela se verifica que essas sequências são muito parecidas para cada classe de planta, e que metais classificados como ácidos moles são mais tóxicos que os intermediários, que por sua vez são mais tóxicos que os duros.

Tabela 6. Sequência de toxicidade de metais de acordo com o parâmetro de Misono (Sposito, 1989).

organismos	Sequência de toxicidade[a] [b]
Algas	Hg > Cu > Cd > Fe > Cr > Zn > Co > Mn
Plantas ornamentais	Hg > Pb > Cu > Cd > Cr > Ni > Zn
Fungos	Ag > Hg > Cu > Cd > Cr > Ni > Pb>Co>Zn>Fe
Fitoplâncton	Hg > Cu > Cd > Zn > Pb

[a] Hg = Hg^{2+}, Fe = Fe^{3+}, Cr = Cr^{3+}, Co = Co^{2+}, Mn = Mn^{2+}, Pb = Pb^{2+}.

[b] Essa sequência da esquerda para a direita indica que menores concentrações são necessárias para causar efeito prejudicial.

Em função da classificação de PEARSON (1963) pode-se prever padrões de comportamento para os diferentes metais pesados. A confirmação desse comportamento veio através da pesquisa. Assim confirmou-se que Cu e Pb tem o mesmo padrão de comportamento: estão predominantemente envolvidos em reações com constituintes orgânicos seja em soluções preparadas em laboratório, seja no solo. O comportamento do Zn segue os mesmos padrões do Cd, enquanto que o de Co é semelhante ao Ni (KIEKENS e COTTENIE, 1985).

A grande influência de ligantes no comportamento de metais pode explicar porque Cd que é um metal fortemente adsorvido pelo solo (CHANEY, 1988), tem sua absorção pelas plantas aumentada em função da presença de ligantes orgânicos, também explica porque a presença de Ca aumenta a absorção de Cd pelas plantas: devido a maior afinidade do Ca por sítios de adsorção onde oxigênio é o ligante. A classificação de Pearson também explica porque na natureza Mn e Fe ocorrem em minérios, associados à grupos oxigênio, enquanto que Co, Ni, Cu e Zn são encontrados predominantemente associados à sulfetos.

A adição ao solo de ligantes formadores de complexos de alta estabilidade com metais ou a formação desses ligantes durante o processo de decomposição de resíduos orgânicos tem papel fundamental na biodisponibilidade de metais e a pesquisa tem feito algum progresso na identificação desses ligantes (CHANEY, 1988) mas ainda há a necessidade de mais estudos a respeito.

A atual utilização da classificação de ácidos e bases de Lewis ampliada por Pearson, é mais uma ferramente que nos possibilita a previsão e o entendimento do complicado mecanismo que rege o comportamento de metais no ambiente. Essa utilização está possibilitando à química ambiental um maior entendimento da espécie química sob a qual um metal pode aparecer em águas, solos e plantas e, especialmente está conduzindo à um maior entendimento das limitações naturais na absorção desses elementos traços pelas plantas o que é extremamente importante na proteção da cadeia alimentar. A utilização dessa teoria de forma nenhuma inviabiliza a utilização de teorias mais simples para explicação de fenômenos também mais simples, o importante é que saibamos utilizar essas ferramentas que são colocadas à nossa disposição com discernimento. Dessa forma o comportamento ácido/base de alguns cátions entre eles Na^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+} em soluções sejF qual for a origem dessa solução, pode ser explicado com maior facilidade por Bronsted do que por Lewis.

Mais uma vez gostaria de salientar a importância das interrelações entre as várias reações que podem ocorrer num sistema, sendo o efeito final resultante da extensão em que cada uma delas se realiza. Por exemplo o mecanismo envolvido na elevação de pH de solos pela adição de materiais orgânicos, pode ser explicado por reações de oxi-redução e reações ácido/base, (MATTIAZZO e GLÓRIA, 1987):

$$C^{x} + n\acute{e} \longrightarrow C^{4+}$$

onde,

C = material orgânico
x = qualquer número de oxidação menor que 4

O oxigênio ou o hidrogênio do ambiente servem como receptores dos elétrons liberados produzindo a neutralização do H^{+} diretamente através da reação

$$2H^{+} + 2\acute{e} \longrightarrow H_2,$$

ou indiretamente através das reações

$$O_2 + 4\acute{e} \longrightarrow 2O^{2-}$$

$$2O^{2-} + 4H^{+} \longrightarrow 2H_2O.$$

Também a explicação para biodisponibilidade de metais pode ser feita através das varias teorias colocadas à nossa disposição como o que é feito por CHANEY (1988), para explicar como é que as plantas conseguem absorver Fe, uma vez que devido à baixa solubilidade dos seus compostos a concentração de Fe^{3+} na solução do solo não excede 10^{-18}M. As estratégias são duas e na primeira delas é demonstrado a acidificação da rizosfera e redução do Fe^{3+} para Fe^{2+} que é o mecanismo usado por muitas espécies vegetais. A acidificação foi evidenciada por um indicador de pH (bromocresol púrpura) e a redução foi evidenciada usando os reagentes cromogênicos para Fe^{2+}. Na segunda estratégia os vegetais secretam um agente quelante chamado ácido mugeinico que comparado a outros ligantes como EDTA, DTPA, ferrioxamina liberam o Fe do solo muito mais rapidamente.

Como se pode concluir do que foi exposto, dos exemplos apresentados senão todos, pelo menos a grande maioria, dos fenômenos que ocorrem na natureza tem uma explicação dentro da química. A química pode fornecer modelos de comportamento que nos possibilitarão um manejo adequado para as diferentes espécies químicas presentes nos resíduos que produzimos. É esse conhecimento que precisamos buscar, pois é ele que dirigido criativamente vai possibilitar ao homem superar mais uma vez o que ameaça a sua sobrevivência.

5. BIBLIOGRAFIA CITADA

ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environment.** ew York, Springer-Verlag. 1986. 533P.

BRAILE, P.M. & CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuarias industriais.** São Paulo, CETESB, 1979. 764p.

CHANEY, R. 9188. Metal speciation and interactions among elements affect trace element transfer in agricultural and environmental food-chains. In: KRAMER, J.R. & ALLEN, H.E. **Metal speciation: theory analysis and application**. New York, Lewis. 1980. p.220-259.

KIEKENS, L. & COTTENIE, 1985. Principles of investigations on the mobility and plant uptake or heavy metals. In: Leschber, R., Davis, R.D. & L'Hermite, P. **Chemical methods for assessing bio-available metals in sludges and soils**. Londres, Elsevier. 1985. p.32-41.

LOGAN, T.J. & CHANEY, R.L. Metals. In: Utilization of municipal wastewater and sludge on land. **Proceedings** of the 1983 Workshop. Riverside, U.S.Environmental Protection Agency, 1983. p.235-323.

MANAHAN, S.E. **Environmental chemistry**. 4ª ed.. Boston, Lewis Publ.. 1990. 612p.

MATTIAZZO, M.E. & GLÓRIA, N.A. da. Effect of vinasse on soil acidity. **Water Sci. Tech,**. 19:1293-1296, 1987.

MATTIGOD, S.V., SPOSITO, G. & PAGE, A.L. 1981. **Factors affecting the solubilities of trace metals in soils**. In: ASA special publication nº 40, Chemistry in the soil environment, Madison, p.203-221.

MORRISON, G.H. **Elemental trace analysis of biological materials**. CRC Critical Reviews in anal. chem., 8, 1979. 287.

ORLANDO Fº, J. & RODELLA, A.A. Análise química do solo e recomendação de adubação. In: Orlando Fº, J. (Coord.), **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba, IAA-Planalsucar, 1983. p.155-175.

PEARSON, R.G. Hard and soft acids and bases. **J. Am. Chem. Soc.** 85(22):3533-3539, 1963.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford, 1989. 277p.
STUMM, W. & MORGAN, J.J. 1981. **Aquatic chemistry: an introduction emphasizng chemical equilibria in natural waters**. 2ª ed., New York, John Wiley, 1981. 780p.

DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS PELA MICROBIOTA DO SOLO

Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso[1]

1. INTRODUÇÃO

A quantidade de biomassa microbiana reflete o estádio de fertilidade do solo; a degradação de um solo é normalmente acompanhada por um declínio dessa biomassa e, principalmente , de sua atividade.

Os microrganismos decompositores da matéria orgânica, que são heterotróficos (atualmente denominados quimiorganotróficos) e que, portanto, dependem de matéria orgânica pré-formada para aquisição de energia, geralmente têm sua atividade limitada por falta de substrato, sobrevivendo por longos períodos numa situação de baixo metabolismo, frequentemente na forma de esporos ou de outras estrutura de resistência. Incluem-se, entre os quimiorganotróficos a totalidade dos fungos, a maioria das bactérias, os actinomicetos e a maioria dos protozoários.

Embora, nos solos, as bactérias sejam quase sempre as mais numerosas, seguidas dos actinomicetos, os fungos apresentam via de regra uma biomassa maior, por causa da maior dimensão de suas hifas que podem apresentar crescimento extensivo (Tabela 1).
Existem evidências de que as formas latentes dos microrganismos (Endosporos bacterianos e outras estruturas de resistência ou de dormência) são predominantes no solo (Gray e Williams, 1971). Na falta de acesso às fontes energéticas orgânicas frescas os microrganismos sobrevivem no solo através de crescimento críptico, uso de reservas energéticas endocelulares e, por vezes, através de degradação de matéria orgânica já humificada. Nessas condições, desde que não ocorram limitações climáticas para a sobrevivência (dessecação, alta temperatura, etc), a entrada de metéria orgânica fresca no ecossistema representa o parâmetro de maior impacto sobre a atividade microbiana.

O número e a atividade microbianos são incrementados significativamente nos microssítios ricos em matéria orgânica, com destaque especial para a rizosfera (Cardoso e Freitas, 1987, 1988, 1992). A rizosfera representa um habitat no qual ocorre aporte constante de matéria orgânica, representado por células descamadas da raiz, exsudatos, excreções e lisados radiculares (Rovira et al, 1979) que chegam a perfazer mais de 20% da biomassa vegetal (Rovira, 1956). Deve-se considerar, ainda, que, com a morte da planta, todo o sistema radicular ficará disponível para o consumo por microrganismos, podendo representar de 20% (em florestas de clima temperado) a 90% (em regiões de cerrado) da biomassa vegetal. Rouatt e Katznelson, 1961, apresentam dados sobre o efeito rizosférico (Tabela 2).

---

[1] Prof. Associado, E.S.A. "Luiz de Queiroz"/USP, Caixa Postal 9, CEP 13418-900, Piracicaba, SP.

Tabela 1. Densidade populacional e quantidade de biomassa normalmente encontradas nos principais grupos de microrganismos que vivem no solo (McCalla, 1967).

Grupos	População	Biomassa
	nº/g solo	kg/ha
Bactéria	1 bilhão	500 - 1000
Actinomicetos	10 milhões	800 - 1500
Fungos	1 milhão	1500 - 2000
Protozoários	1 milhão	200 - 400
Algas	100 mil	200 - 300

Tabela 2. Comparação entre a contagem de colônias de bactérias na rizosfera de diferentes plantas e no solo livre de raízes.

Cultura	Colônias (10^6)/g de solo		R/S
	Solo sem raízes (S)	Rizosfera (R)	
	nº		
Trevo vermelho	134	3255	24,3
Linho	184	1015	5,5
Aveia	184	1090	5,9
Milho	184	614	3,3
Cevada	140	505	3,6
Trigo	120	710	5,9

Fonte: Rouatt & Katznelson, 1961, (modificado).

2. QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA MICROBIANA

Os primeiros métodos utilizados consistiam na contagem do número de células microbianas pela observação direta de lâminas de solo ao microscópio; introduziu-se depois o uso de corantes vitais e o cálculo da biomassa através da determinação dos volumes celulares e da densidade média das estruturas vivas. Essa metodologia, além de bastante trabalhosa, apresenta a desvantagem de não diferenciar entre células ativas e inativas. Métodos baseados em diluições de solo e plaqueamento em meios seletivos apresentam inúmeras desvantagens e geralmente subestimam as populações. Outros

métodos, baseam-se na extração de algum componente celular (ATP e ácidos nucléicos para a biomassa total ou, ainda, quitina para fungos ou ácidos diaminopimélico e murâmico para bactérias). Hoje em dia existe a tendência de se estimar a biomassa microbiana através da medida da própria atividade metabólica dos microrganismos do solo, que consiste em determinar a atividade de diferentes enzimas e, principalmente, da respiração microbiana sob diferentes tratamentos do solo. Destacam-se, entre estes, o método de fumigação-incubação e o de fumigação-extração (Grisi, 1992).

3. EFEITOS DIRETOS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS SOBRE A MICROBIOTA DO SOLO

Conforme já mencionado anteriormente, a matéria orgânica fresca é o substrato indispensável para a maior parte dos microrganismos e o crescimento ou declínio dessa biomassa microbiana são governados essencialmente através da disponibilidade e da dinâmica do influxo de substrato energético num ecossistema considerado. Assim, o fator decisivo na dinâmica populacional da microbiota do solo não é simplesmente o teor de matéria orgânica total desse solo, que inclui a fração já estabilizada na forma de húmus, mas, sobretudo, o aporte de matériais energéticos que entram no ecossistema e a freqüência com que isto ocorre.

Grande parte dos resíduos produzidos pela atividade humana consistem basicamente de materiais orgânicos passíveis de serem decompostos por microrganismos. O caráter poluente desses resíduos reside em sua produção localizada em quantidades extremamente elevadas, que superam a capacidade de ciclagem biogeoquímica da natureza. Exemplificando, podemos citar os esgotos e o lixo urbano ou os resíduos agroindustriais, como vinhaça e bagaço, resíduos da produção de papel, águas de leiterias e de matadouros, etc.

A maioria dos componentes de tais resíduos apresenta um efeito promotor do crescimento microbiano e sua incorporação ao solo seria benéfica desde que aplicados em quantidades moderadas, compatíveis com a manutenção de uma grande biomassa microbiana em plena atividade e desde que não causem danos físicos ou químicos ao solo, como, por exemplo, longos períodos de anaerobiose. A utilização agronômica adequada de resíduos será abordada por dois outros palestrantes nesse mesmo simpósio.

3.1. Resíduos orgânicos como fonte de nutrientes para a biomassa microbiana.

Os resíduos de origem animal, vegetal ou microbiana apresentam grande variação em sua composição química elementar e na estrutura de seus diferentes componentes. Os principais compostos são carboidratos (monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos), lignina e outros fenólicos, proteínas, lipídeos, pigmentos, etc.

O substrato orgânico mais abundante incorporado ao solo é a celulose, um polímero linear de glicose com ligações β-1, 4. Outros polissacarídeos importantes são as hemiceluloses e compostos pécticos que, juntamente com a celulose, fazem parte das paredes

celulares de vegetais. A lignina tem uma estrutura muito complexa e é de difícil decomposição. O mesmo pode ser dito com relação à quitina e às graxas. A velocidade relativa de decomposição dessas substâncias pode ser visualizada através de um gráfico que mostra as porcentagens remanescentes com o decorrer do tempo (Clark e Paul, 1970) (Figura 1). Todas as substâncias orgânicas são degradadas através de enzimas. Na decomposição de polímeros geralmente atuam inicialmente as exoenzimas ou enzimas extracelulares que têm atuação hidrolítica e, posteriormente, as endoenzimas, cuja atividade ocorre dentro das células microbianas. O solo contém uma série de enzimas de origem animal, vegetal ou microbiana.

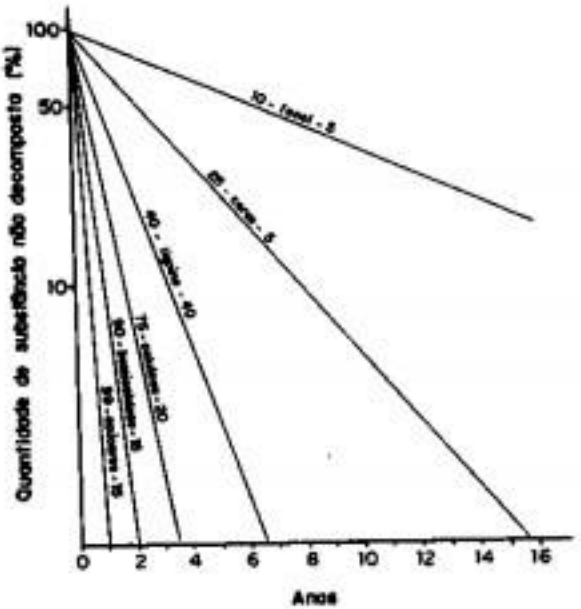


Figura 1: Curvas de decomposição de diferentes substâncias encontradas nos vegetais. O número em frente do nome da substância refere-se à decomposição (%) no primeiro ano e o número que segue, à concentração (%) no resíduo (Clark & k & Paul, 1970).

A biodegradação de resíduos orgânicos pode ser feita através das mais variadas vias metabólicas, mas tem por objetivo principal a obtenção de energia e de precursores metabólicos para a síntese celular (Lambais, 1992) (Figura 2). Durante a decomposição da matéria orgânica no solo ocorrer a gênese das substâncias húmicas, substâncias essas já estabilizadas de estrutura polimerizada, heterogênea e complexa. A bioquímica de sua formação ainda não é bem compreendida e existem 4 vias hipotéticas de sua síntese, as quais, provavelmente, podem operar simultaneamente no solo (Stevenson, 1982) (Figura 3).

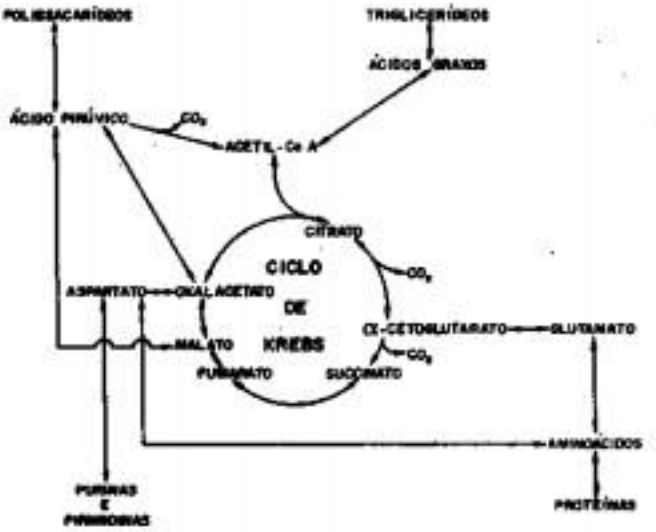


Figura 2. Interconversões no metabolismo microbiano.

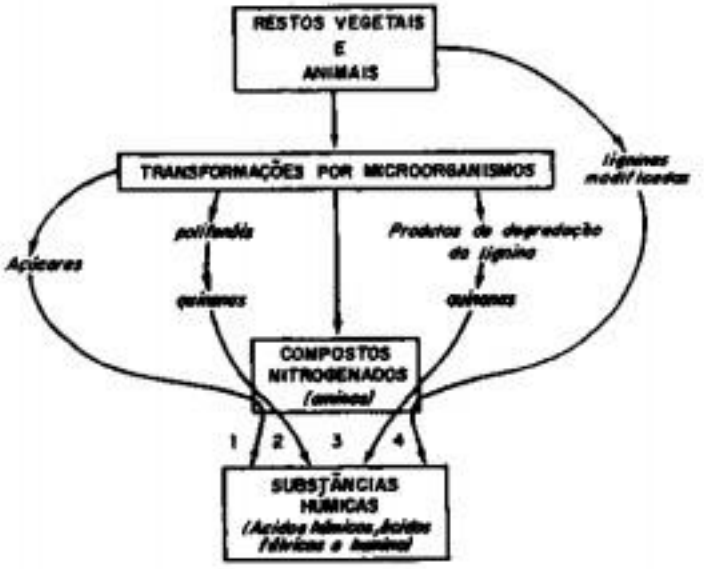


Figura 3. Mecanismos de formação das substâncias húmicas (Stevenson, 1982).

4. EFEITOS INDIRETOS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS SOBRE A MICROBIOTA DO SOLO.

A incorporação de matéria orgânica no solo pode ter efeitos indiretos através de sua atuação nos parâmetros físicos e químicos do solo. Assim, a incorporação de substâncias orgânicas energéticas leva à gênese de húmus no solo e a aplicação de substâncias já estabilizadas, como ocorrem no composto, aumenta temporariamente o teor de matéria orgânica do solo.

O húmus é um material de coloração escura, coloidal, com alta CTC (100-300 meq/100g) e com alta capacidade de retenção de água. Contém boa parte do N, S e P do solo dentro da própria estrutura das moléculas húmicas e mantém muitos nutrientes minerais adsorvidos superficialmente por apresentar cargas negativas livres (Figura 4). Através da formação de complexos organoargilosos tem um profundo efeito sobre a estruturação do solo, aumentando sua aeração. A cobertura morta mantida na superfície do solo afeta a temperatura do solo, mantendo-a mais uniforme e mais baixa durante os horários de exposição solar e conserva a umidade (Tabela 3).

Tabela 3. Flutuações na temperatura e umidade de solo em resposta à adição de 10 t/ha de resteva de trigo sobre a superfície do solo durante o cultivo de milho, determinados 30, 60 e 90 dias após (Gaur e Murherjee, 1980).

Sistema de cultivo	Temperatura do solo			Umidade do solo		
	30[1]	60	90	30[2]	60	90
	° C			%		
Pousio s/resteva	30,4	33,0	30,2	6,0	5,1	2,5
Pousio c/resteva	28,6	30,7	28,2	16,1	15,5	13,4
Milho s/resteva	33,0	33,2	20,2	3,8	2,3	2,0
Milho c/resteva	29,9	30,7	28,6	10,6	11,3	12,7

Uma observação interessante é que a temperatura exerce um efeito pronunciado sobre a liberação de CO_2 de um solo, proveniente da respiração microbiana (Grisi, 1992) (Figuras 5 e 6). Portanto, o manejo das culturas e o manejo da matéria orgânica são fatores que afetam significativamente a biomassa microbiana em solos (Gaur & Mukherjee, 1980) (Tabela 4).

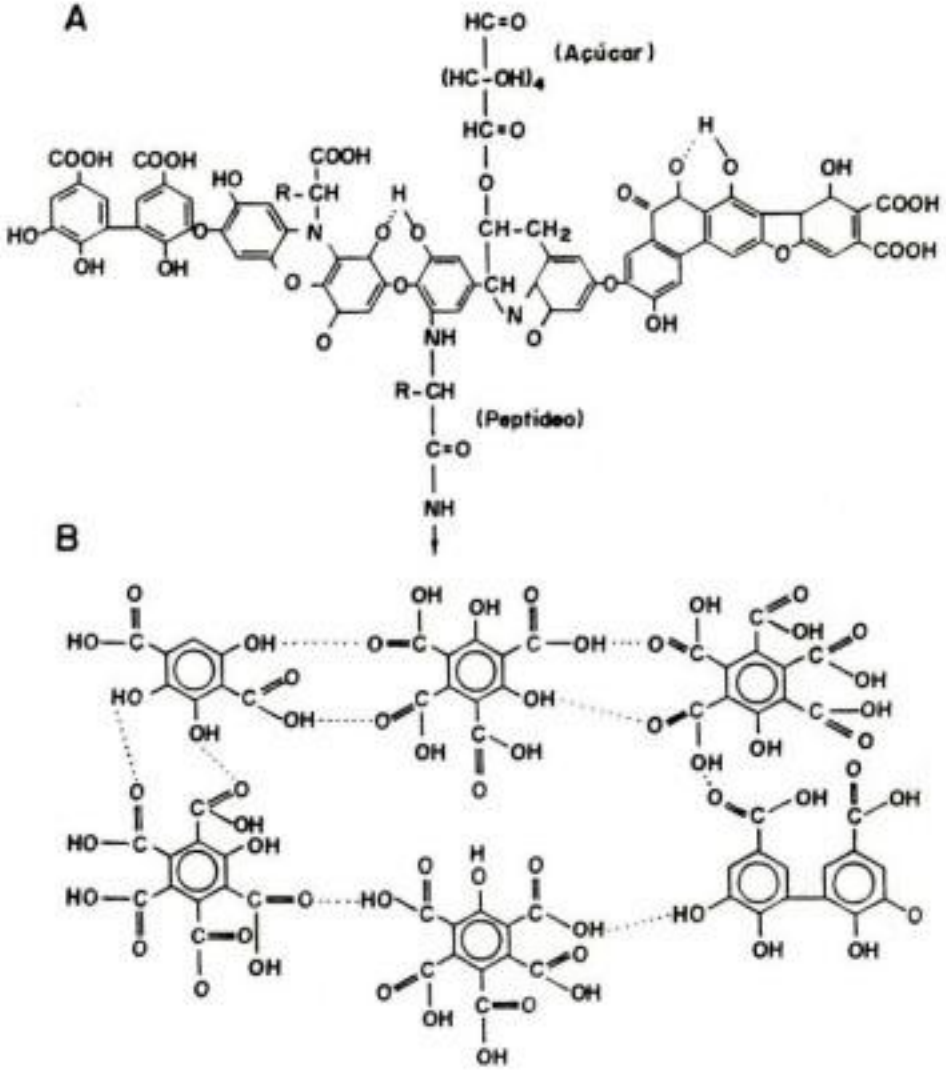


Figura 4. A - Estrutura hipotética dos ácidos húmicos (Stevenson, 1982). B- Estrutura hipotética dos ácidos fúlvicos (Shnitzer e Khan, 1978).

SOLOS BRASILEIROS

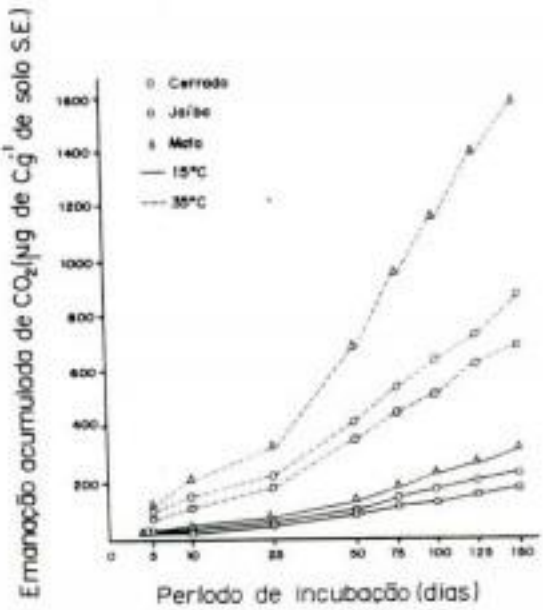


Figura 5. Emanação acumulada de dióxido de carbono dos solos brasileiros incubados a 15 e 35°C, por 150 dias (Grisi, 1992).

SOLOS INGLESES

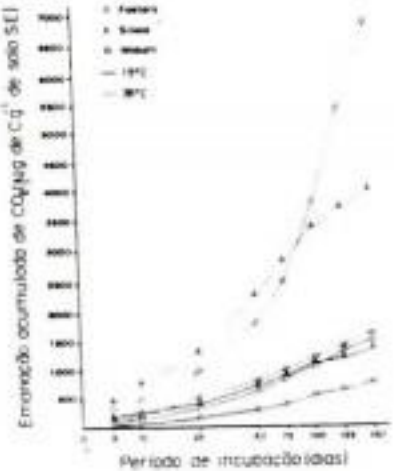


Figura 6. Emanação acumulada de dióxido de carbono dos solos ingleses incubados a 15 e 35°C, por 150 dias (Grisi, 1992).

Tabela 4. Efeito de sistemas de cultivo do solo sobre a população de bactérias e fungos (Gaur e Mukherjee, 1980).

Sistemas de cultivo	Bactérias	Fungos
	nº células/gx10⁶	nº propágulosx10⁶
Pousio s/ resteva[1]	12,9	4,5
Pousio c/ resteva	40,1	12,7
Milho s/ resteva	20,2	5,3
Milho c/ resteva	38,9	11,0

[1] Resteva de trigo deixada na superficie (10t/ha).

5. MANEJO MICROBIOLÓGICO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Nos últimos anos tem-se desenvolvido um interesse crescente em questões ambientais. A poluição orgânica, gerada pelas atividades humanas, decorre do fato de que a taxa de degradação dos resíduos na natureza é muito inferior à sua taxa de geração, além de que os resíduos podem conter compostos sintetizados pelo homem, os quais não ocorrem naturalmente e para cuja degradação não existem sistemas enzimáticos disponíveis na microbiota (Lambais, 1992).

A fim de evitar uma sobrecarga do ambiente os resíduos devem ser processados através de tratamentos microbiológicos que reduzam sua carga poluente, medida normalmente como DBO (demanda biológica de oxigênio) ou DQO (demanda química de oxigênio). A DBO indica a quantidade de oxigênio (mg/l) que é consumida por microrganismos para degradação da matéria orgânica num período de 5 dias, a 20°C. A DQO é a quantidade de oxigênio consumida para a oxidação química da matéria orgânica, através do dicromato de potássio, em meio ácido, a 160°C.

A relação entre DQO e DBO indica a biodegradabilidade de uma substância. Ou seja, quando esta relação se aproxima de 1, o material é prontamente biodegradável, sendo que relações maiores indicam a presença de moléculas orgâncias recalcitrantes, de difícil biodegradação (Tabela 5).

Entre os processo que visam ao pré-tratamento de resíduos orgânicos, antes de sua disposição definitiva no solo ou em cursos d'água, destacaremos os seguintes:

Tabela 5. Relação DQO/DBO de alguns tipos de resíduos (Verstraete e Vaerenberg (1986).

Resíduo	DQO	DBO_5[1]	DQO/DBO_5
		$mg.l^{-1}$	
Esgoto doméstico bruto	500	300	1,67
Esgoto doméstico tratado	50	10	5,00
Vinhaça	60.000	30.000	2,00
Resíduo de curtume	13.000	1.270	10,24
Resíduo bruto de indústria de celulose e papel	620	226	2,74
Resíduo tratado de indústria de celulose e papel	250	30	8,33

[1] DBO_5 determinada após 5 dias de incubação.

Compostagem

É um processo aeróbio e termofílico de estabilização da matéria orgânica, disposta em pilhas, com ou sem aeração forçada, ou ainda, em reatores nos quais todas as condições são controladas, acelerando o processo sobremaneira. Os principais fatores que afetam a compostagem são: relação C:N (25 a 35); Umidade (50-60%); Aeração; pH (6,0-7,5) e Tamanho das partículas.

O composto apresenta a vantagem de sua utilização na agricultura como fonte adicional de macro e micronutrientes vegetais e como condicionador do solo. A compostagem vem sendo utilizada há séculos para estabilização dos mais variados resíduos agrícolas e apresenta-se atualmente como uma alternativa viável e de baixo custo para o processamento da parte orgânica do lixo urbano.

De acordo com Selbach, 1992, a utilização de composto de lixo na agricultura, principalmente quando aplicado em doses elevadas (até 320 t/ha) resulta em aumento do carbono do solo, da CTC e do pH, diminuição do Al trocável e da densidade da camada superficial do solo, além de maior produção de matéria seca ou de grãos de diferentes culturas. Entretanto, existe a desvantagem de um possível incremento de metais pesados como Ni, Pb, Cd e Cr em solos que recebem aplicações maciças e/ou freqüentes.

A biomassa microbiana do solo é normalmente ativada por longos períodos após a incorporação de composto (Figura 7).

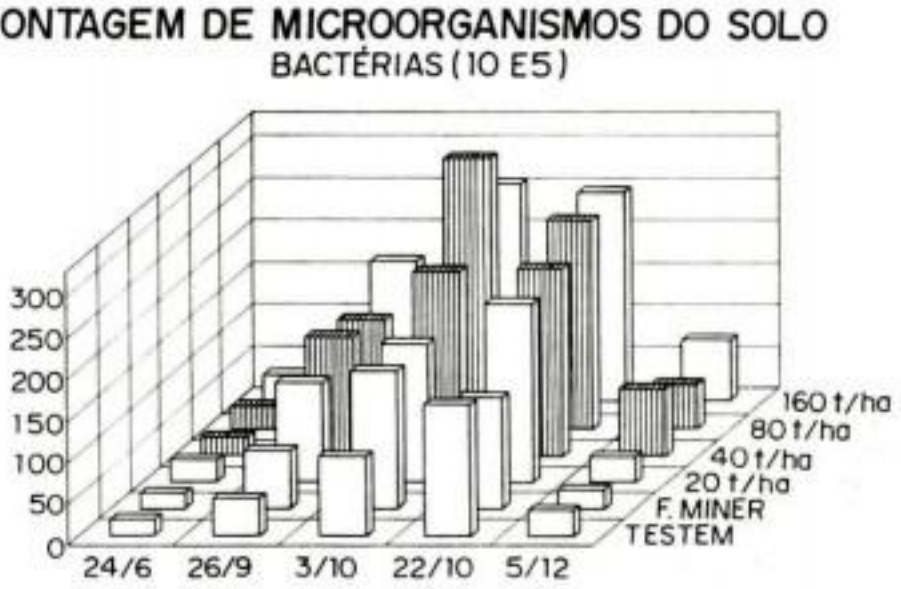


Figura 7. Quanitade de bactérias no solo após incorporação de compostos de lixo (Selbach, 1992).

Biodigestão Anaeróbia

A biodigestão resulta no biogás, essencialmente uma mistura de gás carbônico (CO_2) e de metano (CH_4), com grande potencial energético. Esse processo é de ocorrência natural em locais de acúmulo de matéria orgânica que mantenham condições anaeróbias, como em pântanos ou nos "lixões". Quando este processo é utilizado pelo homem com a finalidade de estabilização da matéria orgânica e obtenção de energia, torna-se necessária a construção de um biodigestor, geralmente de dimensões relativamente grandes, o qual consiste de um recipiente hermeticamente fechado com condições de acúmulo e saída de gás, provido, ainda, de uma abertura para carga e outra para descarga de material orgânico (Figura 8).

Dentro do biodigestor ocorrem três fases distintas de degradação da matéria orgânica, que são:

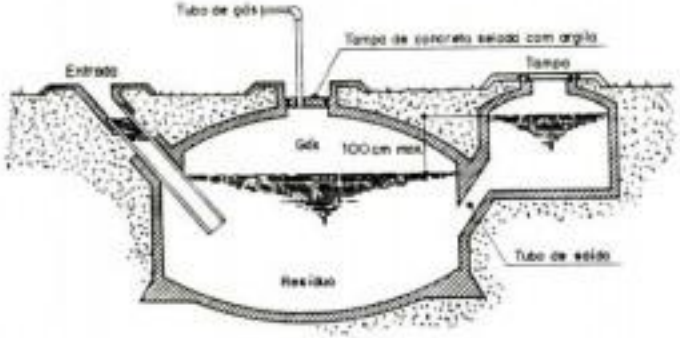
a) hidrólise de moléculas polimerizadas resultando em produtos finais reduzidos.

b) fase fermentativa ou acidogênica que resulta em ácidos orgânicos com predomínio do acetato e em hidrogênio (H_2).

c) fase metanogênica, através da qual o acetato e o hidrogênio são oxidados pelas bactérias metanogênicas, utilizando o CO_2 como receptor final de elétrons, o que resulta na síntese do metano (Figura 9).

Os fatores que afetam a metanogênese são: temperatura, (37 ou 65°C), pH (7,0-8,0), anaerobiose estrita, relação C:N (20), e a presença de substâncias inibitórias ao processo (metais pesados, antibióticos, pesticidas).

A- Tipo chinês pressurizado.



B- Tipo indiano.

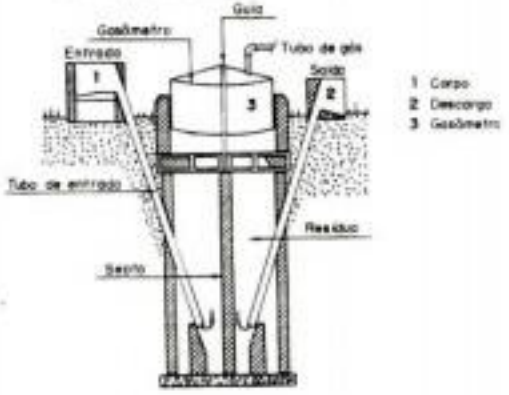


Figura 8: Biodigestores dos tipos Chinês e Indiano.

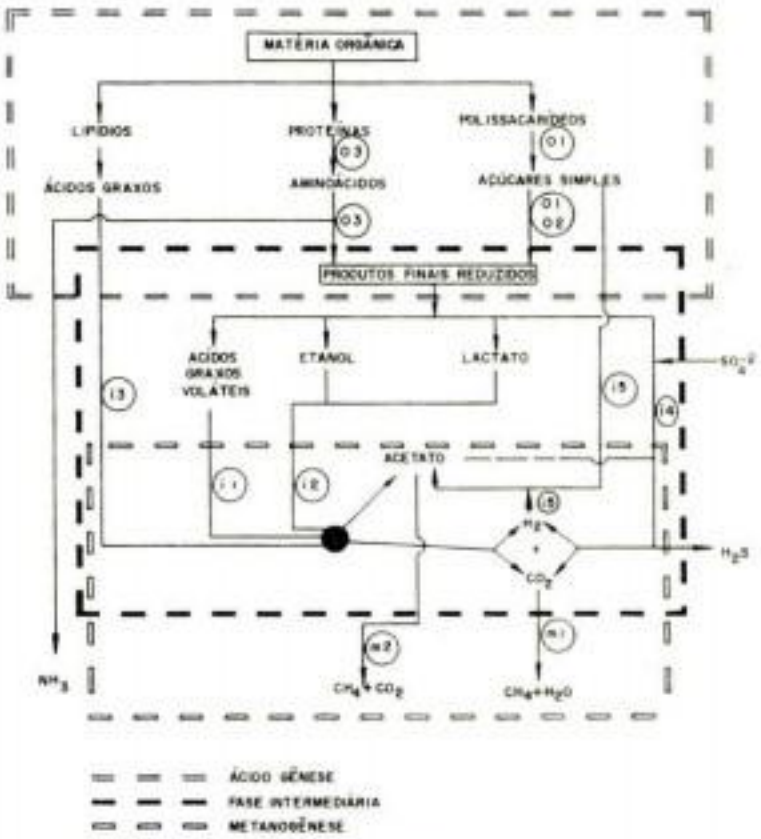
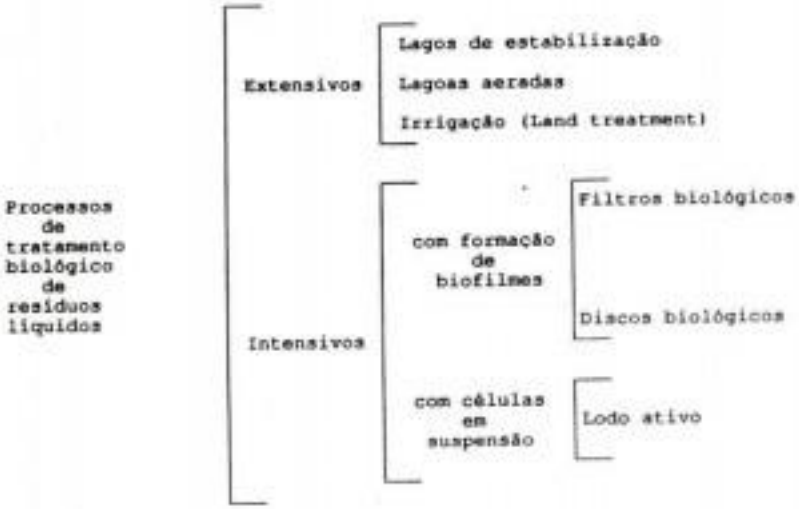


Figura 9. Esquema do processo global de metanogênese (Nyns, 1986).

Outros processos

Ainda existe uma série de outros processos que visam ao abaixamento da DBO de resíduos orgânicos líquidos, ao ponto de permitir o seu lançamento em cursos d'água sem provocar poluição.

Alguns desses processos encontram-se no esquema a seguir.



BIBLIOGRAFIA CITADA

CARDOSO, E.J.B.N. & FREITAS, S.S. Microecologia das raízes no solo: conseqüências na disponibilidade de nitrogênio. **In:** Anais do V SEMINÁRIO DE BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA, 5, Piracicaba. CEBTEC/FEALQ-ESALQ/USP - 1987. p. 209-238.

CARDOSO, E.J.B.N. & FREITAS, S.S. Microbiologia da rizosfera. **In:** Moniz, A.C. (Coord). **A responsabilidade social da ciência do solo** e Lopes, E.S. & Siqueira, J.O. (eds.). Microbiologia do solo: só simbioses? XXI Congresso Bras. Ciência do solo. Campinas. SBCS. pg. 389-401. 1988.

CARDOSO, E.J.B.N. & FREITAS, S.S. A rizosfera. **In:** Cardoso, E.J.B.N; Tsai, S.M. & Neves, M.C.P. Microbiologia do Solo. Campinas, Soc. Bras. Ciência do solo. 1992. p. 41-58.

CLARK, F.E. & PAUL, E.A. The microflora of grasslands. **Adv. in Agronomy, 22**: 375-435. 1970.

GAUR, A.C. & MUKHERJEE, D. Recycling of organic matter through mulch in relation to chemical and microbiological properties of soil and crop yields. **Plant soil, 56**: 273-281, 1980.

GRISI, B.M. Biomassa microbiana do solo: métodos de determinação e resultados recentes. **In:** SIMPÓSIO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 1992, S. Paulo, Anais do Simpósio de Microbiologia do Solo. (No prelo).

LAMBAIS, M.R. Poluição orgânica e seu controle. **In:** Cardoso, E.J.B.N; Tsai, S.M. & Neves, M.C.P. **Microbiologia do Solo**. Campinas, Soc. Bras. Ciência do Solo, 1992. p. 91-104.

NYNS, E.J. Biomethanation process. **In:** Rehm, H.J. & Reed, G. (eds.) **Biotechnology: a comprehensive treatise in 8** vols, Microbial Degradations, Schonborn, W. (ed.). Alemanha. VHC. 1986. p. 207-267.

ROUATT, J.W. & KATZNELSON, H. A study of the bacteria on the root surface and in rhizosphere soil of crop plants. **J. Appl. Bacteriol. 24**: 164-17, 1961.

ROVIRA, A.D. Plant root excretion in relation to the rhizosphere II. **Plant soil, 7**: 195-208, 1956.

ROVIRA, A.D. Note on terminology: origin, nature and nomenclature of the organic materials in the rhizosphere. **In:** Harley, J.L. & Russel, R.S. (eds.). **The soil-root inrterface**. London, Academic Press, 1979.

SCHNITZER, M. & KHAN, S.V. **Soil organic matter**. Amsterdam, Elsevier, 1978.

SELBACH, P.A. Utilização de composto de lixo domiciliar urbano em solos. **In:** SIMPÓSIO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 1992, São Paulo, Anais do Simpósio de Microbiologia do Solo. (No prelo).

STEVENSON, F.J. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulphurs, micronutrients. New York, John Wiley & Sons, 1985.

VERSTRAETE, W. & VAERENBERGH, E. Aerobic Activated Sludge. **In:** Behm, H.J. & Reed, G. (eds.) **Biotechnology: a comprehensive treatise in 8 vols.** Microbial Degradations, Schonborn, W. (ed.). Germany. VHC. 1986. p. 43-112.

USO AGRONÔMICO DE RESÍDUOS

Nadir Almeida da Glória[1]

1. INTRODUÇÃO

A utilização **agronômica** de resíduos, pressupõe um número bem diversos de aplicações, entre os quais pode-se lembrar as utilizações em: alimentação animal, substrato para fermentações, fabricação de fertilizantes orgânicos ou organo-minerais, cobertura de pisos ("camas") em diferentes criações e sucedâneos de matéria prima para as agroindústrias ou atividades assemelhadas. Entretanto, o objetivo desta apresentação é restrito aos aspectos do uso de resíduos no solo, compreendendo os aspectos relacionados à caracterização desses resíduos, os benefícios ou inconvenientes da aplicação ao solo e os parâmetros que devem ser observados quando se pretende dar este destino aos resíduos.

Desta maneira, o assunto a ser tratado pode ser dividido em dois aspectos fundamentais: os resíduos e os solos.

No tocante aos resíduos, os principais fatores que afetam sua aplicação ao solo são:

. composição química
. características físicas
. aspectos sanitários
. quantidade gerada
. regime de liberação

Já em relação ao solo, deve-se considerar prioritariamente todas aquelas características responsáveis pela capacidade do solo em desativar e estabilizar os resíduos, através de mecanismos físicos, químicos e biológicos. Entre essas pode-se citar:

. textura
. estrutura
. permeabilidade
. pH
. capacidade de troca catiônica

Porém, existem outros aspectos ambientais que associados ao tipo de resíduo e solo, contribuem para definir a viabilidade do uso de resíduos. Entre esses destacam-se:

. regime pluviométrico

---

[1] Professor Titular Aposentado - E.S.A. "Luiz de Queiroz", Caixa Postal 9 - CEP 13418.900, Piracicaba-SP. Pesquisador voluntário.

. disponibilidade de área
. localização das áreas
. proximidades de coleções hídricas
. profundidade de lençol freático e direção do fluxo.

Não se podendo excluir do quadro geral dos fatores que vão permitir a decisão final, aqueles de ordem legal e social.

Conforme se observa, o uso agronômico de resíduos, visto apenas do ponto de vista da utilização no solo, apresenta a complexidade inerente a todos os sistemas que envolvem variáveis múltiplas e agravado por problemas que vão desde a geração do resíduo (resíduo é considerado lixo e como lixo é tratado!) até os de ordem social, inevitavelmente à mercê de fatores políticos e da ausência de normas legais definitivas.

É dentro deste quadro geral que se pretende abordar alguns aspectos específicos e considerados mais importantes para a utilização dos resíduos no solo.

2. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

A caracterização adequada dos resíduos é básica para definir o seu uso no solo e o conhecimento da origem do resíduo, compreende:

. **Matéria prima utilizada e suas características** - (Quantidade, tipo, origem).

. **Produtos acrescentados ao processo** (tipo, quantidade, etapa).

. **Regime de produção** (contínuo, intermitente, sazonal).

. **Tipo(s), quantidade(s) e regime de vazão** do(s) resíduos.

. **Aspectos do(s) resíduo(s)** (estado físico, temperatura).

. **Pré-tratamentos**.

Esta etapa permite estimar a variabilidade da composição do resíduo, facilita a caracterização química e já permite iniciar o direcionamento do estudo das possibilidades de uso do solo, e por sua vez é fundamental para que se estabeleça o chamado Plano de Amostragem do(s) Resíduo(s), etapa básica para uma adequada avaliação da composição química.

O Plano de Amostragem deve considerar:

. Resíduos a serem amostrados
. Locais de amostragens
. Freqüências, volume, número e tipo das amostras
. Tipo de amostradores
. Métodos de preservação e estocagem.

Algumas dessas etapas já podem ser conduzidas de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e especificamente devem ser consultadas a NBR 9897/87 que trata do planejamento de amostragens de efluentes líquidos, a NBR 9898/87 que normatiza técnicas de amostragem e preservação de amostras de resíduos e a NBR 1007/87 sobre locais de amostragens, tipo de amostradores, condições e tempo de estocagem das amostras.

É bastante comum a inexistência destas etapas nos estudos agronômicos sobre utilização de resíduos, o que torna os dados à respeito de sua composição química incompletos, devido a não permitir uma visão mais completa do processo de geração e das possibilidades de variação nas características químicas.

A avaliação química de um resíduo pode e deve ser conduzida em função das características prévias já levantadas e isto facilita e muitas vezes reduz o tipo e número de análises químicas a realizar. A NBR 9897 apresenta algumas recomendações de parâmetros mínimos para controle de efluentes líquidos, mas no geral pode-se considerar os seguintes parâmetros:

. Umidade
. Matéria orgânica
. pH
. Acidez ou alcalinidade
. Macronutrientes primários e secundários
. Micronutrientes
. Metais pesados além daqueles considerados micronutrientes (Pb, Cr, Hg, As, Cd)

. Sódio
. Condutividade
. Coliformes fecais
. Qualquer substância tóxica que se suspeite estar presente em função do processo de geração.

Deve-se considerar que o conhecimento adequado do processo de geração do resíduo, permite excluir determinadas análises, visto não haver possibilidade de introdução do elemento ou substância no processo e indica o potencial de nocividade de um resíduo pela presença de substâncias tóxicas.

É também o conhecimento do processo de geração que irá indicar a necessidade ou não de caracterizar a presença de determinadas formas de um elemento. Isto ocorre particularmente no caso do nitrogênio, fósforo, enxofre e substâncias orgânicas, pois em alguns processos de fabricação há transformações, criando às vezes uma nocividade potencial do resíduo, a partir de uma situação original, não preocupante.

3. UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO NO SOLO

A partir da caracterização química do resíduo, é possível estimar-se a possibilidade da sua utilização no solo, considerando:

. Os preceitos legais existentes
. A avaliação dos efeitos no solo
. Taxa de aplicação
. Compatibilidade com a cobertura vegetal.

Preceitos legais

Em relação aos preceitos legais é importante considerar-se o que dispõe o Título IV do regulamento da Lei 997 de 31/5/76 do governo do Estado de São Paulo, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente (anexo I).

O exame da legislação é sempre uma etapa importante, porquanto facilitará não só a caracterização do resíduo, face aos órgãos de controle, como também mostrará eventuais entraves ao que se pretenda.

O anexo I, serve para exemplificar, no caso do Estado de São Paulo, o quanto a legislação está aberta a soluções deste tipo, desde que o projeto demonstre confiabilidade na preservação ambiental. Note-se inclusive que mesmo resíduos provenientes de sistemas de tratamento, deverão ter sua aplicação ao solo, autorizada pelos órgãos de controle.

Avaliação dos efeitos no solo

A adequada caracterização química, permite uma razoável aproximação dos efeitos que a aplicação do resíduo pode causar ao solo. Entretanto, devido às diversas variáveis influenciando esses efeitos, muitas vezes somente a caracterização química não é suficiente, servindo apenas como guia da provável taxa de aplicação ao solo.

Isto significa que, sendo um resíduo cujos efeitos no solo e nas culturas não são ainda perfeitamente conhecidos é necessário o estudo específico, adicionando-se doses do resíduo ao(s) solo(s) e aferindo-se os seus efeitos.

No geral os seguintes aspectos são considerados:

. **pH**

A influência da adição de um resíduo nas características de acidez ou alcalinidade dos solos é avaliada principalmente pelos seguintes parâmetros da caracterização química:

.. pH do resíduo
.. acidez ou alcalinidade
.. teor de matéria orgânica
.. presença de substâncias potencialmente ácidas ou alcalinas, quando reagem no solo.

A determinação do pH de um resíduo, deve considerar o seu estado físico natural. Se líquido, o pH pode ser lido diretamente no

resíduo. Se pastoso ou sólido, através do preparo de uma suspensão com água destilada. No caso de pastosos ou líquidos não há uma metodologia bem estabelecida, encontrando-se relações resíduo: água variando de 2,5:1 até 50:1. Isto, já serve para evidenciar que a medida do pH é apenas um indicador das características ácidas ou alcalinas do resíduo, sendo imprescindível que se determine o seu potencial de acidez ou alcalinidade, mediante determinação específica. No geral, isto é feito mediante a colocação do resíduo de características alcalinas em solução com excesso de ácido, e após um período, titula-se a acidez remanescente e por diferença a alcalinidade potencial do resíduo. No caso de resíduo ácidos, coloca-se uma amostra do material em excesso de solução alcalina e após um período de tempo, determina-se a alcalinidade residual e por diferença a acidez potencial do resíduo.

Entretanto, o fato de um resíduo ter determinadas características de acidez ou alcalinidade, não significa que a sua incorporação ao solo irá acidificá-lo ou alcalinizá-lo. Isto é quase certo nos casos de resíduos minerais, porém no caso de resíduos com carga orgânica, nem sempre ocorre.

Provavelmente o exemplo mais conhecido, é o da vinhaça proveniente da fermentação alcoólica. O pH desse resíduo é inferior a 7 (de 3,5 a 5,0, dependendo do tipo da vinhaça) e sua acidez potencial bastante variável, conforme pode-se observar na Tabela 1.

Entretanto, a adição de vinhaça ao solo, provoca uma elevação do seu pH, conforme exemplos bastante conhecidos. Na Tabela 2, são apresentados os resultados de adição de vinhaça no pH e alumínio "trocável" de três solos, e que serve como exemplo geral do fenômeno.

Tabela 1. Valores de pH e da acidez de diferentes vinhaças (extraído de Rodella e Ferrari, 1977).

Amostras		**Acidez**[1]	pH
		e.g. H'/l	
4	Us. da Barra	0,775	4,40
7	Us. Santa Elisa	0,151	4,00
12	Us. da Pedra	0,142	4,20
14	Us. Barbacena	0,186	3,80
16	Us. Costa Pinto	0,215	4,10

(1) Titulação com solução de NaOH até pH 7,0

Tabela 2. Efeito da adição de vinhaça e algumas características de acidez dos solos (dados extraídos de Mattiazzo e Glória, 1985).

Solo[1]	Dias após aplicação vinhaça											
	0		14		36		67		123		178	
	pH	Al	pH	Al	pH	Al	pH	Al	pH	Al	pH	Al
AQ(T)	5,8	0,17	5,8	0,16	5,5	0,17	4,9	0,24	4,9	0,27	5,2	0,32
AQ(V)	4,7	0,52	5,5	0,09	5,9	0,03	5,9	0	6,4	0	6,3	0
LR(T)	6,7	0	6,5	0	6,4	0	6,3	0	6,2	0	5,6	0
LR(V)	5,7	0	6,1	0	6,2	0	0,1	0	6,3	0	5,8	0
PVA(T)	5,5	0,81	5,3	0,87	5,4	0,84	5,2	0,84	4,6	0,87	4,5	0,89
PVA(V)	4,5	0,77	4,7	0,64	4,9	0,43	4,9	0,43	5,2	0,42	5,8	0,33

[1] (T) Testemunha.
(V) solo com vinhaça na base de 500 m^3/ha.

Exemplos similares a este, com outros resíduos orgânicos são conhecidos. Na Figura 1 é representada a variação no pH do solo submetido a tratamento com o licor negro da fabricação do furfural, com neutralização total (100% CaO), parcial (50% CaO) e sem neutralização, pelo hidróxido de cálcio. O licor negro de fabricação do furfural tem pH = 2,0 e acidez de 0,35 e.g H^+/Kg, com 2,8% de matéria orgânica.

Este efeito é devido à carga orgânica desses resíduos, que sofre uma oxidação no solo, provocando a liberação de elétrons que são recebidos pelo O_2 ou H^+ resultando na neutralização direta da acidez (no caso do H^+) ou indireta, através da formação do íon oxigênio. Portanto, quanto maior a carga orgânica recebida pelo solo, mais evidente é o fenômeno.

Componentes eventuais dos resíduos podem provocar elevação da acidez do solo, sem que o pH do resíduo caracterize exatamente este potencial. Um exemplo típico é de resíduos contendo enxofre ou óxidos derivados (SO_2), que podem causar grande aumento de acidez, sem no entanto, se ter pH baixo no resíduo.

A importância de se conhecer o efeito da adição dos resíduos no pH do solo é evidente, pelos efeitos diretos que podem causar nos vegetais, como pelos efeitos indiretos na disponibilidade de nutrientes e de metais pesados.

. **Capacidade de troca catiônica** (CTC)

Os resíduos contendo matéria orgânica podem contribuir para a elevação da CTC do solo. Entretanto este efeito varia bastante com:

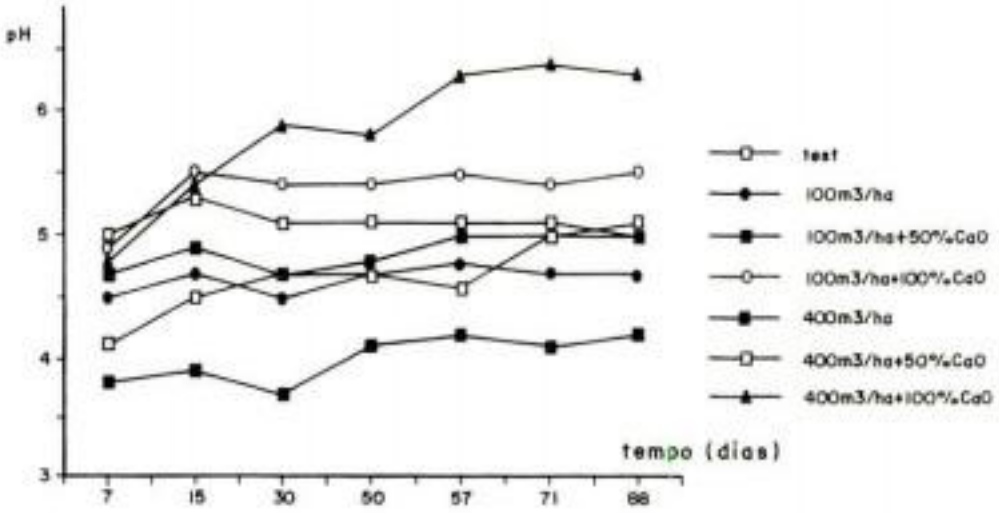


Figura 1. Variação no pH do solo nos tratamentos com "licor negro" natural e neutralizado com CaO. (Extraído de Matiazzo-Prezotto e Glória, 1991).

. teor de material orgânico do resíduo
. tipo de compostos orgânicos predominantes no resíduo
. velocidade de oxidação desse material orgânico no solo
. quantidade do resíduo aplicado.

Muitos resíduos apresentam o carbono orgânico em formas simples - açúcares, amido, ácidos orgânicos - e outros, em formas mais complexas - celulose, lignina ou óleos - e muitas vezes mistura em proporções variadas desses componentes orgânicos.

A velocidade de decomposição desses resíduos no solo, no sentido da formação do húmus ou mesmo em compostos orgânicos exibindo cargas negativas residuais é bastante variável. Resíduos contendo açúcares, amidos e ácidos orgânicos mais simples, são rapidamente oxidados no solo, pouco contribuindo para a formação de húmus e consequente aumento da CTC. Já aqueles contendo moléculas orgânicas maiores e/ou mais complexas, sofrem oxidação mais lenta e são capazes de contribuir para a formação de húmus, porém dentro

de periodos bastante variável, em função dos componentes existentes no resíduo.

A nossa experiência tem demonstrado que resíduos celulósicos têm mostrado mais "persistência" nos solos, evidenciando que, nas condições de solos tropicais, há necessidade de uma maior atenção na "qualificação" do material orgânico, no sentido da sua real capacidade de provocar alterações mais permanentes na CTC.

Decorre daí a necessidade de estudos específicos em relação à capacidade dos resíduos orgânicos em provocarem alterações sensíveis na CTC, vinculada a uma melhor caracterização do seu material orgânico, o que não pode ser feito nas condições atuais e usuais de caracterização química dos resíduos.

Teor de nutrientes

A utilização dos resíduos no solo pode ser apreciada de duas formas distintas:

a) Utilizando o solo apenas como depurador da carga orgânica;

b) Visando à depuração do resíduo e o aproveitamento dos nutrientes nele contidos.

Nos dois casos, junto com a carga orgânica, estão sendo levados nutrientes. No primeiro caso, apesar do aproveitamento desses nutrientes não estar sendo considerado, é preciso lembrar que alguns desses elementos podem também causar problemas se a taxa de aplicação for elevada. O caso típico é do nitrogênio. Este elemento pode aparecer nos resíduos em diferentes formas e uma vez colocado no solo estará sujeito a reações que conduzem a:

. **imobilização parcial** pela incorporação pelos microorganismos do solo e transformação em compostos orgânicos contendo N, mais persistentes no solo.

. **perdas**
.. por volatilização
.. por lixiviação.

São as perdas por lixiviação as que mais preocupam, pois o destino final, do N adicionado ao solo, em condições aeróbicas é o nitrato. Esse ânion percola rapidamente nos solos e pode atingir o lençol freático, e o nitrato é nocivo à saúde.

A recomendação da taxa de aplicação de um resíduo, em relação ao N disponível nele contido é que a quantidade do resíduo seja correspondente ao nitrogênio que a cobertura vegetal utiliza. Essa quantidade pode ser 50% maior se a aplicação é feita superficialmente, devido às perdas por volatilização que ocorrem.

Deve ser notado que existe um efeito cumulativo das aplicações de resíduo contendo N, e este efeito deve ser levado em

consideração, quando se calcula a taxa de aplicação. Na Tabela 3, está um exemplo da liberação do nitrogênio em função do seu teor no lodo e do período transcorrido após a aplicação.

Tabela 3. Liberação de nitrogênio durante a decomposição do lodo no solo[1].

Áreas após a aplicação	Conteúdo de N orgânico no lodo (%)			
	2,0	3,0	4,0	5,0
	kg N liberado por t de lodo adicionado			
1	0,50	0,70	0,95	1,20
2	0,45	0,70	0,90	1,15
3	0,45	0,85	0,85	1,10

[1] Parcialmente extraída de Fuller e Warrick (1985).

Obviamente, para nossas condições é importante conhecer os diferentes parâmetros que procuram definir a taxa de aplicação, incluindo-se aí o que se deve incluir como "N-disponível" do resíduo e o efeito do tempo na liberação do N.

Ainda em relação aos nutrientes e à taxa de aplicação do resíduo, deve-se levar em consideração **todos os nutrientes** nele contidos e procurando estabelecer uma taxa de aplicação em função de um nutriente específico contido em maior porcentagem, e uma vez atendidas as eventuais limitações devido aos aspectos de: carga orgânica, teor de sais e sódio e dos metais pesados.

. **Sais e sódio**

A taxa de aplicação de um resíduo ao solo pode ser limitada devido à presença de uma excessiva carga salina. A avaliação da carga salina e seus efeitos no solo ou nas culturas deve ser avaliada em função das condições climáticas da região e da textura e permeabilidade do solo. Regiões áridas e/ou solos argilosos tendem a ter condições mais restritivas ao uso de resíduos salinos (condutividade acima de 2,0 mmhos/cm^{-1}) o que corresponde a aproximadamente 1250 ppm de sólidos dissolvidos. Entretanto, nas nossas condições isto requer avaliações específicas.

Dentre os sais solúveis, nos resíduos é frequente a presença de sódio. Este íon, provoca, através do deslocamento do Ca e Mg dos colóides do solo, a dispersão das argilas e consequente perda da condutividade hidráulica do solo. Admite-se que este efeito surge toda vez que o Na^+ aparece em níveis iguais ou superiores a 15% do complexo sortivo do solo.

Uma avaliação do potencial nocivo da sodicidade de um resíduo pode ser feito pela "relação de adsorção de sódio", RAS de 5 a 15

podem conduzir a problemas de destruição da estrutura dos solos. A RAS é calculada por:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

onde Na, Ca e Mg indicam a concentração respectiva dos íons sódio, cálcio e magnésio em e.mg/l de solução.

Outra vez deve-se ficar alerta acerca dos nossos poucos conhecimentos a respeito desses índices, em condições de clima e solo, principalmente das regiões central, sul e sudeste do país.

. Metais pesados

Uma das grandes preocupações quando se cogita da aplicação de resíduos ao solo é o seu conteúdo de metais pesados, incluindo-se nesta discussão, também elementos de densidade inferior a 5,0, como é o caso do boro.

No tocante aos metais pesados, suas presenças em níveis excessivos podem inviabilizar a aplicação no solo ou exigir pré-tratamentos para sua redução e posterior uso.

A quantidade de resíduo a aplicar, em função dos seus teores em metais pesados é dependente de uma série de propriedades dos solos, entre as quais pode-se citar: pH, CTC, teor de argila, óxidos de Fe, Al e Mn, carbono orgânico total (COT) e sólidos sólúveis.

A preocupação com o nível de metais pesados no solo advém da capacidade de retenção dos mesmos pelo solo, sua movimentação no perfil do solo e possibilidade de atingir o lençol freático e a biodisponibilidade para os diferentes vegetais.

Os mecanismos que auxiliam sua retenção via precipitação e/ou adsorção são: Ph, CTC, teor de argila e de óxidos hidratados de ferro. Quanto maior estes valores, maior a possibilidade de retenção. A presença de matéria orgânica, sais solúveis ou condições anaeróbicas facilitam a movimentação no perfil e favorecem a absorção pelos vegetais.

A Tabela 4 exemplifica as recomendações vigentes nos Estados Unidos, quanto à adição de metais pesados e à CTC dos solos.

Tabela 4. Quantidade total de metais permitida em áreas agrícolas[1].

Metais	CTC do solo (e.mg/100g)		
	0-5	5-15	> 15
	kg/ha [2]		
Pb	600	1200	2400
Zn	300	600	1200
Cu	150	300	600
Ni	150	300	600
Cd	6	12	24

[1] Adaptada de Fuller e Warrick (1985).
[2] Quantidade total que pode ser aplicada, em uma ou mais aplicações, sempre mantendo o pH do solo ≥ 6,5.

É óbvio que o conhecimento da composição química do resíduo e dos locais disponíveis para a sua aplicação, demonstrarão como a aplicação deve ser definida em função de se eliminar o perigo de contaminações, aliada à utilização mais prolongada possível dos locais de disposição.

No referente ao boro, cuja amplitude da faixa de concentração no solo benéfica para os vegetais, é bastante estreita, tem sido recomendado que sua concentração no resíduo não ultrapasse 4ppm. No geral, a pré-caracterização do resíduo já revela suas potencialidades quanto a este elemento e por isso nem sempre é necessário a sua análise.

. **Matéria orgânica**

A avaliação da matéria orgânica dos resíduos pode ser feita através de diferentes determinações: sólidos solúveis, oxigênio consumido (OC), demanda química de oxigênio (DQO), demanda biológica de oxigênio (DBO). Os valores dessas determinações não são iguais, mas as suas correlações são muito altas e inquestionavelmente quanto maior os seus valores maior o conteúdo de matéria orgânica do resíduo. Admite-se que a forma mais adequada seria a determinação da DQO, reservando-se a DBO para avaliação em efeitos nos cursos d'água, uma vez que a ação microbiana no solo é mais diversificada e dinâmica que nas águas.

Provavelmente, o maior interesse do uso dos resíduos no solo, resida na capacidade deste meio em decompor a matéria orgânica, sem afetar o ambiente de forma significativa.

A taxa de aplicação de um resíduo ao solo deve prever, portanto, que o solo será capaz de agir no sentido de decompor a matéria

orgânica, sem riscos da sua lixiviação pelo perfil do solo, ou de transporte, por processos erosivos, para coleções hídricas e ainda sem causar odores ou perturbações de ordem estética e social.

Entretanto, os resíduos apresentam uma grande diversidade de compostos orgânicos, os quais, por sua vez, têm diferentes taxas de decomposição no solo. A Figura 2 procura demonstrar isto.

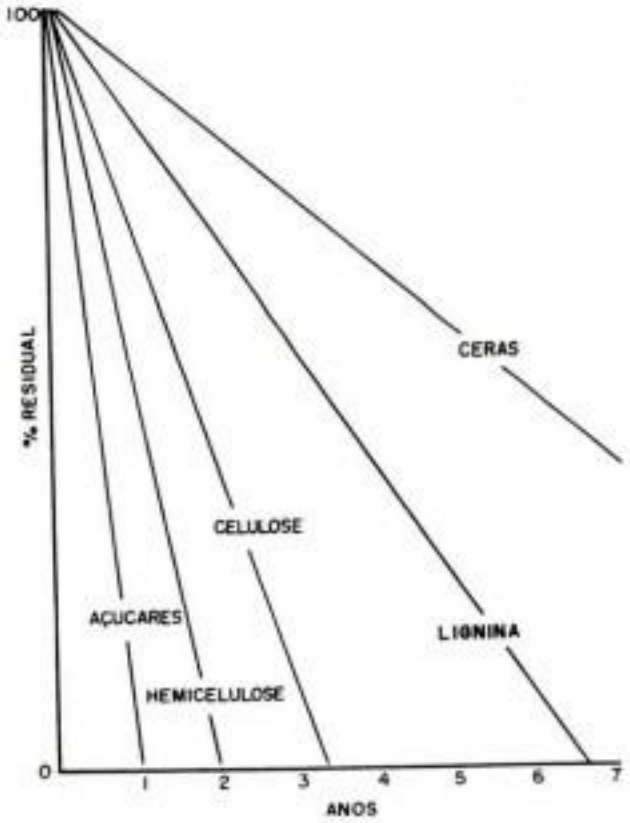


Figura 2. Curvas de decomposição para vários constituintes orgânicos (Extraídos de Fuller & Warrick, 1986)

Além disto, a presença de outros nutrientes, notadamente o nitrogênio e o fósforo afetam pronunciadamente a decomposição da matéria orgânica.

O consumo de nitrogênio pela decomposição da matéria orgânica é avaliado em 5% da DBO. Assim se o resíduo tem DBO de 800 ppm e a vazão é de 50 l/s, serão necessários 4147 kg de N mensais, a fim de que a remoção de DBO atinja 80%. Sendo que o N a considerar é o N inorgânico e não o N total.

Em relação ao fósforo a boa remoção da DBO é obtida quando a relação DBO/P é inferior a 100. Portanto, com um resíduo de 800 ppm de DBO, no mínimo deve-se ter 8 ppm de P, para uma boa remoção da carga orgânica. É óbvio que quando se cogita na aplicação no solo, este substrato já pode conter o P mínimo necessário para a remoção, ou então, se o resíduo for pobre no elemento, este deverá ser adicionado.

A condição de decomposição aeróbica é mais eficiente que a anaeróbica para a remoção da matéria orgânica. Portanto, se através de uma adição excessiva de resíduos, conduzir-se a uma condição anaeróbica, reduz-se a taxa de remoção e perde-se eficiência do sistema.

A Figura 3 procura demonstrar este efeito.

Incluídos como "matéria orgânica" os resíduos podem conter compostos orgânicos tóxicos e ou de difícil degradação no solo.

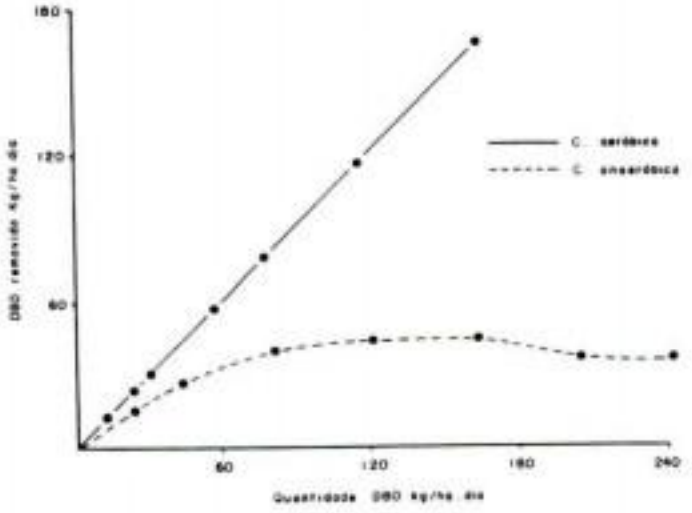


Figura 3. Comparação da remoção da DBO com diferentes taxas de aplicação de resíduos da fabricação de celulose, em condições aeróbicas e anaeróbicas. (Adaptado de FULLER e WARRICK, 1986).

A pré-caracterização do resíduo indica a possibilidade de compostos orgânicos deste tipo, e as suas presenças, exigirão não só a determinação específica, como o estudo em condições de laboratório e campo, da sua degradabilidade, movimento no solo, e potenciais de riscos, com outros testes como os de toxidez e mutagenicidade.

4. PROCEDIMENTOS PARA O USO DE RESÍDUOS NO SOLO

Procurou-se evidenciar que a utilização de resíduos no solo pode, e deve ser praticada, mediante cuidados especiais e que compreendem várias etapas que vão da pré-caracterização dos resíduos na sua origem, aos estudos de seus efeitos específicos no solo.

Na figura 4 está um fluxograma dos procedimentos que são recomendados.

Deve ser notado que além daqueles aspectos já tratados nos itens precedentes, os procedimentos para uso do resíduo no solo, não se esgotam na sua caracterização e efeito no solo. A definição sobre a necessidade de pré-tratamentos, será baseada na caracterização química, e os efeitos no solo devem ser testados com o resíduo já tratado.

A vazão dos resíduos e sua periodicidade, sazonalidade e homogeneidade vão ditar a necessidade de depósitos que tanto poderão servir para um armazenamento, em função do sistema de aplicação a ser adotado e como colaboração para uma maior homogeneidade do resíduo.

As taxas de aplicação estão ligadas ao sistema de aplicação a ser empregado e que por sua vez, está relacionado à disponibilidade de área, sua localização em relação ao ponto gerador, topografia e aspectos legais e sociais.

Uma vez definidas as possibilidades do uso, taxa de aplicação, sistema a ser adotado é imprescindível o cálculo econômico do que está sendo proposto, principalmente em comparação com outras alternativas de tratamento. Neste particular é importante caracterizar os aspectos dos investimentos fixos e variáveis, a fim de se poder ter uma real avaliação das opções. Geralmente, processos alternativos ao uso no solo têm custos variáveis extremamente elevados pelo gasto com energia e produtos químicos, enquanto que os de aplicação ao solo caracterizam-se, neste aspecto, pelos elevados custos do transporte do resíduo. Já em relação aos investimentos fixos, os siatemas de uso no solo têm a vantagem de, muitas vezes, não exigir grandes dispêndios,

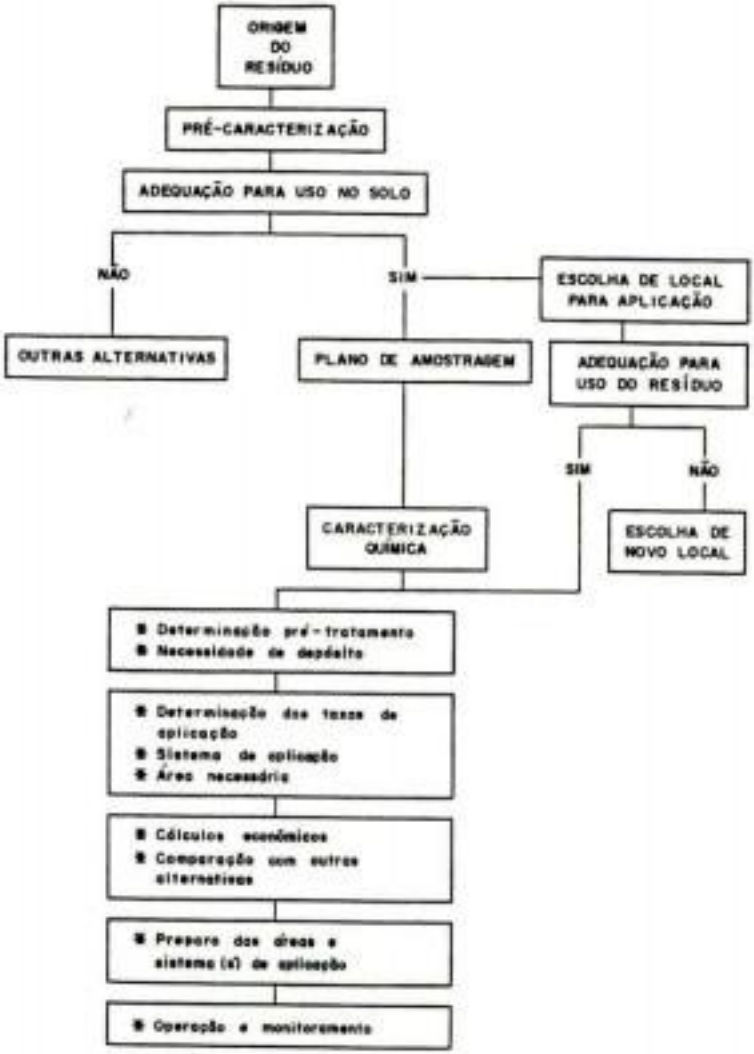


Figura 4. Fluxograma dos procedimentos para uso de resíduos no solo.

enquanto que os processos altenativos em geral exigem investimentos iniciais elevados.

Complementarmente deve ser lembrado que o uso dos resíduos no

solo deve ser conduzido no sentido de não só eliminar a sua nocividade, mas também tornar atraente o seu uso, quer como fonte de nutrientes para as culturas, ou como condicionador do solo. Nesses casos é possível que o resíduo se torne um sub-produto, devido a passar a ter um valor de comércio.

Uma vez decidida a implantação do sistema, passa-se as fases de execução e operacionais, compreendida pelo preparo das áreas de aplicação e do funcionamento do sistema de aplicação. Já a operacionalização não deve compreender apenas o transporte e aplicação, sendo fundamental o acompanhamento do processo, através do monitoramento das condições do solo e das águas subterrâneas e/ou adjacentes ao local(is) de aplicação.

Conclui-se, portanto, que a aplicação de resíduos ao solo abre perspectivas de estudos bastante amplos e reconhece-se a extrema carência de dados, nas nossas condições, de climas e solos sobre os efeitos da aplicação de resíduos. O que se espera é a conscientização para o problema e o apoio para que se formem especialistas nestas áreas, através, principalmente de pesquisas sérias e objetivas sobre todos os aspectos aqui abordados e aqueles qye não foram considerados, devido a extensão do assunto.

ANEXO I
TITULO IV DO REGULAMENTO DA LEI 997 DE 31/5/76

Da Poluição do Solo

Art. 51. Não é permitido depositar, descarregar, enterrar, infiltrar ou acumular no solo, resíduos em qualquer estado de matéria, desde que poluentes, na forma estabelecida no artigo 3º deste Regulamento.

Art. 52. O solo somente poderá ser utilizado para destino final de resíduos de qualquer natureza, desde que sua disposição seja feita de forma adequada, estabelecida em projetos específicos de transporte e destino final, ficando vedadoa simples descarga ou depósito, seja em propriedades públicas ou particular.

Parágrafo Único. Quando a disposição final, mencionada neste artigo, exigir a execução de aterros sanitários, deverão ser tomadas medidas adequadas para proteção das águas superficiais e subterrâneas, obedecendo-se a normas a serem expedidas pela CETESB.

Art. 53. Os resíduos de qualquer natureza, portadores de patogênicos, ou de alta toxicidade, bem como inflamáveis, explosivos, radioativos e outros prejudiciais, a critério da CETESB, deverão sofrer, antes de sua disposição final no solo, tratamento e/ou condicionamento, adequados, fixados em projetos específicos que atendam aos requisitos de proteção de meio-ambiente.

Art. 54. Ficam sujeitos à aprovação da CETESB os projetos mencionados nos artigos 52 e 53, bem como a fiscalização de sua implantação, operação e manutenção.

Art. 55. Somente será tolerada a acumulação temporária de resíduos de qualquer natureza, na fonte de poluição ou em outros locais, desde que não ofereça risco de poluição ambiental.

Art. 56. O tratamento, quando for o caso, o transporte e a disposição de resíduos de qualquer natureza, de estabelecimentos industriais, comerciais e de prestação de serviços, quando não forem de responsabilidade do Município, deverão ser feitos pela própria fonte de poluição.

§1º. A execução, pelo Município, dos serviços mencionados neste artigo, não eximirá a responsabilidade da fonte de poluição, quanto à eventual transgressão de normas deste Regulamento, específicas dessa atividade.

§2º. O disposto neste artigo aplica-se também nos lodos, digeridos ou não de sistemas de tratamento de resíduos e de outros materiais.

5. BIBLIOGRAFIA CITADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. S/1, ABNT, 1987. 23p. NBR9897.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. **S/1, ABNT, 1987. 34p. NBR9898.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos. **S/1, ABNT, 1987. 63p. NBR10004.**

FILLER, W.H., WARICK, A.W. Soils in waste treatment and utilization. VI - Land treatment. V2. Pollutant Containment, Monitoring and Closure. Boca Raton, Flórida. CRC Press, VI 268p. V2, 1986. 235p.

MATTIAZO, M.E., GLÓRIA, N.A. da. Efeito da vinhaça na acidez do solo. **STAB**, Piracicaba, SP., V.4, n. 2, p.35-40, 1980.

MATTIAZO-PREZOTTO, M.E., GLÓRIA, N.A. da. Studies in land disposal of furfural production effluent. INT. ENVIRONMENT CHEMISTRY CONGR., 3, 1991, Salvador. Anais. (em publicação).

RODELLA, A.A., FERRARI, S.E. A composição da vinhaça e efeitos da sua aplicação como fertilizantes na cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**. V.90, n.1, p.380-387, 1977.

O USO AGRONÔMICO DE RESÍDUOS x FERTILIZANTES NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

José Luiz Ioriatti Demattê[1]

1. INTRODUÇÃO

Entre as lavouras comerciais em uso no Brasil, a cana-de-açúcar tem um papel que a diferencia das demais principalmente nos aspectos relacionados as interações solo-planta-ambiente. Neste sentido e durante um ciclo completo da cultura, média de 5 anos para o Estado de São Paulo, ocorre uma série de alterações no ambiente onde ela está instalada.

Em termos gerais a cada 5 a 6 anos a área da cultura é renovada, sendo o solo novamente preparado para receber novo plantio. As principais práticas agrícolas e de manejo empregadas num ciclo desta cultura com 5 cortes podem ser resumidas como segue:

O solo é preparado intensamente, com o uso de 4 a 5 gradeações intercaladas com aração ou subsolagem e uma aplicação de calcario. A seguir procede-se a sulcação para o plantio da cana-de-açúcar. Nesta operação é aplicado o adubo, normalmente em torno de 450-500 kg de fórmula concentrada em fósforo e potássio. No sulco ainda é aplicado, em certos casos, inseticida para controle de pragas do solo, geralmente clorados, de elevado poder residual. Depois de plantada a cana e fechado o sulco, procede-se a aplicação de herbicidas de poder residual e solubilidade extremamente variável. Após 14 a 16 meses do plantio esta cana é colhida. Para o preparo da colheita é usado o fogo. A colheita pode ser feita manual ou mecânicamente e a retirada da cana-de-açúcar dos talhões é feita por caminhões com peso total variável entre 20 e 30 t. A seguir procedem-se as as operações de cultivo de soqueira que consiste em pelo menos mais três passadas de máquinas, uma para enleirar a palha remanescente, a outra para descompactar parcialmente o solo e adubar com 400-500 kg de uma fórmula concentrada em nitrogênio e potássio e finalmente, uma terceira passada, para nova aplicação de herbicida. Esta sequência de safra e cultivo de soqueira é repetida em pelo menos 4 a 5 vezes como já foi salientado, após o que a área é novamente preparada para novo plantio. Outro aspecto que diferencia esta cultura das demais é que durante cada safra, as unidades produtoras de açúcar e de álcool geram uma série de subprodutos entre eles a vinhaça, a torta de filtro, o bagaço, as cinzas de caldeiras, a fuligem, e que podem voltar para a lavoura na forma de fertilizantes.

---

[1] Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-USP - Piracicaba, SP.

O objetivo deste trabalho é o de discutir o uso destes subprodutos como fertilizantes e corretivos do solo assim como as alterações que eles proporcionam ao solo.

2. COMPOSIÇÃO VEGETATIVA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Devido a característica da cana-de-açúcar ser uma cultura semi-perene, onde periodicamente é feito uma colheita, é de se esperar, que ao longo do tempo, parte da cultura permaneça no solo e parte seja exportada na forma de colheita. A composição vegetativa da cana-de-açúcar é muito variada se levarmos em consideração as diversas regiões brasileiras onde a oscilação da fertilidade dos solos é muito grande e as variedades utilizadas são distintas. Entretanto, se levarmos em consideração os valores percentuais, as diferenças não são muito acentuadas.

Os resultados obtidos por BARNES (1974) sobre a composição vegetativa desta cultura na África do Sul e no Havai são semelhante aos da região do Estado de São Paulo. Este pesquisador, durante 12 anos, fez o levantamento dos diversos componentes da cultura, parte aérea e sistema radicular (Tabela 1). Um valor médio de 83 ton/ha de colmos em 5 a 6 cortes, é perfeitamente

Tabela 1. Composição vegetativa da cana-de-açúcar em 12 anos de observação, comparado com resultados do Havai. (FONTE: BARNES, 1974).

Parte da Planta	Produção	Colmo	Planta total	Peso seco total	Peso seco total (Havai)
	t/ha			%	
Colmo	83,0	100	57,8	49	45,2
Palmito	21,0	25	14,4	10	14,6
Folhas	12,5	15	8,7	19,5	20,6
Soqueira	21,0	25	14,4	13,7	11,6
Raizes	6,7	8	4,6	8,1	7,3
Total	144,2	173	100	100	100
Resíduo[1]	61,2	73	42,2	51	54,7

[1] Palmito, folhas, soqueira, raiz.

possivel obter em algumas usinas e destilarias do Estado de São Paulo. Essa quantidade de colmos é removida em forma de colheita, o que corresponde a 57,8% do total da cultura, ficando no solo ainda 61,2 t/ha ou 42,2%, na forma de palmito, folhas, soqueira e raizes (Tabela 1). Como o sistema de colheita implica no uso do fogo, parte dos 8,7% devido as folhas é eliminada, mesmo assim a quantidade de resíduo que permanece no solo, após a colheita, é superior a 35% do total. Tais resíduos têm grande importância para a vida biológica do solo assim como na mineralização de nutrientes para o novo ciclo de cultura; princi- palmente em relação ao nitrogênio para a cana planta.

3. OS SUBPRODUTOS DA AGRO-INDÚSTRIA: VINHAÇA

3.1. Alterações nas propriedades do solo

A vinhaça, resíduo da fabricação do álcool, é produzida, em média, na proporção de 13 litros para cada litro de álcool. Em função de sua riqueza em matéria orgânica, e a elevada flora microbiológica, a vinhaça apresenta elevado índice de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) caracterizando-se, portanto, como material poluente quando descartada em cursos d'água. Entretanto, quando aplicada no solo, seu alto potencial poluidor é diminuido, graças ao elevado poder do sistema solo em resistir a mudanças devido a agentes exógenos em uma série de mudanças se processando no solo.

A composição química da vinhaça (Tabela 2) indica que a matéria orgânica é o principal constituinte das vinhaças e dentre os elementos minerais, o potássio, juntamente com o nitrogênio e o cálcio, aparecem com destaque. Com a aplicação deste produto no solo ocorre uma série de alterações em suas propriedades.

3.1.1. Modificações físicas

Os efeitos do uso de vinhaça nas características físicas do solo vem carecendo de estudos. Nesta área destacam-se os trabalhos de RANZANI (1956), este pioneiro na área, CAMARGO et al. (1983), MAZZA et al. (1986). CAMARGO et al. (1988) trabalhando com um oxissol argiloso tratado com doses crescentes de vinhaça observaram que praticamente não houve alteração no teor de argila dispersa em água na camada superficial (Tabela 3), por provável influência da matéria orgânica. Entretanto, para as outras duas profundidades, 10-40 e 40-80 cm, onde sua influência não era aparente, houve efeito dos tratamentos: diminuição no teor de argila natural em relação à testemunha em todas as épocas para o tratamento que recebeu 1.000 m^3/ha/aplicação de vinhaça na camada 40-80 cm e em algumas da camada 10-40 cm, e no tratamento que recebeu 100 m^3/ha/aplicação, em algumas épocas, em ambas as camadas. Isso, conforme dados de CAMARGO et al. (1987) na mesma área, pode estar ligado à condutividade elétrica do extrato e, portanto, à concentração salina, mais do que ao teor de potássio

na amostra, sózinho ou sua relação com outros cátions e com a capacidade de troca de cátions. A concentração salina, apesar de causar alterações no balanceamento de cargas variáveis, provoca, com seu aumento, uma diminuição na espessura da camada dupla, favorecendo a floculação, o que parece explicar, pelo menos em parte, o comportamento de argila dispersa em água.

Tabela 1. Composição química de vinhaça de diferentes tipos de mosto segundo diversos autores. (ORLANDO Fg et al., 1983).

Elemento	Mosto de melaço				Mosto misto				Mosto de caldo			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
	kg m3/vinhaça											
N	0.57	0.79	0.78	0.60	0.48	0.43	0.36	0.33	0.28	0.31	0.26	0.25
P2O5	0.10	0.14	0.34	0.22	0.09	0.14	0.61	0.24	0.09	0.11	0.49	0.18
K2O	3.93	5.50	7.39	5.88	3.34	2.61	3.59	3.18	1.29	1.15	1.72	1.94
CaO	1.81	2.25	3.41	2.10	1.33	1.46	0.57	0.84	0.11	0.36	0.17	0.56
MgO	0.98	1.02	1.40	0.84	0.58	0.52	0.54	0.33	0.21	0.30	0.41	0.33
SO4			1.01				1.60				2.03	
Mat. Orgânica	37.20	36.90	54.60	47.40	28.97	45.10	31.67	19.10	22.31	34.70	25.24	15.30
	kg m3/vinhaça											
Fe		120	67	52		130	47	57		110	51	45
Cu		9	3	3		57	2	4		10	1	1
Zn		3	3	4		50	3	4		3	2	3
Mn		11	6	7		5	6	6		10	6	5
pH	4.2	4.2	4.4	4.2	4.4	3.8	4.0	3.6	3.7	3.6	3.6	3.5

FONTE: (1) BODELLA et al. (1980); (2) BOLSANELLO & VIEIRA (1980); (3) VASCONCELLOS & OLIVEIRA (1981); (4) MEDEIROS (1981).

Tabela 3. Argila natural em amostras de solo que receberam diferentes aplicações de vinhaça. (Quatro épocas de amostragem e média de três repetições).

Dose de	Teor de argila natural			
vinhaça	Nov.80	Jun.81	Jan.82	Jan.83
m^3/ha/aplicação		%		
		Amostras de 0-10cm		
0	27	33	30	29
100	25	31	47	37
1.000	36	30	36	35
		Amostras de 10-40cm		
0	37	37	40	39
100	25	21	14	5
1.000	34	12	36	0
		Amostras de 40-80cm		
0	40	29	25	39
100	0	15	7	43
1.000	0	0	0	0

FONTE: CAMARGO et al. (1988).

Quanto a agregação e a porosidade do solo CAMARGO et al. (1988) mostraram que o uso da vinhaça não alterou a densidade global e a porosidade total do solo. Os valores dos diâmetros médios revelam um aumento na estabilidade com a maior taxa de aplicação de vinhaça passando, por exemplo, na última época de amostragem (maio/1981), de 1,42 mm para a testemunha, para 2,18 mm para 1.000 m^3/ha/aplicação. Tais autores constataram que, esse aumento era devido à matéria orgânica e não a cátions floculantes como o cálcio. A elevação da atividade microbiológica acompanhada de excreção de mucilagem, consequência do metabolismo dos microrganismos, favorece a agregação em tratamentos com vinhaça.

Segundo ainda tais autores as curvas caracteristi-cas de umidade para diversas doses de vinhaça, 100 e 1.000 m^3/ha comparada com a curva padrão do oxissol argiloso não diferem (Tabela 4). Tanto a umidade atual como a água disponivel

determinada em dois anos consecutivos nos tratamentos anteriores também não diferem da testemunha.

Tabela 4. Umidade atual correspondente a amostragens feitas em maio/80 e maio/81 para os diferentes tratamentos. Média de três repetições.

Profundidade	Umidade atual		Água disponivel	
	Mai.80	Mai.81	Mai.80	Mai.81
cm	%			
	Testemunha			
00-10	20	25	9	11
10-40	24	26	7	11
40-80	29	25	-	-
	100 m³/ha/aplicação			
00-10	21	24	9	9
10-40	23	23	6	12
40-80	27	23	-	-
	1.000 m³/ha/aplicação			
00-10	21	23	8	9
10-40	23	23	7	8
40-80	27	25	-	-

FONTE: CAMARGO et al. (1988).

A infiltração do solo que recebe vinhaça é aumentada quando comparado com a testemunha. CAMARGO et alii (1988) mostraram que a infiltração em solo argiloso que recebeu 1.000 m³/ha

praticamente dobrou quando comparado com a testemunha. Tal fato, segundo os autores, pode estar relacionado ao aumento da estabilidade da agregação superficial.

MAZZA et al. (1986) observaram que as aplicações maciças de vinhaça ao solo podem aumentar o armazenamento de água, aumentar o intervalo de água disponivel e provocar o deslocamento desta para niveis superiores de tensão. Aplicações comerciais não alteram tais caracteristicas. Tais autores ainda verificaram que aplicações maciças de vinhaça em solos argilosos oxidicos tendem a alterar a cor do solo inclusive em profundidade. Horizontes B de um Latossol Roxo de cor 10YR 4/4 passou para 5YR 3/6, sugerindo com isso modificações nas formas de óxidos de ferro. Aplicações normais de vinhaça não tem alterado a cor do solo.

3.1.2. Modificações químicas

Os primeiros estudos discutindo os efeitos da adição de vinhaça ao solo foram conduzidos por ALMEIDA et al. (1950). O aumento generalizado de cátions trocáveis foi constatado por muitos autores em diversos solos: AMARAL, 1917; VALSECHI & GOMES, 1954; MAGRO, 1974; NUNES et al., 1981; ORLANDO FILHO, 1983; CAMARGO FILHO, 1983; CAMARGO et al., 1983; COLETI et al., 1983. Como consequência da alteração na quantidade de cátions, existe uma alteração na soma e na porcentagem de saturação por bases. Os mesmos autores constataram sempre um aumento em ambas as caracteristicas. CAMARGO et al. (1983) verificaram que a saturação por potássio obedeceu ao modelo de Gapon e que houve uma lixiviação preferencial desse elemento. COLETI et alii (1983) observaram que, apesar da vinhaça apresentar uma relação Ca/Mg desequilibrada, em torno de 0,5, ela atinge valores no solo ao redor de 3,0 depois da aplicação, evidenciando uma lixiviação maior do Mg. NUNES et al. (1982), estudando a lixiviação de potássio, cálcio e magnésio, constataram um aumento na lixiviação desses cátions com o aumento da dose de vinhaça e que o Mg foi proporcionalmente mais lixiviado que o cálcio.

A alteração da porcentagem de saturação por bases tem como efeito uma modificação no pH. Nas mesmas condições, ALMEIDA et al. (1950) mostraram, ao contrário do que se pensava na época, que o pH do solo aumentava com a vinhaça. Outros trabalhos revelaram aumentos sensiveis no pH do solo com a elevação da quantidade de resíduo aplicado (GLÓRIA & MAGRO, 1977; SANTOS et al., 1981; ORLANDO FILHO, 1983; CAMARGO et al., 1983). Tal aumento tem sido atribuido a condições anaeróbicas locais e temporárias e a elevação da saturação por bases (CAMARGO et al., 1983) e da atividade microbiológica (EIRA & CARVALHO, 1970; NUNES et alii, 1981). Quanto à capacidade de troca de cátions, CAMARGO et alii (1983) encontraram um aumento de 4,11 meq/100 g na CTC para cada aumento de 1,0% no teor de carbono da vinhaça.

Trabalhando com um oxissol argiloso da região de Limeira no Estado de São Paulo, tratado com vinhaça nas doses de 100 e 1.000 m^3/ha, em quatro aplicações semestrais sucessivas e uma anual, CAMARGO et al. (1987) acompanharam as principais modificações

quimicas deste solo. Todos os cátions trocáveis e a soma de bases aumentaram em profundidade (Tabelas 5 e 6) para todos os tratamentos que receberam vinhaça. Este aumento é indicativo da quantidade desses elementos levada com a vinhaça, e de que o acréscimo em profundidade é consequência de intensa lixiviação. Houve um aumento na relação Ca/Mg do solo com relação à da vinhaça, indicando adsorção mais intensa de cálcio em relação ao magnésio.

Quanto a alteração do ponto de carga zero (PCZ), pelo uso da vinhaça, MAZZA et al. (1986) observaram que esta propriedade do solo pode sofrer diminuição devido ao acréscimo da matéria orgânica. Quando se utiliza quantidades apreciáveis de vinhaça o PCZ pode aumentar, devido a modificações dos PCZ dos constituintes dos óxidos de ferro do solo. As alterações da hematita para formas amorfas tendem a PCZ do solo.

Em relação a salinidade CAMARGO et al. (1987) observaram que a distribuição da vinhaça em dose baixa (100m^3/ha/aplicação) no oxisol argiloso não chegou a atingir valores perigosos de condutividade elétrica. Por outro lado, a Figura 1 permite afirmar que nessa região, com índice pluviométrico relativamente alto (1.400 mm), a lavagem dos sais livres é muito intensa, como se pôde constatar no final do experimento. As alternâncias de valores nos picos e vales para as duas camadas de 0-10 e 10-40 cm para o tratamento $1.000F_1$ é uma evidência de que os sais estão todo o tempo sendo levados para as camadas mais profundas.

CAMARGO et al. (1987) estudaram a dinâmica das formas de nitrogênio e do enxofre no solo tratado com vinhaça. Pôde-se constatar que o teor de nitrato em todos os tratamentos quase sempre foi maior que o de amônio, o que já era esperado em vista da velocidade de reação favorecer a nitrificação e evitar acúmulo do amônio. Pôde-se constatar, também, que há dois picos intensos de mineralização, Tabela 7, evidenciados pelos elevados teores de nitrato e amônio, principalmente no tratamento que recebeu 1.000 m^3/ha de vinhaça. Esses dois picos coincidiram com inverno chuvoso - agosto de 80 e junho e agosto de 82. A disponibilidade de água e a alternância de secagem e umedecimento, com disponibilidade de material orgânico, devem ter sido fatores que colaboram decisivamente para a intensa mineralização do N orgânico. Essa observação é importante na medida em que pode haver, dependendo das condições de tempo e disponibilidade de material orgânico, condições para nitrificação colocando o N em disponibilidade para a planta. Os teores de $S\text{-}SO_4^{2-}$ se elevaram, com relação à testemunha. Além de ter havido aumento na superficie, uma análise

do quadro permite afirmar que houve aumento também em profundidade, evidenciando lixiviação do elemento que atingiu teores muito grandes, mesmo na camada de 40 a 80 cm. Essa elevação na quantidade de enxofre pode ser um indício de que a vinhaça seja também excelente fonte fornecedora de enxofre à culturas, além do potássio.

Tabela 5. Caracteristicas químicas da terceira amostragem (maio/80) para os diversos tratamentos e profundidades o latossolo vermelho-escuro. Média de três repetições.

Tratamento Prof. (cm)	pH H_2O	pH KCl	Ca	Mg	K	S	Al	H	V %	C.E.10^3 mS/cm (1)
			meq/100g							
Test.										
0-10	4,27	3,92	0,10	0,10	0,04	0,24	2,3	3,8	4	0,07
10-40	4,33	4,00	0,17	0,10	0,04	0,31	2,2	3,6	5	0,07
40-80	4,13	4,10	0,10	0,10	0,02	0,22	1,6	3,0	5	0,12
D 100F$_1$										
0-10	4,37	4,00	0,40	0,20	0,21	0,81	2,0	4,7	11	0,17
10-40	4,57	4,03	0,27	0,10	0,16	0,53	1,7	4,0	8	0,10
40-80	4,40	4,20	0,10	0,10	0,04	0,24	1,2	3,6	7	0,10
D 100F$_2$										
0-10	4,50	3,97	0,37	0,20	0,21	0,78	2,1	4,2	10	0,13
10-40	4,57	4,03	0,18	0,10	0,16	0,44	1,9	3,9	6	0,12
40-80	4,43	4,23	0,10	0,10	0,03	0,23	1,4	2,9	5	0,09
D 1.000F$_1$										
0-10	5,10	4,17	1,10	0,50	0,71	2,31	0,8	4,2	32	0,19
10-40	4,50	4,07	0,60	0,33	0,72	1,65	1,3	3,6	25	0,42
40-80	4,40	4,13	0,33	0,20	0,58	1,11	1,2	3,3	14	0,37
D 1.000F$_2$										
0-10	5,03	4,20	1,07	0,53	0,65	2,25	1,2	4,2	29	0,20
10-40	4,83	4,20	0,90	0,53	0,76	2,19	1,2	3,9	30	0,32
40-80	4,43	4,23	0,43	0,30	0,61	1,34	1,1	3,2	28	0,47

(1) Condutividade elétrica.
FONTE: CAMARGO et al. (1987).

Tabela 6. Caracteristicas quimicas da décima nona amostragem (agosto/83) para os diversos tratamentos e profundidades do latossolo vermelho-escuro. Média de três repetições.

Tratamento Prof. (cm)	pH		Ca	Mg	K	S	Al	H	V	C.E.10³ mS/cm
	H_2O	KCl	meq/100g						%	(1)
Test.										
0-10	4,30	3,90	0,17	0,07	0,06	0,30	1,9	5,6	4	0,06
10-40	4,33	4,00	0,17	0,03	0,04	0,24	1,7	5,4	3	0,05
40-80	4,40	4,13	0,13	0,00	0,02	0,15	1,1	4,4	3	0,04
D 100F$_1$										
0-10	4,67	4,00	0,53	0,20	0,32	1,05	1,4	5,5	13	0,09
10-40	4,47	4,00	0,30	0,20	0,29	0,79	1,6	5,4	10	0,10
40-80	4,63	4,20	0,20	0,07	0,27	0,54	0,8	4,2	11	0,08
D 100F$_2$										
0-10	4,73	4,07	0,47	0,20	0,35	1,02	1,5	5,5	13	0,09
10-40	4,43	4,00	0,27	0,17	0,15	0,59	1,6	5,2	9	0,11
40-80	4,70	4,23	0,20	0,10	0,22	0,52	0,8	4,1	10	0,08
D 1.000F$_1$										
0-10	5,07	4,03	0,90	0,50	0,66	2,06	1,0	6,6	22	0,07
10-40	5,20	4,13	0,63	0,70	0,91	2,24	1,6	6,5	20	0,11
40-80	4,87	4,20	0,60	0,37	1,02	1,93	0,7	5,3	24	0,24
D 1.000F$_2$										
0-10	5,20	4,27	1,80	0,77	0,76	3,33	0,6	6,2	32	0,12
10-40	5,23	4,40	1,20	0,47	0,90	2,57	0,6	5,2	30	0,13
40-80	5,03	4,44	0,80	0,40	1,02	2,22	0,4	4,4	31	0,21
D 100S										
0-10	4,57	4,03	0,43	0,17	0,35	0,95	1,5	5,4	12	0,10
10-40	4,50	4,03	0,27	0,13	0,24	0,64	1,6	5,1	9	0,10
40-80	4,37	4,20	0,23	0,07	0,10	0,40	0,9	4,7	7	0,08

(1) Condutividade elétrica.
FONTE: CAMARGO et al. (1987).

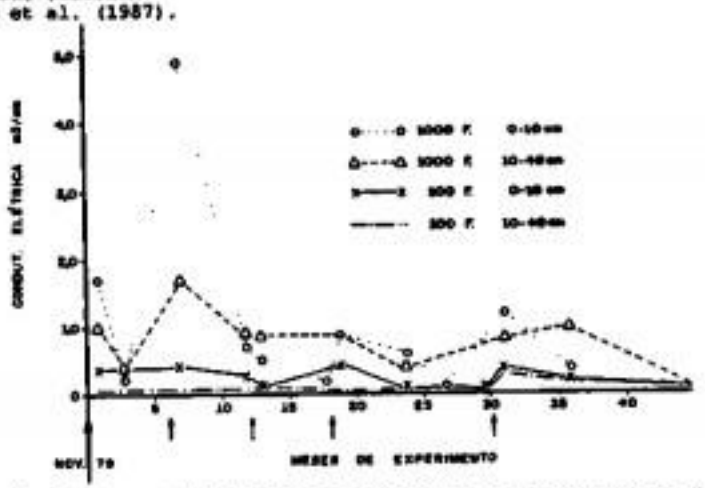


Figura 1. Variação da condutividade elétrica nos tratamentos 100F$_1$ e 1.000F$_1$ nas camadas 0-10 e 10-40 cm. As flechas indicam épocas de aplicação de vinhaça. (FONTE: CAMARGO et al. 1987).

Tabela 7. Concentração de N-nitrato e N-amônio nas diferentes épocas de amostragem, para os três tratamentos em duas profundidades. (FONTE: CAMARGO et al., 1987).

Época de amostragem	Íon	Testemunha		D 100		D 1000	
		10cm	40cm	10cm	40cm	10cm	40cm
		g/g					
Ag. 80	NO_3^-	32	40	130	124	133	140
	NH_4^+	24	38	24	21	35	44
Nov. 80	NO_3^-	160	175	45	45	55	55
	NH_4^+	22	28	33	32	47	42
Dez. 80	NO_3^-	48	73	43	27	71	40
	NH_4^+	18	24	19	22	46	35
Fev. 81	NO_3^-	47	58	43	50	37	45
	NH_4^+	23	25	28	31	44	43
Maio 81	NO_3^-	85	92	62	83	30	40
	NH_4^+	17	19	16	17	12	17
Jun. 81	NO_3^-	57	60	37	35	43	48
	NH_4^+	27	23	29	24	13	20
Ag. 81	NO_3^-	37	58	40	40	43	43
	NH_4^+	5	5	8	3	43	31
Nov. 81	NO_3^-	68	80	91	87	73	92
	NH_4^+	30	30	32	29	34	23
Dez. 81	NO_3^-	87	85	85	67	73	77
	NH_4^+	28	30	20	20	22	22
Fev. 82	NO_3^-	43	47	53	53	42	52
	NH_4^+	43	37	43	32	29	26
Maio 82	NO_3^-	43	58	42	55	33	35
	NH_4^+	17	15	15	14	17	13
Jun. 82	NO_3^-	55	80	55	58	450	72
	NH_4^+	22	21	26	32	293	180

continua

Tabela 7. Continuação.

Época de amostragem	Íon	Testemunha		D 100		D 1000	
		10cm	40cm	10cm	40cm	10cm	40cm
		g/g					
Ago. 82	NO_3^-	58	92	82	68	315	100
	NH_4^+	35	47	53	51	73	111
Nov. 82	NO_3^-	67	70	67	65	38	53
	NH_4^+	30	37	46	48	68	70
Ago. 83	NO_3^-	42	45	58	93	37	37
	NH_4^+	11	18	13	17	10	17

Tabela 8.Teores de zinco, cobre, ferro e manganês solúvel em DTPA-TEA em glebas que receberam diferentes tratamentos de vinhaça por longo tempo. Médias de três repetições.

Amostra	Profundidade	Zn	Cu	Fe	Mn
	cm	ppm			
QE[1]	0- 15	0,6	1,2	29,9	4,3
	15- 30	0,7	1,0	27,9	4,0
	30- 60	0,5	0,5	15,3	2,4
	60-100	0,4	0,4	7,7	0,7
AQ	0- 15	2,4	4,1	128,0	7,5
	15- 30	1,7	4,0	132,8	6,5
	30- 60	2,8	3,9	127,9	5,6
	60-100	2,2	1,9	101,9	5,1
QB	0- 15	0,7	1,5	34,5	3,4
	15- 30	0,8	1,1	33,3	2,4
	30- 60	0,8	0,9	28,6	2,0
	60-100	0,4	0,4	8,5	1,9

Continua

Tabela 8. Continuação.

Amostra	Profundidade	Zn	Cu	Fe	Mn
	---- cm ----	---------- ppm ----------			
QC	0- 15	1,7	1,3	32,6	7,3
	15- 30	2,0	1,8	47,8	6,1
	30- 60	1,3	2,0	69,5	4,8
	60-100	1,0	1,4	65,3	3,3
QD	0- 15	2,8	3,6	111,8	7,8
	15- 30	2,5	3,6	114,0	5,5
	30- 60	1,8	1,3	77,0	5,5
	60-100	1,3	0,7	77,0	5,0

(1) - Testemunha
FONTE: CAMARGO et al. (1983).

Apesar da vinhaça ser um resíduo com baixos teores de micronutrientes, eles estão presentes e podem alterar a sua disponibilidade no solo. CAMARGO et al. (1983) observaram que todos os tratamentos em que foi colocado vinhaça, o teor de micronutrientes no solo aumentou com relação a testemunha (Tabela 8).

Trabalhando com oxissois argilosos que receberam doses elevadas de vinhaça de diversas regiões de São Paulo, MAZZA et al. (1986) observaram diferenças significativas em relação às diversas formas de ferro. Assim, o teor de ferro cristalino é maior nos solos que não receberam vinhaça quando comparados aos que a receberam. Nesses últimos há um incremento de ferro amorfo. Tal fato pode ocorrer devido a alta carga redutora da vinhaça. Em solo que receberam doses normais de vinhaça não houve nenhuma modificação nas formas de ferro. Neste mesmo trabalho os autores também não constataram nenhuma alteração na mineralogia da fração argila, constituída essencialmente por caulinita e gibbsita, nas áreas que receberam doses maciças de vinhaça.

3.1.3. Modificação biológica

A adição da vinhaça no solo provoca mudanças temporárias na população de microrganismos do solo, proporcionando, porém, alterações diversas em processos biológicos e químicos como: decomposição da matéria orgânica, nitrificação, desnitrificação, fixação do N_2 atmosférico, elevação do pH (LIMA, 1980). Além disso, devido a sua origem, a vinhaça pode ser considerada um "extrato de levedura", diluído, constituindo um meio complexo que favorece o desenvolvimento de uma grande variedade de microrganismos,

especialmente quando de sua aplicação ao solo como fertilizante (CAMARGO, 1954 e CALDAS, 1960).

Efeitos da aplicação de vinhaça sobre as populações microbianas do solo foram estudados in vitro por NEVES et al. (1983), usando-se solos da região canavieira de Campos (RJ), incubados com vinhaça de mosto de melaço. Aumentos substanciais, mas temporários, foram observados nas populações de bactérias e fungos, enquanto a de actinomicetos permaneceu temporariamente inibida. A adição de vinhaça introduziu não apenas carbono, mas também nitrogênio em forma prontamente assimilável, que acarretou inicialmente um breve aumento na população bacteriana não-fixadora de nitrogênio e inibiu temporariamente a população de bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Beijerinckia*. A população de *Beijerinckia* aumentou, entretanto, rapidamente após o declínio da população de bactérias não-fixadoras, ocorrendo uma correlação negativa significativa entre estes grupos de microrganismos. A população de *Azospirillum* também foi estimulada, aumentando consideravelmente após 28 dias de incubação. *Azotobacter* sp. não foi detectado nas condições experimentais. A atividade da nitrogenase medida no solo incubado acompanhou, em linhas gerais, o número de *Beijerinckia* e aumentou significativamente com a adição de vinhaça, mas o efeito foi pouco duradouro, persistindo por mais tempo sòmente quando molibdênio foi suplementado à vinhaça. O nitrogênio total dos solos incubados com vinhaça, aumentou acima dos níveis adicionados pela vinhaça, refletindo desta forma incorporação via fixação biológica do nitrogênio. Além disso, as bruscas transformações microbiológicas decorrentes da adição de vinhaça ao solo ocasionaram a elevação do pH, de 4,4 para 6,0 efeito esse observado logo após os primeiros dias de incubação e que perdurou durante os 66 dias de experimentação.

A vinhaça constitui excelente fonte de material carbonáceo energético prontamente assimilável, na forma principalmente de pentosas e ácidos orgânicos presentes numa concentração variável entre 1 e 2% (BRASIL, 1980). Portanto, a adição de vinhaça a um solo, segundo NEVES et al. (1983), cujo teor de carbono total é da ordem de 0,9%, estimula o crescimento dos microrganismos que estão geralmente limitados pelo suprimento de material energético.

LOPES et al. (1986a) estudando os efeitos residuais da vinhaça na população de *Rhizobium* do solo observaram aumentos de nodulação na crotalária e diminuição do amendoim. Em outro trabalho LOPES et al. (1986b) observaram que seis meses após a aplicação de vinhaça, ela ainda influenciou a atividade respiratória do solo, aumentando-a, quando nas dosagens de 100 e 1.000 m^3/ha.

4. AÇÃO DA VINHAÇA COMO FERTILIZANTE

O emprego da vinhaça como fertilizante tornou-se um importante fator econômico principalmente na agroindustria sucro-alcooleira e os resultados positivos no aumento da tonelagem de cana por hectare (TCH) encontrados por diversos autores (ALMEIDA et al. 1950,

COPERSUCAR, 1977; GLÓRIA & MAGRO 1976; ORLANDO Fº 1983; SILVA e GURGEL, 1981), permitiram o seu uso generalizado tanto em cana planta como principalmente em cana soca. Os tipos de solos testados foram os mais variáveis tanto em textura como em fertilidade e os resultados sempre indicando ganho de tonelagem de cana e de açúcar e o mais importante, aumentando a longevidade das soqueiras. O aumento da produtividade com o uso da vinhaça também se verificou com o uso de outras culturas (RANZANI et al. 1953, VALSECHI e P. GOMES, 1974).

As equivalências de fertilizantes minerais, contidas em 1 m^3 de vinhaça de diferentes origens é observado na Tabela 9.

Como a vinhaça enriquece o solo, tanto na camada superficial como na subsuperficial é inevitável um período vegetativo da cana mais longo, com influência negativa na qualidade tecnológica. A Copersucar (1978) já vinha alertando para este fato (Tabela 10) onde o uso da vinhaça contribuiu para um sensível aumento da TCH porém com decréscimo na pol % cana. Neste mesmo trabalho constatou-se aumento no teor de cinzas. A maturação foi atrazada em função da dosagem de vinhaça utilizada. Concluiu ainda que a adubação mineral neste experimento pode ser eliminada sem prejuizo para a TCH e TAH. (tonelagem de açúcar por hectare).

Tabela 9. Equivalente de fertilizantes minerais contidos em $1m^3$ de vinhaça.

Tipo de vinhaça	Equivalência com		
	Uréia	Supertriplo	Cloreto de potássio
m^3	kg/fertilizante		
Mosto de melaço	1,49	0,45	9,22
Mosto de caldo	0,89	0,60	4,47
Mosto misto	0,65	0,49	2,55

A diminuição da pol % cana é compensada em muitos casos pelo aumento da produtividade da cana, traduzindo em valores da mesma ordem para pol/ha (VALSECHI, 1955). Em áreas onde se utilizou excesso de vinhaça (área de sacrifício), os efeitos do aumento da TCH ainda são visíveis para os quatro cortes (NUNES, JR., 1987). A variedade de maior rendimento neste experimento foi a SP 71-1406 seguido pela SP 70-1143 (Tabela 10), com médias de 113 e 112 TCH e de 14,7 e 14,0 TAH respectivamente em 4 cortes e em solo arenoso de baixa fertilidade.

Tabela 10. Teor/Lagem de cana, pol % cana e cinzas em experimento com vinhaça.

Tratamentos*	TCH	Pol % cana			Cinzas % caldo		
		Junho	Agosto	Outubro	Junho	Agosto	Outubro
Testemunha	58	11.3	89.7	16.2	0.41	0.36	0.37
NPK (60-40-120)	56	11.1	14.0	16.8	0.52	0.44	0.43
Vinhaça 30 m3/ha	68	10.4	15.0	15.6	0.47	0.45	0.45
Vinhaça 30 m3/ha + 30 N	63	10.6	14.6	15.7	0.41	0.48	0.45
Vinhaça 45 m3/ha + 30 N	66	10.3	13.5	15.3	0.46	0.46	0.48
Vinhaça 60 m3/ha	71	9.7	14.8	15.6	0.61	0.49	0.55

*Sequeira de 3g corte - solo LE argiloso; kg K2O da vinhaça = 72, 108 e 144, respectivamente para 30, 45 e 60 m3.

FONTE: Cooperacar - Boletim Técnico 7-78, pg. 9-14.

Tabela 11. Produtividade de colmos e de açucar de diversas variedades em 4 cortes.

Variedade	TCH					TAH				
	1g C	2g C	3g C	4g C	Média	1g C	2g C	3g C	4g C	Média
Ra 56-79	132	88	87	65	93	13.5	10.9	12.5	9.1	11.5
SP 70-1143	151	110	98	86	112	17.2	13.7	13.5	11.6	14.0
SP 70-1284	122	81	79	59	85	15.7	10.5	11.3	9.2	11.8
SP 71-1406	154	106	106	87	113	17.4	13.9	15.2	12.6	14.7
SP 71-6163	140	91	78	65	94	17.6	12.7	11.9	10.1	13.1

FONTE: NOVER, 1987.

Por outro lado, se a presença da elevada concentração da vinhaça foi benéfica para produtividade de colmos ela não foi para a maturação das variedades (Figura 2). No 1º corte a única variedade que alcançou e manteve a marca dos 120 kg de açúcar/t cana foi a SP 70-1284 sendo que as demais ficaram na faixa de 110 kg açúcar durante todo o período de amostragem. Do mesmo modo que os resultados anteriores, o teor de cinza que raramente ultrapassa valor de 0.3% no caldo, foi sensivelmente alterados pela absorção de luxo do K.

4.1. Doses recomendadas

Os diversos trabalhos consultados (BAPTISTELA et al., 1981, COPERSUCAR, 1978, GLÓRIA e ORLANDO Fº, 1983) assim como as orientações dadas as usinas e destilarias tem indicado variações de doses devido a uma série de fatores envolvidos, principalmente quando se refere a distribuição da vinhaça por caminhão. Neste método a substituição do K do adubo mineral pela K da vinhaça é função da distância. A recomendação de uma dose de vinhaça está sempre associada a substituição da adubação mineral potássica correspondente. No entanto o adubo mineral é aplicado em linha, tanto na soca como na cana planta (fundo do sulco) enquanto que a vinhaça é aplicada em área total. Sendo assim usa-se o dobro do teor de K_2O para a vinhaça. Como a adubação em potássio para as soqueiras varia numa faixa de 120 a 180 kg/ha de K_2O no Estado de São Paulo, a dose de vinhaça deve conter pelo menos o dobro em potássio. A Tabela 12 resume as doses de vinhaça a ser usada nas soqueiras.

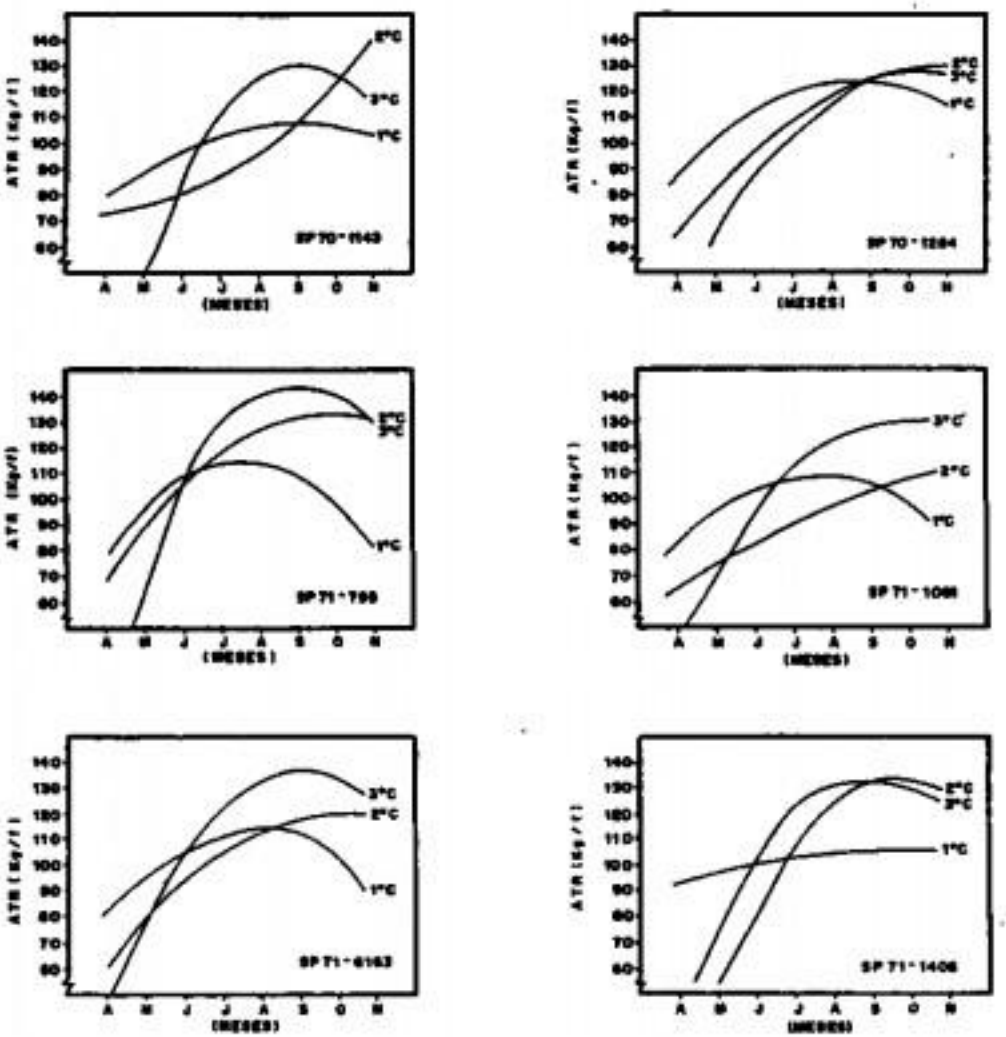


Figura 2. Curvas de maturação obtidas em três cortes em área com alta deposição de vinhaça. (Fonte: Nunes, 1987).

Tabela 12. Doses de vinhaça em função da concentração de K_2O.

Concentração	Dose correspondente a 120 - 160 kg K_2O/ha
kg/K_2O/m^3	m^3/ha
1,0	240 - 300
1,5	160 - 200
2,0	120 - 150
3,0	80 - 100
4,0	60 - 75

Em trabalho relacionando distância percorrida pelo caminhão e dose de vinhaça aplicada, MATIOLI et al. (1988) verificaram que as distâncias máximas calculadas são reduzidas para baixas concentração de K_2O/cm^3 (1,5 a 2,0 km) sem considerar aumento de produção. Colocando aumento de produção pelo uso da vinhaça, as distâncias máximas aumentam significativamente. Por outro lado o aumento da capacidade de transporte da vinhaça, que é uma tendência normal nestes últimos tempos, viabiliza a aplicação da vinhaça a maior distância.

Hoje, numa concentração de 1,3 a 1,5 de K_2O/m^3 uma distância máxima econômica está na faixa de 8-10 km.

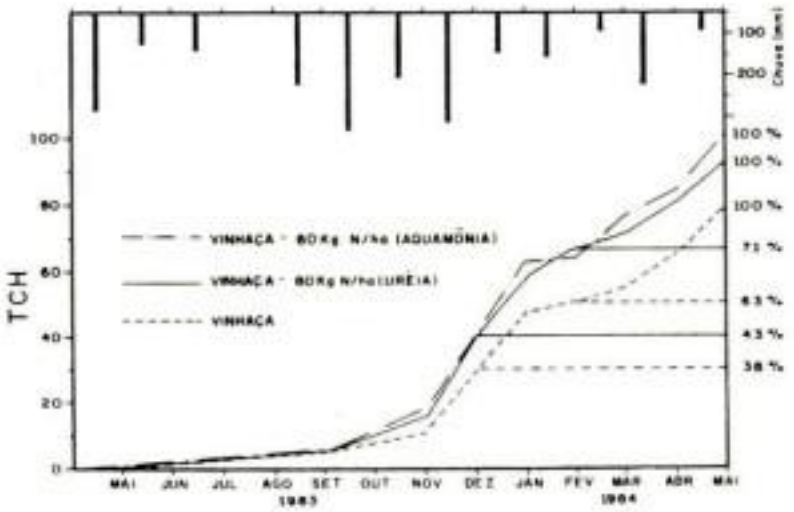


Figura 3.Evolução de ganho mensal de massa verde média das 3 áreas e precipitação no período.

Tabela 13. Complementação nitrogenada em áreas fertilizadas com vinhaça em diversas usinas do Estado de São Paulo - Safras 81/82 e 83/84.

Doses de N	TCH
kg/ha	
Usina Sta. Adelaide - LVA-arenoso - 2º corte - 120 m³/ha - 3,2 Kg/m³ K, O média de 3 experimentos - safra 81/82.	
0	87
22	89
31	94
31*	89
Usina Sta. Adelaide - LVA arenoso - 2º corte - 120 m³/ha - 2,8 Kg/m³ K, O média de 5 experimentos - safra 81/82.	
0	71
31	78
40	82
31*	91
Usina São Francisco AR - LR e LE média - 2º corte - 120 m³/ha - 3,0 Kg/m³ K, O média de 5 experimentos - safra 81/82.	
40 (uso normal da usina)	80
80	91
120	87
160	91
Usina Sta. Adelaide - LVA arenoso - 2º e 3º cortes - 120 m³/ha - 2,8 Kg/m³ K, O média de 3 experimentos - safra 81/82.	
0	77
100	86
150	89
31	83
Usina Bonfim - LE arenoso a médio - 2º corte - 120 m³/ha - 2,8 Kg/m³ K, O média de 3 experimentos - safra 83/84.	
96	101
150	106
200	106
Usina Barra Grande - LVA arenoso - 2º corte - 80 m³/ha - 3,0 Kg/m³ K, O média de 5 experimentos-safra 83/84.	
0	72
90	80
120	83
150	85

Continua

Tabela 13. (Continuação)

Doses de N Kg/ha	TCH
Usina Rafard - LR - 2ª corte - 75 m³/ha - 2,8 Kg/m³ K, O média de 4 experimentos - safra 83/84.	
54	91
100	100
150	105
54	87
Usina Sta. Luiza - LE - médio - 90 m³/ha - 2,8 Kg/m³ K, O média de 2 experimentos - safra 83/84.	
0	106
100	114
150	117
Usina Campestre - LVA - arenoso - 105 m³/ha - 3,0 Kg/m³ K, O média de 3 experimentos - safra 83/84.	
50	91
100	97
150	96

(*) Aplicação aérea. FONTE: Rodrigues et al. (1984).

Em área de aspersão chega-se em média a utilizar 300 m³/ha, podendo alcançar até a 600-700 m³/ha. Na média tem-se usado 300m³/ha. É comum nesta área uma diluição com água de lavagem de 2:1 ou mesmo de 3:1. Entretanto o teor de K_2O/ha tem ficado na faixa de 200 a 300 kg K_2O/ha.

4.2. Complementação com nitrogênio

Devido a sua composição química variável e, principalmente, ao desbalanceamento dos macronutrientes e a atividade biológica, a fertilização com vinhaça necessita muitas vezes uma complementação com adubo mineral. Um razoável número de trabalhos tem sido realizado nos últimos anos com o intuito de avaliar esta necessidade de complementação, sendo os resultados em diversos casos contraditórios ou não conclusivos (SERRA, 1979; MAGRO et al., 1981, ESPIRONELO et al., 1981). Os estudos sobre complementação mineral de áreas adubados com vinhaça têm, de um modo geral, revelado melhor as respostas à fertilização nitrogenada. RODRIGUES et al. (1984) trabalharam em diversas usinas (Santa Adelaide, Bom Fim, Barra Grande, São Francisco, Rafard, Santa Luiza, Campestre) onde foi feita a complementação nitrogenada (Tabela 13). Os resultados obtidos em mais 40 campos ao longo de três safras indicaram estar a quantidade ideal de N, para a complementação em áreas fertilizadas com vinhaça, na faixa de 90 a 100 kg/ha N. Concluiram, também, que para a época era necessário um aumento de 6 t/ha de cana quando utilizada a uréia ou 4 t/ha de cana quando utilizada a aquamônia, de modo a se pagar os custos da complementação nitrogenada e colheita adicional. Convêm ressaltar

que, nos 40 campos testados, os autores obtiveram sempre um aumento médio superior a 6 t/ha entre a testemunha e a complementação com 90 a 100 kg/ha de N. Como a recomendação é para aplicação do adubo no momento do cultivo da soqueira não se incluiu custos de aplicação.

Neste mesmo trabalho os autores observaram que a complementação nitrogenada com o auxílio da aviação não revelou ser vantajoso. A época ideal para a complementação nitrogenada é logo após a colheita e da aplicação da vinhaça. As curvas de crescimento diferencial da cultura (Figura 3) indicam que nos meses de dezembro a janeiro ocorre o máximo desenvolvimento vegetativo da cana-soca. Desse modo, antes deste período de máximo crescimento, o nutriente deve estar disponível para a soqueira, o que inviabiliza as aplicações parceladas e aérea.

Em relação a fonte de N para a complementação nas áreas tratadas com vinhaça PENA & FIGUEIREDO (1984) testaram a uréia e aquamônia. A produção final de colmos (Tabela 14) mostrou que os acréscimos foram proporcionais as doses de nitrogênio com a maior (80 kg/ha de N) se aproximando da dose considerada econômica.

Para a dose de 80 kg/ha de N a resposta foi a mesma com um acréscimo de 14 TCH (significativo a 1%) na média das três áreas, para as duas formas de nutrientes aplicado. Os dados médios da ATR das áreas não apresentam diferenças significativas, entretanto pode-se considerar que ocorreu uma tendência de melhorar a qualidade da matéria prima com maiores doses de N. Na média das áreas, a complementação com 80 kg/ha de N na forma (aquamônia) foi 19% mais lucrativa que a testemunha e 3% superior a que recebeu a mesma dosagem na forma sólida (uréia), considerando apenas a lucratividade parcial do setor agrícola. Quando se incluiu a lucratividade parcial dos setores agrícola e industrial o aumento foi de 35% superior a testemunha.

5. OS SUBPRODUTOS DA AGRO-INDÚSTRIA: TORTA DE FILTRO

É um resíduo proveniente da filtração a vácuo da mistura de lodo dos decantadores com bagacinho, no processo de produção de açúcar. Algumas destilarias autônomas têm introduzido o sistema de clarificação de caldo, obtendo assim o citado resíduo.

A produção média da Torta de Filtro (TF) está na faixa de 18 a 30 kg/t de cana moída sendo sua composição indicada no Tabela 15.

Este resíduo é um material rico em matéria orgânica, cálcio, fósforo e nitrogênio, porém carente em potássio e magnésio. Dos micronutrientes, o ferro aparece com destaque.

Seu uso na adubação de cana de açúcar já é prática convencional em muitas unidades produtoras. Em resumo e em relação a TF observa-se o que segue na literatura tanto nacional como estrangeira.

Tabela 14. Rendimento agrícola e industrial (ATR) em função da dose e forma de nitrogênio nas áreas de soqueira da Usina Santa Rita (FONTE - PENA e FIGUEIREDO, 1984).

Tratamentos	Área 1	Área 2	Área 3	Média
	cana (t/ha)			
Vinhaça	50	74	36	54
Vin + 40 N (uréia)	68	78	42	63
Vin + 80 N (uréia)	77	85	43	68
Vin + 80 N (aquamônia)	75	87	43	68
Teste F	7,30(3)	1,79	0,57	7,34(3)
DMS (10%)	15,3	15,3	15,3	9
Coef.Variação	-	-	-	12,18
	Açúcar (kg/t cana)			
Vinhaça	117,8	106,4	82,6	102,3
Vin + 40 N(uréia)	124,8	111,2	89,1	108,4
Vin + 80 N(uréia)	125,3	113,0	91,0	110,0
Vin + 80 N(aquamônia)	128,2	95,2	99,6	108,0
Teste F	2,9	10,6(3)	1,6	2,22
DMS (5%)	12,6	12,1	27,4	8,82
Coef.Variação	3,6	4,0	10,7	6,18
	Açúcar (t/ha)			
Vinhaça	5,91	7,93	2,96	5,60
Vin + 40 N(uréia)	8,41	8,69	3,76	6,95
Vin + 80 N(uréia)	9,61	9,63	3,93	7,72
Vin + 80 N(aquamônia)	9,54	8,29	4,30	7,38
Teste F	12,68(3)	3,59(3)	1,86	13,97(3)
DMS (5%)	2,38	1,90	2,03	1,00
Coef.Variação	10,05	7,76	19,18	10,80

- Efeito positivo no aumento da produtividade (ALBUQUERQUE e MARINHO, 1979; ALEXANDER, 1972; COLETI et al. 1979, 1980; SAMUELS e LANDAU, 1955; entre outros).

- Ela pode ser usada como substituto do fósforo mineral principalmente em solo de melhor fertilidade (COLETI et al., 1981; PRASAD, 1974).

- Existem respostas positivas de adubação fosfatada quando associada a TF em solos de baixa fertilidade (Tabela 16) (COLETI et al., 1980, 1981).

- Em ensaios de doses de nitrogênio com TF observou-se a substituição parcial do nitrogênio pela TF (ALBUQUERQUE e MARINHO, 1979).

- As alterações dos niveis de nitrogênio do solo dependem da relação C/N da TF selecionada. Relação na faixa de 17 permite uma rápida mineralização do nitrogênio, tornando-o disponivel a cultura. Neste caso a TF substitui todo o N do plantio. Por outro lado, se a relação C/N estiver acima de 33 ocorre imobilização do N e seguramente haverá necessidade de complementação com N mineral (BOUCLAIR 1984).

- A complementação mineral de K quando se usa a TF deu efeito positivo em diversos ensaios, principalmente em solos com baixo teor deste elemento (COLETI et al. 1981). Em solos com teores médio a alta em K não é necessário a complementação mineral (PRASAD, 1974).

Tabela 15.Composição quimica da TF e dos compostos, expresso em % de matéria seca (Fonte: Coleti et al. 1986).

Determinação[1]	TF	CP_1	CP_2	CP_3	CP_4
			%		
Umidade	52	57	66	51	44
Matéria orgânica	10	10	12	11	11
Nitrogênio	0,8	0,8	1,2	1,0	0,9
P (total)	0,8	0,5	0,9	0,5	1,0
K	0,08	0,12	0,18	0,15	0,22
Ca	3,12	2,37	2,44	2,01	3,96
Mg	0,03	0,06	0,05	0,03	0,06
			ppm		
Fe	3,545	3,836	3,715	3,782	4,103
Cu	15	16	20	10	17
Zn	13	14	16	10	21
Mn	117	103	102	112	127
C/N	7,5	7,0	6,2	6,5	7,5

[1] Caracterização dos compostos com a participação em % peso:
CP_1 = TF (74) + inoculante (25) + Super simples (1)
CP_2 = Bagaço (60) + inoculante (39) + Super simples (1)
CP_3 = Bagaço (45) + TF (45) + inoculante (9) + Super Simples (1)
CP_4 = Pontas trituradas (55) + inoculante (43) + Fosfato Natural (1) + Super Simples (1)

Tabela 16. Tonelada de cana por hectare em 2 cortes, com Torta de Filtro em solo arenoso e solo argiloso[1]

Nutriente-Kg/ha			TF	TCH		Média
N	P_2O_5	K_2O	t/ha (úmido)	1ºC	2ºC	TCH
			Latossol Vermelho Amarelo-textura média			
0	0	0	0	89b	72	70
0	0	0	15	92ab	95	93
0	60	60	15	99a	96	97
0	60	120	15	115a	98	106
20	120	120	-	97a	94	95
			Latossol Roxo distrófico			
0	0	0	-	121b	92	107
0	0	0	15	150a	102	126
0	0	120	10	140ab	96	118
0	60	60	10	141ab	94	117
20	120	120	10	137ab	96	116
20	120	120	-	124a	98	111

[1] FONTE: COLETI et al., 1986.

- Quando a TF for incorporada ao solo doses elevadas (268 t/ha) apresenta propriedades corretivas da acidez do solo, (PRASAD, 1974).

- A TF tem um efeito nematicidico porém de pouca duração (MOBERLEY e MEYER, 1978).

Métodos de aplicação

Este subproduto pode ser aplicado: dentro do sulco de plantio, na faixa de 20-35 t/ha; em área total e depois incorporado por implementos antes do plantio, faixa de 60 - 100 t/ha; e nas entre linhas das soqueiras, faixa de 20 - 30 t/ha. Os resultados da aplicação da TF em área total são melhores do que dentro do sulco, porém em quantidade na faixa de 60 t/ha (ALONSO et al., 1982).

O manejo da TF obedece ao esquema a seguir.

. O resíduo é recolhido na saída dos filtros rotativos e transportado por caminhões basculantes para área próxino a usina, normalmente limpa e se possivel sem tiririca. A Torta é depositada em leiras continuas de 5 a 6 metros de largura com 1,5m de altura deixando 6 a 7 m de espaço livre entre os montes para o trânsito de veículos, principalmente da pá carregadeira que mistura a torta.

. Por ocasião do plantio a torta é transportada para o local definitivo sendo depositada estrategicamente ao lado do carreador

entre dois talhos em quantidade compatível com aquela área de plantio.

. A Tabela 17 (COLETI et al. 1986) indica um experimento com o uso da TF no sulco, comparado com adubação mineral. Observa-se que em solos de baixa fertilidade a complementação mineral é necessária tanto de fósforo como principalmente de potássio na faixa de 60 e 120 kg/ha respectivamente de P_2O_5 e K_2O. Isto já não é necessário em solos de boa fertilidade. Aparentemente a TF supriu a necessidade de N.

Menos comum é o uso da TF em soqueira. FERREIRA et alii (1986) verificaram que o uso da TF na entrelinha da soqueira não dispensou a complementação mineral (Tabela 18). Nas 4 usinas estudadas tais autores também constataram que a produtividade do 3º corte foi superior nos tratamentos que receberam 10 t/ha no 2º corte em relação aos que não receberam torta, devido ao efeito residual. Verificaram também que o uso da TF não alterou as características tecnológicas da cana-de-açúcar expressas em açúcar teórico recuperável.

Em relação a maturação das variedades em função do uso da TF comparado com o uso da torta de mamona, NUNES et alii (1988) observaram que as parcelas que receberam TF no sulco de plantio apresentaram valores de ATR um pouco menor quando comparado com áreas que não receberam a TF (Figura 4). Tanto em cana planta como em cana soca, as variedades que mostraram defasagens mais significativas foram a NA 56-79, e a SP 71-6163. Tal efeito se deve a melhor fertilidade ocasionado pelo uso da TF, que induziu as variedades a uma maior vegetação e como consequência, a um menor acúmulo de sacarose. O maior desenvolvimento vegetativo com o uso da TF está ilustrado na Tabela 19 onde em 4 cortes o aumento da tonelagem de colmos foi em média 14,3% e 13,4% de aumento de açúcar quando comparado com a área sem TF.

Tabela 17. Produção de cana em função do efeito da Torta de Filtro e de compostos. (FONTE: COLETI, 1986).

Nutrientes Mineral Kg/ha			Fonte orgânica	TCH		Média
N	P_2O_5	K_2O	t/ha	1ª C	2ª C	t/ha
			Latossol Roxo			
0	0	0	-	121	92	106
0	0	0	15 TF	150	102	126
0	0	0	15 CP_2	134	94	114
0	0	0	10 CP_1	138	95	117
0	0	120	10 TF	140	96	118
0	0	120	10 CP_2	136	94	115
0	0	120	5 CP_1	142	92	117
0	60	60	10 TF	141	94	117
0	60	60	10 CP_2	142	91	116
0	60	60	5 CP_1	139	93	116
20	120	120	10 TF	137	96	116
20	120	120	10 CP_2	134	97	115
20	120	120	5 CP_1	143	98	120
20	120	120	-	124	98	111
			Latossol Vermelho Amarelo - arenoso			
0	0	0	-	69	71	70
0	0	0	15 tf	92	95	93
0	0	0	15 CP_1	92	92	92
0	0	0	15 CP_2	93	86	89
0	0	0	15 CP_3	95	90	92
0	0	0	15 CP_4	101	96	98
0	60	60	15 TF	99	96	97
0	60	60	15 CP_1	105	94	100
0	60	60	15 CP_2	103	94	98
0	60	60	15 CP_3	94	98	92
0	60	60	15 CP_4	107	101	104
0	60	120	15 TF	114	98	106
0	60	120	15 CP_1	112	100	105
0	60	120	15 CP_2	99	95	97
0	60	120	15 CP_3	101	96	98
0	60	120	15 CP_4	109	102	106
20	120	120	-	97	94	95

Tabela 18. Toneladas de cana por hectare em 4 usinas usando TF no 1g corte e o efeito residual no 1g corte, comp com o adubo. mineral.

Torta filtro T/ha (seca)	Nutrientes Kg/ha			Usina E			Usina F			Usina G			Usina H		
	N	P2O5	K2O	1g C	1g C	Média	1g C	1g C	Média	1g C	1g C	Média	1g C	1g C	Média
0	0	0	0	68	75	71.5	44	82	65	67	84	75	61	42	51
5	0	0	0	70	76	73	61	96	78	81	89	85	73	54	64
10	0	0	0	70	82	76	58	95	76	79	96	87	72	48	60
0	60	0	90	80	80	80	69	89	79	80	89	81	68	46	57
5	60	0	90	77	84	80	66	88	77	89	89	89	80	52	66
10	60	0	90	78	90	84	69	98	83	96	100	98	78	58	68
0	120	0	180	74	75	74	70	93	81	88	88	88	82	58	70
5	120	0	180	73	83	78	75	100	87	88	90	89	86	57	71
10	120	0	180	76	85	80	77	108	92	101	100	100	77	63	70

(*) FONTE: FERREIRA et al. (1988).

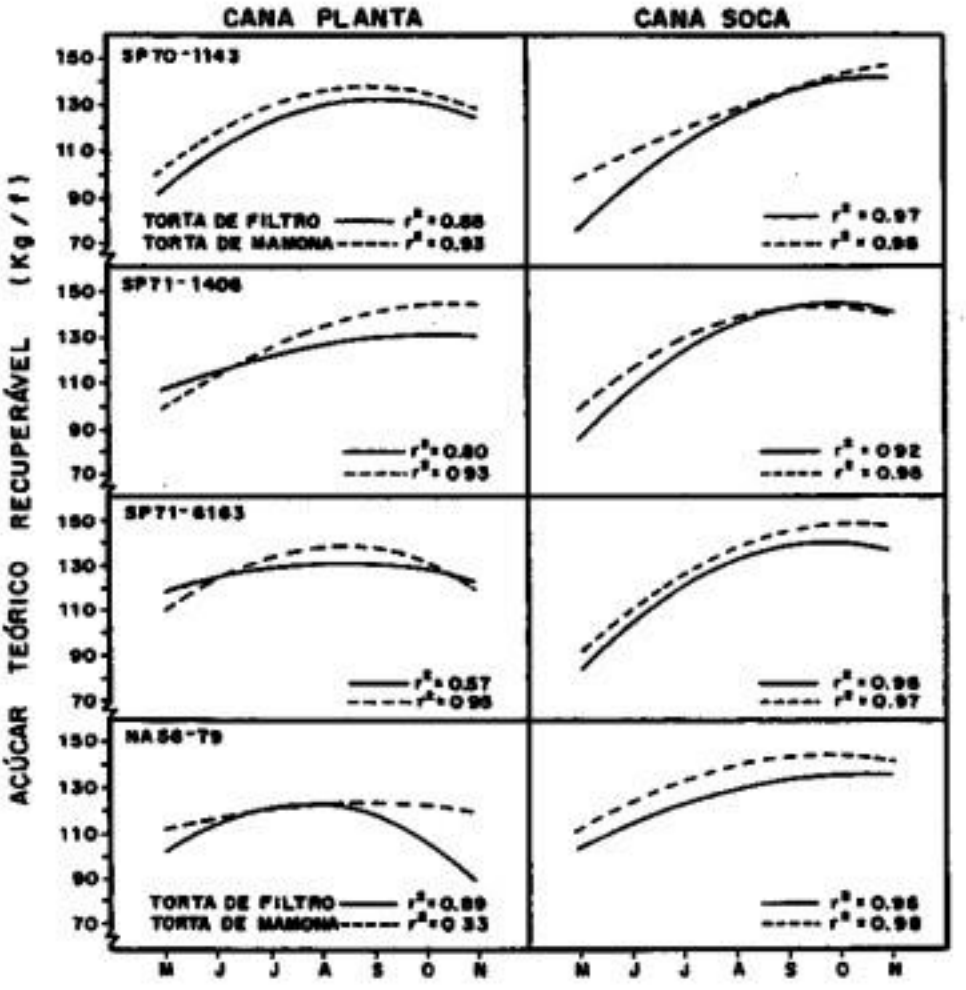


Figura 4.Curvas de maturação de algumas variedades cultivadas na presença de Torta de Filtro e Torta de Mamona - Usina Barra Grande. Safras 1982 a 1983.

Tabela 19. Desempenho das variedades em 4 cortes na presença de torta de filtro e torta de mamona. (Usina Barra Grande, período 1983 a 1987)[1]

Variedades	Total Colmos			Total Açúcar		
	TF	TM	TF-TM	TF	TM	TF-TM
	t			t		
NA 56-79	359	318	41	46,1	40,3	5,8
SP 70-1143	426	395	31	49,4	45,8	3,6
SP 71-1406	419	327	92	51,8	42,9	8,9
SP 71-6169	371	309	62	48,5	40,8	7,7
Média	393,7	337,2 14,3%	56,5	48,7	42,4 13,4%	6,5

[1] Fonte: NUNES et al., 1988.

A melhor resposta em termos do uso da TF foi verificado pela SP 71-1406 com 92 toneladas adicionais. Esta variedade praticamente ganhou um corte adicional com o uso da TF.

6. OS SUBPRODUTOS DA AGRO-INDÚSTRIA: BAGAÇO

Sub produto do processamento da cana de açúcar numa proporção de 230 a 250 kg de bagaço para 1 tonelada de cana.

Quimicamente o bagaço é extremamente pobre em nutrientes com uma relação C/N na faixa 150-200 (Tabela 20) e dominado pela celulose. No carbono total domina o ácido fulvico (CERRI et al., 1988). Quanto ao grau de humificação o material é ainda pouco evoluído com maior proporção de ácidos húmicos, de baixo peso molecular e grupos funcionais herdados da lignina.

Normalmente o bagaço não é utilizado como fornecedor de nutrientes diretamente no sulco de plantio ou na entre linha da cana, no caso das soqueiras. O destino da grande parte do bagaço é na geração de energia (1 kg de fibra seca produz através de sua queima 5 kg de vapor). O restante deste produto pode sofrer compostagem e depois disso servir como material orgânico da mesma maneira que a torta de filtro.

A compostagem do bagaço, basicamente em mistura com a torta de filtro (proporção de 2 partes de torta para 1 de bagaço) e posterior emprego no sulco de plantio tem dado resultados positivos (COLETI et al., 1986; CARDOSO et al., 1988).

Tabela 20. Características químicas e físicas de resíduos da agroindústria açucareira (FONTE: CERRI et ali., 1988).

Resíduo	pH	CTC meq/100g	Cinzas	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	B	Zn	Cu	Mn
									%						
Vinhaça	5.3	10.0	22.7	4.3	102.5	0.4	14.5	12.1	4.0	3.0	18	38	53	141	157
Torta	5.6	15.0	13.1	7.3	0.2	3.6	5.0	1.3	13.0	16.0	96	44	99	230	494
Bagaço	5.3	12.5	3.4	0.2	0.1	0.2	6.0	0.2	12.0	2.0	61	7	136	33	44

Características orgânicas CT = Carbono total; NT = Nitrogênio total.

Resíduo	CT	NT	Celulose	Lignina	C/N	Ac.Humico	Ac.Fulvico	AH/AF
			%			% do CT		
Vinhaça	39.4	-	-	-	15	3.5	35.9	10.4
Torta	47.5	2.6	33.0	12.0	20	2.3	9.4	4.1
Bagaço	54.2	0.3	42.0	15.0	200	2.3	6.2	2.6

Grau de condensação dos ácidos humicos dos resíduos por peneiramento molecular (medido de Kav) e determinação do coeficiente cromático (D4/D6).

Resíduo	0	0,35	0,62	0,72	0,81	1	D4-665 nm	D4-465 nm	D6-D4
	%						abs/g/l		
Vinhaça	30.2	-	50,5	-	-	19,3	1,0	2,0	2,0
Torta	30.2	-	-	39,5	-	30,4	1,3	2,6	2,0
Bagaço	10.7	19,1	0,6	-	2,10	48,3	1,3	2,1	1,0

A aplicação de 10 t/ha de matéria seca do composto no sulco de plantio complementados com 25 kg/ha de N e 90 kg/ha de K_2O substitui a adubação mineral tradicional (Tabela 21).

Tabela 21. Efeito do composto na produção de colmos e de açúcar (FONTE: CARDOSO et al., 1988).

Tratamentos (peso seco)	Complementação mineral			TCH	TAH
	N	P_2O_5	K_2O		
t/ha	kg/ha				
T_1=TF = 50,0 T sulco	25	125	125	117	19,3
T_2=Composto = 50,0 T sulco	25	125	125	114	19,0
T_3=Composto = 10,0 T sulco	25	-	90	114	18,3
T_4=Composto = 30,0 T área total	-	-	20	110	17,8
T_5=Composto = 50,0 T área total	-	-	-	120	19,7
T_6=Fertilizante mineral	25	125	125	109	18,7

O composto foi produzido a partir da torta de filtro e bagaço, sem suplementação de nenhum tipo de material. No trabalho de CARDOSO et al., (1988) foi feito o custo econômico do processo da compostagem e do seu uso na lavoura, sugerindo viabilidade econômica.

Num trabalho de maior duração, onde se verificou a ação do composto no efeito residual na soqueira de cana, COLETI et al., (1986) observaram que os produtos da compostagem utilizados nas mesmas doses da torta de filtro proporcionaram efeitos semelhantes na TCH. A redução da complementação mineral, para fósforo e potássio, e a eliminação total do nitrogênio, tanto no uso da torta como do composto, não afetou a produtividade agrícola seja no 1º ou 2º cortes (Tabela 17). As análises da torta de filtro e dos compostos estão indicados na Tabela 15.

Convém ressaltar que atualmente a maioria das usinas que realizam compostagem na proporção de 2 de torta e 1 de bagaço, não utilizam nenhum tipo de inoculante e nem suplementação mineral de nutrientes.

Quanto ao efeito nas propriedades do solo, o uso tanto da torta como do composto não tem produzido alterações significativas (Tabela 22). Após 540 dias de aplicação da torta e do composto o teor de matéria orgânica do solo não diferiu do teor original e do tratamento com adubo mineral. A saturação de bases decresceu ao longo do tempo. Houve enriquecimento em relação ao fósforo.

Tabela 22. Análise de solo de cada tratamento em 3 épocas de amostragem, à profundidade de 00-25cm.

Trata-	Época	pH	M.O.	P	K'	Ca^{+2}	Mg^{+2}	SB	CTC	V
			%	mg/cm³	-------- meq/100 ml --------					%
	0	4,9	3,22	5	0,19	1,35	0,55	2,09	5,86	35
T_1	280	4,5	2,64	18	0,17	0,89	0,74	1,80	5,49	32
	540	4,5	4,50	12	0,18	0,93	0,74	1,85	4,65	39
	0	4,8	3,43	4	0,18	1,36	0,55	2,09	5,80	36
T_2	280	4,6	2,78	19	0,19	1,00	0,74	1,93	5,58	34
	540	4,6	2,81	11	0,15	0,74	0,57	1,46	4,81	30
	0	5,2	3,14	7	0,27	1,54	0,65	2,46	5,74	42
T_3	280	4,7	2,80	20	0,20	0,98	0,80	1,98	5,40	36
	540	4,8	2,63	10	0,18	0,93	0,81	1,92	4,91	41
	0	4,9	3,77	5	0,26	1,43	0,70	2,39	6,16	38
T_4	280	4,8	2,97	60	0,22	1,29	0,79	2,30	5,70	40
	540	4,7	3,23	28	0,17	1,00	0,81	1,98	5,39	36
	0	4,9	3,40	6	0,20	1,55	0,76	2,51	6,11	41
T_5	280	4,9	3,54	110	0,23	1,79	0,67	2,69	6,21	43
	540	4,9	3,82	39	0,17	1,11	0,92	2,20	5,35	41
	0	4,9	3,31	4	0,23	1,43	0,73	2,39	5,97	40
T_6	280	4,6	2,64	37	0,23	0,92	0,77	1,92	5,52	34
	540	4m6	3,03	13	0,18	0,87	0,68	1,73	5,29	32

FONTE: CARDOSO et al. (1988). Os tratamentos T_1 ao T_6 correspondem aos tratamentos da Tabela 21.

7. OS SUBPRODUTOS DA AGROINDÚSTRIA: CINZAS

Constituem material residual da queima da lenha e principalmente do bagaço no processo da geração de energia nas unidades industriais. Do total de bagaço queimado, cerca de 2,5%, se transformam em cinzas (MEADE, 1967).

O silício é o principal componente das cinzas (PLANALSUCAR, 1980) sendo seguido pelo potássio na faixa de 6,2% (Tabela 23). As cinzas apresentam efeito corretivo e fertilizante, e a sua eficiência tem sido demonstrada ao longo do tempo. No Brasil o seu uso ainda é restrito. Porém devido a sua riqueza em nutrientes, principalmente fósforo, potássio, cálcio e magnésio, pode ser usada na substituição total ou parcial dos nutrientes utilizados na cana.

Algumas usinas têm misturado as cinzas com a torta de filtro e, nesse caso, substituindo todo o nitrogênio, fósforo e potássio da adubação mineral.

Tabela 23. Composição química das cinzas.

Componente	PAN et al. (1978)	Planalsucar (1980)
	%	
P_2O_5	3,20	0,87
K_2O	6,21	1,67
CaO	3,99	0,99
MgO	1,42	0,56
Fe_2O_3	1,46	-
Al_2O_3	3,78	-
MnO	-	8,05
SiO_2	60,44	85,20

FONTE: ORLANDO Fº., 1983.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode-se observar, a lavoura canavieira pode gerar uma série de subprodutos que adequadamente usado no solo tenderá a melhorá-lo. O reflexo desta melhora está no aumento da produtividade que se tem verificado em uma série de usinas e/ou destilarias.

Em termos de quantificação dos sub produtos produzidos numa unidade, vamos partir de uma destilaria que tenha em média 80 t/ha.

As características são relacionadas abaixo.

- Área da unidade: 15.000 ha
- Área de reforma: 2.500 ha/ano
- Quantidade de cana: 1.000.000 toneladas
- Quantidade de álcool: 80 milhões de litros/ano
- Quantidade de vinhaça: 80 x 13 = 1.040.000 m^3
- Quantidade de Torta de Filtro, considerando 30 kg/t de cana = 30.000 t.
- Quantidade de bagaço (240 kg/t cana) = 240.000 t.
- Supondo uma compostagem de 2 partes de TF para 1 de bagaço = 40.000 t.

Considerando o uso de:

. 200 m^3/ha de vinhaça em soqueira seria suficiente para substituir o potássio em 5.200 ha (o que corresponde a 45% da área do solo);

. 30 t/ha de composto no plantio seria suficiente para substituir todo o nitrogênio e parte do fósforo em 1330 ha (o que corresponde a 55% do plantio.)

BIBLIOGRAFIA CITADA

ALBUQUERQUE, G.A.C. e MARINHO, M.L. Influência da torta de filtro sobre a adubação nitrogenada em cana de açúcar. **Brasil Açucareiro.** Rio de Janeiro, **93**(2):38-43, 1979.

ALEXANDER, K.E.F. Filter cake. **South Afr. Super J.**, Durban. **56**(2):71-7. 1972.

ALMEIDA, J.R. As tortas das usinas de açúcar. **Brasil açuc.**, Rio de Janeiro, **24**(2):91-3, 1950.

ALONSO, O. et al. 1982. **A torta de filtro no sulco de plantio e em área total na fertilização da cana de açúcar** (mimeografado).

AMARAL, A.P. A vinhaça como adubo. B. Agric., São Paulo, **18**:125-131. 1917.

BARNES, A.C. **The Sugar Cane**. New York, John Wiley & Sons, 1974. 572p.

BAPTISTELLA, J.R.; LEME, E.J.A.; ROSENFELD, D. **Estudo de doses de vinhaça aplicada por asperção em cana de açúcar**. In: Congr. Nacional da STAB, 2. Rio de Janeiro. 1981.

BEAUCLAIR, E.G.F. Adubação verde e aplicação de matéria orgânica no cultivo da cana de açúcar. In: **Reunião Técnica Agronômica: Manejo de adubação na cultura da cana de açúcar**. Piracicaba. Copersucar, 1984. pg.40-47.

BRASIL. Departamento de Solos. **Relatório Anual de 1980**: Utilização da vinhaça como fertilizante em solos da região canavieira de Campos Seropédica. Univ. Fed. Rural Rio de Janeiro, 1981. 347p.

CALDAS, H.P. **Os fenômenos microbiológicos nos solos tratados com calda de destilaria**. Recife, Instituto Agronômico do Nordeste, 1960. p.42-81 (Boletim Técnico, 10).

CAMARGO, R. **O desenvolvimento da flora microbiana nos solos tratados com vinhaça**. Piracicaba, Instituto Zimotécnico, 1954. 44p. (Boletim 9).

CAMARGO, O.A., VALADARES, J.M.A.S.; GERALDI, R.N. **Caracteristicas químicas e físicas de solos que recebeu vinhaça por longo** tempo. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 30p. (Boletim Técnico, 76).

CAMARGO, O.A. de; VALADARES, J.M.; BERTON, R.S.; TEÓFILO, J.S. Caracteristicas físicas do solo que recebeu vinhaça. Campinas, Instituto Agronômico, 1988. (Boletim Cientifico, 14).

CAMARGO, O.A. de; VALADARES, J.M.; BERTON, R.S.; TEÓFILO, J.S.; MENK, J.R. **Alteração de Caracteristicas Químicas de um Latossolo Vermelho-escuro distrófico pela aplicação de vinhaça**. Campinas, Instituto Agronômico, 1987a. (Boletim Cientifico, 9).

CARDOSO, C.O.M.; BENEDINI, M.S.; PENNA, M. **Viabilidade técnica do uso do composto no plantio comercial da cana de açúcar**. Boletim Técnico Copersucar nº 41. p.13-17. 1988.

CERRI, C.C.; POLO, A.; ANDERSON, F.; LOBO, M.; EDUARDO, B. Resíduos orgânicos da Agroindústria Canavieira. 1. Caracteristicas físicas e químicas. **STAB**. **6**(3) 34-37, 1988.

COLETI, T., MILLER, L.C.; WALDER, L.A.; BITTENCOURT, V.C. O emprego da torta de filtro rotativo na fertilização da cana de açúcar como substituto da torta de mamona. In: Cong. Nac. da STAB. Maceió. 1979. V.2. 299-303.

COLETI, T., BITTENCOURT, V.C.; GIACOMINI, G.M. Torta de filtro rotativa em combinação com diferentes formas de fósforo, com vistas a substituição da torta de mamona e de fosfato solúveis em água, na fertilização da cana planta. Brasil agropec., Rio de Janeiro 96(6):16-27. 1980.

COLETI, T.; LORENZETTI, J.M.; GASPARINI, C.T.; FREITAS, P.G. Compostagem obtida com resíduos da fabricação de açúcar e álcool. In: Congr. Nacional da STAB 2. Rio de Janeiro. 1981.

COLETTI, J.T.; LORENZETTI, J.M.; GASPARINI, C.T.; DEMATTÊ, J.L.I. & FREITAS, P.G.R. de. Efeito da aplicação da vinhaça nas propriedades dos solos da Usina São José - Macatuba. **STAB**., Piracicaba, **1**:12-17, 1983.

COLETI, T., LORENZETTI, J.M., FREITAS, P.G., CARBINI, J.L. Uso de produtos de compostagem em comparação com torta de filtro na adubação da cana planta e seus efeitos na soca, em solos de alta e baixa fertilidade natural. **STAB**, Piracicaba, **4**(3):33-39/1986.

COPERSUCAR. **Efeitos da aplicação de vinhaça como fertilizante em cana de açúcar**. Boletim Tecnico 6/78. pg. 9-14. 1978.

EIRA, A.P. da & CARVALHO, P.C.T. A decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos do solo e a sua influência na variação do pH. **Rev. de Agric.**, Piracicaba, **45**:15-21, 1970.

ESPIRONELLO, A.; CAMARGO, A.P.; NAGAI, V.; LEPSCH, I.F. Efeitos de nitrogênio e fósforo como complementação da aplicação de vinhaça em soca de cana de açúcar. In: Congr. Nacional da STAB, 2. Rio de Janeiro. 1981.

FERREIRA, E.S.; ZOTARELLI, E.M.; SALVIATI, L.A. **Efeitos da utilização da torta de filtro na produtividade da cana de açúcar**. III Seminário de Tecnologia Agronômica. Copersucar. pg. 321-331, 1986.

GLORIA, N.A. & MAGRO, J.A. Utilização agrícola de resíduos da Usina de Açúcar e Destilaria na Usina da Pedra. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DA AGROINDUSTRIA AÇUCAREIRA, 4. Lindóia, 1976. **Anais**. São Paulo, Copersucar, 1977 p. 163-180.

GLÓRIA, N.A., ORLANDO Fº, J. **Aplicação da vinhacomo fertilizante**. Piracicaba, PLANALSUCAR, 1983 (Boletim Técnico).

LIMA, I.T. **Efeitos da aplicação da vinhaça sobre a microflora do solo**. Rio de Janeiro, UFRRJ, 1980. 150p. Tese (Mestrado).

LOPES, ELI S.; PERON, SONIA, C.; PORTUGAL, E.P.; GIARDINI, A.R. Efeito residual da vinhaça na população autoctone de **Rhizobium** do solo. **Bragantia**, Campinas. **45**(1):29-36, 1986.

LOPES, E.S.; PERON, S.C.; PORTUGAL, E.P.; CAMARGO, O.A.; FREITAS, S.S. Atividade respiratória de solo tratado com vinhaça e herbicida. **Bragantia**, Campinas, **45**(1):205-210. 1986.

MAGRO, J.A. Uso da vinhaça em cana-de-açúcar na Usina da Pedra - **Brasil Açuc.**, Rio de Janeiro, **92**:232-240, 1974.

MAGRO, J.A.; SILVA, L.C.F.; ZAMBELLO, Jr. E.; ORLANDO Fº, J. Estudo da complementação da vinhaça na fertilização da cana de açúcar com trator de eixo alto. *Saccharum*. **STAB**, São Paulo, **4**(14):28-31, 1981.

MATIOLI, C.S.; LAZO, M.P.; OLIVEIRA, M.A.; GUASSELLI, M.A. 1988. Distâncias máximas de aplicação de vinhaça com caminhões-tanques. Piracicaba, Copersucar, 1988. p.41-51. (Boletim Técnico 41-88).

MAZZA, J.A. & DEMATTÊ, J.L.I. Vinasse Influence in Morphological, In: MEADE, G.P. **Manual del azucar de caña**. Barcelona, Montaner y Simon, 1967. 940p.

MOBERBY, P.K.; MEYER, J.H. Filter cake a field and glasshouse evaluation. In: ANUAL CONGR. OF THE SOUTH AFRICAN SUGER TECHN. Association, 52., Natal, Sarta, 1978. Proceedings. pg.131-6.

NEVES, M.C.P.; I.T. CRIMA; J. DOBEREINER. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. **Rev. bras. Ci. Solo**, Campinas, 7:131-136, 1983.

NUNES, M.R.; VELLOSO, A.C.X.; LEAL, J.R. Efeito da vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, **16**:165-170, 1981.

NUNES, M.R.; LEAL, J.R. & VELLOSO, A.C.X. Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes do Solo. III. Potássio e magnésio. **Pesq. Agrop. bras.**, Brasília, **17**:371-374, 1982.

NUNES, JR. D. **Efeitos da elevada deposição da vinhaça sobre variedades da cana de açúcar**. Piracicaba, Copersucar, p. 38-44 (Boletim Técnico 37/87).

NUNES, JR. D.; MORELLI, J.; NELLI, E.J. **Comportamento de variedades da cana de açúcar na presença de tortas de filtro e de mamona. Parte II**. Piracicaba, COPERSUCAR, 1988. p.3-12 (Boletim Técnico 41/88).

ORLANDO Fº, J. **Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil**. IAA. Planalsucar. Coleção Planalsucar nº 2. 369pg.

ORLANDO Fº, J.; SILVA, J.G.; LEME, E.J.A. Utilização agrícola dos resíduos da agro-indústria canavieira. In: **Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil**. Piracicaba, I.A.A. Planalsucar, 1983. p.229-264.

PAN, Y.C.; EDW, K.L.; LING, S.H. The effect of begasse furnace ash on the growth of plant cone. In: CONGRESS INTERN. SOC. OF SUPER TECH, 16., São Paulo, 1978. Proceedings. V. 2., pg.883-9.

PENNA, M.J.; FIGUEIREDO, A.L. **Aquamonea e uréia em soqueiras de cana de açúcar fertilizadas com vinhaça**. 1984.

PLANALSUCAR. **1º relatório técnico de aproveitamento dos resíduos industriais das destilarias de álcool**. Piracicaba, 1980. 267p.

PRASAD, M. The effect of filter pressmud on the availability of macro and micronutrients. In: INTERN. SOCIETY OF SUGAR TECHNOL.,15., Durban, 1974. **Proceedings**. Durban, Hayne & Gibson. V.2., 1974. p.568-75.

RANZANI, G.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; MALAVOLTA, E.; COURY, T. Vinhaça e adubos minerais. **An. ESALQ, Piracicaba, 10**:98-108. 1953.

RANZANI, G. Consequência da aplicação do restilo ao solo. **An. Esc. Sup. de Agric. "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, **12**:56-68, 1956.

RODRIGUES, J.C., PENA, M.J.; MORAES, R.S. Complementação nitrogenada em áreas fertilizadas com vinhaça. Piracicaba, COPERSUCAR, 1984. p.23-29 (Boletim Técnico Agronômico).

SAMUELS, G., LANDAU, JR.D. Filter press cake a fertilizer. **J. Agric. Univ. Puerto Rico**, Rio Piedras, **39**:198-213. 1955.

SANTOS, G.A.; ROSSIELO, R.O.P.; FERNANDES, M.S. & O'GRADY, P.C. Efeito da vinhaça sobre o pH do solo, a germinação e o acúmulo de potássio em milho. **Pesq. agrop. bras.** Brasília, **16**:489-493, 1981.

SERRA, G.E. **Aplicação da vinhaça complementada com nitrogênio e fósforo em cultura de cana-de-açúcar.** (*Saccharum* spp), Piracicaba,ESALQ, 1979. 45p. Tese (Mestrado).

SILVA, G.M.A.; e GURGEL, M.N.A. Aplicação de vinhaça como fertilizante em cana de açúcar em solo LE - fase arenosa. In: Cong. Nac. STAB. Rio de Janeiro, 1981. pg. 140-52.

VALSECHI, O.S.; GOMES, F.P. Solos incorporados de vinhaça e seu teor de bases. **An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, **11**:135-158, 1954.

SIMPÓSIO

ADUBAÇÃO: ASPECTOS RELEVANTES

Coordenador: *Prof.Dr. Antonio Enedi Boaretto (CENA/USP)*

VALDOMIRO CORRÊA DE BITTENCOURT e EDGARD GOMES FERREIRA DE BEAUCLAIR - Fertilizantes Fluídos.

JOSÉ CARLOS ALCARDE - Qualidade de Fertilizantes e Corretivos.

RONALDO S. BERTON - Fertilizantes e Poluição.

CIRO ANTONIO ROSOLEM - Eficiência da Adubação Foliar.

FERTILIZANTES FLUIDOS

Valdomiro Correa de Bittencourt[1]
Edgar Gomes Ferreira de Beauclair[2]

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a agricultura brasileira emergiu de um sistema artesanal, para grandes empreendimentos agrícolas, que por sua vez, determinaram um aprimoramento nos meios de transporte rodoviário, que se tornou mais rápido e menos oneroso. Portanto, muitos dos aspectos que ocasionaram a introdução do fertilizante sólido, deixaram de ter a sua importância e nesse sentido, abriu-se uma oportunidade, para a introdução de novos tipos de insumo que poderiam provocar uma redução nos custos de produção do agricultor.

Com base em trabalhos desenvolvidos no **National Fertilizer Development Center** dos Estados Unidos, começou-se então a se implantar no Brasil, uma tecnologia para o preparo de fertilizantes no estado fluido, levando-se em consideração a disponibilidade de matérias-primas nacionais e as condições de mercado.

O termo fertilizante fluido, conforme o próprio nome indica, vem sendo empregado para definir qualquer solução, suspensão ou gás liquefeito, que contenha um ou mais nutrientes para as plantas e por conseguinte, pode ser empregado para tal fim.

De acordo com certos conceitos gerais, as soluções apresentam os solutos totalmente dissolvidos, sendo portanto formadas por apenas uma fase. Podem ser armazenadas por longos períodos, porém deve-se ter alguns cuidados quando se trata de materiais de alta concentração, pois o abaixamento da temperatura ambiente pode ocasionar a formação de cristais no meio. Nessas condições o teor de nutrientes no material é limitado a valores mais baixos.

Já as suspensões são formadas por duas fases, uma líquida e a outra sólida, que sob repouso podem se separar. Sendo assim, a homogeneidade do produto deve ser mantida através da adição de agentes gelificantes e ou, de processos mecânicos como agitação e insuflação de ar comprimido. Geralmente concentrações mais elevadas são limitadas pela viscosidade e fluidez do produto final.

---

[1] Prof. Titular, Departamento de Química/ESALQ/USP, Bolsista CNPq.
[2] Prof. Assistente, Departamento de Química/ESALQ/USP.

Como vantagens relativas ao emprego dos fertilizantes fluidos sobre os sólidos, podem ser citadas as seguintes:

→ maior facilidade no manuseio;
→ praticidade de armazenamento;
→ flexibilidade no preparo de misturas com diferentes composições e teores;
→ eliminação dos problemas de empedramento e segregação;
→ uniformidade na aplicação;
→ maiores facilidades de posicionamento no solo;
→ menores custos.

2. MATÉRIAS-PRIMAS

2.1. Nitrogenadas

As principais fontes de nitrogênio no estado sólido que são empregadas no preparo de soluções não pressurizadas, são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Porcentagem de nitrogênio na solução saturada à diferentes temperaturas.

T	Uréia	Nitr.de amônio	Sulf.de amônio	MAP	DAP
°C			N (1)		
			%		
0	18	17	8,0	1,8	4,5
10	20	19	8,4	2,3	5,8
15	22	20	-	2,5	6,0
21	23	21	8,6	2,8	6,1
24	24	22	-	2,9	6,2
30	25	23	8,7	3,1	6,4

(1) (p/p).

Normalmente, o preparo dessas soluções é feito em tanque de aço carbono com agitador, no qual o material sólido é dissolvido em água, de acordo com a solubilidade de cada sal.

Uma excessão é a mistura de nitrato de amônio e uréia que ao contrário de outros produtos, produz soluções contendo teores de nitrogênio mais elevados do que as soluções individuais de cada um desses adubos. Desse modo, esse comporta-mento tem sido

bastante explorado e uma série de soluções nitrogenadas tem sido preparadas a partir dessa mistura. (Tabela 2).

Tabela 2. Composição química e algumas propriedades físicas de soluções não pressurizadas nitrogenadas.

Nitr.amônio	uréia	H_2O	Teor de N	Peso específico a 17,5°C	Temp. de cristalização
N (1)					
---------- % ----------				g/cm³	°C
45,7	-	54,3	16,0	1,207	-11,7
51,4	-	48,6	18,0	1,235	- 5,0
57,2	-	42,8	20,0	1,264	5,0
38,8	31,2	30,2	27,5	1,280	-17,8
42,2	32,7	25,1	29,5	1,301	- 9,4
44,3	35,4	20,3	31,4	1,327	0

(1) (p/p)

Nitrato de amônio

Forma soluções saturadas que contém praticamente os mesmos teores de nitrogênio que a uréia. Entretanto, é um agente oxidante poderoso e tende a provocar explosões em presença de matéria orgânica.

Nas condições brasileiras, além desse aspecto deve também ser levada em consideração os custos do produto e do transporte, pois trata-se de um material menos concentrado que alguns outros insumos.

Uréia

Pode ser empregada com vantagem nas várias formulações, principalmente em meio ácido e em soluções não pressurizadas. A sua solubilidade em água a 25° C é da ordem de 119g por 100g de água.

Atualmente o TVA está desenvolvendo suspensões de uréia e sulfato de amônio e faz referências ao uso de adubos de uréia com ácidos, que resulta em produtos finais tendo pH de 1 a 3.

Assim, soluções de uréia fosfato apresentando a composição 8:20:00 e pH 1,5, são preparadas em água quente (52°C e 70°C) de modo a facilitar a dissolução completa do produto.

Amônia anidra

Contém 82% de N e é obtida a partir da reação entre o nitrogênio e o hidrogênio à altas pressões e temperatura.

$$N_2 + 3H_2 \xrightarrow{\Delta} 2NH_3$$

É produzida no Brasil e comercializada através das firmas de fertilizantes, as quais se encarregam do seu transporte, que é normalmente feito em carretas rodoviárias com capacidade de até 20 toneladas.

Reage vigorosamente com o cobre, zinco e suas ligas, porém não causa corrosão ao ferro e ao aço, sendo então esses materiais, empregados nos tanques, encanamentos e outros equipamentos utilizados no seu manuseio. O mesmo comportamento pode ser também atribuido a todas soluções aquosas que contém amônia livre.

Algumas propriedades são mostradas nas Tabelas 3, 4 e 5 (em ANEXO).

Água amônia

Dentre as soluções pressurizadas a mais simples de ser preparada é aqua amônia, a qual é obtida pela reação da amônia anidra com a água.

Sendo a amônia anidra uma base fraca, não forma com a água um composto estável em proporções significativas e, portanto, a solução resultante passa a apresentar uma certa pressão de vapor cuja grandeza depende da concentração e da temperatura do produto final:

$$NH_3 + H_2O \leftrightarrow NH_4^+ + OH^-$$

$$Kb = \frac{[\,NH_4^+\,] \,.\, [\,OH^-\,]}{[\,NH_3\,]} = 1,8 \times 10^{-5} \quad a \quad 25^\circ C$$

Como a reação é exotérmica (Figura 1) essas soluções após o preparo devem ser resfriadas e armazenadas em recipiente fechados.

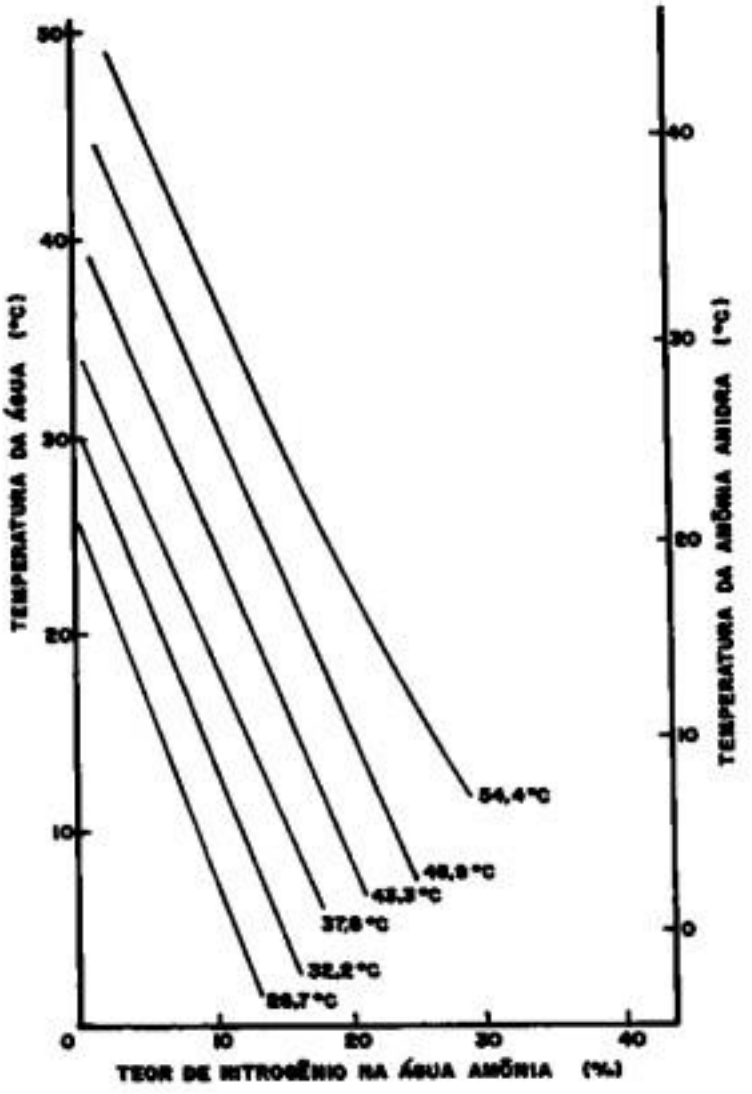


Figura 1. Variação teórica de temperatura na produção de aqua amônia.

2.2. Fosfáticos

As principais matérias-primas existentes no mercado nacional e empregadas no preparo dos fertilizantes fluidos, se apresentam nos estados sólido, líquido ou ainda como suspensões coloidais.

MAP

A partir do insumo na forma de pó, são produzidas suspensões de grau 06:30:00, que podem receber uma certa quantidade de argila para a estabilização do produto (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6. Porcentagem de P_2O_5 em soluções saturadas à diferentes temperaturas.

T	% P_2O_5[1]	
	MAP	DAP
°C	%	
0	9,6	13,5
10	11,8	17,4
15	13,2	17,9
21	14,4	18,5
24	15,1	18,7
30	16,4	19,2

[1] (p/p).

Tabela 7. Propriedades de bases fosfáticas líquidas.

	6:30:00	10:30:00	H_3PO_4
N %[1]	6,0	10,0	-
P_2O_5 %[1] (total)	30,0	30,0	52,0
P_2O_5 %[1] (água)	27,0	27,0	52,0
d (g/cm³)	1,35	1,37	1,70
pH	3,5-4,5	6,2-6,8	1,20
Estabilidade	Susp.coloidal	Susp.coloidal	Sólidos em suspensão

[1] (p/p).

Hoje em dia, várias unidades industriais localizadas em usinas de açúcar, estão usando o MAP em pó, pois a sua solubilidade (38 g/100 g de água a 21°C) tem permitido obter misturas com graus da ordem de 3:10:10 totalmente solúveis. No processo, a amoniação do MAP produz certa quantidade de calor que vem facilitar a solubilização dos constituintes.

DAP

Sua maior solubilidade em relação ao MAP (70 g/100g de água a 21°C), permite a obtenção de soluções contendo até 18% de P_2O_5.

Entretanto, como nas nossas condições o produto é disponível apenas na forma granulada, esse material não tem sido empregado como matéria-prima nas formulações fluidas.

Ácidos fosfórico

É a principal fonte de fósforo solúvel encontrada no comércio nacional. Apresenta 52% de P_2O_5, d = 1,7, 4% de gesso e pode ser empregado puro ou em mistura com outros produtos.

Uma das técnicas que tem sido usada por algumas usinas de açúcar, é a sua combinação com rochas fosfáticas, principalmente em formulações de baixa concentração.

Assim, misturas com proporções definidas têm sido formuladas, de modo a se conseguir teores variáveis de fósforo solúvel, pois algumas culturas têm apresentado excelentes respostas a esses adubos.

Também, em alguns processos, pode-se associar os ácidos sulfúrico e nítrico de modo a se melhorar a eficiência da reação de solubilização e ainda fornecer enxofre ao produto final. Entretanto, uma limitação que surge no emprego dessas técnicas, é com respeito ao alto teor de sólidos e a viscosidade elevada do produto final.

2.3. Potássicas

O cloreto de potássio é ainda a fonte mais comum e econômica existente no mercado. Apesar disso, fertilizantes especiais podem ser preparados a partir do sulfato de potássio ou do sulfato duplo de magnésio e potássio (Tabela 8).

Tabela 8. Composição química e solubilidade dos adubos potássicos.

Composição %	Cloreto de potássio	Sulfato de potássio	Sulfato duplo de potássio e magnésio	Nitrato de potássio
		Solubilidade[1]		
K_2O	62,0	51,0	21,5	44,0
Cl	47,5	--	--	--
S	--	17,4	15,9	--
Mg	--	--	11,0	--
N	--	--	--	13-14
Solubil.[2]	34,0	11,1	--	31,6

[1] g do produto/100 g de água a 20° C.

[2] g do elemento ou óxido/100 g do produto.

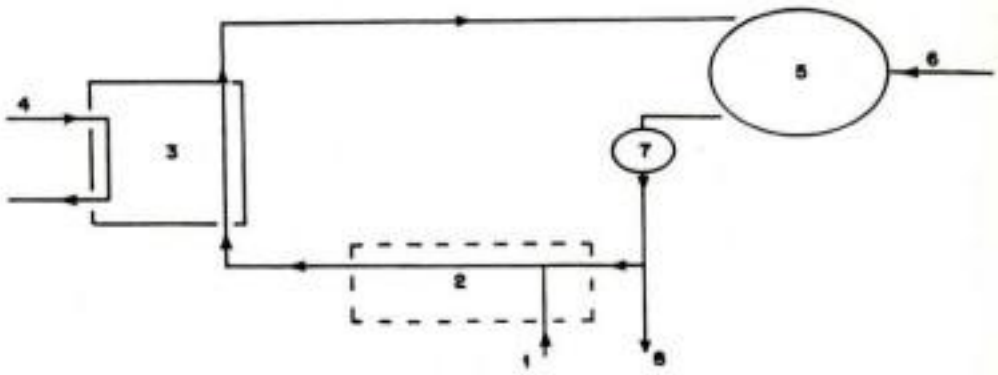
De acordo com a solubilidade teórica, o cloreto de potássio forma soluções saturadas contendo até 16% K_2O à temperatura ambiente conforme a relação a seguir.

Temperatura ° C	K_2O %
0	13,1
10	14,2
15	14,8
20	15,3
25	15,6
30	16.1

Entretanto, essa solubilidade é inibida pela presença de outros constituintes e consequentemente fertilizantes contendo NPK em uma forma mais concentrada, somente podem ser preparados na forma de suspensões.

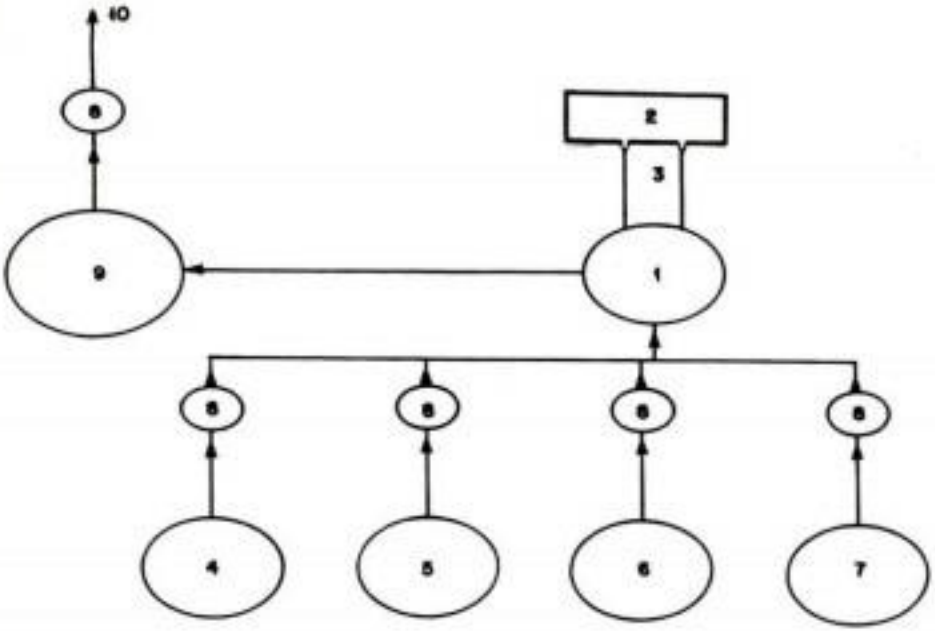
3. PROCESSOS E EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

A fim de facilitar o entendimento do preparo dos fertilizantes fluidos, vamos em primeiro lugar considerar a produção da aqua amônia segundo esquema da Figura 2.



LEGENDA:
1 - Entrada de Amônia Anidra (carregamento)
2 - Hidratador
3 - Trocador de Calor
4 - Água de Resfriamento
5 - Tanque de Processo e Armazenamento
6 - Água de Processo
7 - Bomba Centrífuga
8 - Estação de Carregamento (Saída)

Figura 2. Esquema 1 de Produção de água amônia.



LEGENDA:

1 - Reator
2 - Produtos sólidos (depósito)
3 - Esteira
4 - Tanque de ácido fosfórico ou 6:30:00
5 - Tanque de aqua amônia
6 - Tanque de uran
7 - Tanque de água (processo)
8 - Bomba centrífuga
9 - Tanque de armazenamento das misturas
10- Estação de carregamento (saída).

Figura 3. Esquema 2 de produção de fertilizantes fluidos contendo NPK.

A partir desta, juntamente com materiais contendo fósforo e o cloreto de potássio, pode-se preparar uma série de misturas fluidas contendo NPK. Sendo assim, uma unidade com essa finalidade, é mostrada o Esquema 2 (Figura 3), sendo que a adição dos produtos no reator deve obedecer a seguinte ordem:

-Água e ácidos até se atingir as concentrações desejadas;

-rocha fosfática e agitação de modo a se obter a maior solubilização possível;

-neutralização com aqua amônia de modo a se obter o teor de nitrogênio e o pH desejados;

→ finalmente adição do cloreto de potássio e agitação para a dissolução dos componentes restantes.

Como pontos críticos no processo, destacam-se:

-a solubilização da rocha fosfática deve ser conduzida de acordo com as características de cada material, no sentido de se conseguir a maior eficiência de reação possível;

-neutralização adequada do meio, de modo a se evitar a reinsolubilização do fósforo e a ação corrosiva do produto final.

4. MÉTODOS DE APLICAÇÃO DOS FERTILIZANTES

Altas produtividades agrícolas devem ser consideradas, como uma consequência da maximização das operações de motomecanização e da eficiência dos insumos.

No caso específico dos fertilizantes, além da própria natureza dos mesmos, os processos de deposição no solo devem preencher alguns requisitos como:

1. alta probabilidade das raízes encontrarem os nutrientes aplicados, já no começo do desenvolvimento do vegetal;

2. tanto quanto possível, evitar processos de perdas dos nutrientes por lixiviação, volatilização e fixações físico-químicas e biológicas.

No Brasil trabalhos relativos aos métodos de colocação dos adubos nos solos são em pequeno número e tem visado apenas, o estudo de alguns aspectos como:

→ fracionamento das doses do nutrientes;
→ colocação em superfície ou em profundidade e
→ posição em relação às sementes.

Este fato até certo ponto pode ser explicado, considerando-se que o adubo no estado sólido é muito difícil de ser direcionado e portanto os estudos de localização ficam comprometidos.

Já com os fertilizantes fluidos, o direcionamento torna-se relativamente fácil e novos métodos de deposição poderão ser pesquisados. Assim, nos Estados Unidos, várias metodologias tem sido recomendadas como as apresentadas a seguir:

Starter fertilizer: fertilizante aplicado no plantio em contato direto ou lateralmente e abaixo da semente.

Strip fertilization: o insumo é aplicado em faixas na superfície e geralmente incorporado.

Surface band: colocação do fertilizante na superfície através de um jato forçado, podendo ser incorporado.

Sidressed fertilizer: aplicação ao lado das ruas de plantio geralmente após a emergência do vegetal.

Deep placement: colocação do fertilizante abaixo da zona convencional de cultivo, através de facas, subsoladores, etc.

Dribble banding: colocação do insumo na superfície do solo em faixas podendo ou não ser incorporado.

Dual application: aplicação simultânea de dois fertilizantes separados em um ponto específico do solo.

Dual placement: colocação de dois ou mais fertilizantes separados, em faixas subsuperficiais distintas no solo.

Knifed: o fertilizante é colocado no solo através de haste fina e cortante.

Plow-down fertilizer: aplicação na superfície do solo antes da aração.

Pop-up fertilizer: pequenas quantidades do fertilizante são colocadas em contacto direto com a semente.

Finalmente está sendo desenvolvida uma técnica que diz respeito a injeção de soluções no solo, através de bomba de alta pressão (2.000 lb/pol^2).

5. RESULTADOS AGRONÔMICOS

Como os dados relativos aos efeitos dos fertilizan-tes fluidos no Brasil são ainda também em número muito pequeno, vamos então fazer algumas considerações a respeito de informações obtidas pelos autores e da bibliografia em geral.

1. Trabalho recente realizado em soqueira de cana-de-açúcar pelos autores, mostrou que a aplicação do fertilizante potássico em faixa superficial de 20-30 cm, apresenta melhor eficiência de absorção do que através do modo convencional. Desse modo devem ser considerados os seguintes aspectos:

a) o potássio tendo maior contacto com o solo, está menos sujeito a lixiviação e não ocasiona uma zona de alta concentração salina;
b) a maior distribuição dos fertilizantes no solo em relação a aplicação na linha, permite que as raizes tenham uma maior possibilidade de absorção (Tabela 9).

2. A aplicação de N na forma de NH_3 tem apresentado maiores eficiências de absorção do que a forma amídica. Assim 60kg N/ha como NH_3 determinam as mesmas produtividades de cana-de-açúcar do que 90 kg N/ha com uréia.

3. O adubo fosfático na forma fluida é absorvido pela cana-de-açúcar com a mesma eficiência do que o termofosfato, ou o DAP granulado.

Tabela 9. Absorção de nutrientes pela soca de cana-de-açúcar de acordo com os vários tratamentos.

Tratamentos[1]	K	P_2O_5	CaO	MgO
	----------	ppm no caldo (p/v)		----------
T	844	89	102	39
E1	844	71	100	45
E2	1687	99	140	25
E3	1326	104	113	43
F1	1386	85	111	39
F2	1326	71	134	40
F3	1326	89	97	41

[1] T-Testemunha. E-adubo em linha e enterrado, F-adubo em faixa superficial.

6. ASPECTOS ECONÔMICOS

De acordo com os preços de março de 1992, e usando-se os dados de uma destilaria de álcool, fez-se algumas comparações entre os preços dos adubos sólidos e dos adubos fluidos usado em cana-de-

açúcar. Não foi levado em consideração os custos da mão-de-obra, investimentos, energia elétrica, etc., pois estes dependem de cada condição em particular.

6.1. Plantio

A norma geral de adubação da destilaria é de 400 kg/ha de superfosfato triplo complementado com 400 kg/ha de formulação 25:00:25.

Os preços por tonelada, que vigoravam no mercado, para pagamento à vista, FOB, foram os seguintes:

ST ..... = US$ 260,00[1]
Uréia..... = US$ 256,00
KCl..... = US$ 256,00
25:00:25..... = US$ 257,00

[1] US$ 1.786,00 (dólar comercial/venda em 16/03/1992).

Portanto, o custo da adubação sólida foi de US$217,00 por hectare. Essa mesma adubação em termos fluidos exigiria as seguintes matérias-primas:

- 387 kg de MAP
- 122 kg de NH_3 anidra e
- 167 kg de KCl

cujos preços FOB, foram

MAP..... = US$ 315,00
NH_3 anidra..... = US$ 246,00
KCl..... = US$ 195,00.

Sendo assim, o custo da adubação por hectare de plantio foi de US$ 184,48, ou seja, 15% menor do que a anterior.

6.2. Soca

A adubação geral das socas é feita através da adição de 400 kg/ha da formulação 25:00:25, cujo custo é de US$ 102,80 por hectare.

Já a adubação fluida, de acordo com os preços citados, está por volta de US$ 62,80 por hectare, o que corresponde a uma economia da ordem de 61%.

7. PERSPECTIVAS

Presentemente, várias usinas de açúcar e destilarias do Estado de São Paulo e algumas de outros estados, já contam com unidades produtoras de aqua amônia e de fertilizantes fluidos. Assim,

aproximadamente 30 plantas já estão em funcionamento, produzindo fertilizantes contendo NPK, para o plantio da cana-de-açúcar e soqueiras, além da aqua amônia, para as áreas que recebem vinhaça.

Somando-se todos os aspectos mencionados, pode-se prever que o número de unidades produtoras, tenderá a aumentar significativamente, pois os fertilizantes fluidos poderão ser preparados, não só para a cana-de-açúcar, mas também, para as outras culturas. Nesse caso seria perfeitamente viável que as Cooperativas tivessem suas próprias unidades produtoras, a fim de fornecer aos agricultores, formulações especificas, de acordo com a sua real necessidade.

Com relação a disponibilidade de equipamentos no mercado, já existem hoje em dia, algumas firmas aptas a construir os diversos itens, que compoem as unidades produtoras, como é o caso da CODISTIL em Piracicaba, SP.

Do mesmo modo, adubadeiras para fertilizantes fluidos, também já estão disponiveis no comércio. Assim a DMB em Sertãozinho, produz sulcadores e cultivadores para a cana-de-açúcar equipados com adubadeiras para fluidos, enquanto que a JATO dispoem de kits para qualquer outro tipo de implemento agrícola.

Além dessas considerações, um outro aspecto que também deve merecer atenção, principalmente dos órgãos de pesquisa, refere-se ao desenvolvimento de uma linha de estudos direcionada exclusivamente para os fertilizantes fluidos. Desse modo, estudos com novas matérias-primas, formulações com teores variáveis de fósforo solúvel e insolúvel, além de novos procedi-mentos de posicionamento dos fertilizantes nos solos, levariam ao desenvolvimento não só de novos equipamentos aplicadores, como também, trariam maiores conhecimentos a respeito da interação "adubo-solo-planta e clima". Evidentemente, toda uma gama de estudos está ainda para ser feita, porém ela deve sempre ter em mira, a obtenção de produtos finais de menor custo e de maior eficiência na nutrição das plantas.

8. CONCLUSÃO

Os adubos fluidos, vem realmente preencher uma lacuna no campo da fertilização orientada das culturas. Assim o agricultor empregando determinadas matérias-primas, poderá formular as suas próprias misturas, de acordo com as necessidades de cada solo e de cada cultura.

Com isso, terá uma maior eficiência e um menor custo no processo de adubação. Entretanto, se não for conveniente a implantação de todos os equipamentos, ele poderá adquirir no comércio soluções básicas de N e NP, e contando apenas com um simples tanque agitador, poderá adicionar o cloreto de potássio e obter o fertilizante desejado.

Tabela 3. Gravidade especifica da amônia anidra à várias temperaturas.

Temperatura	Liquido(1)	Vapor(2)
°C	g/cm³	
10,0	0,6247	0,004863
12,8	0,6207	0,005326
15,6	0,6167	0,005823
18,3	0,6127	0,006356
21,1	0,6087	0,006928
23,9	0,6045	0,007540
26,7	0,6004	0,008193
29,4	0,5960	0,008893
32,2	0,5919	0,009641
35,0	0,5874	0,010440
37,8	0,5831	0,011290
40,6	0,5786	0,012200
43,3	0,5741	0,013170
46,1	0,5694	0,014200
48,9	0,5648	0,015300
51,7	0,5600	0,016470
54,4	0,5552	--
57,2	0,5502	--
60,0	0,5453	--
62,8	0,5401	--
65,6	0,5348	--
68,3	0,5296	--
71,1	0,5241	--
73,9	0,5185	--
76,7	0,5127	--

(1) Em relação à água à 4°C, (2) Em relação ao ar.

Tabela 4. Pressão de vapor e temperatura da amônia anidra.

Temperatura °C	Atm. abs.	lb/pol² man.
21,1	8,764	114,1
23,9	9,560	125,8
26,7	10,410	138,3
29,4	11,320	151,7
32,2	12,290	165,9
35,0	13,32	181,1
37,8	14,42	197,2
40,6	15,58	214,2
43,3	16,81	232,3
46,1	18,11	251,5
48,9	19,49	271,7
51,7	20,94	293,1
54,4	22,48	315,6
57,2	24,09	339,4
60,0	25,80	364,4
62,8	27,59	390,8
65,6	29,48	418,5
68,3	31,46	447,6
71,1	33,53	478,1
73,9	35,71	510,1
76,7	38,00	543,7
79,4	40,39	578,8
82,2	42,89	615,7
85,0	45,50	654,0
87,8	48,24	694,2

FONTE: IBP.

Tabela 5. Solubilidade da amônia anidra em água à várias temperaturas (pressão parcial de 760 mm).

Temperatura	NH_3
° C	g/g
20	0,518
22	0,490
24	0,467
26	0,446
28	0,426
30	0,408
32	0,393
34	0,378
36	0,363
38	0,350
40	0,338
42	0,326
44	0,315
46	0,304
48	0,294
50	0,284
52	0,274
54	0,265
56	0,256
58	0,247
60	0,238
70	0,194
80	0,154

FONTE: IBP.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ACHORN, F.P. **Acid fertilizers**. 1984. Solutions, maio/junho, 33-39.

ANJOS, J.T. & TEDESCO, M.J., 1974. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia proveniente de uréia aplicada em solos cultivados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14, Santa Maria, 1973. **Anais**. Campinas, SBCS, 232-41.

BALAY, H.L.; COLE, C.A. & WRIGHT JR., E.B., 1978. New materials for fluid fertilizers. In: **NFSA Round-Up**, Kansas, USA.

BEATON, J.D. & MURPHY, 1988. Recent development and trends in fertilization techniques with particular reference to fluid fertilizers. In: **IFA/ANDA Meeting on Fertilizers and Agriculture**, Rio de Janeiro, Brasil.

BITTENCOURT, V.C. & ZAMBELLO, JR., E., 1973. **Comportamento do fósforo em solos tropicais**. I. Isotermas de adsorção. Boletim BC-CENA. Piracicaba, 33p.

BITTENCOURT, V.C. & SAKAI, M., 1975. **Lixiviaçao do potássio nativo de solos tropicais**. Boletim BC-CENA, Piracicaba, 21p.

BITTENCOURT, V.C., 1984. Fertilizantes fluidos. **Informações Agronômicas 25**:4/7, março, 1984.

BITTENCOURT, V.C., 1984. Aspectos agronômicos dos fertilizantes fluidos. In: Seminário sobre Fertilizantes fluidos, São Paulo, Brasil. ANDA, 14p.

BITTENCOURT, V.C., 1990. Preparo de bases fosfáticas fluidas. **STAB**, 8(3/4):13-16.

BITTENCOURT, V.C. & CARMELLO, Q.A.C., 1987. Fertilizantes fluidos: vantagens na adubação da cana. **Revista ADEALQ** (5):22-28.

FRANCO, C.M. & MEDINA, H.P., 1960. Arrastamento de potássio e fósforo, pela água de infiltração do solo, **Bragantia**, Campinas, **19**(16):LXXVI.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, 1977. **Manual da amônia**. Rio de Janeiro, 122p.

ZAMBELLO JR., E. & ORLANDO FILHO, J., 1981. Efeito residual da calibração fosfatada em soqueiras de cana-de-açúcar, **Saccharum, STAB**. Piracicaba, 4(12):31-6.

ZAMBELLO JR., E. & AZEREDO, D.F. DE, 1983. Adubação na região centro-sul. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba, PLANALSUCAR, p. 280-313.

QUALIDADE DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS

José Carlos Alcarde[1]

1. INTRODUÇÃO

O sucesso da calagem e da adubação depende basicamente de três fatores:

1º) da dosagem adequada, visando a produtividade máxima economica;

2º) da qualidade dos produtos;

3º) da aplicação correta.

O setor agronômico tem se dedicado bastante ao primeiro fator, podendo-se considerá-lo bastante evoluido, apesar das dificuldades para definir a dose econômica.

Ao contrário, pouco tem sido feito quanto a qualidade dos produtos e quanto a aplicação. Pode-se afirmar com segurança que está havendo considerável redução na eficiência das calagens e das adubações por falhas na qualidade dos produtos e na aplicação.

Neste trabalho será abordado o fator qualidade. O que é qualidade de um produto? É a capacidade desse produto em desempenhar as funções para as quais é indicado, de maneira a satisfazer e até superar as expectativas do consumidor.

Essa capacidade é proporcionada por atributos ou caracteristicas presentes no produto.

2. A QUALIDADE DOS FERTILIZANTES

Os atributos de qualidade dos fertilizantes são relativamente numerosos mas a maioria, senão todos, podem ser enquadrados em três grupos quanto a natureza: física, química ou físico-química.

1.1. Atributos da Natureza Física

1.1.1. Estado Físico

O maior consumo de fertilizantes no Brasil para aplicação via solo é na forma sólida tradicional. Contudo, os fertilizantes fluidos, que se restringiam a aplicação via foliar, atualmente vem tendo um crescente emprego também na aplicação via solo.

---

[1] Professor Associado, "E.S.A. Luiz de Queiroz"/USP, Caixa Postal 9, 13418-900 - Piracicaba, SP.

Os fertilizantes fluidos para solo não são obtidos pela simples dissolução ou suspensão em água de fertilizantes sólidos tradicionais, mas fazem uso também das matérias-primas utilizadas na fabricação de fertilizantes sólidos, como a amônia e ácido fosfórico principalmente.

A substituição do adubo sólido pelo fluido pode ser viável em várias situações mas depende de uma cuidadosa análise técnica e econômica.

Na adubação fluida são consideradas vantagens técnicas: facilidade de armazenamento e manuseio e uniformidade da adubação em dosagem e em espécie de nutrientes. São consideradas vantagens econômicas: menor custo do produto final na propriedade, principalmente se produzido na própria propriedade e maior rendimento do produto e da operação da adubação, com menor necessidade de pessoal.

Ao lado das vantagens são consideradas desvantagens técnicas: produtos com teores relativamente baixos de nutrientes, possível dificuldade de suprimento de matéria-prima, principalmente amônia e ácido fosfórico, no caso de produção na propriedade, melhor qualificação e preparo dos aplicadores. São consideradas desvantagens econômicas: necessidade de investimento em instalações e equipamentos, notadamente no caso de produção na propriedade, e alto custo do transporte devido a baixa concentração de nutrientes.

Atualmente dispõe-se de parâmetros bem equacionados que permitem uma análise da viabilidade com razoável precisão e, consequentemente, decidir pelo tipo de adubo mais conveniente.

Finalmente, apesar de bastante comum nos Estados Unidos da América o uso da amônia anidra em injeção direta no solo, no Brasil tal prática não é usada. Isto porque a amônia anidra é um gás nas condições ambiente, tóxico e que exige técnica especial para seu adequado manuseio. Também a possibilidade de perdas por volatilização durante a aplicação é bastante grande nas condições de clima e solo brasileiros.

1.1.2. Granulometria

A granulometria dos fertilizantes sólidos diz respeito ao tamanho e a forma das partículas.

Do ponto de vista físico o tamanho das partículas está relacionado com o fenômeno de segregação, isto é, a separação das partículas por ordem de tamanho (a densidade praticamente não influência a segregação). Portanto, a segregação só ocorre em produtos com partículas de tamanhos desuniformes.

Para o agricultor a segregação gera problemas na aplicação e que são basicamente dois:

a) desuniformidade na quantidade de adubo distribuída, pois uma

dada regulagem na adubadeira não atende corretamente o escoamento de grânulos de diferentes dimensões;

b) no caso de mistura de grânulos, a desuniformidade na distribuição além de ocorrer na quantidade de adubo ocorre também nas espécies de nutrientes, uma vez que nesse tipo de produto os nutrientes encontram-se em grânulos diferentes.

Infelizmente esses problemas ainda não atraíram a preocupação do setor agronômico, pois nenhum trabalho foi feito no sentido de avaliar seus efeitos na produção agrícola. É importante fazer referência aqui ao trabalho realizado sobre segregação na distribuição de calcário e que mostrou extrema irregularidade em função do tamanho das partículas, muito embora o processo de distribuição seja diferente de adubo.

Parece óbvio que o problema da segregação se resolve fabricando produtos com granulometria uniforme. O que não deixa de ser uma dificuldade industrial pois envolve um processo de seleção que pode variar desde simples até quase impossível.

É relativamente simples no caso de fertilizantes simples, misturas granuladas e complexas: um sistema de peneiras na saída da produção (normalmente o granulador) faz a seleção desejada e o produto não enquadrado é reciclado (retornado ao processo).

No caso de misturas de grânulos a seleção granulométrica deve ser feita nas matérias-primas que vão compor a mistura. Para tanto, as indústrias misturadoras deveriam poder contar com matérias-primas cujos grânulos fossem de tamanhos semelhantes, padronizados. Mas nesse particular ocorrem problemas de diferentes ordens:

a) as fábricas de fertilizantes simples deveriam obedecer especificações granulométricas que compatibilizassem granulometricamente os produtos. No Brasil existem especificação granulométricas na legislação mas são muito amplas e não atendem ao aspecto segregação. Vários fatores são apontados para essa amplitude de granulometria: os processos tecnológicos de produção são importados, diferentes de uma fábrica para outra e não permitem ajustes acentuados para a granulometria; os ajustes e seleção granulométrica quando possíveis são economicamente inviáveis. Um fator que deve estar pesando sobremaneira para esse "desajustamento granulométrico" entre os fertilizantes simples é a falta de exigência do agricultor quanto a segregação, pois com interesse e um pouco de esforço aqueles fatores podem ser tecnicamente minimizados e se conseguir estreitar a variação granulométrica entre os fertilizantes simples;

b) certas matérias-primas são importadas como o cloreto de potássio e nem sempre pode-se exigir padrão granulométrico;

c) certos fertilizantes simples, especialmente os que contém micronutrientes tem granulometria que não se compatibilizam com a

maioria dos demais fertilizantes. Exemplos: ácido bórico, bórax e sulfato de zinco são produzidos como cristais pequenos; óxido de zinco e óxido de cobre são produzidos como pó fino. A introdução pura e simples desses produtos numa mistura de grânulos constitui uma aberração do ponto de vista de segregação. A granulação desses produtos não é alternativa indicada porque no solo o grânulo provocaria concentração excessiva do micronutriente, o que é prejudicial às plantas.

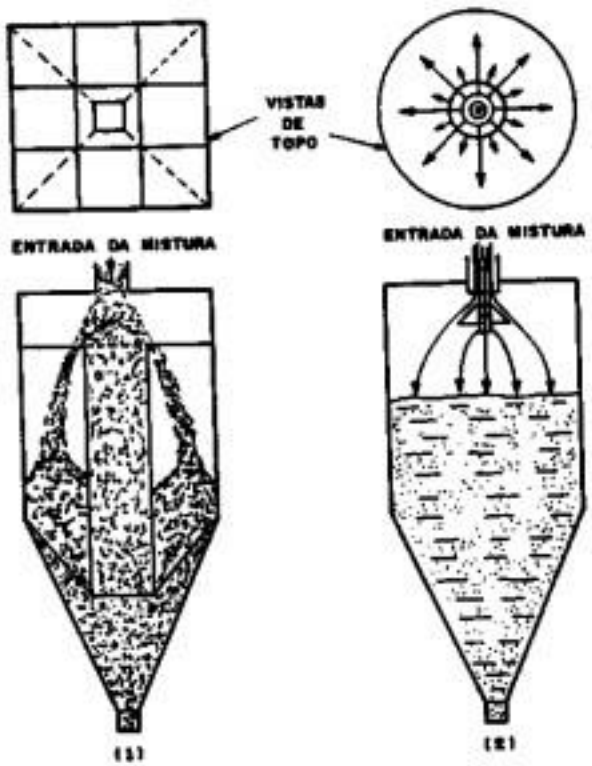


Figura 1. Procedimentos (1 e 2) para reduzir a segregação.

A segregação em misturas de grânulos tem sido estudada e alguns procedimentos no sentido de minimizá-la já foram estabelecidos. Um deles é o da "compatibilização granulométrica" e se baseia na mistura de matérias-primas não com tamanho de grânulos semelhantes mas com "composição granulométrica semelhante". Tal procedimento tem dois processos diferentes de executá-lo: um desenvolvido pelo Tennessee Valey Authority dos Estados Unidos da América e outro pelo Instituto de Fertilizantes do Canadá e conhecido como processo SGN (Size Guide Number - Número Guia de Tamanho). Neste

procedimento e segregação ocorre mas proporcionalmente em todas as matérias-primas presentes, assegurando uniformidade na composição química da mistura. Porém, não resolve em nada o problema da irregularidade na quantidade aplicada e daquelas matérias-primas cuja granulometria não se compatibiliza com as demais (bórax, óxido de zinco, etc.).

Dispositivos anti-segregação colocados na entrada dos silos de mistura também foram idealizados para evitar a segregação dentro do silo e consequentemente o ensaque de material segregado (Figura 1).

Deve-se enfatizar que esses procedimentos na realidade evitam apenas a desuniformidade química da mistura de grânulos e em termos de NPK. O efeito da segregação na desuniformidade da quantidade aplicada persiste, o que seria resolvido somente com a uniformidade no tamanho das partículas dos componentes. Esse é o caminho que a médio prazo deve ser perseguido, tentando estreitar e talvez fracionar as especificações granulométricas.

Do ponto de vista físico-químico a granulometria tem relação com a solubilidade e a higroscopicidade, como será visto na abordagem dessas características.

Quanto a forma das partículas, há relação com a fluidez, a higroscopicidade e o empedramento. As partículas dos fertilizantes sólidos podem se apresentar sob diferentes formas. Para a fluidez e empedramento interessa a forma com menor superfície de contato e para a higroscopicidade a forma com menor superfície de exposição: a forma esférica é a que atende a esses dois interesses.

1.1.3. Dureza dos grânulos

A dureza dos grânulos deve ser tal que não se quebre com facilidade, considerando que o produto vai ser submetido a esforços no armazenamento (empilhamento) e transporte, o que originaria partículas de diferentes tamanhos e consequentemente segregação; também não deve ser tão resistente que impeça a dissolução dos nutrientes.

A dureza dos grânulos depende da natureza do material e da umidade. Nos produtos submetidos a granulação, a dureza adequada dos grânulos pode ser obtida através de substâncias auxiliares denominadas "aglutinantes". Portanto, poucos são os fertilizantes cuja dureza dos grânulos foge do controle técnico: KCl, por exemplo.

1.1.4. Fluidez

O escoamento dos fertilizantes sólidos é comprometido pela higroscopicidade, empedramento, desuniformidade do tamanho das partículas e forma das partículas.

No caso dos fertilizantes fluidos depende da natureza da mistura (solução ou suspensão), da viscosidade e da densidade.

A fluidez é uma característica fundamental para a eficiência da adubação, tanto no aspecto técnico como econômico: pode comprometer a uniformidade da distribuição e o rendimento da aplicação.

1.1.5. Densidade

A densidade dos fertilizantes sólidos é uma característica de pouca importância. No caso dos fertilizantes fluídos tem relação com a viscosidade e consequentemente com a fluidez, além de ser necessária para as transformações da garantia do produto entre as relações peso/peso e peso/volume.

1.2. Atributos de natureza química

1.2.1. Origem

Quanto a origem os fertilizantes estão classificados em minerais ou químicos ou artificiais e orgânicos ou naturais.

Os fertilizantes minerais são os que atendem mais diretamente ao princípio básico da nutrição das plantas: "as plantas se alimentam de elementos minerais". No caso dos fertilizantes orgânicos, os nutrientes neles contidos necessitam ser "mineralizados" no solo para serem absorvidos pelas plantas.

A objeção que se pode fazer aos fertilizantes minerais é quanto a possível presença de componentes nocivos às plantas, aos animais e ao ambiente, o que será analisado adiante em ítem específico.

Quanto aos fertilizantes orgânicos dois importantes aspectos devem ser considerados: a pobreza em nutrientes e o efeito melhorador das propriedades físicas e físico-químicas do solo.

Os exíguos teores de nutrientes nos fertilizantes orgânicos são incontestáveis. Portanto, para satisfazer as exigências de uma adubação são necessárias quantidades muito elevadas de produto. E isso demanda disponibilidade, o que raramente é encontrada; e quando encontrada esbarra-se agora na questão do custo, não do produto, mas do transporte.

O efeito melhorador das propriedades físicas e físico-química do solo também é incontestável, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento das plantas e aumentando a eficiência dos fertilizantes minerais.

Com raras exceções, a recomendação mais adequada às condições brasileiras é satisfazer a necessidade de adubação com fertilizantes minetais e incentivar o uso de todo material orgânico possível.

A exemplo dos fertilizantes minerais, os orgânicos também apresentam a possibilidade de conterem componentes nocivos às plantas, aos animais e ao ambiente, o que será analisado adiante em ítem específico.

1.2.2 Número de nutrientes

Em geral, nas condições de cultivo os solos se mostram carentes em vários nutrientes, razão porque as misturas de fertilizantes são predominantemente usadas.

As misturas de fertilizantes são de três tipos:

a) misturas de grânulos: são obtidas pela simples mistura de dois ou mais fertilizantes simples previamente granulados; são misturas físicas e caracterizam-se por apresentar os nutrientes contidos em grânulos distintos. É o processo de mistura mais simples, que exige menos tecnologia e portanto mais barato.

b) misturas granuladas: são as obtidas pela mistura de dois ou mais fertilizantes simples em pó e posterior granulação; são misturas físicas também e caracterizam-se por conter, em cada grânulo, todos os nutrientes garantidos na mistura.

c) misturas complexas: são as obtidas pela mistura de materias-primas básicas (amônia, ácido fosfórico, ácido sulfúrico) com fertilizantes simples, ocorrendo reação química com formação de novos componentes, e posterior granulação; são misturas químicas e caracterizam-se também por conter, em cada grânulo, todos os nutrientes garantidos na mistura. A indústria de fertilizantes não aprecia a denominação de mistura para esses produtos: preferem a denominação de fertilizante complexo.

As misturas complexas são mais secas, mais homogêneas e de grânulos mais resistentes que as misturas granuladas e esta mais que as misturas de grânulos.

1.2.3. Forma química dos nutrientes

Nos fertilizantes cada nutriente vegetal pode se apresentar sob várias formas ou compostos químicos, os quais apresentam comportamentos diferentes e já bem conhecidos.

Apesar disso, de uma maneira geral a forma química dos nutrientes não tem tido, no Brasil, a relevância que deveria ter em relação a qualidade dos fertilizantes. Isto porque a legislação brasileira exige apenas a garantia do teor total dos nutrientes, com excessão do potássio, do qual exige o teor solúvel em água, e do fósforo, do qual exige os teores total, solúvel em água, solúvel em solução neutra de citrato de amônio e solúvel em solução de ácido cítrico a 2% na relação 1:100, conforme o tipo de fertilizante fosfatado.

Esses critérios de garantia foram adotados para se avaliar os fertilizantes em condições de laboratório e de uma maneira prática e rápida: os teores de nutrientes assim obtidos significam, aproximadamente, o que é prontamente ou a curto prazo aproveitável pelas plantas.

1.2.4. Concentração de nutrientes

É uma característica preponderante mas a maioria dos problemas relativos a ela estão razoavelmente equacionados: armazenamento, transporte, aplicação, presença de nutrientes secundários.

Um aspecto tecnicamente injustificável em relação a concentração de nutrientes é o exorbitante número de diferentes formulações: comenta-se que existem em torno de 600, quando apenas uma dúzia delas seria suficiente para atender as exigência das adubações no Brasil. Isso traz dificuldades ao controle de qualidade pelas mudanças freqüentes de fórmulas durante a produção. Parece que a justificativa de tal número de formulações situa-se no interesse comercial das empresas.

Ainda em relação a concentração de nutrientes nada se dispõe sobre os teores máximos de micronutrientes permitidos nas dosagens desses elementos. Isto porque são elementos essenciais às plantas em pequenas quantidades, tornando-se prejudiciais ou tóxicos quando em excesso.

1.2.5. Compostos nocivos

Com a evolução da consciência ecológica, os fertilizantes minerais têm sido muito criticados e os fertilizantes orgânicos excessivamente elogiados. Ambos porém, podem conter componentes nocivos às plantas, ao meio ambiente e ao homem.

Os componentes nocivos às plantas são: biureto, presente na uréia; perclorato, presente no salitre do chile; e tiocianato, presente no sulfato de amônio quando originado do gás do carvão de pedra. Todos esses componentes são tóxicos aos vegetais mas em geral esses fertilizantes os contém em níveis não prejudiciais. De acordo com a legislação brasileira, os níveis toleráveis desses componentes são: biureto: máximos de 1,5% para aplicação no solo e 0,3% para aplicação foliar; perclorato e tiocianato: máximos de 1%, expressos em $NaClO_4$ e NH_4SCN, respectivamente.

Quanto aos componentes nocivos ao meio ambiente e ao homem muito se têm falado mas de efetivo pouco têm sido apresentado. Em recente revisão de literatura sobre "Fertilizantes e o Meio Ambiente", Van Raij (1991-não publicado) apresenta as seguintes conclusões:

a. Os fertilizantes exercem efeito altamente positivo no meio ambiente, por aumentarem a vegetação, evitando a movimentação do solo por erosão e a lixiviação excessiva de nutrientes;

b. O uso do solo como repositório de resíduos orgânicos é uma alternativa ambiental aceitável, desde que sejam tomados cuidados para evitar contaminação do solo e do ambiente;

c. O nitrogênio pode contaminar águas subterrâneas e superficiais e parte do elemento pode ter origem na agricultura. O manejo adequado dos adubos, orgânicos e minerais, reduz o

problema;

d. O fósforo que causa a eutroficação de águas superficiais origina-se principalmente de esgotos e não da agricultura;

e. Muita ênfase à contaminação de metais pesados em solos decorre de ocorrências fora da agricultura. Os fertilizantes que podem contaminar os solos são orgânicos de origem urbano-industrial (lodo de esgoto)".

Também em recente e extensa revisão bibliográfica sobre "Metais Pesados na Agricultura", Cotrim (1990) concluiu que "a utilização de fertilizantes inorgânicos não chega a ser uma ameaça de contaminação dos solos brasileiros por metais pesados. Por outro lado, o acúmulo de cádmio e chumbo pelo uso de lodo de esgoto poderia atingir índices alarmantes muito embora seja reconhecida a grande capacidade da matéria orgânica de imobilizar os metais pesados. Considera que os conhecimentos sobre o assunto são bastante escassos e muitos estudos ainda devem ser desenvolvidos".

Também é necessário desmentir a afirmação de que no Brasil se usa adubo mineral em excesso. O consumo brasileiro de adubo mineral é da ordem de 52 kg/ha de NPK, o que coloca o Brasil em vigésimo primeiro lugar numa classificação de países em ordem decrescente de consumo, conforme mostra a Tabela 1. Considera-se que a agricultura brasileira está usando doses de fertilizantes (e de corretivos) muito aquém das recomendáveis.

A preocupação científica sobre o assunto deve ser fomentada mas as aberrações e as manisfestações ideológicas devem ser evitadas, visto que comprometem a imagem da agronomia profissional.

1.3. Atributos de natureza físico-química

1.3.1. Solubilidade

Os fertilizantes devem ser produtos solúveis em água ou insolúveis em água mas solúveis na solução do solo, a fim de que possam colocar os nutrientesdisponíveis às plantas. Os produtos de baixa solubilidade no solo são ineficientes.

Contudo, a alta solubilidade em água tem seus aspectos negativos: os nutrientes ficam mais vulneráveis as perdas, havendo indicações de que estas chegam a ser acentuadas. Está se constituindo uma linha de pesquisa a obtenção de produtos de solubilidade "intermediária", conhecidos como produtos de "lenta liberação de nutrientes" ("Slow release"). Um dos primeiros produtos nessa linha é a uréia revestida com enxofre (ainda não disponível no Brasil) e que apresenta várias velocidades de dissolução. Contudo seu uso tem sido comprometido no aspecto econômico.

Quanto a solubilidade, há produtos solúveis em água que quando misturados têm suas solubilidades diminuídas. Isso, que até há

Tabela 1: Estimativa do consumo de fertilizantes em alguns países, 1987/1988.

País	Área plantada(1)	Nutriente(2)				NPK	Relação	
		N	P(P2O5)	K(K2O)	NPK		P/N	K/N
	1.000ha	1.000 t				Kg/ha		
Holanda	924	490	91	104	685	741	0,2	0,2
Irlanda	983	340	138	184	662	673	0,4	0,5
Bélgica	818	180	85	130	395	483	0,5	0,7
Japão	4.708	670	742	596	2.008	427	1,1	0,9
Alemanha Ocid.	7.476	1.580	660	864	3.104	415	0,4	0,5
Reino Unido	6.908	1.563	440	528	2.531	362	0,3	0,3
França	19.459	2.256	1.405	1.856	5.517	284	0,6	0,8
Noruega	856	110	49	75	234	273	0,4	0,7
Dinamarca	2.608	362	100	145	607	233	0,3	0,4
China	96.976	16.500	4.300	900	21.700	224	0,3	0,06
Austria	1.510	144	77	113	334	221	0,5	0,8
Itália	12.167	1.040	800	480	2.320	191	0,8	0,5
Venezuela	3.861	280	204	150	634	164	0,7	0,5
URSS	232.570	11.755	8.569	7.048	27.372	118	0,7	0,6
Portugal	2.755	153	83	46	282	102	0,5	0,3
EUA	189.915	9.765	3.787	4.578	18.130	95	0,4	0,5
Espanha	20.425	1.060	525	350	1.935	95	0,5	0,3
México	24.705	1.337	428	81	1.846	75	0,3	0,06
África do Sul	13.169	328	270	110	708	54	0,8	0,3
Índia	168.990	5.780	2.300	930	9.010	53	0,4	0,2
Brasil	71.437	881	1.540	1.302	3.687	52	1,7	1,5
Canadá	45.990	1.190	640	373	2.203	48	0,5	0,3
Argentina	35.750	95	60	13	168	5	0,6	0,1

Fonte: (1) Área plantada - FAO Yearbook, 1988. Brasil-LSPA(nov/88) FIBGE.
(2) Consumo de nutrientes - IFA - Fertiliser Consumption Statistics, Dezembro 1988.

pouco tempo era considerado um prejuizo à qualidade, hoje está sendo considerado um beneficio, desde que a redução na solubilidade seja no máximo ao nivel "intermediário" já referido.

1.3.2. Higroscopicidade

Diversos fertilizantes simples, e principalmente misturas de fertilizantes apresentam grande tendência de absorver umidade do ambiente. Porém houve uma acentuada evolução no sentido de reduzir esse feonômeno. Aumento do tamanho e revestimento dos grânulos foram os meios utilizados para reduzir a higroscopicidade da uréria e do nitrato de amônio; misturas complexas e granuladas quando submetidas à secagem no processo de granulação têm compatibilizado matérias-primas até então consideradas incompatíveis higroscopicamente.

De outra parte, são muito bem conhecidos os casos de incompatibilidade higroscópica, permitindo assim evitar a fabricação de produtos que venham a ficar "melados" em curto espaço de tempo.

Apesar disso, é relativamente freqüente encontrar-se no mercado produtos com umidade excessiva, o que demonstra o não uso às recomendações ou da tecnologia disponivel.

1.3.3. Empedramento

Sendo conseqüência principalmente da umidade do produto e das condições de armazenamento, é uma ocorrência que pode ser evitada ou minimizada através da observância das técnicas de redução da higroscopicidade na produção e de armazenamento. Infelizmente, os agricultores são muito pouco orientados quanto a armazenagem de fertilizantes. Isso, associado à comercialização de produtos hogroscópicos, gera, com freqüência, produtos empedrados.

1.3.4. Índice salino

É uma caracteristica intrinseca, ou melhor, uma propriedade de cada produto, imutável. É necessário e importante conhecê-la para manejar corretamente os diferentes adubos nas adubações. Os produtos de alto índice salino como cloreto de potássio, nitrato de amônio, uréia, quando necessário em doses elevadas devem ser parcelados.

1.4. A situação da qualidade dos fertilizantes

Numa análise generalizada, a qualidade dos fertilizantes no Brasil é boa, deixando a desejar nos atributos: segregação, higroscopicidade, empedramento, resistência dos grânulos e fluidez.

Quando ao estado físico (sólido ou líquido) dispõe-se de adequados parâmetros que permitem analisar e decidir com certa segurança pelo tipo mais vantajoso.

Quanto a origem (mineral ou orgânica), tecnicamente parece não haver motivo para qualquer dúvida ou discussão: o que está existindo é um radicalismo injustificável contra os fertilizantes minerais por uma parte dos técnicos, imbuídos da preocupação pela preservação da natureza, altamente elogiável mas, desta forma, mal conduzida.

Finalmente a avaliação química da qualidade dos fertilizantes feita pela fiscalização, precisaria dispor de meios de identificar a forma química dos micronutrientes contidos nas misturas: há a possibilidade de adição de elementos metálicos sucatas contendo zinco, cobre, molibdênio, etc.), que não são considerados fertilizantes.

2. A QUALIDADE DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ DOS SOLOS

Os atributos de qualidade dos corretivos da acidez dos solos são: teor e natureza química dos constituintes neutralizantes, teores de cálcio e de magnésio, granulometria, reatividade e efeito residual.

Porém, a avaliação da qualidade desses produtos atualmente é feita com base principalmente (ou exclusivamente) no PRNT, Poder Relativo de Neutralização Total, que é um índice que aglutina algumas das características de qualidade. Esse índice é constituído pelo Poder de Neutralização (PN) e pela Reatividade (RE) e adquire a expressão:

$$PRNT = PN \times \frac{RE(\%)}{100}$$

2.1. O Poder de Neutralização (PN)

O poder de neutralização de um corretivo de acidez é determinado analiticamente, fazendo-se uma amostra do mesmo reagir com uma quantidade conhecida em excesso de ácido clorídrico relativamente diluído (0,5N) e a quente. Dessa forma é dada oportunidade ao corretivo de exercer toda a sua capacidade de neutralizar ácido. Posteriormente, determina-se o excesso de ácido e, por diferença, calcula-se a quantidade de ácido neutralizada pelo corretivo. De acordo com o princípio da equivalência química, a quantidade de ácido neutralizada equivale à quantidade de constituinte neutralizante contido na amostra. Ainda pelo princípio de equivalência, seja qual for o constituinte neutralizante da amostra, considera-se como sendo $CaCO_3$, que é tomado como padrão. Assim, calcula-se a quantidade de $CaCO_3$ que deveria existir na amostra e o resultado é expresso em "porcentagem equivalente em carbonato de cálcio" (% E_{CaCO_3}). A Figura 3 representa esquematicamente essa determinação.

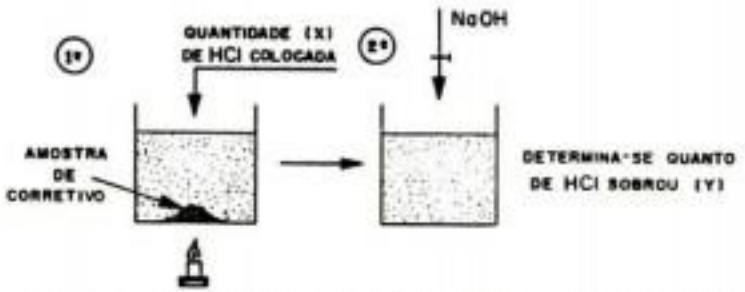


Figura 2. Representação de determinação do poder de neutralização

Dessa forma, o PN indica o potencial químico do corretivo em neutralizar a acidez, isto é, indica se o produto é uma base química e quanto de ácido é capaz de neutralizar em condições ideais de ação.

O PN não identifica a natureza química da base, isto é, se é carbonato, óxido, hidróxido ou silicato. Dá margem a considerar erroneamente como corretivo produtos como NaOH, $BaCO_3$, $LiCO_3$, Al_2O_3, e qualquer base química. Daí a necessidade de se determinar o cálcio e o magnésio, pois só são considerados corretivos de acidez dos solos os produtos básicos de cálcio e de magnésio. Além disso os teores desses elementos servem para classificar a natureza mineralógica dos calcários em calcíticos, magnesianos e dolomíticos.

Deve-se aqui alertar para o procedimento inverso que se costuma fazer, isto é, "calcular o valor do $\%E_{CaCO_3}$" a partir dos teores de cálcio e de magnésio utilizando a expressão:

$$\% E_{CaCO_3} = \% CaO \times 1,79 + \% MgO \times 2,48$$

Isso pode levar a incorrer em sérios erros de interpretação porque apenas o cálcio e o magnésio não caracterizam os produtos corretivos de acidez. Senão vejamos: uma mistura de gesso - $CaSO_4$ - com oxalato de magnésio - MgC_2O_4 - teria seus teores de cálcio e

magnésio determinados e expressos em CaO e MgO e a partir deles se calcularia o $\%E_{CaCO_3}$. Esse valor poderia indicar um "excelente corretivo" quando na verdade não é nem neutralizante de ácido.

A determinação do PN nessa mistura mostraria a sua real condição de não corretivo de acidez que é, pois suas bases, SO_4 e C_2O_4, são fraquíssimas, sem nenhuma ação efetiva em neutralizar ácidos, o que seria refletido pelo valor do resultado do PN, nulo ou quase nulo.

O $\%E_{CaCO_3}$ calculado é considerado um valor teórico e só equivale ao PN se todo o cálcio e o magnésio do produto estiver associado a uma base química. Por isso é que, mesmo nos corretivos geralmente não se iguala ao PN, conforme mostra a Tabela 2: nem todo o cálcio e o magnésio contido nos corretivos estão associados a bases químicas efetivas.

Tabela 2. Valores comparativos do $\%E_{CaCO_3}$ determinados através do PN e calculados através dos teores de CaO e MgO em corretivos da acidez dos solos.

	E_{CaCO_3}			E_{CaCO_3}	
Amostra	Determinado	Calculado	Amostra	Determinado	Calculado
nº	---------- %	----------	nº	---------- %	----------
1	107,6	107,7	6	53,9	76,7
2	77,1	85,7	7	54,6	75,7
3	88,1	91,7	8	95,0	98,2
4	69,7	83,2	9	76,7	80,7

2.2. A Reatividade (RE)

A reatividade, a rigor, indica a velocidade de ação dos "calcários" na correção da acidez do solo "em função da granulometria".

Essa velocidade de ação dos calcários é ilustrada pelas Figura 3, A a C, onde se observa também que a fração pouco menor que 0,30mm (fração 50-60) é capaz de corrigir a acidez dos solos num período de aproximadamente 3 meses, o que coincide com a antecedência tecnicamente recomendada para a calagem. Essa condição foi usada para definir a reatividade 100% e a partir desta foram calculadas as demais taxas de reatividade. Assim a

reatividade de uma fração granulométrica é a sua capacidade de ação na neutralização da acidez dos solos num período de 3 meses.

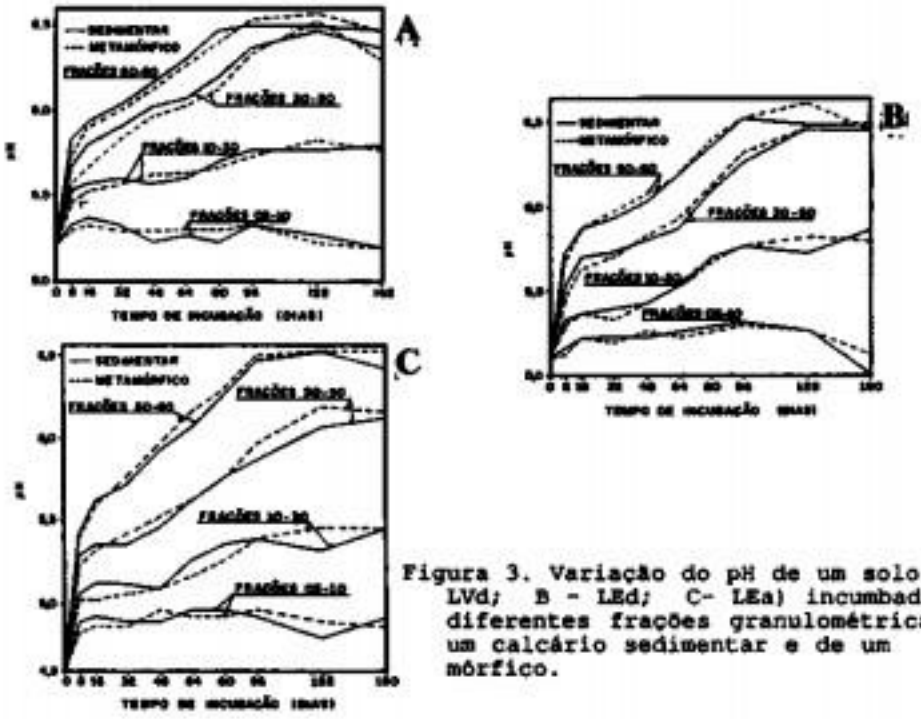


Figura 3. Variação do pH de um solo (A - LVd; B - LEd; C- LEa) incumbado com diferentes frações granulométricas de um calcário sedimentar e de um metamórfico.

A referida Figura (A,B e C) mostram também que a reatividade dos calcários não depende da natureza geológica dos mesmos, apesar dos calcários metamórficos serem considerados "mais duros" que os sedimentares.

As taxas da reatividade das diferentes frações granulométricas dos calcários adotados no Brasil estão apresentadas na Tabela 3.

Isso significa que a fração maior que 2 mm não tem efeito considerável na correção da acidez; que 80% da fração de 2 a 0,84 mm e 40% da fração de 0,84 a 0,30 mm continuarão agindo no solo mais lentamente após o período de 3 meses; e que a fração menor que 0,30 mm reage totalmente no solo em 3 meses, conforme mostram as Figuras 3,A a C.

Tabela 3. Taxas de reatividade de frações granulométricas de calcários adotadas no Brasil.

Fração Granulométrica		Taxa de Reatividade
Peneira (ABTN)	Dimensão	
nº	mm	% RE(1)
Maior que 10	Maior que 2	0
10 - 20	2 a 0,84	20
20 - 50	0,84 a 0,30	60
Menor que 50	Menor que 0,30	100

(1) Percentual do PN que ragem em 3 meses.

Assim, para os calcários a reatividade em função da composição granulométrica é calculada pela expressão:

$RE(\%) = \% F_{10-20} \times 0,2 + \% F_{20-50} \times 0,6 + \% F_{<50} \times 1$ sendo,

$\% F_{10-20}$, $\% F_{20-50}$ e $\% F_{<50}$ = percentual das diferentes frações granulométricas

0,2; 0,6 e 1 = taxas de reatividade das respectivas frações granulométricas.

Para esclarecer, sejam considerados os diferentes calcários referidos na Tabela 4.

Tabela 4. Composição granulométrica de seis diferentes calcários.

Calcários	Composição Granulométrica			
	$F_{>10}$	F_{10-20}	F_{20-50}	$F_{<50}$
	---------- % ----------			
A	100	0	0	0
B	33	0	0	67
C	5	25	20	50
D	16	0	0	84
E	0	10	20	70
F	0	0	0	100

A reatividade de cada calcário é apresentada a seguir

$RE_{(calcário\ X)}$	-	$\%F_{10-20}{}^{x0,2}$	+	$\%F_{20-50}{}^{x0,6}$	+	$\%F_{<50}{}^{x1}$
$RE_{(calcário\ A)}$	=	0 x 0,2	+	0 x 0,6	+	0 x 1 = 0%
$RE_{(calcário\ B)}$	=	0 x 0,2	+	0 x 0,6	+	67 x 1 = 67%
$RE_{(calcário\ C)}$	=	25 x 0,2	+	20 x 0,6	+	50 x 1 = 67%
$RE_{(calcário\ D)}$	=	0 x 0,2	+	0 x 0,6	+	84 x 1 = 84%
$RE_{(calcário\ E)}$	=	10 x 0,2	+	20 x 0,6	+	70 x 1 = 84%
$RE_{(calcário\ F)}$	=	0 x 0,2	+	0 x 0,6	+	100 x 1 = 100%

O calcário A tem reatividade zero porque é um calcário muito grosseiro, sendo totalmente retido na peneira nº 10.

Os calcários B e C têm reatividade de 67%, isto é, 67% do PN desses calcários reagem no solo em 3 meses. Portanto, no período inicial de 3 meses o efeito desses dois calcários deve ser muito semelhante no solo. Porém enquanto o calcário C ainda tem um resíduo de 28% do PN para continuar reagindo, pois apenas 20% da F_{10-20} e apenas 60% de F_{20-50} reagiram naquele período, o calcário B não tem qualquer resíduo para reação posterior. E note-se também que esses dois calcários, B e C, têm uma fração do PN não reativa devido a granulometria grosseira (>2 mm): 33% e 5% respectivamente

Atuações semelhantes aos calcários B e C devem ter os calcários D e E respectivamente, mas de maneira mais rápida por apresentarem maior reatividade.

O calcário F tem reatividade de 100%, isto é, 100% do seu PN age num período de 3 meses por apresentar granulometria inferior a 0,30 mm (peneira nº 50).

Do exposto infere-se que:

a) quantitativamente, a reatividade é o percentual do PN do calcário que reage no solo dentro de um período de 3 meses; a diferença (100-RE%) é o percentual do PN de ação mais lenta, que será exercida após os 3 meses (resguardada uma tolerância de 5% de material considerado inativo, como será visto a seguir) e que se constituirá num dos fatores responsáveis pelo efeito residual dos calcários;

b) exigir garantia mínima de reatividade para os calcários não apresenta interesse do ponto de vista agrícola: como se viu, os calcários B e C apresentam a mesma reatividade, porém 33% do PN do calcário B não terá efeito enquanto apenas 5% do PN do calcário C não terá efeito;

c) é muito mais interessante exigir-se garantia mínima de granulometria, de tal sorte a evitar ou tolerar um mínimo de PN não reativo. Esse expediente é adotado pela legislação brasileira, exigindo que os corretivos de acidez devam passar no mínimo: 95% na peneira nº 10(ABNT), 70% na peneira nº 20(ABNT) e 50% na peneira nº 50(ABNT). O calcário C do exemplo utilizado na Tabela 4 atende exatamente a esses mínimos. Deve-se notar que a legislação tolera até 5% de PN não reativo no solo;

d) os calcários de granulometria bastante fina, bem inferior a 0,30 mm e conhecidos como calcários "filler", devem ter reatividade superior à 100% tomada como padrão;

e) as cais (virgem e hidratada), além de apresentarem granulometria bastante fina, tem suas reatividades aumentadas devido à natureza química (bases fortes); portanto suas reatividades são bastante superiores à 100% tomada como padrão, podendo-se dizer que a ação desses produtos é quase "imediata" (10-15 dias). Isso mostra a necessidade de se identificar corretamente o produto, para se poder determinar as técnicas e os cuidados necessários na aplicação.

2.3. A Interpretação do PRNT

A própria expressão para o cálculo do PRNT mostra que esse índice indica "o percentual de neutralização (de PN) do corretivo que neutraliza a acidez dos solos num período de 3 meses".

No caso dos calcários, utilizando os exemplares que foram caracterizados na Tabela 5, observa-se que todos tem o mesmo PRNT, isto é, "igual percentual de PN que agirá em 3 meses"; portanto os 3 calcários deverão apresentar efeitos semelhantes nos 3 primeiros meses. Porém, o calcário A tem 30% do PN e o calcário B tem 10% do PN que deverão continuar agindo no solo após os 3 meses, enquanto o calcário C não tem nenhuma sobre de PN para ação posterior.

Tabela 5. Cálculo e interpretação do PRNT em calcários.

Calcários	PN	RE	PRNT	Ação do PN	
				3 meses	Posterior
	$\%_{CaCO_3}$	------ % ------			
A	100	70	70	70	30
B	80	87	70	70	10
C	70	100	70	70	0

Esses exemplos mostram a importância de se conhecer o valor PN dos calcários: o conhecimento apenas do PRNT não permite uma avaliação tão correta do produto.

No caso dos calcários "filler", calcários calcinados, cais virgem e hidratada que, conforme se viu apresentam reatividade superior a 100% tomada como padrão ou "quase imediata", o PRNT é sempre igual do PN (PRNT = PN x 100/100.·. PRNT = PN), conforme mostram os exemplos da Tabela 6: esses corretivos não deixam nenhuma sobre do PN para ação mais lenta e posterior.

Tabela 6. Cálculo e interpretação do PRNT de corretivos tipo calcário "filler", calcário calcinado, cal virgem e cal hidratada.

Calcários	PN	RE	PRNT	Ação do PN	
				3 meses	Posterior
	$\%E_{CaCO_3}$	------ % -----			
A	60	100	60	60	0
B	100	100	100	100	0
C	135	100	100	135	0

Do que foi exposto fica claro que o PRNT é propriamente uma avaliação quantitativa da reatividade de um corretivo num período máximo de 3 meses. O aumento do PRNT, e consequentemente da reatividade aos corretivos, especialmente dos calcários, pode ser conseguido pela moagem mais fina ou pela calcinação (transformação dos carbonatos em óxidos ou hidróxidos): no primeiro caso ocorre somente aumento de reatividade e no segundo ocorre aumento de reatividade e de PN.

2.4. O Efeito residual dos corretivos

O efeito residual, isto é, a duração da calagem é algo difícil de ser avaliado com certa precisão porque depende de vários fatores: dosagem de corretivo usada na calagem, tipo de solo, adubação (os adubos nitrogenados são acidificantes), intensidade de cultivo e da reatividade do corretivo: quanto maior a reatividade menor o efeito residual e vice-versa. Isto porque quanto maior o PRNT menor é a diferença PN-PRNT, deixando menos PN para reação mais lenta e posterior.

2.5. Eficiência dos corretivos

A eficiência dos corretivos é o retorno econômico que eles proporcionam, isto é, é o lucro que se consegue obter.

A eficiência dos corretivos depende de fatores de ordem técnica e econômica. No aspecto técnico deve-se considerar que há situações que necessitam de corretivo com maior reatividade, outras que necessitam de corretivo com maior efeito residual e outras de corretivo com ambas essas características em nível intermediário. Deve-se considerar a aplicabilidade do produto (produtos mais finos

são de aplicação mais problemática) e a natureza química do produto (cal virgem e cal hidratada exigem maior proteção do aplicador quanto ao contato com o produto e também necessitam de uma incorporação mais rápida para não se carbonatarem e empedrarem).

Quanto ao aspecto econômico está o custo, que deve levar em conta os preços do produto e do transporte: é mais econômico aquele que apresentar "menor custo por unidade de PRNT, colocado na propriedade".

$$\text{Custo por unidade de PRNT} = \frac{\text{custo/t do produto colocado na propriedade}}{\text{PRNT do produto}}$$

Portanto, não se pode definir a eficiência de um corretivo apenas pelos seus atributos. Há diferentes situações agrícolas que exigem corretivos de diferentes características: cabe ao técnico analisar a condição agrícola, conhecer as características dos corretivos e indicar o mais adequado a cada situação. E aos produtores de corretivos cabe colocar no mercado produtos com características especificadas e garantidas.

2.6. A situação da qualidade dos corretivos

De uma maneira geral os corretivos comercializados no Brasil estão dentro das especificações que os mesmos garantem. Alguns se apresentam com granulometria mais grosseira do que outros, que se apresentam com granulometria mais fina, porém em geral estão de acordo com as especificações garantidas em relação a granulometria, PN, teores de cálcio e de magnésio e PRNT. Conforme já comentado, cabe ao técnico indicar o mais conveniente a cada situação agrícola específica.

3. LEGISLAÇÃO E FISCALIZAÇÃO

A legislação brasileira sobre a produção e o comércio de fertilizantes e corretivos agrícolas é constituída pela Lei Nº 6.894 de 16/12/80, alterada pela Lei Nº 6.934 de 13/07/81, as quais estão regulamentadas pelo Decreto Nº 86.955 de 18/02/82 e pelas Portarias MA-84 de 29/03/82, SNAD-31 de 08/06/82, SEFIS-01 de 04/03/83, SEFIS-01 de 24/05/84, SEFIS-01 de 30/01/86 e SEFIS-03 de 12/06/86, todas do Ministério da Agricultura.

A legislação brasileira é moderna e equivalente ou até mis aperfeiçoada que legislações de países mais desenvolvidos do que o Brasil. Devido estar vigente há 10 anos, está necessitando de uma revisão para atualização.

No aspecto técnico tem se compatibilizado com o nível tecnológico da indústria. Contudo não contempla os atributos de qualidade dos fertilizantes que estão ainda com baixo nível de qualidade, conforme já referido: segregação, higroscopicidade, empedramento, resistência dos grânulos e fluidez.

No aspecto politico, sempre foi elaborada por consumidores, fabricantes e legisladores. Contudo a participação dos consumidores (setor agronômico), apesar de sempre ter sido a mais numerosa, é "passiva", isto é, só se defende, raramente reinvidica.

Já a fiscalização, que é a verificação do cumprimento da legislação, sempre foi insuficiente, em virtude das dimensões territoriais do pais. E nos últimos dois anos está praticamente inexistindo. Com isto, o objetivo da legislação que é proteger os consumidores e produtores e também promove a qualidade dos produtos fica inócua. E o setor agronômico aceita passivamente a essa situação. A legislação poderia ser mais exigente e a fiscalização mais efetiva se houvesse mais interesse do setor agronômico.

7. CONCLUSÃO

A qualidade dos fertilizantes e corretivos comercializados no Brasil é em geral de bom nivel e apresentam as especificações que garantem.

Os consumidores desses produtos é que estão carecendo de conhecimentos relativos aos atributos de qualidade dos mesmos, não conseguindo, com isto, fazer aquisições sob exigências: normalmente o único fator considerado na compra desses produtos é o preço.

Em virtude disso os produtores são desestimulados de investir em qualidade, uma vez que qualidade tem custo mas também oferece retorno compensador ao consumidor.

Por isso, o nivel de qualidade dos fertilizantes e corretivos brasileiros poderia ser superior ao que é, se houvesse exigência do consumidor, ou seja, do setor agronômico, além de maior interese pela legislação e fiscalização pertinente.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALCARDE, J.C. Caracteristicas de qualidade dos corretivos da acidez do solo. In: Simpósio sobre "Acidez e Calagem", XV Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 1983, p. 11-22, Campinas-SP.

ALCARDE, J.C. Contraditória, confusa e polêmica: é a situação do gesso na agricultura. **Inf. Agronômicas**, Piracicaba, Nº 41, (março/88), p.1-3, ano 9.

ALCARDE, J.C. & LOPES, A.S. Calagem e eficiência dos fertilizantes minerais. **In: A Responsabilidade Social da Ciência do Solo**, p.93-100, XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Simpósio sobre "Sistemas de Produção". Campinas, SP. 1988.

ALCARDE, J.C.; PAULINO, V.T. & DENARDIN, J.S. Avaliação da reatividade de corretivos da acidez dos solos. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 13 (3):387-392, 1989.

ALCARDE,. J.C. **Os adubos e a eficiência das adubações**. São Paulo, SP, ANDA, 1989. 35p. (B. Técn. 3.).

ALCARDE, J.C. Corretivos de acidez dos solos: caracteristicas e interpretações técnicas. São Paulo, SP, ANDA, 1992. 26p. (B. Técn., 6.).

BELLINGIERI, P.A.; ALCARDE, J.C. & SOUZA, E.C.A. Avaliação da qualidade de calcários agricolas através do PRNT. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 46(2):579-588, 1988.

BELLINGIERI,P.A.; ALCARDE, J.C. & SOUZA, E.C.A. Eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcários na neutralização da acidez dos solos, avaliada em laboratórios. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 46(2):303-317, 1989.

BOYTON, R.S. **Chemistry and Technology of lime and limestone**. New York, Interscience Publishers, 1966. 520p.

BOARETTO, A.E.; CRUZ, A.P. & LUZ, P.H.C. **Adubo liquido: produção e uso do Brasil**. Campinas (SP), Fundação Cargill, 1991. 100p.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes e biofertilizantes destinados à agricultura - Legislação e Fiscalização. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, divisão de Corretivos e Fertizantes. Brasilia, DF, 1982, 88p. Portaria 01 de 04/03/83; Portaria 03 de 12/06/86.

BRASIL, MINISTÉRIODA AGRICULTURA. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes - Métodos oficiais. Editado pelo Lab. Nac. Referência Vegetal (LANARV)/Secr. Nac. de Defesa agropec., 1983. 104p.

CANADIAN FERTILIZER INTITUTES (CFI.SGN). **Um sistema para identificação de materiais. Traduzido por GUIDOLOM, J.A. & ALMEIDA, R.A. São Paulo, SP, ANDA, 1989. 19p.**

COTRIM, A.R. **Metais Pesados na Agricultura: consequências das elevadas concentrações de mercúrio,cádmio e chumbo no solo.** Campinas, SP, PRODUQUÍMICA, IND. E COMª LTDA./Univ. estadual Campinas/Instituto de Quimica, 1991. 48p.

EPSTEIN, E. **Nutrição Mineral das Plantas**. São Paulo, SP, Editora Universidade de São Paulo, 1975, 341p.

HIGNETT,T.P. Controlled - release fertilizers - **Fertilizer News**, (16):42-48, 1971.

JOHNSON, R.R. Qual o limite de produtividade das culturas? I n f . Agronômicas, Piracicaba, 20: , 1982.

KOCHE, A.; HANASHIRO, J; SANTOS, A.R.; ROMERO,A.M.S.; LAVIGNE, M.; GUIDOLIN, J.A.; ALCARDE, J.C. **Análise de corretivos agrícolas**. São Paulo, SP, ANDA, 1989. 30p.

LOPES, A.S. Solos sob "Cerrados" - Caracteristicas, Propriedades e Manejo. Piracicaba, SP. Instituto da Potassa e Fosfato. 1983, 162p.

LOPES, A.S. & GUILHERME, L.R.G. Preservação ambiental e produção de alimentos. São Paulo, SP/ANDA, 1991. 14p.

MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas. In: **Seminário sobre Corretivos Agrícolas**. Campinas, SP, Fundação Cargill, 1983. Cap. 1, p.3-64

MALAVOLTA, E. O impacto de novas tecnologias no setor de fertilizantes. In: **SEMINÁRIO SOBRE FERTILIZANTES** - Situação Atual e Perspectivas. São Paulo, SP. ANDA, 1986. 46p.

PANDOLFO, C.M. **Efetividade de frações granulométricas de calcário na correção da acidez do solo.** Porto Alegre, Fac. Agronomia-Univer. do Rio Grande do Sul, 1988. 92p. Dissertação (Mestrado)

PIAU, W.C. Viabilidade do uso de escórias como corretivo e fertilizante. Piracicaba, SP, Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", 1991, 99p. Dissertação (Mestrado).

RAIJ B. VAN. Avaliação de Fertilidade do Solo. Piracicaba, SP. Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. 142p.

RAIJ, B. VAN; ROSAND, P.C.; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. In: **Adubação Fosfatada no Brasil**. Brasília, DF, EMP. bras. Pesq. agropec.1982. p.9-28.

RAIJ, B. VAN & QUAGGIO, J.A. Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRIC. BRAS. Brasília, 1984. Anais, Brasília, EMBRAPA, 1984, p.323-346.

RAIJ, B. VAN Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no sub-solo. São Paulo, SP, ANDA, 1988. 88p.

TFI. The Fertilizer Institute's. **Manual de controle de qualidade em misturas de granulados**. Traduzido pela ANDA. São Paulo, SP, ANDA. 1975, 130p.

TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. **Soil Fertility and Fertilizers**. 3. ed. New York, MacMillan Publishing Co., 1975. 694p.

VERLENGIA, F. & GARGANTINI, H. Estudo sobre a eficiência de diferentes frações granulométricas de calcário no solo. **Bragantia**, Campinas, SP, **31**(10):119-127, 1972.

WAGNER, R.E. Produtividade Agrícola: o desafio da pesquisa em produções máximas. Inf. Agronômicas, Piracicaba, SP, 16. 1981.

WUTKE, A.C.P. & GARGANTINI, H. Avaliação das possibilidades de escórias de siderurgias como corretivos da acidez do solo. **Bragantia**, 21(46):795-805, 1962.

FERTILIZANTES E POLUIÇÃO

Ronaldo Severiano Berton [1]

1. INTRODUÇÃO

O uso de fertilizante na agricultura pode ser considerado hoje como prática essencial para a produção de alimento. O seu emprego, além de aumentar o lucro dos agricultores, diminui a área cultivada e promove uma melhoria do solo através do aumento da matéria orgânica originária dos restos vegetais das culturas. Entretanto, a aplicação do adubo tanto mineral como orgânico deve ser feita de modo racional a fim de se evitar a degradação do meio ambiente.

Os constituintes dos fertilizantes mais usados na agricultura que causam preocupação são:

- fertilizantes minerais: N, P, Cd, Fe e Se;
- fertilizantes orgânicos: N, P, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Hg, Se, As e Mo, patógenos e compostos orgânicos persistentes.

2. PROBLEMAS INERENTES AOS MACRONUTRIENTES

Nitrogênio

Considerado como o nutriente mineral mais importante, este elemento é componente tanto dos minerais como orgânicos. A Figura 1 mostra de maneira simplificada o ciclo do nitrogênio do solo. De maneira geral, a eficiência da adubação nitrogenada raramente ultrapassa 50%, mesmo com um bom manejo. Isso indica que quantidades consideráveis desse nutriente deixam a zona explorada pelas raizes, por processos de lixiviação, volatilização e escorrimento superficial, os quais podem poluir o meio ambiente em diversas formas.

A lixiviação do N se dá principalmente na forma de nitrato (NO_3^-), ion que, devido a sua carga negativa, é pouco retido pelo solo. Embora haja ampla evidência de que o NO_3^- está se acumulando nas águas subterrâneas, a contribuição dos fertilizantes ainda não está bem definida, devido às desconhecidas perdas por desnitrificação, quando se faz o balanço de N no solo. No entanto, sabe-se que a lixiviação do nitrato está positivamente correlacionada com a quantidade aplicada de N e do volume de drenagem. Algumas culturas possuem caracteristicas de crescimento que favorecem as perdas de N por lixiviação. Um exemplo típico é a cultura da batata a qual além de requerer uma alta demanda de água a fim de manter as folhas mais velhas fotossinteticamente ativas, são geralmente cultivadas em solos de textura arenosa,

---

[1] Pesquisador cientifico, Instituto Agronômico, Caixa Postal 28, 13020-902, Campinas/SP.

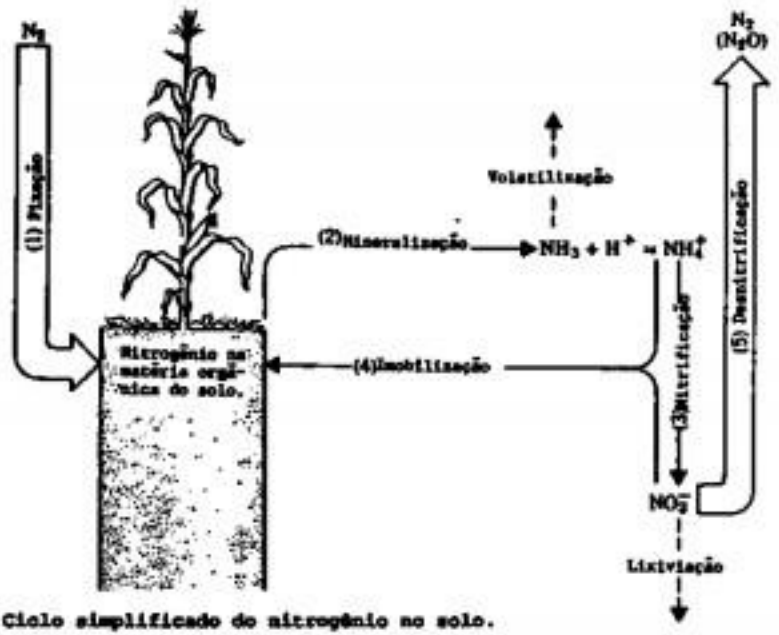


Figura 1. Ciclo simplificado do nitrogênio no solo.

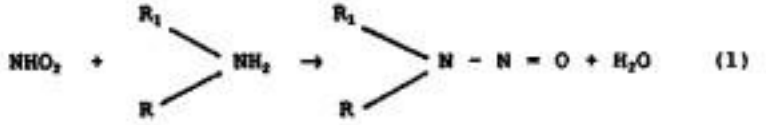
isto é, com baixa capacidade de retenção de água, e também essa cultura parece não ser muito eficiente em absorver nitrogênio da solução do solo.

As plantas também podem acumular nitrato que, uma vez nas folhas, é reduzido para NH_3 e incorporado nos amino-ácidos. A redução do nitrato é controlada pelo nível da enzima redutase nitrato presente no citroplasma. Mudanças nos fatores ambientais tais como seca ou um decréscimo na intensidade de luz, que fazem diminuir a taxa de fotossíntese, fazem também diminuir a produção dessa enzima e com isso a planta passa a acumular NO_3^-. Outra forma de acumulação deste íon se dá quando as taxas de aplicação de N são muito maiores do que a cultura pode efetivamente converter em proteína. O excesso de N nas plantas é frequentemente mais armazenado na parte aérea do ue nas raizes das plantas.

A ingestão de bebidas e alimentos contendo NO_3^- pode causar problemas de saúde tanto em seres humanos como em animais. O nitrato por si só é relativamente pouco tóxico aos mamíferos sendo rapidamente absorvido e excretado. Entretanto, em bebês e animais ruminantes, o nitrato pode, sob certas condições, ser reduzido a NO_2^- através de bactérias no trato gastrointestinal. Uma vez na corrente sanguínea, o nitrito reage com a hemoglobina produzindo a metahemoglobina, que não é capaz de transportar oxigênio, diminuindo assim a concentração desse elemento no sangue. Os sintomas clínicos de metahemoglobinemia são detectados quando 10% da hemoglobina foi convertida em metahemoglobina. Em geral a morte

ocorre quando esta proporção sobe para 50 a 75%. Essa deficiência ocorre bem mais em crianças com até 3 meses de idade do que em adultos devido ao fato destes bebês nessa idade possuirem: a) um pH no estômago mais elevado do que em adultos, encorajando, assim, o crescimento de bactérias nesse órgão e no começo do intestino; b) células vermelhas do sangue deficientes em enzimas que convertem metahemoglobina em hemoglobina; e c) hemoglobinas mais prontamente oxidáveis para metahemoglobina do que hemoglobina de adulto. Animais monogástricos não são prontamente intoxicados pelo NO_3^-, mas são altamente susceptíveis ao NO_2^-.

Outro problema associado à ingestão de nitrato é a formação de nitrosaminas. Essas substâncias têm recebido muita atenção devido ao fato de serem altamente carcinogênicas em sua maioria. A equação 1 mostra a formação de uma nitrosamina pela reação de NHO_2 com uma amina.



(1)

Nitrosaminas têm sido encontradas em carnes curadas com nitrito e nitrato de sódio, peixe defumado, queijo, cogumelos, cerveja, uisque, cigarros e em produtos químicos usados na agricultura. Uma pessoa que fuma um maço de cigarros por dia inala cerca de 0,8 microgramas de N-nitrosodimetilamina e quantidades maiores foram detectadas na fumaça exalada. Esses compostos parecem não estar presentes em alimentos processados, mas podem ser formados no estômago através da reação do NO_2^- e aminas secundárias. Dessa forma, é aconselhável minimizar a ingestão de NO_2^- pela redução da quantidade ingerida de NO_3^-. A pesquisa sobre a formação de nitrosaminas "in vivo" é ainda insatisfatória e necessita-se de muito trabalho para se poder saber com segurança a real significância desse problema.

Com um manejo adequado, a lixiviação do N para as águas subterrâneas pode ser minimizada. Algumas práticas para essa finalidade incluem:

- usar adubos nitrogenados para dar ótimas colheitas e concentração de proteínas. O abuso do N para dar segurança de alta colheita deve ser desencorajado;

- parcelar a adubação nitrogenada;

- fazer irrigações leves e mais frequentes para manter o nitrogênio na zona explorada pelas raízes;

- cultivar plantas com sistema profundo de raízes, ou fazer rotação com esses tipos de cultura;

- cultivar uma leguminosa sempre que possível;

- usar formas de solubilidade lenta ou inibidores de nitrificação.

Nitrogênio também pode ser perdido para a atmosfera na forma de N_2 ou N_2O através da desnitrificação do nitrato. Esse processo pode ser dividido em duas fases. A primeira diz respeito às perdas rápidas e em grandes quantidades associadas às chuvas pesadas e irrigações, seguidas de perdas menores por um período maior em microsítios anaeróbicos no solo. As perdas de N por esse processo têm sido consideradas de estarem na faixa de 10 a 45% do N aplicado em qualquer sistema de cultivo.

A aplicação de adubos orgânicos podem, pela presença do carbono reduzido, auxiliar o processo de desnitrificação.

O aumento do gás N_2O na atmosfera é indesejável por causa de sua participação em uma série de reações na estratosfera resultando na destruição da camada de ozônio, que proteje a terra contra a radiação ultravioleta.

Há vários fatores que afetam a evolução de N_2O durante a nitrificação e desnitrificação tais como teor de umidade, tempo, pH do solo, conteúdo de oxigênio, temperatura, concentração de NO_3^- e potencial de redox, que fazem que qualquer predição sobre a evolução de N_2O de terras agricultáveis serem bastante incertas. Para controle desse problema pode-se recomendar somente as práticas para maximizar a eficiência do adubo nitrogenado.

Com relação às perdas por escorrimento superficial, se o solo está ocupado com pastagem ou floresta, as perdas são insignificantes. Nas demais culturas, o N é mais suscetível de ser perdido em culturas anuais do que em culturas perenes. O N perdido por erosão superficial está, em sua maioria, na forma orgânica, associado com o sedimento. Qualquer fator que estiver relacionado com a erosão do solo influenciará a quantidade de N perdida na superfície. Em geral, as perdas maiores de N ocorrem no primeiro escorrimento superficial que segue a adubação nitrogenada. Mesmo assim, as quantidades são pequenas mesmo em campos adubados. O maior perigo desse tipo de perda consiste na eutroficação das águas superficiais (rios e lagos).

Fósforo

Presente principalmente nas descargas de esgoto e no escorrimento superficial de terras cultivadas, esse elemento torna-se perigoso devido a ser o nutriente mais deficiente para o crescimento dos microrganismos nas águas superficiais. Uma eutroficação acelerada promove um crescimento excessivo de algas e outras plantas causando a desoxigenação e a morte dos peixes.

Por causa de sua grande imobilidade no solo, a adubação fosfatada impõe pouca ou nenhuma ameaça para a quantidade das águas subterrâneas, mesmo em grandes aplicações de P tanto na forma de adubo, lodo de esgoto ou esterco. A pesquisa tem

demonstrado que o P do adubo concentra-se na camada arável do solo não se movendo mais do que 10 cm após a aplicação. Fósforo no lodo de esgoto parece ser muito menos lábil do que em estercos de animais, provavelmente devido à formação de compostos insolúveis com metais presentes no lodo (Fe, Al, Zn, Pb, etc.). Assim, a maioria do P perdido nos solos agrícolas se dá pelo escorrimento superficial onde o transporte seletivo de argila e matéria orgânica resulta num sedimento que é rico em fosfato. Mesmo assim apenas o P lábil desses sedimentos é disponível às algas, variando de 5 a 50% do P total. A adubação fosfatada aumenta a quantidade de P no sedimento e, por conseguinte, a porcentagem de P disponível às algas. Em vista disso, a melhor maneira de se controlar a eutroficação dos rios e lagos com este nutriente é o controle da erosão.

Quanto à ingestão de P por seres humanos, tem-se verificado que altas dosagens de P reduz a absorção de Fe e Zn pelo organismo.

Tabela 1. Composição média e limites de variação de alguns metais pesados para o lodo de esgoto, esterco de curral e composto de lixo.

Elemento	Lodo de esgoto		Esterco de curral	Composto de lixo
	Média	Limites		
	ppm			
Hg	2	0-5	-	0,7
Co	10	0-100	-	-
Cd	20	0-300	-	0,4
Ni	150	10- 1.300	-	58
Cu	250	1- 3.000	200	163
Cr	500	10-50.000	-	105
Pb	700	50-50.000	-	115
Mn	500	50- 2.500	400	1
Zn	3000	500-20.000	800	262
Fe	16.000	2.000-42.000	2.500	18.600

Fonte: Cottenie (1981) e Berton (1991).

Os insumos minerais também possuem pequenas quantidades de metais pesados. As rochas fosfatadas geralmente contém cádmio e alguns outros elementos (Tabelas 3 e 4) o que irão contaminar os adubos fosfatados. No quadro 5 pode-se observar as faixas de concentrações típicas de metais pesados em fertilizantes fosfatados e calcários.

Tabela 2. Enriquecimento do solo após aplicação de 100 t de lodo de esgoto (matéria seca) por hectare, em solo da Holanda.

Elemento	Conteúdo no lodo	Elemento aplicado	Aumento no teor	Quant. máxima aceitáveis no solo
	g/l	kg/ha	mg/kg	mg/kg
Hg	5	0,5	0,17	5
Co	25	2,5	0,83	50
Cd	50	5	1,66	3
Ni	200	20	6,66	50
Cu	1.000	100	33,33	50
Cr	1.000	100	33,33	100
Pb	1.000	100	33,33	200
Mn	1.000	100	33,33	400
Zn	3.000	300	100	300
Fe	18.000	1.800	600	-

Fonte: Cottenie (1981).

3. PROBLEMAS INERENTES AOS MICRONUTRIENTES E METAIS PESADOS

As principais fontes desses elementos são o lodo de esgoto, resíduos de indústrias, composto de lixo urbano, fertilizantes minerais, pesticidas, estercos, gases de exaustão de carros, emanações de indústrias e mineraçõeş.

A Tabela 1 mostra uma composição média do lodo de esgoto, do esterco de curral, e do composto de lixo urbano quanto aos seus teores em metais pesados. Os valores mostram que o lodo de esgoto é o resíduo de maior perigo para a contaminação do solo, o qual na maioria das vezes é de caráter irreversível. Na Tabela 2 pode-se obeservar o enriquecimento do solo com diversos metais pesados após a aplicação de 100 t de lodo de esgoto por hectare num solo da Holanda. Os resultados indicam que o cádmio é o elemento que irá limitar a aplicação desse resíduo no solo, de acordo com as quantidades máximas aceitas no solo para aquele país.

Toxicidade	Elementos
Muito tóxicos (< 1 ppm)	Hg^{+2}, Ni^{+2}, Pb^{+2}, CrO_4^{-2}
Moderadamente tóxicos (1 a 100 ppm)	MoO_4^{-2}, Cd^{+2}, Cr^{+3}, Fe^{+2}, Zn^{+2}, Cu^{+2}, Al^{+3}
Pouco tóxicos (> 1800 ppm)	Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^{+}, Na^{+}

Com relação à sua toxicidade, considera-se perigoso para as plantas (fitotóxicos) os elementos Zn, Cu, Ni e Cr, podendo-se incluir aqui, também, o Al, Mn, Fe e B. Já para o homem e os animais a preocupação maior é para os elementos Cd, Pb, Hg, Se, As e Mo. A relação a seguir mostra a toxicidade de alguns elementos de acordo com a sua concentração nas plantas.

Entretanto, a acumulação de metais pela planta depende da natureza da planta, dos fatores do solo como pH, teor de matéria orgânica, concentração do metal, presença de anions e textura, e também de fatores relativos ao manejo e ambientais, tais como, temperatura, umidade, corretivos, fertilizantes e luminosidade. Dentro da planta, alguns metais concentram-se nas raizes não sendo assim transportados para a parte aérea e várias plantas como a soja e o milho excluem esses elementos dos grãos. Dessa forma o sistema solo-planta é uma importante barreira para a entrada desses metais na cadeia alimentar, o que praticamente reduz os problemas com Hg, As e Pb.

Tabela 3. Teores totais de metais pesados em algumas rochas fosfatadas.

Rochas fosfatadas	Cd	Pb	Ni	Cu	Zn
			ppm		
Flórida (USA)	7	15	39	14	94
Kola (USSR)	1	2	2	40	24
Marroco	11	3	69	39	222
Apatita de Araxá	7	36	118	72	740

Fonte: adaptado de Forstener & Willman (1981) e Amaral Sob. et al. (1992).

Tabela 4. Faixas de concentrações típicas de metais pesados em fertilizantes fosfatados e calcários.

Produto	Cd	Pb	Ni	Cu	Zn
			ppm		
Fertilizantes fosfatados	0,1 -170	7- 225	7-30	1-300	50-1450
Calcários	0,04-0,1	20-1250	10-20	5-125	10- 450

Fonte: Alloway (1990).

Cádmio

Embora presente nos adubos fosfatados, a maior fonte de contaminação dos solos com este elemento se dá pela aplicação de lodo de esgoto e de resíduos industriais. Uma contínua ingestão de alimentos ricos em cádmio pode levar a uma acumulação desse elemento nos rins, causando hipertensão. Em casos de um acúmulo excessivo, como o mal de Itai-Itai no Japão, pode ocorrer uma dolorosa desintegração do osso. Entretanto, essa doença pareceu afetar apenas as pessoas deficientes em cálcio ou vitamina D. como os sintomas de toxicidade por um elemento demora um longo tempo para aparecer, níveis de segurança definindo a quantidade máxima a ser ingerida diariamente são difíceis de se estabelecer. A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que a quantidade máxima tolerável ingerida não exceda a 400-500 µg de Cd por semana. Como as quantidades normais desse elemento nos alimentos contribuem para 50% desses valores (200-250 µg/semana), há uma grande preocupação nos EUA com os alimentos que são vendidos no mercado.

O cádmio é pouco móvel no solo e sua disponibilidade para as plantas é, em geral, mais dependente do pH do solo e da sua concentração. Vários estudos têm demonstrado que, sob condições físicas, químicas, fisiológicas e mineralógicas similares, as quantidades de Cd absorvidas pelas culturas tendem a aumentar à medida que a concentração do metal aumenta no solo. Na Tabela 5 pode-se observar que, à exceção da batata, a maioria das culturas tendem a acumular Cd em seus tecidos. Com relação ao pH, mantendo-se as outras condições do solo constantes, a concentração no tecido vegetal diminuirá à medida que o pH aumentar. A Tabela 6 mostra a absorção de Cd em acelga influenciada pelo pH do solo. Os resultados demonstram que um dos meios mais efetivos para minimizar a absorção desse metal pelas culturas é o aumento do pH através da calagem.

Tabela 5. Acumulação de Cd na parte aérea de várias culturas.

Cultura	Cd aplicado (kg/ha)	
	0	11,2
	Concentração na parte aérea	
	mg/g	
Alface	0,86	3,56
Brócolos	0,27	0,89
Tomate	0,52	1,04
Batata	0,11	0,10
Milho	0,10	1,83
Feijão	0,07	0,21
Cenoura	0,71	1,25

Fonte: Page (1981).

Tabela 6. Concentração de Cd em folhas de acelga influenciada pelo Cd adicionado ao solo e pelo pH.

Cd adicionado ao solo	pH do solo		
	4,5	5,2	7,4
	Concentração na folha[1]		
kg/ha	µg/g		
0	1,6	1,8	0,8
1	8,4	5,2	3,0
2	14	10	3,7
4	16	7,2	5,3

[1] Com base na matéria seca.
Fonte: Page (1981).

A barreira solo-planta parecer não proteger a cadeia alimentar contra uma quantidade excessiva de Cd no solo. Mesmo assim, as quantidades absorvidas desse metal dependem da cultura explorada. Entre todas as culturas estudadas até 1983, a cultura do fumo é a que mais acumula Cd por unidade desse metal no solo que qualquer outra. O cádmio no fumo é uma fonte importante desse elemento para os seres humanos. Pessoas que fumam um maço de cigarro por dia têm uma concentração de Cd cerca de 50% maior nos rins do que uma pessoa não fumante. Alguns Estados que cultivam o fumo nos EUA proibiram a aplicação de lodo de esgoto nos solos onde esta cultura é explorada. A meia vida biológica do Cd em seres humanos é estimada em cerca de 20 anos.

Nem todo o Cd absorvido é translocado para a parte aérea das plantas. Essa característica varia entre espécies e entre cultivares, com resultados mostrando uma variação que abrange de 10 a 50% da quantidade do metal absorvido. A absorção de Cd também pode ser restringida pela presença de Zn na solução do solo. A Tabela 7 mostra o efeito da adição de Zn na disponibilidade de Cd em alface. Esse antagonismo é tão forte que pode-se aumentar ou não a quantidade de lodo de esgoto a ser aplicada em uma área de acordo com o seu teor em zinco.

Tabela 7. Efeito da adição de Zn e Cd na absorção de Cd por plantas de alface em um solo com pH 5,8.

Cd adicionado	Zn adicionado (mg/kg)	
	0	30
mg/ha		
0	1,15	0,60
0,75	8,14	5,68
1,5	18,50	7,75
3,0	25,20	15,20

Fonte: Page, A.L. e outros (1983).

Zinco, Cobre e Níquel

Embora com o zinco sendo cada vez mais empregado nos fertilizantes químicos, acredita-se que o lodo de esgoto ainda seja a principal fonte de fornecimento desses elementos ao solo. Alguns criadores de porcos e aves têm adicionado Zn e Cu à ração a fim de aumentar a eficiência de aproveitamento desta, fazendo com que os estercos desses animais sejam de 10 a 40 vezes mais ricos em Cu e de 4 a 10 vezes mais rico em Zn que um esterco normal.

Devido ao fato desses três elementos serem altamente fitotóxicos, a barreira solo-planta evita a sua entrada em grandes quantidades na cadeia alimentar. Além disso tanto os animais como os homens são bem tolerantes a esses elementos, sendo que o Ni, se já não o foi, brevemente deverá ser estabelecido como um elemento essencial aos animais. Uma dieta muito rica em Zn pode causar uma deficiência de Cu em animais e no homem e vice-versa.

Esses três elementos são praticamente imóveis no solo, sendo fortemente associados à matéria orgânica do solo. A estabilidade desses metais com substâncias húmicas é descrita pela série de Irving-Williams (1948),

$$Pb^{2+} > Cu^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Zn^{2+} > Cd^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+} .$$

Além da matéria orgânica, a concentração do metal, o teor de argila e o pH do solo também influenciam a disponibilidade desses elementos às plantas. Em geral, uma elevação do pH diminui a disponibilidade de Zn, Cu e Ni para as plantas. Entretanto, as raízes ao crescerem podem causar uma mudança localizada do pH do solo, chegando a ser de várias unidades na rizosfera. A utilização de fertilizantes amoniacais tem aumentado a absorção de Zn. A mobilidade do Cu e Ni na planta é menor que a do Zn e a absorção deste é fortemente inibida pelo cobre. Assim pode-se concluir que, devido ao lodo de esgoto conter uma miscelânea de vários elementos

e levando-se em conta que as plantas também diferem quanto à absorção desses metais, fica difícil de se ter uma idéia segura da disponibilidade de metais pesados oriundos desse resíduo.

Chumbo • Cromo

Presentes nos resíduos urbanos, o cromo também é encontrado nos resíduos de curtumes. Em seres humanos, o chumbo pode acumular nos ossos e nos rins em formas pouco solúveis, e uma ingestão alta desse elemento pode causar encefalite seguida de retardamento mental em crianças. Já o cromo é essencial ao homem e animais, mas elevadas quantidades estão associadas a uma redução no crescimento, e danos no fígado e nos rins. O cromo hexavalente é tóxico às plantas quando aplicado em solução ao solo. O cromo trivalente é insolúvel no solo. Em vista da limitada possibilidade do Cr^{6+} estar presente em materiais orgânicos, presume-se que Cr em lodos de esgoto não apresenta perigo para a cadeia alimentar.

O chumbo é fortemente retido no solo apresentando, assim, baixíssima disponiblidade para as plantas. Além disso, esse elemento não é translocado para as sementes, o que é um meio eficiente em se prevenir a toxicidade de Pb em seres humanos e em animais. A absorção de Pb também é diminuída pela prática da calagem.

Mercúrio

As fontes mais conhecidas de Hg são o lodo de esgoto e os fungicidas. No homem, mesmo em pequenas quantidades, o mercúrio pode causar sintomas neurológicos como tumores, vertigem, irritabilidade, e depressão e também salivação e diarréia. Considera-se que a ingestão semanal máxima de Hg inorgânico não deve ultrapassar 0,005 mg/kg de peso. O Hg é perigoso devido à sua metilização em sistemas aquáticos. Esse metal é preso muito fortemente no solo e nas raízes das plantas, de forma que a concentração desse metal na parte aérea é bem reduzida. Cogumelos reconhecidamente acumulam Hg e metil-Hg de forma que a aplicação de lodo de esgoto para produção desses vegetais é proibitiva. Entretanto, pode-se considerar que os perigos com Hg para a cadeia alimentar terrestre é bem menor que aqueles relativos à cadeia alimentar aquática.

Selênio

É componente de rochas fosfáticas e ocorre em pequenas concentrações nos adubos e no lodo de esgoto. Uma ingestão alta desse elemento pode causar cárie dental, erupções na pele, artrite e edema subcutâneo. Selênio também tem um efeito inibitório contra váriOa tipos de câncer. O perigo potencial do Se em resíduos orgânicos é influenciado pela estabilidade e atividade biológica das diferentes formas de Se.

As formas desse metal presente no lodo de esgoto e em estercos são de baixa disponibilidade para plantas e animais e quando incorporadas ao solo, elas são raramente absorvidas pelas plantas

em concentrações tóxicas. Entretanto, plantas cultivadas em solos ricos em selênio têm absorvido esse lemento e causado toxicidade em animais.

Molibdênio

Embora a principal fonte desse elemento seja o lodo de esgoto, esse resíduo raramente apresenta teores altos desse metal. O molibdênio é requerido pelas plantas mas em baixa concentração em termos de taxas de aplicação. Quando os níveis nos solos são elevados, as plantas podem acumular esse metal na parte aérea e causar problemas à saúde dos animais que delas se alimentam. O efeito de uma excessiva dieta em Mo em animais começa com um distúrbio no metabolismo do cobre. Ruminantes são muito mais suscetíveis à toxicidade por Mo do que animais monogástricos.

4. PATÓGENOS E COMPOSTOS ORGÂNICOS PERSISTENTES

Lodo de esgoto e estercos animais certamente contêm agentes causadores de doenças. Os números desses patógenos variam grandemente com a saúde da população que estarão produzindo os resíduos e como estes estão sendo tratados. O solo é considerado como um sistema natural para a descontaminação dos organismos causadores de doenças que podem estar presentes no lodo. Entretanto, a aplicação deve ser sistematizada a fim de se proteger dos riscos potenciais para a saúde humana e dos animais que esta prática proporciona. A habilidade do patógeno sobreviver num ambiente extermo ao seu hospedeiro, especialmente no solo, ar ou água varia grandemente entre tipos e espécies. Felizmente para a saúde do homem e animais, apenas uns poucos sobrevivem nos resíduos urbanos e que merecem atenção.

Entre os parasitas de intestino, o *Ascaris lumbricoides* é frequentemente mencionado como um problema potencial para a saúde humana. Os ovos desse parasita são excretados nas fezes dos indivíduos infectados e têm sobrevivido ao tratamento das águas servidas, incluindo-se a digestão anaeróbica. Esses ovos são bem resistentes à destruição no solo e podem persistir nesse meio por vários anos. Os ovos devem ser ingeridos a fim de poderem parasitar. Também um parasita de intestino, o protozoário *Entamoeba histolytica*, causadora da desinteria amebiana, produz cistos que também são excretados pelos indivíduos contaminados e, como os ovos do *Ascaris*, resistem ao tratamento das águas servidas. Felizmente, esses cistos parecem sobreviver apenas alguns dias no solo.

Com relação às bactérias, as de maior preocupação para a saúde pública são as que causam a febre tifóide e paratifóide, cólera, desinteria e gastroenterite. Febres tifóide e paratifóide são causadas pela *Salmonella typhi* e *S. paratyphi*, respectivamente. Essas doenças, geralmente, resultam da ingestão de água contaminada. O agente causal, entretanto, pode contaminar o alimento diretamente através de um indivíduo portador ou vetor, ou indiretamente através da contaminação de vegetais frescos pela água de irrigação.

Entre as doenças causadas por vírus, as mais preocupantes incluem os agentes causais da pólio e hepatite viral. O vírus da pólio é facilmente detectado no esgoto e tem resistido ao tratamento das águas servidas e da adição de cloro. Entretanto, devido ao fato dessa doença estar praticamente eliminada em nosso país, através da vacinação, o perigo torna-se insignificante. Já o agente causador da hepatite é de difícil detecção mesmo em água. Estima-se a possibilidade de se ter esse agente através da presença de coliformes fecais. Como os vírus conseguem sobreviver ao tratamento do esgoto e por precisarem de uma quantidade pequena de inóculo para causarem doença, teoricamente, esses organismos devem ser levados em conta na disposição dos resíduos. A Tabela 8 mostra o tempo de sobrevivência de alguns patógenos no solo e na planta. Os resultados mostram que os helmintos são os que têm uma maior permanência no solo e na planta sobrevivem o mesmo tempo que as bactérias. A menor sobrevivência nas plantas provavelmente está associada à maior quantidade de irradiação ultravioleta que estas recebem. Dessa forma, recomenda-se o consumo de plantas arbustivas um mês após a última aplicação do lodo de esgoto e de plantas baixas, tipo hortaliças, de preferência sem nenhuma aplicação destes resíduos.

Os perigos à saúde causados pelos compostos orgânicos persistentes são inúmeros, variando desde problemas dermatológicos até o câncer.

A maioria dos compostos orgânicos presentes na água servida doméstica deriva das fezes, urina, papel, restos de alimentos, cosméticos e produtos de limpeza. Embora grande parte dos compostos orgânicos presentes nas águas servidas de centros urbanos sejam provavelmente inofensivos em se tratando de aplicação no solo, descobriu-se recentemente que o material fecal em si contém agentes mutagênicos, isto é, que podem causar câncer.

Tabela 8. Tempos de sobrevivência de diversos patógenos no solo e nas plantas.

Patógenos	Solo		Plantas	
	Tempo máximo	Tempo médio	Tempo máximo	Tempo médio
Bactéria	1 ano	2 meses	6 meses	1 mês
Vírus	6 meses	3 meses	2 meses	1 mês
Protozoários	10 dias	2 dias	5 dias	2 dias
Helmintos	7 anos	2 anos	5 meses	1 mês

Fonte: Page (1983).

Os compostos orgânicos nas águas servidas podem ser volatilizados, imobilizados através da adsorção ou translocados no solo podendo atingir o lençol freático.

Estudos mostram que a maioria dos compostos orgânicos sofrem biodegradação total ou parcial no solo. No lençol freático também observa-se uma degradação destes compostos, mas torna-se difícil não acreditar que, uma vez na água, essas substâncias irão permanecer nesse meio por um longo tempo.

5. PLANEJAMENTO PARA USO DE RESÍDUOS

Mesmo apresentando todos esses perigos acima relacionados, a aplicação de resíduos urbanos no solo agrícola é uma alternativa viável e que deve ser encorajada. Para isso faz-se necessário adotar uma série de medidas a fim de se reduzir ao mínimo os riscos de contaminação do solo. Essas medidas envolvem uma análise dos resíduos, a fim de se evitar os materiais muito ricos em metais pesados; uma avaliação do lugar para aplicação, visando não aplicar esses resíduos em locais onde o lençol freático está próximo à superfície; a cultura a ser instalada, onde deve-se dar preferência às culturas que não são de consumo humano como algodão, seringueira, eucalipto, etc. Uma utilização racional também deve levar em conta os métodos e taxas de aplicação e um monitoramento constante das alterações ocorridas no solo e na composição da planta.

6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALLOWAY, B.J. 1990. The origins of heavy metals in soils. In: Heavy metals in soils. New York, John Wiley & Sons. 1990. p.29-39.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M. OLIVEIRA, C. de; VELLOSO, A.C.X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. R. Bras. Ci. Solo, 1992. (no prelo).

ELLIOT, L.F. & STEVENSON, F.J. ed. Soils for management of organic wastes and waste waters. Madison, CSSA/SSSA, 1977, 650p.

ENGELSTAD, O.P. ed. Fertilizer Technology and use. Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1985. 633p.

ERNST, W.H.O., Coord. Heavy metals in the Environment. Amisterdan, Inter. Conference, 1981. 732p.

FOTH, H.D. Fundamentals of Soil Science. New York, John Wiley & Sons. 1984. 435p.

GRAHAN SOLOMONS, T.W. Organic chemistry. New York, John Wiley & Sons, 1103p.

HAUCK, R.D. ed. Nitrogen in crops production. Madison, ASA, CSSA, SSSA, 1984. 804p.

KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. ed. The role of phosphorus in agriculture. Madison, ASA, CSSA, SSSA, 1980. 910p.

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of Plant Nutrition. 3 ed. Bern. International Potash Institute, 1982. 655p.

PAGE, A.L.; GLEASON III, T.L.; SMITH Jr.; J.E. ISKANDAR, I.K. & SOMMERS, L.E. ed. Utilization of Municipal Waste Water and Sludge on Land. Riverside, University of California, 1983. 480p. (Proceedings of the 1983 Workshop).

PRATT, P.F. ed. Management of Nitrogen in Irrigated Agriculture. Proceedings of National Conference. Riverside, University of Califórnia, 1978. 442p. (Proceedings of National Conference).

SCHNITZER, M. & KHAN, S.U. ed. Soil Organic Matter. Developments in soil science 8. Amsterdam, Elsecier Scientific Publishing Company, 1978. 319p. (Development in Soil Science 8).

EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOLIAR

Ciro A. Rosolem[1]

1. INTRODUÇÃO

Bons resultados podem ser obtidos através da adubação foliar quando se consegue aplicar o nutriente necessário no local adequado, na época certa, na quantidade correta e ainda se dispuser de tempo suficiente para a absorção. Todos estes fatores são influenciados pela planta e pelo meio ambiente e pelas técnicas de aplicação, daí as muitas experiências com frutíferas com adubação foliar.

Qual o nutriente necessário?

Mesmo na adubação tradicional, muito mais estudada, esta pergunta ainda fica sem resposta em algumas situações. No caso de adubação foliar o conhecimento é menor, e os problemas mais numerosos. Micronutrientes como Zn e B em café, Zn e Mn em citrus são necessários, podem ser aplicados via foliar, e se tem obtido bons resultados. Cálcio em tomate, e principalmente em maçã, tem sido necessário, dentre outros exemplos.

Qual o local adequado?

No caso de café e citrus o adubo deve ser aplicado às folhas. O cálcio em maçã deve atingir os frutos em crescimento. Outras informações são raras na literatura.

Qual a época certa?

Também a época certa está determinada para algumas culturas, como café, frutíferas, trigo, etc., mas persistem dúvidas na grande maioria dos casos.

Qual a quantidade correta?

A quantidade varia com o nutriente, a planta, época de cultivo, condições ambientais, forma química do nutriente, etc. Mesmo conhecendo-se a quantidade a ser aplicada, no caso de macronutrientes, nem sempre se dispõe de uma forma química do nutriente, que permita a aplicação da quantidade correta de maneira economicamente viável.

Qual o tempo necessário para absorção?

O tempo é variável com o nutriente, forma química do nutriente, tipo de folha, meio ambiente, estado nutricional da planta, etc. Existem relatos na literatura desde minutos até semanas, dependendo do nutriente.

---

[1]Professor Titular, Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu/UNESP, Caixa Postal 237, 18600 - Botucatu, SP.

Diversos fatores influem no processo de absorção foliar, alterando os parâmetros discutidos até agora. O conhecimento destes fatores permite o desenvolvimento de tecnologia de aplicação adequada. Alguns destes fatores são listados na Tabela 1.

Tabela 1. Fatores que afetam a eficiência da adubação foliar.

Planta	Meio Ambiente	Solução
Tipo de cuticula	Temperatura	Concentração
Idade da folha	Luz	Dose
Número de estômatos	Fotoperíodo	Técnica de aplicação
Presença de tricomas	Ventos	Forma química
Turgor	Umidade relativa	Adjuvantes
Umidade superficial	Seca	pH
Capacidade de troca catiônica	Hora do dia	Polaridade
Estado nutricional	Estresse nutricional	Higroscopicidade
Cultivar		Açúcares
Estádio de crescimento		Interações

Muitos destes fatores já tem sido discutidos na literatura brasileira (Camargo & Silva, 1975; Malavolta, 1980; Rosolem, 1984; Boaretto & Rosolem, 1989)), e na literatura internacional (Wittwer, 1964; Wittwer et al., 1963; Alexander, 1986; Neumann, 1988; Kannan, 1991).

No presente capitulo serão discutidos alguns aspectos da solução, de desenvolvimento mais recente, e suas relações com a absorção de nutrientes. Destes aspectos, a forma química do nutriente e o uso de adjuvantes são de capital importância na absorçao e translocação dos nutrientes. O conhecimento da estrutura da folha e do comportamento dos nutrientes nesta estrutura fornece ferramentas para se praticar a adubação foliar com sucesso.

2. ABSORÇÃO E TRANSPORTE

Um nutriente é considerado absorvido quando está dentro da célula. A absorção foliar compreende uma fase passiva (penetração cuticular) e uma fase ativa (absorção celular).

Para que se obtenha bons resultados, geralmente o nutriente precisa ser translocado para locais de maior demanda dentro da planta.

Penetração Cuticular

Um esquema da superfície foliar é apresentado na Figura 1. A cutícula cobre toda a superfície da folha, incluindo os estômatos e os tricomas. É assim, a primeira barreira à absorção foliar. A cutícula é não celular, constituída de duas ou mais camadas. A camada mais externa geralmente contém cutina e gorduras em sua matriz, e a camada seguinte compreende também uma camada de celulose (Sitte & Rennier, 1963). É ainda geralmente aceito que a cutícula da cavidade estomatal é mais fina. Alguns autores colocam dúvidas quanto à importância dos estômatos na absorção foliar, pois eles cobrem apenas de 0,26 a 0,84% da superfície foliar. Além disso, como são pequenos, a tensão superficial do líquido teria que ser muito baixa para que houvesse absorção (Audus, 1976). Por outro lado, dependendo da temperatura e da umidade relativa do ar, há fechamento dos estômatos.

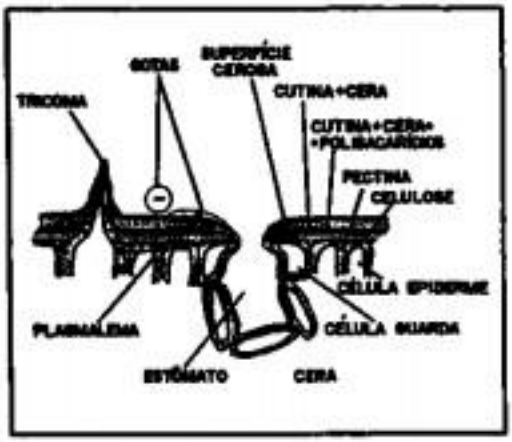


Figura 1. Esquema de superfície de folha em corte, mostrando estruturas de interesse para absorção foliar. Mais e menos (+ e -) indicam gotas com e sem espalhante, respectivamente.

Tanto a forma como a estrutura da cutícula se modificam com o crescimento dos órgãos (Miller, 1984). Há deposição contínua de gorduras durante o crescimento da folha. Com a paralização do crescimento, a deposição de gordura também cessa (Hallan, 1970). A consequência deste padrão de crescimento é que a cutícula é hidrófila no início do desenvolvimento foliar, tornando-se hidrófoba em folhas maduras (Miller, 1982). Entretanto os lipídeos de algumas espécies como citros, por exemplo, não afetam a penetração de água, mesmo sendo hidrófobos (Haas & Schonherr, 1979).

Assim a permeabilidade da cuticula depende do estágio de desenvolvimento da folha: uma determinante da eficiência da adubação foliar. A camada gordurosa é a mais resistente à penetração de água e solutos. As gorduras se apresentam na forma de escamas, tubos ou projeções cônicas (Hardin & Phillips, 1985) e mostram variações em seu teor de gordura e composição química, dependendo da espécie (Freeman & Turner, 1985).

Na Figura 2, extraida de Hess (1985), encontra-se esquematizada a cuticula. A ordem decrescente de hidrofelia é: pectina > cutina > ceras cuticulares.

Os tricomas são projeções uni ou multicelulares da epiderme das folhas. São também cobertos pela cuticula. Entretanto o desenvolvimento da cuticula na base do tricoma é menor que no resto da superficie foliar e do próprio tricoma (Sifton, 1963), o que pode proporcionar maior absorção nessa região. A presença de maior número de tricomas na face abaxial das folhas ajuda a explicar a maior absorção que se verifica nestas regiões (Schonherr & Bukovac, 1970; Malavolta, 1980).

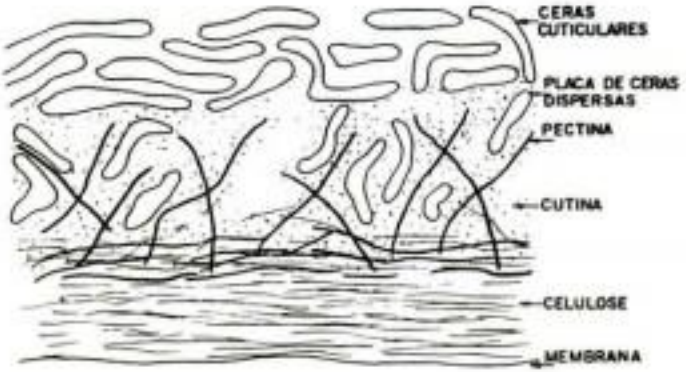


Figura 2. Estrutura da cuticula.

Uma possivel rota para a penetração de produtos hidrofilicos são os filamentos de pectina que podem cruzar praticamente toda a cuticula e, desde que hidratados, atuar como uma via de transporte destes produtos.

Foi demonstrada a existência de microcanais abaixo da camada gordurosa da cuticula (Miller, 1984, 1985, 1986). Estes canais transcuticulares tem orientação perpendicular à superficie da cuticula, podendo facilitar a penetração iônica, embora alguns autores considerem que, devido ao pequeno diâmetro destes canais,

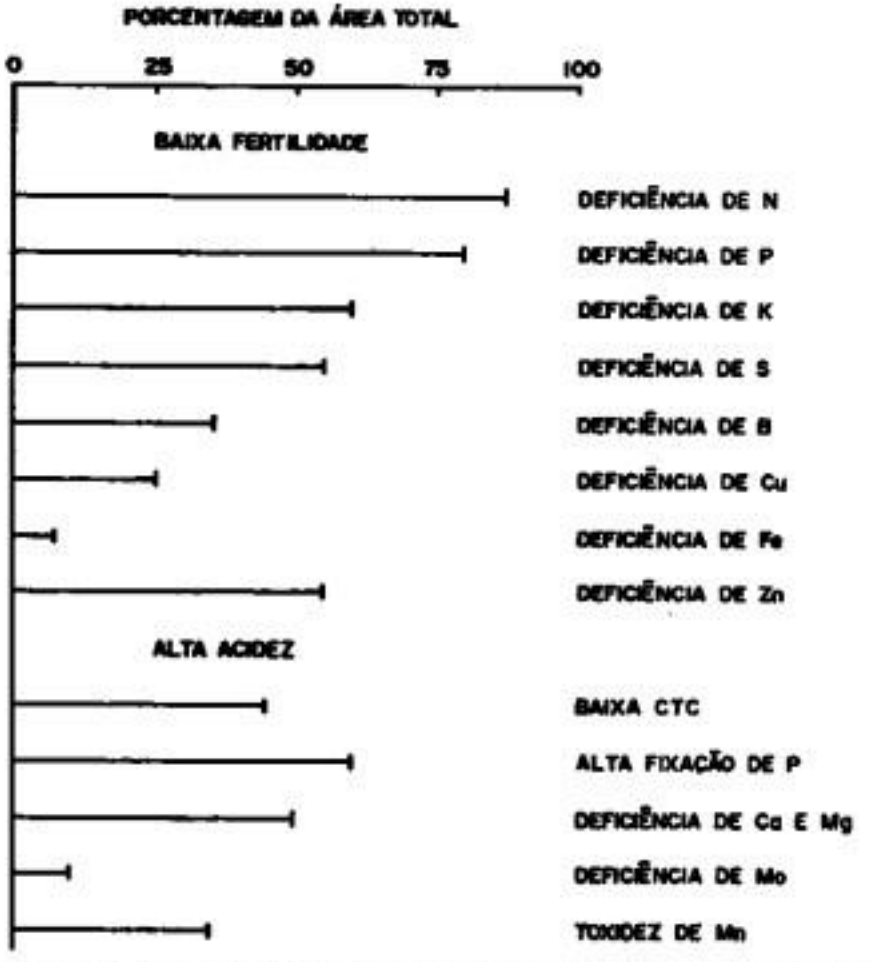


Figura 4-1. Estimativa da extensão da acidez e das limitações da fertilidade nos solos da América Tropical.

4. CORRETIVOS E PRODUTIVIDADE

4.1. Acidez dos solos das regiões tropicais e subtropicais

Os solos brasileiros são geralmente ácidos: do Oiapoque ao Chuí, para citar os extremos geográficos que definem a extensão do País.

Os dados de SANCHEZ & SALINAS (1981) resumidos na Figura 4-1, referem-se a toda a América Tropical. Dão, por isso, uma estimativa da situação no Brasil.

São várias as consequências, todas elas desfavoráveis para a produtividade (detalhes em MALAVOLTA, 1985):

(1) menor mineralização da matéria orgânica e menor disponibilidade de N, S e B principalmente;

(2) diminuição na fixação livre e simbiótica do N_2;

(3) deficiência de Ca e Mg;

(4) menor aproveitamento do fertilizante;

(5) maiores custos de produção;

(6) necessidade de área maior para a mesma produção geral.

Os dados apresentados referem-se à condições de camada arável. A acidez de subsuperfície pode também estar presente: pouco Ca e muito Al dificultam ou impedem o desenvolvimento do sistema radicular tornando a cultura menos resistente à seca e diminuindo a capacidade de aproveitar nutrientes do solo ou do próprio adubo (veja-se RAIJ, 1988).

Para ilustrar o efeito que se pode esperar da correção através da calagem pode-se citar a estimativa de GARCIA et al. (1983): a calagem nos cafezais do Sul de MG poderia trazer um ganho na produtvidade de 40%. Não há dúvida que a acidez excessiva é uma das causas de baixa produtividade do cafeeiro e das outras culturas.

4.2. O corretivo no Sistema Solo-Planta

A Figura 4-2 é uma representação simplificada do sistema solo-planta (modificado de MALAVOLTA et al., 1991), onde: M = nutriente; fase sólida = minerais primários, secundários e matéria orgânica; fase lábil = complexo de troca; solução do solo = a mesma; corretivos M = Ca e Mg.

A aplicação do corretivo além de colocar Ca e Mg na solução do solo influencia várias reações de transferência, seja pela elevação do pH, seja pelo efeito do Ca e do Mg: disponibilidade (M fase sólida → M fase lábil → M solução); absorção (M solução do solo → M raiz).

4.3. Adaptação da planta ao solo ou adaptação do solo à planta

Como parte do "pacote" da ASBI aparece, com certa dominância, a utilização de variedades com características herdáveis da

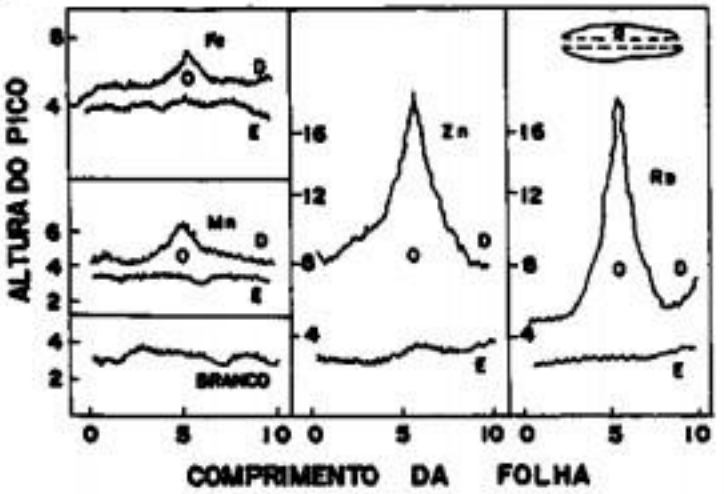


Figura 5. Movimento lateral de cátions em folhas de milho, 24 horas após a aplicação. O isótopo foi colocado no local marcado com círculos.
D - lado direito da folha, E - lado esquerdo da mesma.

Transporte a Longa Distância

A translocação de nutrientes aplicados nas folhas para outros órgãos das plantas depende da natureza do elemento, sua forma química, e ainda da própria planta. Bukovac & Wittwer (1957) classificaram o K, P, Na, Cl e S como móveis, o Fe, Mn, Zn, Cu e Mo como parcialmente móveis, e o Ca e Mg como imóveis, entretanto Penot (1972) observou que o Mo era mais móvel que S, Cl e Na em *Tradescania viridis*.

Geralmente o transporte dos micronutrientes é mais lento que dos macronutrientes como N, P e K. Entretanto o transporte dos micronutrientes geralmente é melhorado quando antes estão na forma quelatizada.

O nitrogênio é muito móvel na planta, e foi demonstrado que se movimenta pelo floema, principalmente em formas orgânicas, sendo a sua distribuição na planta uma função da demanda em cada órgão no momento da aplicação (Okano et al., 1983).

A translocação do potássio geralmente é rápida, mas depende do estado nutricional da planta. Chamel (1988) comenta que o K não sai das folhas quando aplicado à folhas deficientes.

Apesar do Ca ser considerado imóvel na planta, se for aplicado em altíssimas concentrações, de modo a reverter o gradiente de concentração de Ca nas folhas, ele pode se movimentar para outros órgãos (Faust & Shear, 1973).

No caso do Boro, Chamel et al. (1981) determinaram que 78 a 93% do nutriente estava na folha tratada após 24 horas da aplicação foliar. Entretanto Hanson (1991) demonstrou que há translocação do Boro aplicado às folhas de espécies frutíferas decíduas (Figura 6). A aplicação aumentou de 90 a 185% o teor de B das folhas 3 dias após a aplicação. Em aproximadamente 9 dias o nutriente havia sido exportado das folhas em direção às gemas mais próximas. O autor mostra que a movimentação é relativamente rápida (Figura 7), enquanto os teores de B em folhas não tratadas não se modifica, e sugere que o B aplicado não se liga a compostos orgânicos, o que lhe confere mobilidade.

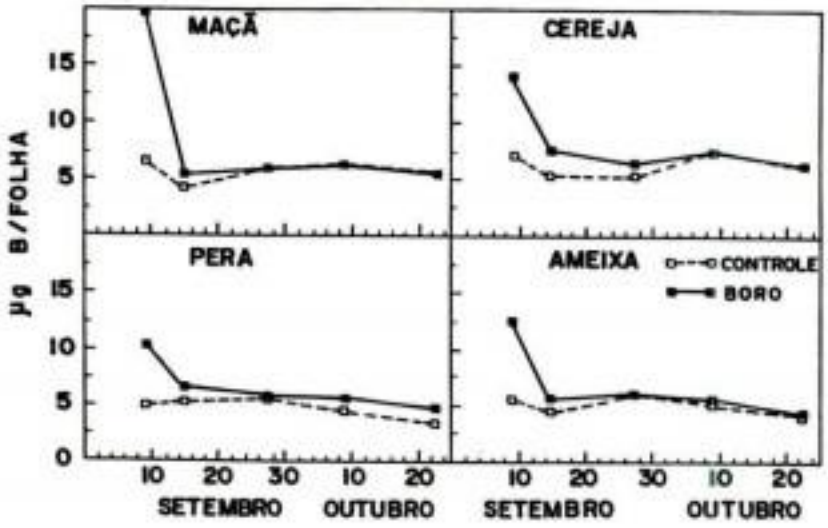


Figura 6. Translocação de boro em folhas de fruteiras decíduos

Além de Hanson (1991), Shon & Blevins (1990) também verificaram efeito do Boro em gemas. Em ambos os trabalhos os teores atingidos nas folhas tratadas foi bem superior ao considerado como nível crítico para toxidez. É possível que o B aplicado ligue-se a polissacarídeos em folhas deficientes, ficando imóvel, enquanto que em folhas não deficientes haveria mobilidade, a exemplo do potássio.

O transporte dos nutrientes na planta é ainda influenciado pelos reguladores de crescimento. A direção do deslocamento de P, S e Rb é modificada por IAA (ácido indolacético), NAA (ácido naftaleno acético), GA (giberilina), BAP (benzil aminopurina). Todos estes reguladores atraem aqueles nutrientes para o local de aplicação dos reguladores (Penot & Berand, 1977; Penot, 1978).

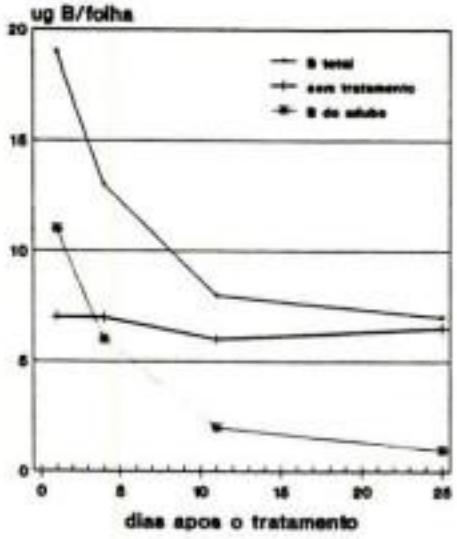


Figura 7. Translocação do boro em fomacieira.

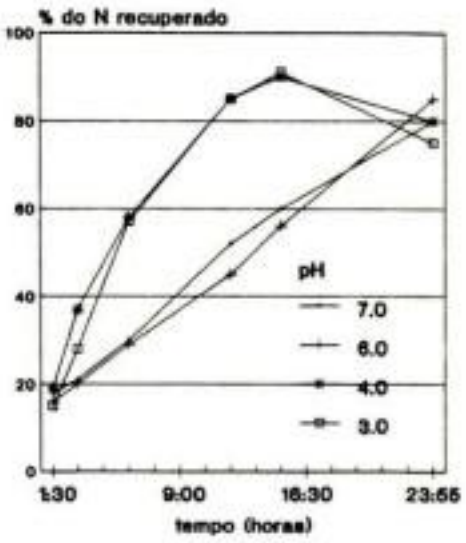


Figura 8. Absorção de uréia por folhas de algodoeiro, em função do pH da solução

Por outro lado, Kessler & Mosciki (1958) demonstraram que TIBA (ácido triodobenzóico) e MH (hidrazina maleica) aumentaram a redistribuição do cálcio aplicado em folhas de macieira.

3. FORMA QUÍMICA DO NUTRIENTE

Nitrogênio

A uréia tem sido a fonte de N mais utilizada. Suas vantagens compreendem a grande porcentagem de nitrogênio, podendo ser utilizada em concentrações altas sem ser fitotóxica. A uréia é absorvida, metabolizada e translocada rapidamente (Klein & Weinbaum, 1984). Além da uréia, NH_4-N e NO_3-N podem também ser absorvidos e metabolizados pela planta (Weinbaum & Neumann, 1977). Também a aplicação simultânea destas 3 fontes de N pode aumentar a absorção de cátions (Alexander & Schroeder, 1987). Bons resultados foram obtidos com a aplicação de uréia-NH_4NO_3 na relação 1:1. As gotas desta solução equimolar não secam tão rápido quanto às da uréia ou do nitrato de amônio, por causa de sua higroscopicidade muita alta.

Outro fator importante na absorção de uréia é o pH da solução, que tem ótimo variável, dependendo da planta. Kannan (1991) cita

trabalhos em que a melhor absorção por folhas de macieira ocorre entre pH de 5,4 a 6,6, enquanto Rosolem et al. (1990) encontraram absorção mais rápida por folhas de algodoeiro em pH 4,0 ou menor (Figura 8).

Fósforo

Silberstein & Wittwer (1951) demonstraram que H_3PO_4 é absorvido mais rapidamente que outros compostos orgânicos e inorgânicos. Estes resultados foram confirmados por Yogaratnan et al. (1981), em folhas de macieira, que absorveram mais P de H_3PO_4 que de fosfatos de potássio, sódio e cálcio.

Existe considerável variação entre as diferentes fontes de fósforo (Barel & Black, 1979a), conforme Tabelas 2 e 3. Apesar do ortofosfato ser relativamente mais absorvido tanto no milho quanto na soja, no caso da soja sua translocação foi mínima. Além disso, quando se utiliza polifosfatos de amônio, as

Tabela 2. Máxima quantidade de fósforo tolerada por folhas de milho e soja, em função da fonte de nutriente.

Fonte de Fósforo(1)	Máxima Tolerância		
	Milho		Soja
	-------	µgp/cm²	------
Ortofosfato	120		80
Pirofosfato	220		160
Tripolifosfato	370		220
Tretapolifosfato	370		220
Trimetafosfato	370		280
Tetrametafosfato	400		280
Fosforil triamida	340		80
Hexamida fosfonitrilica	190		340

(1) Os diversos fosfatos foram aplicados na forma de amônio a pH 7,0.

Tabela 3. Teores de fósforo em folhas jovens de milho e soja em função de fontes de fósforo.

Fonte de Fósforo*	P nas folhas	
	Milho	Soja
	---------- % ----------	
Sem fósforo	0,32	0,37
Ortofosfato	0,34	0,41
Tripolifosfato	0,35	0,40
Tetrapolifosfato	0,33	0,40
Trimetafosfato	0,34	0,41
Tetrametafosfato	0,33	0,41

quantidades que se conseguiu aplicar foram maiores em até 3 vezes (Barel & Black, 1979b).

As soluções neutras de tri e tetra-polifosfatos de amônio demoram bastante para secar e se cristalizar. Durante este tempo a absorção de P persiste. Por outro lado, a solução neutra de sais amônio do ácido fosfórico seca rapidamente, deixando na superfície da folha um resíduo seco branco.

o pH da solução em que a absorção de P é máxima difere com a fonte empregada (Reed & Tukey, 1978), pois a absorção por crisântemo foi máxima de pH 3 a 6 para fosfato de sódio, e pH 7,0 a 10,0 para o fosfato de potássio.

Potássio

Tradicionalmente o K é usado em fertilizantes foliares como sulfato, nitrato, cloreto ou fosfato. De acordo com Chamel (1988), a ordem decrescente de absorção de sais potássicos é a seguinte: K_2CO_3 > KCl-HNO_3 - KH_2PO_4 > K_2SO_4. A ordem obedece à ordem de solubilidade em água e as propriedades higroscópicas dos sais. Considerando sais potássicos de fósforo, sulfato, nitrato e cloreto, absorção se correlacionou muito bem com a solubilidade, mas a correlação foi negativa (Tabela 4, de Shafer & Reed, 1986). Entretanto dentre diversos sais com enxofre ou com fósforo, segundo os mesmos autores, há correlação negativa com o peso molecular, e não com a solubilidade (Tabela 5). Dentre as fontes orgânicas de K, existe correlação negativa com o peso molecular dos compostos (Tabela 6). Compostos orgânicos de K com peso molecular baixo foram mais eficientes que os compostos inorgânicos.

Tabela 4. Absorção total de K (^{86}Rb) por folhas de soja, de compostos inorgânicos de RB, após 48 hs de aplicação.

Composto	Absorvido	Peso Molecular	Solubilidade
	%		
Ortofosfato	28	182,5	-
Sulfato	4	267,1	42,4
Nitrato	4	147,5	44,3
Cloreto	4	120,9	77,0
Coeficiente de correlação	-	0,03	-0,99

Tabela 5. Absorção total de K (^{86}Rb) de fontes inorgânicas por folhas de soja.

Composto	Absorvido	Peso Molecular	Solubilidade
Compostos de Enxofre	%		
Tiossulfato	9,5	190,4	96,1
Sulfato	8,8	174,3	11,1
Sulfito	8,4	119,2	107,0
Persulfato	1,5	270,4	-
Coeficiente de correlação		-0,81	0,05
Compostos com Fósforo			
Ortofosfato	34,4	135,1	149,0
Pirofosfato	22,5	216,2	S
Metafosfato	18,1	292,2	S
Trifosfato	13,5	448,5	-
Polifosfato	0,8	-	-
Coeficiente de correlação		-0,78	-

Tabela 6. Absorção total de K (^{86}Rb) de fontes orgânicas de potássio por folhas de soja.

Composto	Absorvido	Peso Molecular	Solubilidade
	%		
Tioacetato	48,0	114,2	S
Acetato	47,3	98,1	255,6
Formato	46,4	84,1	331,0
Succinato	43,0	194,2	S
Malato	35,4	210,2	S
Propionato	33,8	150,1	58,5
Piruvato	18,3	126,1	S
Aspartato	12,9	196,2	S
Citrato	12,0	268,2	167
Glutamato	10,7	210,2	S
Coeficiente de correlação		-0,87	

A Figura 9 de Shafer & Reed (1986), mostra a absorção e translocação do K de algumas fontes, após 48 horas. A translocação máxima foi de 13% do aplicado. Dentre os compostos inorgânicos, foi obtido um coeficiente de correlação entre absorção e translocação de 0,90, mostrando que quanto maior a absorção, maior a translocação. Para os compostos orgânicos nao foi notada correlação significativa entre absorção e translocação.

Cálcio

As fontes de cálcio mais utilizadas são: $Ca(NO_3)_2$, $CaCl_2$, mais algumas formas quelatizadas, com EDTA ou ácido polifenólico.

O cálcio aplicado como $CaCl_2$ é retido facilmente na cutícula de frutos de maçã, seja adsorvido, seja na forma trocável (Chamel, 1983). O abaixamento do pH da solução diminui bastante a retenção cuticular (Figuras 3 e 4), melhorando a permeabilidade.

Bremer et al. (1986) demonstraram que o Ca quelatizado proporcionou melhores resultados no controle de "bitter pit" em maçã que os sais (Figura 10), e ainda melhorou as condições dos frutos após o armazenamento.

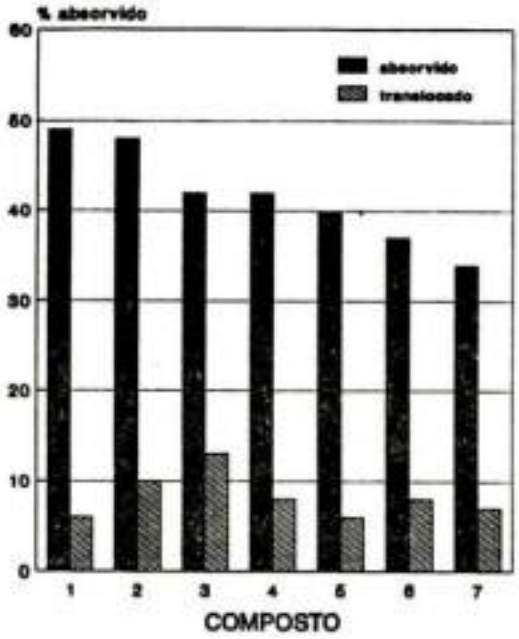


Figura 9. Absorção e translocação de potássio em função de fontes do nutriente: 1. Tioacetato; 2. Acetato; 3. Succinato; 4 Lactato; 5. Biocarbonato; 6. Nitrito; 7. Ortofosfato.

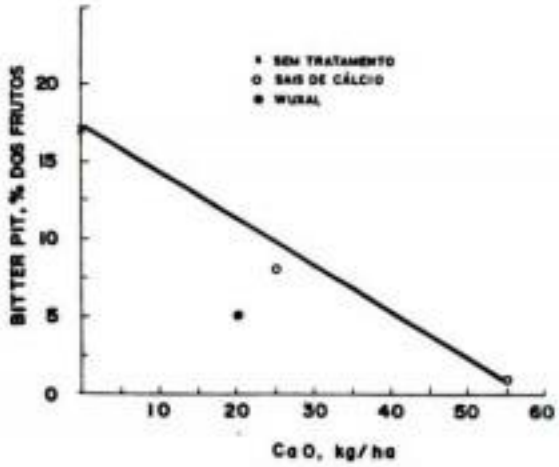


Figura 10. Controle de "bitter pit" em maçã por saisde cálcio e cálcio quelatizado.

Magnésio

O sulfato de magnésio é a fonte mais tradicional do nutriente. Carregadoras alternativos seriam o MgO, $MgCl_2.6H_2O$, $Mg(NO_3)_2.6H_2O$ e quelatos (Mg-EDTA). Medidas de condutividade sugerem que a absorção do Mg do Mg-EDTA deve ocorrer quando a umidade relativa do ar é maior que 65%, enquanto que o sulfato requereria umidade relativa maior que 80% para ser absorvido (Alexander & Schroeder, 1987).

O $MgCl_2$ é mais eficiente que $MgSO_4$ em função de sua maior higroscopicidade (Webster, 1985), enquanto que o MgO causa menor fitotoxidez que o $MgSO_4$ (Haub, 1986).

Muller (1986) relata que os compostos de magnésio apresentaram a seguinte ordem decrescente de absorção: citrato, sulfato, glutamato e asparaginato. Por outro lado, Razeto e Salas (1986), relatam que o nitrato de magnésio foi mais efetivo que o sulfato em corrigir deficiência em citrus.

Estudando "die back" em videira, Beseli & Fregoni (1986) encontraram a seguinte ordem crescente de eficiência de absorção de Mg: óxido, Sulfato, Nitrato, Cloreto = quelato "protalosato".

Boro

As fontes tradicionais de boro são o Borax e o Ácido Bórico, não tendo sido encontradas referências comparando estas fontes.

Um aspecto importante é que Shu et al. (1991) determinaram que a absorção de B é máxima em pH 7 a 8. Este pH é próximo ao melhor pH para absorção de Zn, mas em soluções multinutrientes podem ocorrer problemas, pois a uréia (Rosolem et al., 1990), o fósforo e potássio (Rosolem, 1984) e cálcio (Chamel, 1988) são melhor absorvidos em pH bem mais baixo.

Cobre

A absorção de cobre depende do sal utilizado. O sulfato é significativamente menos absorvido que o nitrato ou acetado (Chamel, 1988). Entretanto a deficiência pode ser corrigida com $CuSO_4$ ou calda bordalesa (Ritter, 1980).

Ferro

Ferrandon & Chamel (1988) mostraram que o Fe do $FeSO_4$ era mais absorvido que o do Fe-EDTA, não havendo grandes diferenças quanto à translocação. Entretanto os mesmos autores (1989) demonstraram que o Fe que foi considerado absorvido no 1º trabalho, na realidade havia ficado retido nas gorduras epicutilares. Quando o sulfato foi quelatizado com EDTA, EDDHA ou DTPA tanto, a absorção como a translocação foi melhorada em relação à aplicação do sal (Tabela 7).

Tabela 7. Efeito de agentes quelatizantes na absorção e translocação do Ferro.

Forma aplicada	Absorvido (do aplicado)	Translocado (do absorvido)
	---------- % ----------	
Sulfato	0,9 b	7,1 c
EDTA	19,9 a	26,8 a
EDDHA	15,0 a	19,4 b
DTPA	14,1 a	22,0 ab

Manganês

A fonte mais tradicional de manganês é o $MnSO_4$. Existem diversos relatos de correção de deficiências com muito mais eficiência via foliar que via solo, utilizando-se o $MnSO_4$ (Kannan, 1991). Entretanto, parte do $MnSO_4$ fica retida na barreira cuticular, não sendo efetivamente absorvida pela folha (Ferrandon & Chamel, 1988).

O $MnCl_2$ é menos retido na cutícula que o $MnSO_4$ e o Mn-EDTA praticamente não apresenta retenção. O Mn-EDTA é ainda bem mais sujeito à lavagem após a aplicação que o sulfato.

Entretanto os mesmos autores demonstraram que o $MnSO_4$ é absorvido em proporção maior que o Mn-EDTA, embora a translocação nesta última forma tenha sido bem mais eficiente. Em outro experimento Ferrandon & Chamel (1989) mostraram que a absorção de Mn na forma de sulfato, EDTA ou EDDHA foi semelhante, mas a quelatização com DTPA proporcionou melhor absorção (Tabela 8). Por outro lado, somente o EDTA promoveu melhor translocação do nutriente.

Tabela 8: Influência de agentes quelatizantes na absorção foliar e translocação de manganês.

Forma aplicada	Absorvido (do aplicado)	Translocado (do absorvido)
	---------- % ----------	
Sulfato	20,8 b	1,5 b
EDTA	26,9 ab	7,9 a
EDDHA	24,6 ab	1,8 b
DTPA	34,1 a	1,6 b

Tendo-se em conta somente a absorção, a eficiência do Mn-EDTA é 7,7 vezes menor que a do $MnSO_4$. Entretanto quando se considera somente a translocação a situação se inverte e o Mn-EDTA é 60 vezes mais eficiente. Combinando-se os processos Ferrandon & Chamel (1988) chegaram à conclusão que o Mn-EDTA seria 8 vezes mais eficiente que o $Mn-SO_4$.

Em condição de campo, em pomares de laranja, Razeto & Salas (1986) mostraram que, embora tenha havido tendência não significativa do Mg-seguestrene aumentar a produção por árvore (Tabela 9), o sulfato foi mais eficiente em corrigir a deficiência nas folhas (Figura 11). Estas observações reforçam as conclusões de Ferrandon & Chamel (1988) quanto à absorção e translocação das formas de Mn.

Tabela 9. Efeito de adubos foliares na produção de laranja.

Produto	Concentração	Produção
Testemunha	-	100
Sulfato de magnésio	2,00	98
Nitrato de magnésio	1,20	101
Sulfato de manganês	0,12	97
Manganês quelado (sequestrene)	0,12	117
Sulfato de zinco	0,20	106
Zinco quelado (sequestrene)	0,12	71
$MgSO_4$ + $MnSO_4$ + $ZnSO_4$	-	100
$MgSO_4$ + Mn + Zn (quelados)	-	46

Tabela 10. teores de Zn em folhas de cafeeiro, em função de solventes de óxido de zinco.

Tratamentos	Teor de Zn
Água	9,8 a
Ácido salicílico	19,3 a
Ácido acético	20,0 a
Sulfato de zinco	44,8 b
Ácido sulfúrico	56,7 bc
EDTA	71,6 c
Ácido nítrico	114,2 d
Ácido cloridrico	118,8 d

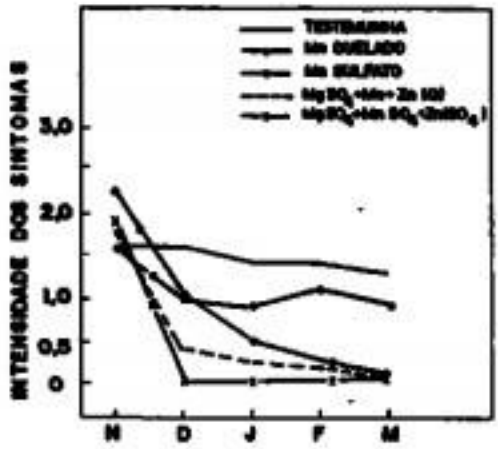


Figura 11. Intensidade de sintomas de amarelecimento de folhas de laranjeira tratadas com diversos sais e quelatos.

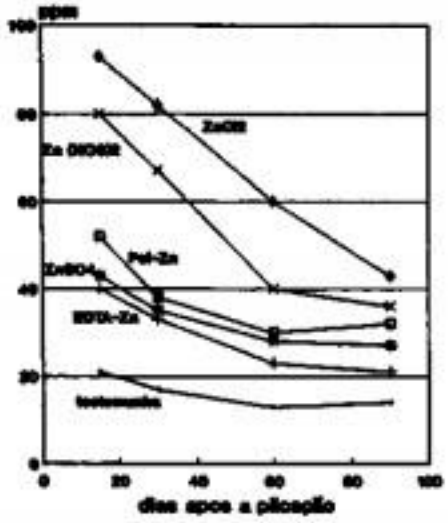


Figura 12. Teores foliares de Zn em cafeeiros tratados com diferentes fontes de nutrientes.

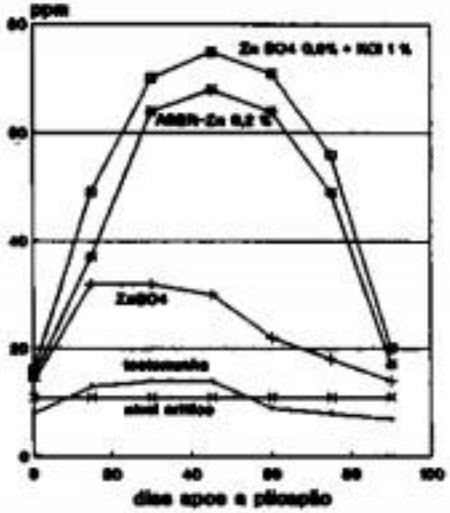


Figura 13. Teores de Zn em folhas de cafeeiro, em função de fontes orgânicas e inorgânicas do nutriente.

Molibdênio

Molibdato de amônio ou ácido molibdico podem ser usados como fonte de Mo, mas o molibdato de sódio tem sido mais empregado. Não foram encontradas, na literatura, comparações entre as fontes de Mo.

Zinco

Diversos solventes foram testados em solubilizar o óxido de zinco, e aplicados em folhas de cafeeiro (Tabela 10). A ordem decrescente de absorção foi: ácido cloridrico, ácido nitrico > EDTA, ácido sulfúrico > ácido acético, ácido salicilico (Moraes et al., 1978). Resultados obtidos por Garcia e Salgado (1981) confirmaram estas observações, mostrando, em condição de campo na cultura do cafeeiro, que não há vantagem em se utilizar de quelatos de zinco (Figura 12).

Entretanto, Parducci & Camargo (1990) mostraram que o quelato do AGER-Zn (marca Reg.) foi muito mais eficiente em aumentar o teor de Zn em folhas de cafeeiro que o sulfato, e mesmo mais eficiente que a mistura de sulfato de Zn com cloreto de potássio (Figura 13).

Ferrandon & Chamel (1988) mostraram, entretanto, que boa parte do Zn do sulfato e mesmo do cloreto ficam retidos na cuticula, ao contrário do Zn-EDTA. Por outro lado, o Zn-EDTA é mais sujeito a perdas por lavagem (Tabela 11).

Tabela 11. Lavagem de Fe, Mn, e Zn de folhas tratadas com os nutrientes na forma de SO_4 ou EDTA.

Nutriente	EDTA	SO_4^{2-}
	----------% do aplicado----------	
Ferro	56	8
Manganês	87	1
Zinco	49	25

O Zn do sulfato é mais absorvido que dos quelatos Zn-EDTA, Zn-EDDHA e Zn-DTPA (Tabela 12), e a translocação relativa destas fontes de Zn é semelhante (Ferrandon & Chamel, 1989).

Portanto, considerando-se o processo de absorção, a eficiência do Zn-EDTA é 1,4 vezes menos eficiênte que o sulfato. Na translocação o quelato parece ser 1,5 veres mais eficiente, o que resulta numa eficiência média do quelato em relação ao sulfato igual a 1,0 (Ferrandon & Chamel, 1988).

Tabela 12. Influência de agentes quelatizantes na absorção foliar e translocação do zinco.

Forma aplicada	Absorvido (do aplicado)	Translocado (do absorvido)
	%	
Sulfato	74,4 c	7,7 a
EDTA	24,5 b	10,6 a
EDDHA	3,7 c	10,0 a
DTPA	5,7 a	7,5 a

Existem poucos trabalhos considerando estes aspectos quando se aplica soluções multinutrientes. Entretanto Chamel & Ganbonnet (1982) mostraram que o Cu é mais retido na cuticula que Zn, que é mais retido que o Mn (Figura 14). Este fato pode ter importância prática, pois a aplicação de Cu reduziu drasticamente a retenção cuticular do Zn, mostrando que existe alta afinidade da cutícula pelo Cu. Este fato, embora possa tornar o Zn mais lavável, pode também melhorar a absorção do nutriente pelas folhas.

Por outro lado, Chamel et al. (1982) em experimentos cuticulas isoladas, demonstraram claramente que o zinco contido em diversos fungicidas foi retido na barreira cuticular.

Os resultados obtidos com Zn quelatizado, mostrando menor absorção, devem estar relacionadós ao tamanho das moléculas, grandes no caso do quelato, que resulta em menor penetração cuticular e nos tecidos adjacentes.

Por outro lado, em trabalhos de avaliação da eficiência da adubação foliar com zinco, não é suficiente a avaliação do teor foliar (que depende da técnica de lavagem), devendo ser avaliado outro parâmetro que estime a translocação do nutriente.

4. USO DE ADJUVANTES

O termo adjuvante é um coletivo que inclui todos os aditivos químicos que intensificam a absorção ou modificam as soluções ou sistemas pulverizados. Deve-se considerar que todos os surfactantes podem ser incluídos como adjuvantes. Surfactantes são agentes ativos em superfícies, com a função primária de reduzir a tensão superficial de um líquido (solução pulverizada) ou a tensão interfacial entre dois líquidos. Adjuvantes são produtos que facilitam a ação de substâncias pulverizadas, modificando as características da formulação aplicada ou alterando as propriedades do composto utilizado. Os adjuvantes podem ser agrupados de acordo com o tipo de ação em três grandes grupos: (a) ativadores, agentes molhantes, penetrantes e óleos; (b) modificadores da pulverização,

adesivos, espalhantes, depositadores, formadores de filme, espumantes e agentes espessantes; (c) modificadores de utilidade, emulsificantes, dispersantes, agentes estabilizantes, agentes acopladores, co-solventes, agentes compatibilizantes, agentes tampão e agentes anti-espumantes.

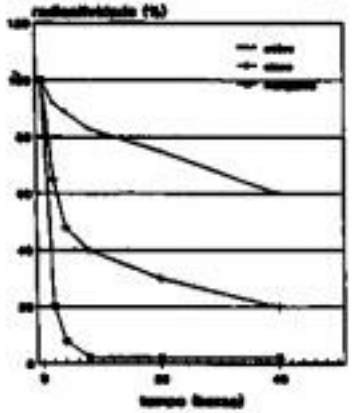


Figura 14. Retenção cuticular cobre, zinco e manganês.

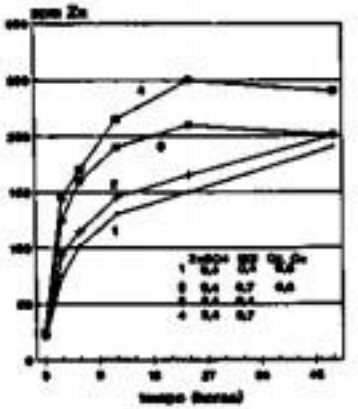


Figura 15. Teores de zinco em folhas de cafeeiro em função de misturas aplicadas com $ZnSO_4$.

Dependendo de sua ionização em água, os surfactantes podem ser classificados em não-iônicos e iônicos. Os surfactantes não-iônicos pouco ou não se ionizam em água e não possuem particula carregada. Os surfactantes iônicos ionizam-se em água e a porção ativa da molécula pode apresentar carga positiva (catiônica) ou negativa (aniônica).

Num sentido amplo, a própria utilização de uréia ou KCl na solução, com intuito de modificar a absorção de outro nutriente, seria entendida como uso de adjuvantes.

Um exemplo já discutido, seria a utilização de soluções equimolares de Uréia-NH_4NO_3. Outro exemplo seria a interferência do KCl na interação negativa Zn x Cu. Cordeiro et al. (1990) demonstraram que a interação negativa é importante em mudas de café, mas é minorada quando se utiliza KCl na solução aplicada (Figura 15).

Segundo Neumann & Giskin (1979), os surfactantes não iônicos têm proporcionado melhores resultados em adubação foliar, e entre os surfactantes não iônicos, existem evidências de que os compostos de organossilicone permitem melhor absorção e metabolização do adubo foliar do que os compostos de carbohidratos, como por exemplo, o monooleato polixietileno sorbitan e o isooctil-fenoxipolioxietilenogligol, que são dos mais utilizados (Tabela 13).

Tabela 13. Efeito de NPKS em feijoeiro em função do adjuvante utilizado.

Tratamento	Produção Relativa
Água	100
NPKS + TWEEN 80	131
NPKS + L77	196
NPKS + L77 + $CaSO_4$	166

De acordo com Chamel (1988), a adição de um agente molhante é necessária para assegurar a aderência das gotas em superfícies de difícil molhamento. Entretanto nenhum dos produtos testados - monolaurato polioxietileno sorbitan (teween 20), octilfenoxi polietoxi etanol (triton X100), lauril sulfato de sódio (Empicol LM), dialquil sulfosuccinato de sódio modificado (Montaline 1304) ou sal sódico do ácido dioctil sulfosuccínico (Super Montaline SLT), melhorou significativamente a absorção de potássio.

O dimetil sulfóxido (DMSO) tem gerado interesse por causa de sua capacidade em aumentar a penetração de substâncias nas folhas. Experimentos relatados por Chamel (1988) revelaram que o DMSO pode aumentar a absorção de potássio ou ferro (Tabela 14 no Anexo), dependendo do sal utilizado. Entretanto, a absorção de fosfato não foi modificada pelo DMSO, possivelmente por causa da baixa solubilidade de fosfatos em DMSO.

As interações observadas com adjuvantes são complexas, pois o próprio DMSO em altas concentrações pode inibir a absorção de K.

O DMSO não tem efeito na translocação dos nutrientes, e seu efeito na absorção pode, pelo menos parcialmente, ser atribuído a sua alta higroscopicidade.

O efeito do adjuvante depende de sua concentração, e o próprio produto pode ser tóxico. Stein & Storey (1986) testaram diversos adjuvantes na cultura da soja. Nas Tabelas 15 a 19 (no anexo) estão os níveis de cada um que podem ser utilizados sem danos de fitotoxidez. De todos os adjuvantes experimentados, glicerol, lecetina e pluronic L-121 mostraram-se promissores quanto à melhoria do teor de clorofila, absorção de N ou P (Tabela 20 no anexo), quando aplicados na dose de 0,43 µl por vaso. Quando Stein & Storey (1986) aplicaram o produto até haver escorrimento, diversos produtos promoveram melhor absorção de N e P (Tabela 21 no Anexo), mas houve problemas sérios de fitotoxidez. De maneiro geral, quanto maior foi a absorção, maior foi a severidade dos sintomas de fitotoxidez.

Em resumo, nas Tabelas 21 e 22 (no Anexo), encontram-se relacionados produtos que têm se mostrado mais promissores como adjuvantes nas soluções para adubação foliar.

USO DE ADUBAÇÃO FOLIAR

A seguir é mostrado um resumo das situações em que a adubação foliar tem sido usada com sucesso, considerando apenas a literatura dos últimos anos. Diversos outros exemplos podem ser encontrados na literatura existente no Brasil.

Tabela 23. Com base na literatura dos últimos anos, exemplos de situações onde a adubação foliar foi empregada com sucesso.

CULTURA	NUTRIENTE	EFEITO	FONTE
Algodão	Uréia 35 kg/ha	Maior produção	Clapp, 1987
	Ca, Cu, Zn, Fe, Mn	Melhor qualidade de semente Maior produção	Sawan et al., 1989
	Ca, Superfosfato + micro	Maior produção	Sorour et al. 1986
	KNO_3	Maior produção Melhor qualidade	Oosterhuis et al., 1990
Amendoim	Fósforo	Maior produção	Sistani & Morril, 1989
	Uréia aos 35 dias	Maior produção	Selvan et al., 1989
Café	B, Ca, Ca + B	Maior pegamento de flores e maior produção	Santinato et al., 1990
Cana	NPK + micro	Maior produção	Yadav et al., 1988
Cebola	B e Zn	Melhor foliar que solo	Baghel et al., 1988
Cenoura	14-12-14 + 1% Mg	Maior produção	Subham, 1988
Colza	Uréia florescimento	Maior produção	Li & Wang, 1988
Couve-Flor	Molibdato de sódio-250 kg/ha	Maior produção	Sharma et al., 1988
Girassol	Fósforo	Maior produção Maior % de óleo	Kane et al., 1990

Continua

Tabela 23 Continuação

Goiaba	Uréia e Borax	Frutos maiores Melhor qualidade	Pandey et al., 1988
	Uréia 2% e $ZnSO_4$ 0,4%	Precocidade	Pandey et al., 1989
Laranja	Uréia	> % amônia na folha > nº de flores	Lova et al., 1988
	$MgSO_4$ 2,0% B 0,1%	Maior produção	Ghosh et al., 1989
	K, 2 meses após florescimento	Frutos maiores	Miller & Hofman, 1988
Maçã	Mistura de micro	Maior produção	Nirmala & Tewari, 1987
	Uréia no outono	Maior crescimento por 2-3 anos	Han et al., 1989
	$CaCl_2$	Sem translocação > % Ca em frutos tratados	Yim et al., 1989
Manga	Uréia 4-6% + NAA	Melhor qualidade	Baghel et al., 1989
	Uréia 2,0%	Menor queda de frutos	Chandre, 1988
	KNO_3	Indução ao florescimento	Maas, 1989
	Uréia 4-6%	Maior retenção de frutos	Baghel et al., 1987a
	Uréia 6% + NAA	Frutos maiores	Baghel et al., 1987b
	KNO_3	Precocidade de florescimento	Sergent & Leal, 1989
Milho	Zn	Maior produção	Abd El-halen et al., 1990
Morango	$CaCl_2$ antes da colheita	Maior tempo de armazenagem Retardamento da maturação	Chéour et al., 1990

Continua

Tabela 23 Continuação

Pára	Uréia após colheita	Maior produção	Sanchez et al., 1990
Quiabo	Zn + Cu	Maior produção	Hazra et al., 1987
Soja	Boro	Maior nº ramos Maior nº vagens	Shon & Blevins, 1990
	Zn	Maior produção	Tahalooth et al., 1989
Trigo	P(DAP) + MO	Maior produção	Rusu et al., 1988
	Uréia 20 kg/ha fim do perfilhamento	Maior produção	Sarandon & Giambelli, 1990
Uva	K_2SO_4 1,0%	Melhor qualidade	Munish et al., 1988
	$ZnSO_4$ 0,2%	Maior produção Melhor qualidade	Kumar et al., 1988
	Ca e Mg, na forma de protalosato (quelatos) e NO^{-3}	Controle de die back dos ramos	Boselli e Fregoni, 1985

LITERATURA CITADA

ABD EL-HALEM, A.K.; M.A.W. KORTAM; A.S.A. EL-NOEMANI & D.M. EL-HARIRI. Effect of irrigation intervals, nitrogen and Zn on maize, **Pol'nohos-podasstvo , 36**(4):320-331. 1990.

ALEXANDER, A. **Foliar Fertilization**. Dordrecht, Marttinus Nijhoff Publ, 1986. 488p.

ALEXANDER, A. & M. SCHROEDER. Modern Trends in foliar fertilization. **J. Plant Nutrition, 10**(9-16):1391-1399, 1987.

AUDUS, L.J. **The physiology and biochemistry of herbicidas**. 2ª ed. New York, John Wiley & Sons Ed., 1976. 467p.

BAGHEL, B.S. & D.A. SARNAIK. Comparative study of soil and foliar application of zinc and boron on growth, yield and quality of onion. **Res. and Development Report., 5**(1-2):76-79, 1988.

BAGHEL, B.S.; R.K. SHARMA & P.K.R. NAIR. Influence of preflowering spray of urea and NAA on fruit retention of mango. **Progressive Horticulture, 19**(3-4):200-202, 1987a.

BAGHEL, B.S., R.K. SHARMA & P.K.R NAIR. Efficiency of preflowering spray of urea and NAA on physical standards of mango fruits **Progressive Horticulture**, 19(3-4):231 234. 1987B.

BAGHEL, B.S.; R K. SHARMA & P K.R. NAIR. Chemical constituents of mango fruits as influenced by foliar feeding of urea and NAA. **Guzarat agric. Univ. Res. J.**, 15(1):36-40, 1989.

BAREL, D. & C.A. BLACK. Foliar application of P. II Yield responses of corn and soybeans sprayed with various condensed phosphates and P-N compounds in greenhouse and field experiments. **Agron. J.**, 71:21-24, 1979a.

BAREL, D. & C.A. BLACK. Foliar application of P. I. Screening of various inorganic and organic phosphorus compounds. **Agron. J.**, 71:15-21, 1979b.

BOARETTO, A.E. & C.A. ROSOLEM. **Adubação foliar**. Campinas, Fundação Cargill. 1989. 669p.

BESELLI, M. & M. FREGONI. Possibilities of control of the stem dieback of grape by foliar applications. In: Alexander, A. (ed.). **Foliar Fertilization**. Dordrecht, Marttinus Nijhoff Publ. 1986. p. 214-230.

BREMER, H.; W. MAYTER & H.J. TERSCHUREN. Field trials with wuxal suspensions in apples. In: ALEXANDER, A. Foliar Fertilization. Dordrecht, Martinus Nijchoff Publ. 1986. p. 292-299.

BUKOVAC, M.J. & S.H. WITTWER. Absorption and mobility of foliar applied nutrients. **Plant Physiol.**, 32:428-435, 1957.

CAMARGO, P.N. & O. SILVA. Manual de adubação foliar. São Paulo, aL Libreria e Herbattaia. 1975. 258p.

CHAMEL, A.; A.M. ANDRANI & J.F. ELOY. Distribution of foliar applied Boron measured by spark-source mass spectrometry and laser-probmass spectrography. **Plant Physiol.**, 67:457, 1981.

CHAMEL, A. Utilization of isolated apple fruit cuticles to study the behavior of calcium supplied directly to the fruit. **Acta Hortic.**, 138:23, 1983.

CHAMEL, A. Foliar uptake of chemicals studied with whole plants and isolated cuticles. In: NEUMANN, P.M. ed. Plant Growth and Leaf Applied Chemicals. CRC Press, Inc., Boka Raton. 1988. p.27-50.

CHAMEL, A. & J.F ELOY. Some applications of the laser probe mass spectrograph in plant biology. **Scanning Electron Microsc.**, II:841-851, 1983.

CHAMEL, A. & B. GAMBONET. Study with isolated cuticles of the behavior of zinc applied to leaves. J. Plant Nutrition, 5:153, 1982.

CHAMEL, A.; R.D. MARCELE & J.F. ELOY. Cuticular retention in vitro and localization of Zn after a foliar application of zinc containing fungicides. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 107:804-809,1982.

CHAMEL, A. & P. NEUMANN. Foliar absorption of nickel: Determination of its cuticular behaviour using isolated cuticles. J. Plant. Nutr., 10:99-111, 1987.

CHANDRA, A. Note on control of preharvest fruit drop in mango. Current Agriculture, 12(1-2):91-92, 1988.

CHÉOUR, F.; C. WILLEMOT; J. ARUL; Y. DESJARDINS; J. MARHLOUF; P.M. CHAREST & A. GROSSELIN. Foliar application of calcium chloride delays postharvest ripening of strawberry.Journal of the Am. Soc. for Hort. Sci, 115(5):789-792, 1990.

CLAPP, J.G. Jr. Foliar Nitrogen Application. In: 194th National Meeting of American Chem. Soc., New Orleans. 1987, 8pp. (618).

CORDEIRO, A.T.; J.D. ALVES; A.B. RENA & V.H. ALVAREZ. Absorção foliar de zinco pelo cafeeiro na presença de cloreto de potássio e oxicloreto de cobre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16, FMVZ Manoel C. Gonçalves/IBC, Espirito Santo do Pinhal. 1990. Trabalhos Apresentados. Esp. S. do Pinhal, IBC. 1990. p.34-35.

FAUST, M. & C.B. SHEAR. Calcium transport patterns in apples. Pl. Inst. Sadow Skiarniewice, Ser. E. nº 3, pp.423-436. 1973.

FERRANDON, M. & A. CHAMEL. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic forms. J. Plant. Nutrition, 11(3):247-263, 1988.

FERRANDON, M. & A. CHAMEL. Foliar uptake and translocation of iron, zinc and manganese. Influence of chelating agents. Plant Physiol. Biochem., 27(5):713-722, 1989.

FRANCESCHI, V.R. & R.T. GIAQUINTA. Specialized cellular arrangements in legume leaves in relation to assimilate transport and compartmentation: Comparison of the paraveinal mesophyll. Planta, 159:415-422, 1983.

FREEMAN, B. & D.M. TURNER. The epicuticular waxes on the organs fo different varieties of banana differ in form, chemistry and concentration. Aust. J. Bot., 33:393-408, 1985.

GARCIA, A.W.R. & A.R. SALGADO. Absorção do zinco pelo cafeeiro através de sais e misturas quelatizadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 9, IBC/GERCA, São Lourenço, Resumos, IBC/GERCA, 1981. p. 39-47.

GHOSH, S.P.; A.N. VERMA & SHEO GOUIND. Nutritional requirement of bearing kashi mandarin orange trees in Meghaslaya. Horticultural Journal, 2(1):4-11, 1989.

HAAS, K. & J. SCHONHERR. Composition of soluble cuticular lipids and water permeability of cuticular membranes from citrus leaves. Planta, 146:262-265, 1979.

HALLAN, N.D. Growth and regeneration of waxes on the leaves *Eucalyptus*. Planta, 93:257-268, 1970.

HAN, A.; Y. ZENG & F. WANG Effects of autumn foliar applications of ^{15}N-urea on nitrogen storage and reuse in apple. J. o f. Plant Nutrition, 12(6):675-685, 1989.

HANSON, E.J. Movement of Boron out of tree fruit leaves. Hortscience, 26(3):271-275, 1991.

HAUB. G. Control of grape stalk necrosis by foliar nutrient sprays. In: Alexander, A. (ed.). Foliar Fertilization. Dordrecht, Marttinus Nijhoff Publ. 1986. p. 231-241.

HARDIN, J.W. & L.L. PHILLIPS. Atlas of foliar surface features in woody plants. VII. Rhus subj. Rhus of North America. Bull. Torrey Bot. Club, 112:1-10, 1985.

HAZRA, P.; T.K. MAITY & A.R. MADAL. Effect of foliar application of micronutrients on growth and yield of okra. Progressive Horticulture, 19(3-4):219-222, 1987.

HESS, D.F. Herbicide absorption and translocation and their relationship to plant tolerances and susceptbility. In: Duke, S.O. 2 ed.Weed Physiology1, Florida,vol.2. 1985. p. 192-214.

KANNAN, S. Penetration of iron and some organic sustances through isolated cuticular membranes. Plant Physiol., 44:517-521, 1969.

KANNAN, S. Lateral movement of cations in corn leaves. Plant Physiol., 61:706-707, 1978.

KANNAN, S. Role of Foliar Fertilization on Plant Nutrition. In: Balizar, V.C. & R.R. Duncan. Crop as enhancers of Nutrient Use. New York, Academic Press, Inc. 1991. 574p.

KENE, H.K.; S.T. WANKHADE & B.N. SAGARE. Influence of nutrients spray on yield and oil content sunflower. Ann. Plant Physiol., 4(2):246-248, 1990.

KESSLER, B. & Z.W. MOSCIKI. Effect of triodobenzoic acid and maleic hydrazine upon transport of foliar applied calcium and iron. **Plant Physiol.**, 33:80-72, 1958.

KLEIN, J. & S.A. WEINBAUM. Foliar application of urea to olive: Translocation of urea nitrogen as influenced by sink demand and nitrogen deficiency. **J. Amer. Soc. Hortic. Sci.**, 109(3):356- 360, 1984.

KUMAR, R.; K.S. CHAWHAN & A.S. SHARMA. A note on the effect of zinc sulphate on berry set panicle drying and quality of grapes cv. gold. **Haryana J. of Horticultural Sci.**, 17(3- 4):213-215, 1988.

LI, C.F. & C.F. WANG. Effect of nitrogen nutrition on pod development in rape. **Acta Agronomica Sinica**, 14(4):329-335, 1988.

LOUAT, C.J.; Y. ZHENG; K.D. HAKE. A new look at the krauskraybill hypothesis and flowering in citrus. In:INT.CITRUS CONGRESS, 6., Int. Citrus Congress, Tel. Aviv. 1988, Proceedings. Balaban Publ. vol.1. 1988, 475-483.

MASS, E.F. Potassium Nitrate foliar spray induces bloom in mango orchard. **Better Crops Int.**, 5(1):4-5, 1989.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. São Paulo, Ed. Agron. Ceres, 1980. p. 80-94.

MARSHALL, C. & F. WARDLAW. A comparative study of distribution and speed of movement of ^{14}C assimilates and foliar-applied ^{32}P- labelled phosphate in wheat. **Aust. J. Biol. Sci.**, 26:1-13, 1973.

MILLER, R.H. Apple fruit cuticles and the occurrence of pores and transcuticular canals. **Ann. Bot.**, 50:355-371, 1982.

MILLER, R.H. The multiple epiderm-cuticle complex of Medlan fruit *Mespillus germanica* L. **Ann. Bot.**, 53:779-792, 1984.

MILLER, R.H. The prevalence of pores and canals in leaf cellular membranes. **Ann. Bot.**, 55:459-471, 1985.

MILLER, R.H. The morphology and permeability of isolated cuticular membranes of *Haya carnosa* R. **Ann. Bot.**, 58:407-416, 1986.

MILLER, J.E. & P.J. HOFMAN. Physiology and nutrition of citrus fruit growth, with special reference to the "Valencia" a mini-review. In: INT. CITRUS CONGRESS, 6., Tel-Aviv, 1988. **Proceedings**, Balahan Publ.vol.1, 1988. 503-510.

MULLIKAN, C.R. & B.C. HANGER. Movement of foliar applied ^{45}Ca in Brussels sprouts. **Aust. J. Biol. Sci.**, 22:545-558, 1969.

MORAES, B.M. DE; J.E. PEREIRA; J.B. MATIELLO & J.A. OLIVEIRA. Estudo de algumas formulações químicas preparadas a partir de óxido de zinco em pulverização do cafeeiro. In: CONGRESSO BRAS. PESQUISAS CAFEEIRAS, 6, IBC/GERCA, Ribeirão Preto, **Resumos**, IBC/GERCA, Rib. Preto, 1978. p. 118-119.

MULLER, K. Influence of foliar fertilization on the yield and quality of different crops. In: Alexander, A. (ed.). **Foliar Fertilization**. Dordrecht, Marttinus Nijhoff Publ., 1986. p. 434-452.

MUNISH, M.; A. CHANDRA & R. YAMADAGNI. Note and physico-chemical characters of grade berries in cultivar Perlette as influenced by foliar application of chemicals. **Current Agric.**, 121(2):99-100, 1988.

NEUMANN, P.M. **Plant growth and Leaf-Applied Chemicals**.Boca Raton, CRC Press, 1988. 178p.

NEUMANN, P.M. & M. GISKIN. Rate season foliar fertilization of beans with NPKS: Effects of cytokimins, calcium and spray frequency. **Commun. Soil Sci. Plant. Analysis**, 10:579-589,1979.

NIRMALA, P. & J.D. TEMARI. Effect of foliar sprays of micronutrients on apple cv. Red Delicious. **Progressive Horticulture**, 19(3-4):189-191, 1987.

OKANO, K.; T. TATSUMI; T. YONEYAMA, Y. KONO & T. TOTSUKA. Investigation on the carbon and nitrogen transfer from a terminal leaf to the root systems of rice plant by a double tracer method with ^{13}C and ^{15}N. **Japn. J. Crop Sci.**, 52:331-341, 1983.

OOSTERHUIS, D.M.; S.D. WULLCHLEGGER; R. MAPLES & W.N. MILEY. Foliar-feeding of Potassium Nitrate in Cotton. **Better Crops with Plant Food**, 74(3):8-9, 1990.

PANDEY, D.K; R.A. PATHAK & R.K. PATHAK. Studies on the foliar application of nutrients and plant growth regulators in Sandarguava. J. Effect on yield and fruit quality. **Indian J Agric.**, 45(3-4):197-202, 1988.

PANDEY, D.K.; R.A. PATHAK & R.K. PATHAK. Note on the foliar application of nutrients and plant growth regulators in cultivar sandar guaya. II. Effect on ripening of fruits. **Indian J. Hortic.**, 46(1):28-30, 1989.

PARDUCCI, S. & R.P. CAMARGO. Micronutrientes para o cafeeiro. Campinas, Microquímica, 1990. 21p.

PENOT, M. Migrations libériennes chez *Tradescantia viridens*. Relation entre les quantites migreés et l'apport initial aux feuilles. **Physiol. Veg.**, 10:687-696, 1972.

PENOT, M. Hormone-directed transport in detached leaf. Phytohormonal competition. Acta Hortic., 80:75-78, 1978.

PENOT, M. & J. BERAUD. Phytohormones et transport orienté au nivel de la feuille isoleé de *Pelargonium zonale*. Compétition phytohormonales. Biol. Plant., 19:430-435, 1977.

RAZETO, B. & A. SALAS. Magnesium, manganese and zinc sprays on orange trees. In: Alexander, A. (ed.). Foliar Fertilization. Dordrecht, Marttinus Nijhoff Publ., 1986. p. 255-270.

REED, D.W. & H.B. TUKEY. Temperature and light intensity effects on epicuticular waxes and internal cuticular ultrastructure of Brussels spout and Caunation Leaf Cuticles. J. Am. Hortic. Sci., 107:417-420, 1982.

RINGOET, A.; R.V. RECHENMANN & A.J. GIELINK. Calcium accumulation in and possible excretion through guard and accessory cells of stomata and through bulliform cells. Z. Pflanzen-Physiol., 64:60-64, 1971.

RITTER, C.M. Fertilizer recommendation for Pennsilvania orchards. Pa. Fruit News, 59:19-24, 1980.

ROSOLEM, C.A. Adubação Foliar. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES AN AGRICULTURA BRASILEIRA, EMBRAPA/ANDA/POTAFÓS, Brasilia. 1984. Anais,Brasilia, EMBRAPA/ANDA/POTAFÓS, 1984. p. 419-449.

ROSOLEM, C.A.; A.E. BOARETTO; P.C.O. TRIVELIN & R.L. VICTÓRIA. Absorção de uréia via foliar pelo algodoeiro em função do pH ad solução. Pesq. Agropec. bras., 25(4):491-497, 1990.

RUSU, M.; V. MUNTEANU & M. METES. Problems in agrochemical soil optimization. III. Nutritional unbalances in wheat crops in Alba County. Analele Institului de Carostéri pentru Cereale in Plante Technic Fundulea, 56:277-283, 1988.

SANCHEZ, E.E.; T.L. RIGHETTI; D. SUGAR & P.B. LOMBARD. Response fo "Comice" pear trees to a postharvest urea spray. J. Horticultural Sci., 65(5):541-546, 1990.

SANTINATO, R.; C.A. SENA; A.A. SILVA & R.P. CAMARGO. Efeitos de ,P Ca e B via foliar no pegamento de floradas e frutificação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16, FMVZ Manoel C. Gonçalves/IBC, Espirito Santo do Pinhal, 1990. Trabalhos apresentados, Esp. S. do Pinhal, IBC. 1990. .p 36-38.

SARANDON, S.J. & M.C. GIANBELLI. Effect of foliar urea spraying and nitrogen application upon dry matter and nitrogen distribution in wheat. Agronomie. 10(3):183-189, 1990.

SAMAN, Z.M.; M.S. MADDAN-EL-DIN & B. GREGG. Effect of nitrogen fertilization and foliar application of calcium and micro-elements on cotton seed yield, viability and seedling vigour. **Seed Sci. Technol.**, 17(2):421-431, 1989.

SELVAM, V.S.; M.S.S. RAJAN & G.N.S. RAOD. Foliar application of urea boots irrigated groundnut yield. **Int. Arachis Newsletter**, 6:12-14, 1989.

SERGENT, E.; F. LEAL. Flowering induction in mango with KNO_3. **R. Faculdad Agronomia**, Univ. Central de Venezuela, 15(1-2)17-32. 1989.

SHAFER, W.E. & D.W. REED. The foliar absorption of potassium from organic and inorganic potassium Carriers. **J. of Plant Nutrition**, 9(2):143-157, 1986.

SHARMA, C.M.; J.K. SHARMA & R.S. MINHAS. Effect of molybdenum application on yield attributes and yield of caulifower. **Vegetable Sci.**, 15(1):101-104, 1988.

SHON, M.K. & D.G. BLEVINS. Foliar boron application increase the final number of branches and pods on branches of field grown soybeans. **Plant Physiology**, 92(3):602-607, 1990.

SHONHERR, J. & M.J. BUKOVAC. Preferential polar pathways in the cuticle and their relationship to ectodesmata. **Planta**, 92:189-201, 1970.

SHONHERR, J. & R. HUBER. Plant cuticles are poly-electrolytes with isoeletric points around three. **Plant Physiol.**, 59:145-150, 1977.

SHU, Z.H.; W.Y, WU & G.H. OBERLY. Boron uptake by peach leaf slice. **J. Plant Nutrition**, 14(8):867-881, 1991.

SIFTON, H.B. On the hairs and cuticle of labrados tea leaves. A developmental study. **Can. J. Bot.**, 41:199-207, 1963.

SILBERSTEIN, O. & S.H. WITTWER. Foliar application of phosphatic nutrients to vegetable crops. **Proc. Am. Soc. Hort. Sci.**, 58:179-190, 1951.

SISTANI, R.R. & L.G. MORRIL. Benefit of foliar spray phosphorus on peanuts in relation to gypsum and phosphorus application to soil. **J. Environ. Sci. and Health.** Part A, Environ. Sci. and Eng., A24(4):429-436, 1989.

SITTE, P. & R. RENNIER. Untersuchungen an cuticularen zeallwands-chichten. **Planta**, 60:19-40, 1963.

SOROUR, F.A.; H.S. ABOU-KHADRA & E. ABOU-AHMED. Effect of foliar spraying of urea, superphosphate and microelements on gorwth, boll setting and yield of cotton. **Egyptian J. Agron.**, 11(1-2):13-24, 1986.

STEIN L.A. & J.B. STOREY. Influence of adjuvants on Folia Absorption of Nitrogen and Phosphorus by Soybeans. **J. Amer. Soc. Hortic. Sci.**,111(6):829-832, 1986.

SUBHAN. Effect of concentration and interval of foliar fertilizer application on growth and yield of canot. **Buletin Penelatian Hortikultura, 16**(4):76-82, 1988.

THALOOTH, A.T.; M.H. TAHA & M.A. EL-SEESSY. Response of chemical composition and yield of soybean to foliar spraying of Zn and different phosphatic fertilizers. **Annals Agric. Sci.**, **34**(2):925-937, 1989.

YADAV, D.V.; N.P.S. YADUVANISHI; T. SINGH & K. SINGH. Micronutrients for increasing sugar-cane production under limited water supply. In: ANNUAL CONVENTION OF THE PAKISTAN SOC. SUGAR TECHNOLOGISTS,23., Lahore, 1988. **Proceedings**. 325-332.

YAMADA, Y.; S.H. WITTWER & M.J. BUKOVAC. Penetration of organic compounds through isolated cuticular membranes with special reference to ^{14}C-urea. **Plant Physiol.**, 40:179-175, 1965.

YIM, Y.J.; J.S. CHOI & S.B. KIM. The effects of begging materials and $CaCl_2$ sprays on the fruit calcium concentration in fruit-bagged apple tree. **J. Korean Soc. Hortic. Sci.**, 39(3):194-199, 1989.

YOGARATNAM, N.; M. ALLEN & D.W.P. GREENHAM. The phosphorus concentration in apple leaves as affected by foliar application of its compounds. **J. Hort. Sci.**, 56:255-260, 1981.

WEBSTER, D.H. Comparison of magnesium sulfate and THIS Mg chelate foliar sprays. Response of Mg deficient beautiful arcade apple seedling. **Can. J. Plant. Sci.**, 65:131-136, 1985.

WITTWER, S.H. Foliar absorption of plant nutrients. **Adv. Frontiers Plant Sci.**, 8:161-182, 1964.

WITTWER, S.H.; M.J. BUKOVAC & H.B. TUKEY. Advances in foliar feeding of plant nutrients. In: McVIKAR, N.H.: BRIDGER, G.L. & NELSON, L.B., ed. **Fertilizer Technology and Usage.** Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1963. p. 429-455.

WEINBAUM, S.A. & P.M. NEUMANN. Uptake and metabolism of ^{15}N-labelled potassium nitrate by French Prune leaves and the effects of two surfactants. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, 102(5):601-604, 1977.

Tabela 14. Efeito do DMSO (Dimetilsulfóxido) na absorção.

Fertilizante	DMSO	Aumento
	%	
Nitrato de potássio	0,2	84
	1,0	167
Cloreto de potássio	0,5	166
	1,0	151
Sulfato de potássio	0,5	0
	1,0	0
Sulfato de ferro	0,5	53
	1,0	54
Nitrato de ferro	0,5	0
	1,0	0
Fosfatos	0,5	0
	1,0	0

Tabela 15. Adjuvantes não fitotóxicos à soja em concentrações acima de 0,01% de ingrediente ativo.

Adjuvante	Classe	Forma Iônica(1)
ATPLUS 522	Ativador NaCl	A
AL - 1576	Na Dodecyl Benzene	A
CARBOWAX 200	Polietileno Glycol	-
GLYCEROL	Álcool	-
PROPILENO GLYCOL	Álcool	-
SORBITOL	Álcool	-
GELATINA	Proteina	-
LECITINA	Fosfato	Z
PLURONIC L - 121	Hidrocarbono etoxilado	N
AMIDO	Carbohidrato	-
PECTINA	Carbohidrato	-
ULTRAMET AOK	Sulfonato	A
ULTRAMET K	Sulfonato	A

(1) A ... aniônico
Z ... zwiteriônico
- ... não se aplica

Tabela 16. Adjuvantes não fitotóxicos à soja até a concentração de 1,0% (i.a.).

Adjuvante	Classe	Forma Iônica(1)
ATPLUS 300	Ester etoxilado	N
ATPLUS 526	Ester de ácido graxo	N
TWEEN 85	Hidrocarbono etoxilado	N
FIRST PRIZE	B. Thuringiensis pyertrina	N
GAFAC PE-510	Fosfato	A
AMWAY L.O.C.	Álcool primário alcoxilado	N
REGULAID	Álcool	N
ATLAS G 3300	Sulfonado	A
AEROSOL MA 80	Sulfonado	A

(1) N ... não iônico
A ... aniônico

Tabela 17. Adjuvantes não fitotóxicos à soja até a concentração de 0,25% (i.a.).

Adjuvante	Classe	Forma Iônica(1)
ATLOX 1045 A	Ester	N
TWEEN 80	Hidrocarbono etoxilado	N
BIO-FILM	Hidrocarbono etoxilado	A/N
TERGITOL NP-9	Hidrocarbono etoxilado	N
JET-WET	Hidrocarbono etoxilado	N
DMSO	Dimetil sulfóxido	-
URÉIA	Amina	-
URAN	Amina	-
AEROSOL AY-65	Sulfonado	A
AEROSOL OT-S	Sulfonado	A
COMPLEX	Sulfato	A
BUFFER X	Fosfato	A/N

(1) N ... não iônico
- ... não se aplica
A/N ... mistura aniônica, não iônico
A ... aniônico

Tabela 18. Adjuvantes não fitotóxicos à soja até a concentração de 0,50% (i.a.).

Adjuvante	Classe	Forma Iônica (1)
GAFAC RSP-710	Fosfato	A
AEROSOL OT-75	Sulfonadd	A
TRONIC	Álcool	A/N/C
SPAN 20	Hidrocarbono etoxilado	N
L 77	Silicone	N

(1) A ... aniônico
A/N/C ... mistura aniônica, não iônico, catiônico
N ... não iônico

Tabela 19. Adjuvantes não fitotóxicos à soja até a concentração de 0,01% (i.a.).

Adjuvante	Classe	Forma Iônica (1)
FORMAK	Sulfato	A
BIO-88	Hidrocarbono etoxilado	N
WEX	Hidrocarbono etoxilado	N
SATURALL	Hidrocabono etoxilado	N
ARMEEN 18-D	Amina	C

(1) A ... aniônico
N ... não iônico
C ... catiônico

Tabela 20. Efeito de adjuvantes na absorção de N e P pela soja, aplicação em gotas de 0,43 ml.

Tratamento	Clorofila	N	P
Sem foliar	100	100	100
Foliar sem adjuvante	102	103	100
Foliar + Glycerol	109	105	125
Foliar + Lecitina	109	105	120
Foliar + Pluronic L-121	113	105	108

Tabela 21. Efeito de adjuvantes na absorção de N e P pela soja, aplicação até escorrimento(1).

Tratamento	N	P	Fitotoxidade
Sem foliar	100	100	0
Foliar sem adjuvante	118	198	80
Glycerol	118	145	80
Sorbitol	122	133	80
Aerosol AT-75	129	186	100
L-77	131	224	100
Lecitina	149	281	100
Pectina	140	210	80
Amido	142	213	80
Complex	144	265	90
First Prize	151	327	100
Uran 75	142	259	80

(1) Concentração de 0,5% (i.a.).

Tabela 22. Adjuvantes mais promissores para uso em adubação foliar.

Uréia/NH_4-NO_3	Maior ABS cations
Organossilicone	Facilita penetração pelo estômato
Sacarose	Maior adesão
Amido	Menor risco de toxidez
Proteina hidrolisada	Maior translocação de Fe e Mn
EDTA	
DMSO	Maior ABS de K e Fe
Pectina(1)	
Complex(1)	Maior ABS de P e N
First Prize(1)	
Glicerol	Maior ABS de P e N
Pluronic L-121	

(1) podem ser fitotóxicos.

SIMPÓSIO

NUTRIÇÃO DE PLANTAS

Coordenador: *Prof.Dr. Francisco Antonio Monteiro (ESALQ/USP)*

QUIRINO AUGUSTO DE CAMARGO CARMELLO - Hidroponia.

ONDINIO CLEANTE BATAGLIA, ANTONIO ROQUE DECHEN e WAGNER RODRIGUES DOS SANTOS - Diagnose Visual e Análise de Plantas.

FLÁVIO ZANETTE e JUCINEI JOSÉ COMEM - Estudo do Sistema Radicular das Plantas.

HENRIQUE PAULO HAAG - Nutrição Mineral e Qualidade dos Produtos Agrícolas.

HIDROPONIA

Quirino A. de C. Carmello[1]

1. INTRODUÇÃO

O termo **hidroponia**, proposto por volta de 1930 pelo norte-americano William F. Gericke, para indicar o cultivo de plantas em meio líquido, é derivado de duas palavras de origem grega: **hydro**, que significa água e **ponos**, que significa trabalho, e foi utilizado então, com a finalidade de designar seu empreendimento, que consistia no cultivo comercial em larga escala em solução nutritiva, ou seja sem a utilização de solo, denominado então de **cultivo hidropônico**.

O cultivo de plantas em um meio diferente do solo, iniciou-se em 1699 com John Woodward, que cultivou uma planta da família da menta em água de diversas origens: chuva, rio, enxurrada, poço e água com um pouco de terra, e concluiu, que quanto maior a quantidade de partículas em suspensão, maior foi o crescimento, mostrando que alguma coisa presente na terra que não a água é que era o que constituia os vegetais.

Embora o experimento de Woodward represente o mais antigo relato do uso das técnicas de cultivo em soluções, para estudar o crescimento de plantas, os experimentos de De Saussure em 1804, são provavelmente mais significativos, uma vez que envolvem o primeiro uso de soluções nutrientes de concentração inicial conhecida, preparadas através da dissolução de vários sais em água destilada.

Mais tarde, em experimentos realizados em meados do século XIX, Jean Boussingault cultivou plantas em areia, quartzo e carvão, os quais eram umedecidos com uma solução de composição química conhecida. F. Salm-Horstmar, entre 1856 e 1860, aperfeiçoou esse método artificial de cultivo, e em 1860, Julius von Sachs publicou a primeira fórmula padrão para uma solução de cultivo, que foi seguida cinco anos mais tarde pela solução de W. Knop. Eles cultivaram plantas em água, na qual foram dissolvidos os elementos que até então eram considerados como necessários ao desenvolvimento das plantas, dispensando assim, qualquer meio sólido para o crescimento das plantas.

W. Knop germinou sementes em serragem bem lavada e as conservou aí, até que as plantas atingissem o tamanho ideal para o transplante, quando então as plantas foram cuidadosamente lavadas e presas pelo colo ao orifício de uma rolha de cortiça, sendo suas raízes mergulhadas em uma solução, da mesma forma que hoje se faz nos experimentos, onde se estuda a nutrição das plantas.

---

[1] Professor Associado, Departamento de Química, E.S.A. "Luiz de Queiroz", Caixa Postal 9, 13418.900 - Piracicaba, SP.

Depois de Sacks e Knop, muitas outras soluções com nutrientes tem sido preparadas por diversos autores, procurando atender as necessidades de plantas especificas, ou a introdução de novos elementos, cuja essencialidade foi sendo provada. Assim, surgiram as soluções de F. Nobble (1869), B. Tollens (1882), A.F.W. Schimper (1890), W. Pfeffer (1900), G. von der Crone (1902), W.E. Tottingham (1914), J.W. Shive (1915) e a de D.R. Hoagland (1920).

D.R. Hoagland e D.I. Arnon (1950), propuseram duas soluções nutritivas: a solução número 1 tinha nitratos, como fonte de nitrogênio, enquanto a solução número 2, apresentava além da fonte nitrica, uma fonte amoniacal, apresentando o nitrogênio nas duas formas iônicas, sendo assim mais tamponada. Em 1957, Johnson et alii. propuseram uma modificação da solução número 2, fazendo a relação entre NH_4^+ e NO_3^- ser de 1 para 7, o que mantem o pH da solução próximo de 5. Em nossas condições, a solução número 1 de Hoagland e Arnon, cujo conteúdo de nutrientes se baseia na composição média de plantas de tomate, tem sido muito utilizada em estudos de nutrição de plantas.

2. UTILIZAÇÃO DE SOLUÇÕES NUTRITIVAS

2.1. Cultivo em soluções não renovadas, ou de renovação intermitente e em areia

Estes são os métodos de cultivo em solução mais simples, e os mais largamente empregados nos laboratórios de pesquisa com plantas, em nossos dias. Existe uma grande variação entre os pesquisadores, quanto à composição inicial da solução nutriente empregada, ao volume de solução fornecida à planta e à frequência de renovação da solução. É frequente entretanto, o uso de um pequeno volume (menos de um litro), de uma solução bastante concentrada (com mais de 20 mM de nutrientes), devido às conveniências experimentais.

Em alguns casos, as concentrações iniciais são tão altas, que não é possivel dissolver-se completamente os sais, ou pode ocorrer ainda, a precipitação subsequente dos mesmos. Em outros casos, excede-se os niveis de toxicidade de espécies sensiveis e o crescimento ficará restringido, enquanto a remoção dos nutrientes não diminuir a concentração desses ions tóxicos, até niveis adequados.

Uma vez que, a concentração inicial comumente utilizada nas soluções nutritivas, excede em muito a concentração necessária para um crescimento saudável e a que ocorre na solução do solo, melhores resultados são obtidos, quando se reduz a concentração inicial nos experimentos de cultivo em solução, com o aumento proporcional do volume de solução, bem como da frequência de renovação da mesma.

2.1.1. Utilização em aulas demonstrativas e em diagnose

O cultivo em solução ou em areia são meios convenientes, de se produzir material vegetal em condições padronizadas, para uma grande variedade de propósitos didáticos ou de demonstração. Com o cultivo em solução, o estudo da anatomia e da morfologia das raízes é facilitado pelo fácil acesso ao sistema radicular. Entretanto, nas plantas cultivadas em solo, as características anatômicas podem ser modificadas pelo contato físico com o solo e pela exposição aos microrganismos da rizosfera, que não estão necessariamente presentes na solução nutritiva. Portanto, deve tomar-se o cuidado de não se extrapolar demais, as observações feitas nos sistemas radiculares de plantas cultivadas em solução nutritiva.

Os sintomas de muitas desordens nutricionais são facilmente induzidos, pela modificação da composição inicial da solução nutritiva. Para a maioria das espécies de importância econômica, já são bastante conhecidos os sintomas visíveis, das deficiências da maioria dos elementos essenciais, e das toxicidades minerais mais comuns.

2.1.2. Produção de raízes para o estudo do transporte de íons

A maioria dos conhecimentos existentes sobre os processos de absorção de íons e seu transporte à longas distâncias, foram conseguidos através de estudos em plantas inteiras ou em raízes destacadas de plantas cultivadas em sistemas hidropônicos.

2.1.3. Determinação da essencialidade dos nutrientes

A simplicidade do cultivo em solução e a disponibilidade de técnicas para reduzir à níveis bastante baixos, a contaminação de elementos na água e nos sais de nutrientes, tornam o cultivo em solução, a técnica mais adequada para o estudo de como atuam nas plantas, os elementos que até o presente, não são considerados essenciais às mesmas. O cultivo em areia é menos adequado para esses propósitos, por causa da necessidade de se purificar a areia, tão bem quanto a água e os sais de nutrientes.

2.1.4. Estudo dos efeitos de parâmetros do ambiente radicular

Em geral, sistemas de cultivo em solução ou em areia, não são muito adequados para o estudo dos efeitos de parâmetros do ambiente radicular, devido à dificuldade em se manter constantes o pH e a concentração de íons da solução. O método preferido para esse fim é o do cultivo com fluxo contínuo de solução, entretanto, como a maioria dos laboratórios não está ainda equipada com esses aparelhos, é importante que se examine criticamente as limitações do sistema tradicional de cultivo em soluções, e se determine em quais situações ele pode ser legitimamente usado, e aquelas nas quais seu uso é impróprio.

Estudo do efeito da temperatura

Os processos de absorção ativa de íons, são bastante sensíveis à temperatura, mas tem-se dado uma atenção relativamente pequena aos efeitos da temperatura das raízes, sobre o crescimento e a absorção de íons por plantas inteiras. Um controle satisfatório da temperatura das raízes pode ser obtido, em um experimento de cultivo em solução, onde os vasos são mantidos em um grande banho de água de temperatura constante. Usando esse equipamento, Forno et alli. (1979) demonstraram, que quando cinco cultivares de mandioca foram cultivadas na solução de Hoagland e Arnon (1950), todas apresentaram sintomas de deficiência severa de boro, quando a temperatura das raízes era de 18 graus Celcius, mas absorviam quantidades suficientes de boro para ter um crescimento saudável, quando a temperatura era de 28 graus.

Estudo dos efeitos do pH da solução

O controle preciso do pH da solução é difícil de ser conseguido, mesmo quando se tem um grande volume de solução (10-20 litros por planta), e se adiciona lenta e continuamente ácido ou base aos vasos, de acordo com o tratamento, e se checa duas vezes por dia o pH dos vasos individualmente. Porém, quando é necessário, somente manter-se um pH favorável para o crescimento das plantas, a adição de $CaCO_3$ à solução de nutrientes, pode ser eficiente, sendo que para manter-se o pH entre 6,5 e 7 é suficiente a adição de 1g de carbonato de cálcio por litro.

Estudo dos efeitos da concentração do íon nutriente

A utilidade dos métodos tradicionais de cultivo em solução, para o estudo dos efeitos da concentração dos íons nutrientes sobre a absorção e o crescimento das plantas, é severamente restringida, pelo problema da diminuição da concentração do nutriente, devido à sua absorção pelas plantas. Deve-se ter cuidado, para evitar conclusões errôneas devido à esse fato, devendo-se levar em conta diversos fatores, tais como: - a precisão na qual a concentração do íon nutriente da solução deve ser controlada, para que os objetivos do experimento sejam atingidos; - a faixa de concentrações na qual o experimento deve ser conduzido; - o volume de solução fornecido por unidade de peso de raízes; - a taxa média de absorção por unidade de peso de raízes naquela concentração específica.

2.1.5. Determinação de concentrações críticas nos tecidos

As concentrações críticas nos tecidos, para a diagnose de deficiências e toxicidades minerais em plantas, são frequentemente estabelecidas em experimentos onde se utilizou o cultivo em solução ou em areia. Embora muitos fatores ambientais e das plantas, possam afetar a medida da concentração crítica dos nutrientes, é largamente aceito que ela, é uma característica da planta comparativamente estável, que provavelmente não é afetada

pelas variações temporais no suprimento externo do elemento considerado.

Há na literatura entretanto, trabalhos que demonstram o contrário, seus resultados sugerem que as decisões arbitrárias, sobre os detalhes de como a técnica de cultivo em solução foi conduzida, podem exercer grandes efeitos sobre a concentração critica medida. Esses resultados, também levantam a questão sobre a validade, de se utilizar concentrações criticas estabelecidas em experimentos com cultivo em solução, para diagnosticar os problemas nutricionais do campo, onde as variações temporais no suprimento dos nutrientes pode ter sido bastante diferentes, daquelas utilizadas em um determinado experimento com uso de cultivo em solução.

2.1.6. Controle do nivel de nutrientes

Uma das consequências da diminuição da concentração dos nutrientes, em um sistema de cultivo em solução convencional, são as grandes mudanças que podem ocorrer durante o experimento, no nivel de nutrientes das plantas. Assim, uma planta que mostrou severa deficiência de um elemento no final do ciclo, pode ter passado no inicio de seu desenvolvimento, por periodos de consumo de luxo, ou mesmo de toxicidade desse elemento. Por isso, os efeitos do nivel de nutrição sobre a fisiologia e o crescimento das plantas, são dificeis de se examinar, mesmo nos cultivos em areia, irrigados a intervalos constantes e com solução nutritiva nova.

Uma forma de se contornar esse problema, é a adição programada de nutrientes, sendo que a quantidade e a frequência de adição, deve ser calculada através de uma curva de crescimento estabelecida previamente, e de resultados da concentração média de nutriente no tecido de plantas saudáveis, que tiveram um fornecimento adequado do nutriente durante todo o tempo.

2.1.7. Estudo de associações simbióticas

Estudo de sistemas fixadores de nitrogênio

Cultivo em areia e métodos de cultivo em solução, tem sido extensivamente utilizados no estudo da fixação simbiótica de nitrogênio em leguminosas e em outras plantas superiores. A técnica do frasco de Leonard, é um sistema especializado de cultivo em areia, desenvolvido especificamente para cada estudo, e que é usado como técnica padrão em muitos laboratórios.

Estudo de associações micorrízicas

A importância das associações ectomicorrizicas, sobre o crescimento de muitas espécies florestais perenes, é reconhecida à bastante tempo. Nas últimas duas décadas, tem aumentado o reconhecimento dos efeitos das endomicorrizas, no crescimento de muitas espécies de plantas, particularmente em condições de

suprimento limitado de nutrientes. Até agora, o uso de métodos de cultivo em solução tem se limitado à alguns estudos, sendo que pesquisas recentes tem sugerido, que é importante que se use de preferência, soluções de cultivo diluídas.

2.1.8. Produção comercial de plantas

Os principais empecilios à expansão da produção hidropônica de plantas, são mais econômicos que técnicos, pois essa forma de produção, fica mais atrativa quando existem centros populacionais localizados em grandes áreas áridas, nas quais a quantidade de água disponivel para a irrigação não é suficiente, ou em situações onde os solos adequados para a produção de hortaliças não estão disponiveis, a não ser à uma distância razoável dos centros populacionais. Pode ser, que com o aumento do custo de transporte de produtos, associado à elevação dos preços dos combustíveis, faça crescer o uso de métodos de cultivo hidropônico próximo aos grandes centros, ou até mesmo dentro deles, sobre o telhado dos edificios de apartamentos.

2.2. Cultivo em névoa

As plantas podem crescer adequadamente, se suas raizes estiverem suspensas em uma fina névoa de solução, gerada pneumáticamente, ou de outra forma qualquer. A principal vantagem desse método de cultivo sobre os demais, é a facilidade com que o sistema radicular pode ser estudado, porém sua desvantagem é, que mesmo pequenas interrupções na produção da névoa, causada por problemas mecânicos, pode levar à danos nas plantas. Usualmente, utiliza-se soluções nutritivas concentradas, fornecidas em pequenos volumes na unidade de tempo. Entretanto, esse método parece ser inadequado para os estudos criteriosos, sobre os efeitos da composição da solução no crescimento das plantas.

2.3. Cultivo em solução com circulação contínua

2.3.1. Aplicações em pesquisa

O cultivo em solução com circulação continua, é o meio mais prático para se obter o contrôle dos parâmetros ambientais do sistema radicular. Essa técnica permite, que as plantas cresçam durante um grande periodo de tempo, sob um preciso controle da temperatura das raizes, do pH da solução, e em uma solução nutriente, cuja concentração de ions é tão diluida, quanto a solução do solo. Esse controle é essencial, nos estudos quantitativos dos efeitos dos vários parâmetros do ambiente radicular, sobre a absorção de nutrientes e o crescimento das plantas superiores.

2.3.2. Produção comercial de plantas

Técnica do filme nutriente

N.F.T. é um sistema de cultivo, no qual a solução nutritiva, com uma concentração constante de nutrientes, flue sobre uma superfície de plástico rasa, ligeiramente inclinada (declives entre 1:30 e 1:100), na qual são colocados as raízes nuas ou em alguns casos plântulas em recipientes. O pH da solução circulante é controlado, através da adição de ácido fosfórico ou de ácido nítrico, e a adição periódica de uma mistura de nutrientes, afim de manter a condutividade elétrica da solução entre 2 e 3 mS por centímetro. Essa técnica tem uma aceitação comercial razoável, mas é claro, que alguns problemas técnicos podem aparecer, e é necessário que pesquisas ainda sejam desenvolvidas, principalmente sobre o efeito da taxa de fluxo.

3. FATORES QUE DEVEM SER OBSERVADOS EM UM CULTIVO FEITO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

3.1. Composição ou aspecto qualitativo

Para se desenvolverem, todos os vegetais necessitam absorver do meio onde eles estão vivendo, elementos que são essenciais para o seu desenvolvimento, os quais são denominados nutrientes. Devido às suas concentrações nos tecidos das plantas, os nutrientes são divididos em dois grupos: macronutriente e micronutrientes.

Seguindo-se a ordem decrescente de seus teores, os macronutrientes de plantas são: carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H), nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e enxofre (S). O carbono é incorporado pelas plantas, com a absorção do CO_2 da atmosfera, o oxigênio é absorvido da atmosfera e da água do meio nutritivo, neste segundo caso, juntamente com o hidrogênio. Pelo exposto, esses três nutrientes não serão considerados quando se cultiva plantas em solução, pois o CO_2 continuará sendo fornecido da mesma forma e na mesma quantidade, e água é o que não falta numa solução aquosa.

Assim, do ponto de vista qualitativo, além dos outros macronutrientes, a solução deve conter também os micronutrientes, que segundo a mesma ordem de teores, são: cloro (Cl), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu) e molibdênio (Mo). Caso algum outro elemento químico, tenha sua essencialidade provada para a espécie de interesse, ou para uma simbiose com um microrganismo a qual se deseje, ele também deve fazer parte da solução.

3.2. Balanço nutricional ou aspecto quantitativo

Se os nutrientes foram separados em dois grupos, segundo as quantidades com que eles aparecem nos tecidos das plantas, e

dentro destes eles puderam ser ordenados de forma decrescente, parece lógico, que eles não devam aparecer na solução nutritiva nas mesmas concentrações. Mas em que proporção eles devem aparecer na solução?

Na proporção em que eles aparecem na solução do solo, de solos considerados férteis, ou naquela em que eles aparecem nos tecidos vegetais? Para a maioria das composições propostas para se fazer uma solução nutritiva, a segunda opção é a mais usada, pois ela representa o que a planta conseguiu absorver, e não o que ela tinha à sua disposição no meio nutritivo. Assim, a proporção entre o nitrogênio e o molibdênio, respectivamente maior e menor teor nas plantas, dos nutrientes considerados para a composição da solução fica entre 1:20.000 e 1:50.000, se o teor de Mo for de 1 ppm e o de N respectivamente, de 2% ou 5%.

3.3. Pressão osmótica

Pelo princípio da osmose, a água se movimenta de um meio hipotônico para um meio hipertônico, ou seja, de uma solução menos concentrada, para uma solução mais concentrada, quando as mesmas estão separadas por uma membrana semipermeável. Assim, quando se dissolvem sais na água, para se fazer uma solução, aumenta-se sua pressão osmótica, ou seja, diminue-se a tendência que a solução tinha de penetrar nas raízes das plantas, de tal forma, que a partir de certa concentração de sais, a tendência da água passa a ser a de sair das células das raízes, promovendo a sua morte.

Por isso, a solução nutritiva deve conter os nutrientes nas proporções adequadas, mas deve também ser suficientemente diluída, para que ela não cause danos às raízes. A pressão osmótica adequada está entre 0,5 e 1 Atmosfera (atm) ou a condutividade elétrica da solução deve estar entre 2 e 3 miliSiemens/cm (mS/cm), dependendo do equipamento utilizado para a medida.

Para se calcular a pressão osmótica (P.O.) de uma solução nutritiva, pode-se utilizar a equação de van't Hoff:

$$P.O. = m \cdot i \cdot R \cdot T$$

onde:

m - é a molalidade da solução (número de moles de soluto por litro de solvente);

i - é o índice de dissociação do sal (número de íons formados quando o sal se dissocia);

R - é a constante universal dos gases (é igual a 0,0821 $atm.l.Mol^{-1}.K^{-1}$);

T - é a temperatura absoluta ou Kelvin (é igual à temperatura Celcius + 273).

Calculada a pressão parcial promovida por cada sal adicionado à solução, a pressão osmótica total é igual à soma das pressões parciais causadas pela adição de cada sal.

A pressão osmótica e a concentração de sais pode ser calculada, através da medida de condutividade elétrica, pelas equações:
P.O. (atms.) = 0,28 a 0,36 . L (mS/cm) em função da temperatura
mEq. de sais por litro = 12,5 . L (mS/cm)
ppm de sais = 640 . L (mS/cm)

3.4. pH da solução

A importância da atividade dos ions hidrogênio da solução, medida pelo índice pH, pode ser direta ou indireta. De uma maneira geral, nenhuma planta consegue sobreviver satisfatoriamente, em valores de pH menores que 3,5 devido à um efeito direto dos ions H^+ sobre as células. Indiretamente, o pH pode afetar a disponibilidade dos ions essenciais ao desenvolvimento da espécie.

Valores baixos de pH, provocam competição iônica entre o ion H^+ e os diversos cátions essenciais para as plantas (NH_4^+, K^+, Ca^{++}, Mg^{++}, Cu^{++}, Fe^{++}, Mn^{++}, Zn^{++}), e valores elevados de pH diminuem a absorção dos ânions (NO_3^-, $H_2PO_4^-$, SO_4^{--}, Cl^-, MoO_4^{--}). Valores inadequados de pH, podem ainda provocar, a precipitação de elementos essenciais, como é o caso da precipitação do Ferro e do Manganês que ocorre em pH elevado.

A oxidação dos elementos, pode ser facilitada por determinadas condições de pH, sendo que predominam os ions de nível de oxidação maior, quando a condição é de alcalinidade. Ocorre assim, uma maior absorção de NO_3^- em pH baixo, enquanto a de NH_4^+ ocorre em pH elevado.

De uma maneira geral, o valor de pH mais adequado para o desenvolvimento das espécies, está entre 6 e 6,5. Existem plantas mais, ou menos tolerantes à acidez ou à alcalinidade, sendo o sapé um bom exemplo do primeiro grupo, e a alfafa do segundo.

3.5. Aeração ou arejamento da solução

Como a absorção de nutrientes se dá contra um gradiente de concentração, isto é, a concentração da solução externa às raízes é muito menor que a concentração dentro dos sistemas da planta, há necessidade de energia para que esse processo ocorra, que é conseguida através do metabolismo da planta, às custas da respiração. Há necessidade portanto, de oxigênio, para que as raízes possam absorver os elementos essenciais ao seu desenvolvimento.

Uma solução que esteja com sua superfície em contato direto com a atmosfera, e apresente uma profundidade de 20 a 30 cm, terá cerca de 2 a 3 ppm de O_2 dissolvidos na solução, quando o equilíbrio é atingido. Essa concentração, pode ser suficiente para que as raízes de certas espécies respirem, como o arroz por

exemplo, mas ela é insuficiente para o tomateiro, uma vez que ele necessita de cerca de 16 ppm de O_2 na solução, para que não ocorram podridões em seu sistema radicular.

A quantidade adicional de oxigênio deve ser fornecida por métodos próprios do sistema de condução utilizado, isto é, por borbulhamento de ar comprimido na solução, ou através da aquisição de oxigênio quando se faz a circulação de cultivo, ou ainda através do arrastamento do ar, quando se faz a irrigação dos vasos ou canais, que contem o meio sólido, responsável pela sustentação das plantas.

3.6. Temperatura da solução

Sendo a absorção de nutrientes um processo metabólico, ela sofre a influência da temperatura, em uma escala muito maior que os fenômenos passivos. Como o Q_{10} das reações metabólicas são maiores que 2, a manutenção de uma temperatura adequada é um fator de grande importância para se ter uma absorção eficiente de nutrientes.

A temperatura é considerada adequada, até em torno de 30 graus Celcius. Os melhores limites de temperatura, para os cultivos de períodos frios são: 16 graus C durante o dia e 10 graus C durante a noite, sendo que para os cultivos em períodos quentes, as temperaturas mais adequadas são: 24 graus C durante o dia e 15 graus C durante a noite. Quando estiver nublado, a temperatura diurna deve ser mantida igual à noturna.

3.7. Renovação da solução

A composição da solução nutritiva varia com o crescimento das plantas, sendo que a amplitude de variação depende da fase de crescimento e do tamanho das mesmas, além do volume de solução utilizado. Essa variação, não é somente devida ao decréscimo das quantidades de sais disponíveis, mas também devida à sua variação qualitativa, uma vez que os elementos não são absorvidos igualmente, muito menos em quantidades constantes.

Ocorre também variação no pH da solução, o que pode levar à precipitação de elementos essenciais, tais como o Fe, Mn, Ca e P, tornando-os indisponíveis para as plantas. Por essa razão, é necessário um controle contínuo das condições da solução, com a adição dos sais removidos, controle do pH e substituição periódica de toda a solução. A troca da solução é feita em função da taxa de crescimento da planta, do volume de solução colocado à disposição das plantas e da variação de concentração e do pH, que essa utilização de soluções nutritivas permita.

3.8. Recipiente ou suporte utilizado

A escolha do recipiente ou do suporte, é função da finalidade do experimento ou da utilização comercial de soluções, do tipo de

planta que se deseja utilizar, e do tempo de condução desejado. Em função disso, alguns aspectos devem ser observados:

Composição

A composição do recipiente é importante, dependendo do tipo de ensaio ou da utilização comercial desejada, levando-se em conta, a resistência do material e a possibilidade de contaminação. Os materiais normalmente utilizados são: metais, barro, vidro, plástico, concreto, madeira, cimento amianto, etc, que podem estar recobertos por uma tinta betuminosa (tinta Neutrol), parafina, resinas plásticas (tintas Epox), vidro, sacos ou peliculas plásticas, etc. Cada um desses materiais apresenta vantagens e desvantagens, e elas devem ser consideradas no momento de sua escolha.

Forma e capacidade

Na escolha da forma e da capacidade do recipiente, deve-se levar em conta as exigências fisicas das raizes da espécie escolhida, a variação na composição e no pH da solução permitidos, e o sistema de aeração da solução que se pretende utilizar. Com o crescimento da planta, ocorrem alterações na solução, que serão mais pronunciadas, quanto menor for o volume de solução. O número de trocas ou recomposições da solução nutritiva é portanto, função da capacidade do recipiente, sendo que para recipientes com capacidade para 1 a 2 litros de solução e culturas anuais de pequeno porte, as trocas podem ser semanais.

Cobertura

A cobertura do recipiente tem por finalidades: evitar a contaminação externa, prevenir a evaporação de água, evitar a incidência de luz na solução e sustentar a planta. A evaporação de água altera a concentração da solução, e consequentemente aumenta sua pressão osmótica, e a incidência de luz na solução, permite o aparecimento de algas, as quais competem com as plantas na absorção e utilização de nutrientes. Em cultivos comerciais, placas de isopor tem sido utilizadas com essas quatro finalidades, além de ser isolante térmico, o que evita o aquecimento da solução.

3.9. Uso de meios sólidos

A utilização de areia como meio de sustentação, é bastante frequente, porém outros materiais podem ser utilizados, tais como: quartzo moido (silica), cacos de porcelana, vermiculita, pedra britada, cascalho, casca de arroz torrada, carbonato de cálcio, serragem, etc. O meio de sustentação permite que a solução possa ser drenada, e o recipiente permaneça drenado por um tempo razoável, sem que ocorram danos às raizes, e deve ser considerado segundo alguns aspectos.

Tamanho das particulas

A escolha do tamanho das particulas deve levar em conta, caracteristicas da espécie escolhida, quanto ao encharcamento e ao regime adotado de fornecimento de solução. Se o fornecimento for continuo, particulas maiores podem ser usadas, mas se ele for intermitente, o diâmetro das particulas, adequado para que se permita que a quantidade de solução que permanece aderida à superfície especifica das particulas, seja suficiente para suprir o sistema radicular durante o periodo de arejamento do sistema radicular.

Composição

A escolha do material a ser utilizado como meio de sustentação, deve obedecer os mesmos critérios da escolha do material do recipiente, ou seja, deve levar em conta a finalidade do cultivo e a contaminação permitida.

4. PREPARO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Diversas são as formulações propostas na literatura para o cultivo hidropônico de plantas, e deve-se escolher aquela mais apropriada para a espécie que se quer estudar ou cultivar, ou aquela que melhor atenda os propósitos pretendidos. Assim, escolhida a formulação, se o propósito for pesquisa, a solução deve ser preparada com reagentes analiticos com o maior grau de pureza possivel (p.a.), mas se o propósito for comercial, deve-se utilizar adubos e reagentes menos puros (técnico), para reduzir o custo de produção.

A solução completa número 1 de Hoagland e Arnon, proposta em 1950, a partir da análise de plantas de tomateiro, e modificada quanto às fontes de micronutrientes, por Sarruge em 1975, é bastante versátil para a maioria das hortaliças.Ela pode ser utilizada satisfatóriamente, no cultivo hidropônico comercial, com algumas modificações particulares para algumas espécies, e e modificando-se as fontes de nutrientes para adubos e reagentes grau técnico, ela pode por exemplo ser assim preparada, para um volume final de 1000 litros:

- 132 g de MAP
- 420 g de Uréia
- 447 g de KCl
- 246 g de $MgSO_4$ (comercial)
- 100 g de $CaCO_3$ (comercial)
- 2,86 g de Ac. Bórico (comercial)
- 1,81 g de Cloreto de Manganês (comercial)
- 0,10 g de Cloreto de Zinco (comercial)
- 0,04 g de Cloreto de Cobre (comercial)
- 0,02 g de Ac. Molibdico (comercial) ou
- 0,015 g de Óxido Molibdico (comercial).

Preparar um dia antes, 1 litro de solução contendo:

- 26,1 g de EDTA dissódico (técnico)
- 11,5 g de Soda Cáustica (comercial)
- 24,9 g de Sulfato ferroso (comercial).

Arejar esta solução durante uma noite e então adicionar toda a solução ao restante das fontes e à água do tanque (torneira ou poço, desde que tenha baixa condutividade elétrica).

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

ASHER, C.J. & EDWARDS, D.G. Modern solution culture techniques. In: PIRSON A. & ZIMMERMANN, M.H., ed. **Encyclopedia of plant physiology:** Inorganic plant nutrition. Berlin, Germany, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 1983. v.15(A) cap. I.3, p. 94-119 (New series).

BENTLEY, M. **Commercial hydroponics:** facts and figures. 2 ed. Johannesburg, South Africa, Bendon Books, 1957. 750p.

DOUGLAS, J.S. **Hidroponia:** Cultura sem terra. São Paulo, Livraria Nobel, 1987. 141p.

DOUGLAS, J.S. **Advanced guide to hydroponics:** Soilles cultivation. 5 ed. London, England, Pelham Books Ltd., 1985. 368p. (New edition).

GRAVES, C.J. The nutrient film technique. In: JANICK, J., ed. **Horticultural Reviews.** Westport, Connecticut, USA, The AVI Publishing Company, 1983. v. 5, cap. 1, p.1-44.

HEWITT, E.J. **Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition.** 2 ed. Maidstone, Kent, England, Commonwealth Bureau of Horticultural and Plantation Crops, 1966. 547p. (Technical Communication 22).

HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.L. **The water culture methods for growing plants without soil.** Berkeley, USA, The College of Agriculture University of California, California Agricultura Experiment Station, 1950. 32p. (Circular 347).

JENSEN, M.H. & COLLINS, W.L. Hydroponic vegetable production. In: JANICK, J., ed. **Horticultural Reviews,** Westport, Connecticut, USA, The AVI Publishing Company, 1985. v. 7, cap. 10, p.483-558.

JONES Jr., J.B. **A guide for the hydroponic & soilless culture grower.** Portland, Oregon, USA, Timber Press, 1983. 124p.

RESH, H.M. **Cultivos hidroponicos:** nuevas técnicas de producción. 2 ed. Madri, España, Ediciones Mundi-Prensa, 1987. 318p.

SARRO CASILLAS, M.J.; CADAHIA LOPES, C.; PEÑALOSA OLIVARES, J.M. Control de un cultivo hidroponico de tomate mediante correcciones periodicas de los nutrients. Aplicaciones a invernaderos comerciales. **Anales de Edafologia y Agrobiologia**, Madrid, 45(5/6):729-38, 1986.

SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopatologica**, Piracicaba, 1:231-3, 1975.

WINSOR, G.W.; HURD, R.G.; PRICE, D. **Nutrient film technique**. 2 ed. Littlehampton, West Sussex, England, Glasshouse Crops Research Institute, 1985 . 59p. (Growers' Bulletin 5).

DIAGNOSE VISUAL E ANÁLISE DE PLANTAS

Ondino Cleante Bataglia[1]
Antonio Roque Dechen[2]
Wagner Rodrigues dos Santos[3]

1. ELEMENTOS ESSENCIAIS

Além do carbono, hidrogênio e oxigênio, treze elementos são considerados essenciais para o desenvolvimento das plantas, sendo divididos em dois grandes grupos, relacionados com as quantidades exigidas.

Macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S.
Micronutrientes: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn.

Os macronutrientes têm em geral seus teores expressos em % da forma elementar, enquanto os micronutrientes são usualmente expressos em ppm.

De Saussure, von Sachs e Knop, por volta de 1860, já haviam determinado que Ca, Fe, Mg, N, P e S eram essenciais para o desenvolvimento das plantas. Fatos históricos sobre a descoberta e demonstração da essencialidade dos elementos estão apresentados na Tabela 1.

ARNON e STOUT (1939), em trabalho clássico, estabeleceram os critérios para a essencialidade dos nutrientes.

a. Na ausência do elemento a planta não completa o seu ciclo vegetativo.

b. O elemento não pode ser substituido por nenhum outro.

c. O elemento deve ter um efeito direto na vida da planta e não exercer apenas o papel de, com sua presença no meio, neutralizar efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis para o vegetal.

---

[1] Pesquisador Científico, Diretor Geral do Instituto Agronômico, Caixa Postal 28, 13020.902 - Campinas, SP.

[2] Professor Associado, Departamento de Química, E.S.A. "Luiz de Queiroz", Caixa Postal 9, 13418.900 - Piracicaba, SP.

[3] Bolsista da FAPESP junto ao Instituto Agronômico, Caixa Postal 28, 13020.902 - Campinas, SP.

Tabela 1. Descoberta e demonstração da essencialidade dos elementos (Glass, 1989).

Elemento	Descobridor	Ano	Demonstração da Essencialidade	Ano
C	xx	xx	De Saussure	1804
H	Cavendish	1766	De Saussure	1804
O	Priestley	1774	De Saussure	1804
N	Rutherford	1772	De Saussure	1804
P	Brand	1772	Ville	1860
S	xx	xx	von Sachs, Knop	1865
K	Davy	1807	von Sachs, Knop	1860
Ca	Davy	1807	von Sachs, Knop	1860
Mg	Davy	1808	von Sachs, Knop	1860
Fe	xx	xx	von Sachs, Knop	1860
Mn	Scheele	1744	McHargue	1922
Cu	xx	xx	Sommer	1931
			Lipman & Mac Kinnon	1931
Zn	xx	xx	Sommer & Lipman	1926
Mo	Hzelm	1782	Arnon & Stout	1939
B	Gay Lussac & Thenard	1808	Sommer & Lipman	1926
Cl	Schell	1774	Broyer et al	1954

Embora significativos esforços tenham sido feitos para aumentar a lista dos 16 elementos essenciais, nenhum foi adicionado desde 1954. Nesse sentido, níquel, silício e vanádio são os que têm recebido maior atenção. TAKAHASHI e MIYAKE (1977) propuseram a essencialidade do silício e BROWN et al (1987) a do níquel.

Alguns elementos podem afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas, embora não se tenha determinado condições para caracterizá-los como essenciais. MARSCHNER (1986) inclui nesta categoria o sódio, silício, cobalto, níquel, selênio e alumínio.

MENGEL e KIRKBY (1987) relacionaram os elementos essenciais quanto à forma de absorção e funções nas plantas, conforme apresentado na Tabela 2.

A única distinção na classificação entre macronutrientes e micronutrientes é a concentração exigida pelas plantas. Os macronutrientes ocorrem em concentrações de 10 a 5000 vezes superior à dos micronutrientes. EPSTEIN (1975) apresentou as concentrações médias dos nutrientes minerais na matéria seca, suficientes para um adequado desenvolvimento das plantas (Tabela 3).

Tabela 2. Elementos essenciais, formas de absorção e funções na planta (Mengel e Kirkby, 1987).

Elementos essenciais	Formas de absorção	Funções na planta
C, H, O, N, S	íons em solução (HCO_3^-, NO_3^-, NH_4^+, SO_4^{2-}), ou gases da atmosfera (O_2, N_2, SO_2)	Constituintes de substâncias orgânicas
P, B	íons em solução	Reações de transferência de energia e movimento de carboidratos
K, Mg, Ca, Cl	íons em solução (K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-)	Funções não específicas, ou componentes específicos de compostos orgânicos, ou manutenção do balanço iônico
Cu, Fe, Mn, Mo e Zn	íons ou quelatos em solução (Cu^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, MoO_4^{2-}, Zn^{2+})	Transporte eletrônico e ativadores enzimáticos

2. DIAGNOSE VISUAL

Como regra geral, desordens nutricionais que inibem pouco o desenvolvimento ou a produção não são caracterizadas através de sintomas específicos e visíveis. Os sintomas de deficiência do nutriente tornam-se claramente visíveis quando a deficiência é aguda e o nível de desenvolvimento e de produção foram severamente afetados.

A diagnose baseada em sintomas visíveis requer um sistemático acompanhamento, comprovação através de análises químicas, e prática e conhecimento da cultura.

É necessário também distinguir-se os sintomas foliares de deficiência de nutrientes, daqueles causados por pragas ou moléstias.

Sintomas de deficiência manifestam-se predominantemente nas folhas, velhas ou novas, dependendo se o nutriente em questão é facilmente translocado. Clorose ou necrose são critérios para a diagnose visual. Como regra, sintomas visíveis de deficiência nutricional são mais específicos que os de toxidez de nutrientes, a menos que a toxidez de um nutriente mineral induza à deficiência de outro.

Tabela 3. Concentração média dos nutrientes minerais na matéria seca suficientes para um adequado desenvolvimento das plantas (EPSTEIN, 1975).

Elementos	Concentração na matéria seca		Número relativo de átomos
	µ moles/g	ppm	
Mo	0,001	0,1	1
Cu	0,10	6	100
Zn	0,30	20	300
Mn	1,0	50	1000
Fe	2,0	100	2000
B	2,0	20	2000
Cl	3,0	100	3000
		%	
S	30	0,1	30000
P	60	0,2	60000
Mg	80	0,2	80000
Ca	126	0,5	125000
K	250	1,0	250000
N	1000	1,5	1000000

Na Tabela 4 estão apresentados alguns princípios para a diagnose visual de desordens nutricionais (MARSCHNER, 1986).

A diagnose visual pode ser difícil em condições de campo quando mais de um nutriente está deficiente, ou também quando ocorre deficiência de um nutriente simultaneamente com toxidez de outro. Um exemplo bastante comum é em solos inundados onde ocorrem simultaneamente, toxidez de manganês e deficiência de magnésio. A diagnose pode ser mais complicada pela presença de pragas, doenças e outros sintomas, causados, por exemplo, por injúrias mecânicas, e danos de pulverização. Para se diferenciar os sintomas de desordens nutricionais destes outros sintomas, é importante levar em consideração que os sintomas de deficiências nutricionais sempre têm uma distribuição simétrica e típica; folhas de uma mesma posição (idade fisiológica) na planta apresentam sintomas semelhantes e existe um nítido gradiente de intensidade dos sintomas das folhas mais velhas para as folhas mais novas.

Para se fazer uma diagnose visual precisa, é útil recorrer-se a informações adicionais, como análise de solo (química e física), umidade do solo, condições climáticas, aplicação de fertilizantes, fungicidas, inseticidas, pesticidas. Em alguns casos, o tipo e

quantidade de fertilizantes a ser utilizado pode ser recomendado com base na diagnose visual. Isto é válido para aplicação foliar de fertilizantes contendo micronutrientes (Fe, Zn e Mn) ou magnésio. Na maioria dos casos, entretanto, a diagnose visual não oferece base suficiente para recomendação de fertilizantes. Para certos nutrientes, a diagnose visual auxilia a interpretação dos resultados analíticos de folhas e de outras partes das plantas; isto é particularmente importante para culturas anuais, quando tem-se necessidade dos resultados rapidamente, pois a variação sazonal dos teores dos nutrientes nas plantas e a demora na obtenção dos resultados analíticos muitas vezes inviabilizam a sua utilização.

MALAVOLTA et al. (1989) destacaram que o motivo pelo qual o sintoma é típico da deficiência de um elemento deve-se ao fato que um dado elemento exercer sempre as mesmas funções, qualquer que seja a espécie da planta. Os autores destacaram também que o sintoma visível é o fim de uma série de eventos, exemplificando com um esquema representativo de uma deficiência de zinco e de uma toxidez de alumínio, conforme se vê na Figura 1. A deficiência de zinco conduz a um denominador comum que é o encurtamento dos internódios (encontrado em qualquer cultura, seja milho ou cafeeiro). No caso da toxidez de alumínio, é típico o mau desenvolvimento das raízes, que ficam curtas e grossas.

3. CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE DEFICIÊNCIAS MINERAIS

Nitrogênio: as folhas velhas são as primeiras a perder a cor verde, tornando-se amareladas, às vezes quase brancas; as plantas apresentam desenvolvimento reduzido, a produção e a qualidade dos produtos são significativamente reduzidos.

Fósforo: em plantas anuais, poder germinativo reduzido e crescimento lento; folhas velhas com coloração verde azulada; menor perfilhamento, gemas laterais dormentes, atraso no florescimento, redução da produção e da qualidade do produto.

Potássio: devido à alta mobilidade do potássio, os sintomas ocorrem nas folhas velhas caracterizando-se por clorose seguida de necrose das margens e pontas das folhas.

Cálcio: os meristemas das raízes e da parte aérea são afetados pela deficiência de cálcio, pois é um elemento estrutural, integrante da parede celular; ocorre murchamento e morte das gemas terminais; gemas laterais dormentes; deformação de tubérculos acompanhada de necrose interna; pequena frutificação ou produção de frutos anormais; produção pequena ou nula de sementes, redução e morte do sistema radicular, menor nodulação nas leguminosas.

Tabela 4. Princípios para diagnose visual de desordens nutricionais (MARSCHNER, 1986).

Parte da planta	Diagnose visual		Desordem nutricional
Folhas velhas e maduras	Clorose	Uniforme	N(S)
		Internerval ou em manchas	Mg(Mn)
	Necrose	Secamento da ponta e margens	K
		Internerval	Mg(Mn)
Folhas novas lâminas e ápices	Clorose	Uniforme	Fe(S)
		Internerval ou em manchas	Zn(Mn)
	Necrose (Clorose)		Ca, B, Cu
	Deformação		Mo(Zn, B)
			Toxidez
Folhas velhas e maduras	Necrose	Manchas	Mn(B)
		Secamento da ponta e margens	B, injúrias por sais de pulverização
	Clorose (necrose)		Toxidez não específica

Letras entre parênteses indicam que os sintomas são variáveis.

Evento	Deficiência de Zn	Excesso de Al
Alteração molecular	< AIA > hidrólise de proteínas	Pectatos "errados" < fosforilação < absorção iônica (P, K, Ca, Mg)
Modificação subcelular	Paredes celulares mais rígidas < proteína	Paredes celulares mal formadas Dificuldades de divisão celular
Alteração celular	Células menores e em menor número	Células menores com 2 núcleos
Modificação no tecido (= sintoma)	Internódios mais curtos	Raízes curtas e grossas Folhas deficientes em K, Ca, Mg e P

Fig. 1. Sequência de eventos que conduzem aos sintomas de deficiência ou excesso de nutrientes dos vegetais.

Magnésio: plantas deficientes em magnésio apresentam nas folhas velhas uma clorose internerval, podendo evoluir para necrose quando a deficiência é muito severa; em algumas espécies a clorose

Enxofre: como o enxofre é um elemento imóvel quanto à redistribuição nas plantas, a deficiência se manifesta inicialmente nas folhas novas, caracterizando-se por uma clorose; redução no florescimento, menor nodulação nas leguminosas.

Boro: plantas deficientes em boro apresentam crescimento anormal, e as regiões apicais são as mais afetadas; as folhas novas ficam pequenas, deformadas, espessas e quebradiças sendo comum o rompimento de tecidos; devido à morte do meristema apical do caule é comum a regeneração a partir de gemas axilares.

Cloro: não se têm notícias de deficiência de cloro em condições de campo.

Cobre: as folhas novas podem ser cloróticas ou verde-azuladas com as margens enroladas para cima; deformação das folhas; exsudação de gema; o florescimento e a frutificação são diminuídos.

Ferro: clorose internerval nas folhas novas é o sintoma típico de deficiência de ferro, permanecendo verdes, apenas as nervuras (reticulado fino de nervuras).

Manganês: as folhas novas geralmente apresentam clorose internerval, as nervuras formam uma rede verde sobre fundo amarelo (reticulado grosso de nervuras).

Molibdênio: clorose internerval nas folhas velhas, as folhas tendem a enrolar-se ou curvar-se para cima ou para baixo; as leguminosas pode mostrar sintomas de deficiência de nitrogênio.

Zinco: folhas novas pequenas, estreitas e alongadas, diminuição no comprimento dos internódios com a formação de leque; as folhas podem se tornar tortas e necróticas; o florescimento e a frutificação podem ser muito reduzidos em condições de deficiência severa de zinco e a planta inteira pode se tornar anã e deformada.

4. DIAGNOSE FOLIAR

A idéia de se usar o conteúdo mineral de plantas como critério para se avaliar o estado nutricional de plantas e solos é bastante atraente. Este princípio foi posto em prática inicialmente por LAGATU e MAUME (1934) e seguido por muitos outros desde então. Trabalhos importantes foram publicados por LUNDERGARDH (1945), GOODALL e GREGORY (1947) e CHAPMAN (1966).

Atualmente existe um grande número de publicações que relatam aplicações e experiências em relação a condições definidas com respeito a plantas cultivadas, solos e circunstâncias locais. Dentre essas publicações destacam-se o livro editoriado por WALSH e BEATON (1973), os Anais dos Colóquios internacionais sobre o Controle da Alimentação de Plantas Cultivadas, a publicação FAO (1980) sobre Análise de Solo e Plantas, o trabalho editado por MARTIN-PREVEL et al. (1987) e o de BENTON JONES et al. (1991).

O uso correto da diagnose foliar como método de avaliação do estado nutricional da planta depende do conhecimento das limitações da técnica. Até hoje, de acordo com as ponderações de JONES et al. (1991) é preciso questionar considerações como: a confiabilidade dos dados, a utilização de conceitos de relações e balanços de nutrientes, o efeito de híbridos e o efeito de concentrações variáveis de nutrientes alterando processos fisiológicos.

A interpretação correta dos resultados de uma análise depende de muita experimentação visando ao estabelecimento de índices de calibração que reflitam o estado nutricional das plantas. Entre os critérios mais usados para diagnóstico são citados o nível crítico, faixas de concentração, e o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). Este último vem sendo bastante difundido recentemente e será discutido com maior detalhe por se tratar de um sistema ainda pouco conhecido no Brasil.

5. PRINCÍPIOS DA ANÁLISE DE PLANTAS E DIAGNOSE FOLIAR

As folhas são consideradas como o foco das atividades fisiológicas dentro das plantas. Alterações na nutrição mineral são de certa forma refletidas nas concentrações dos nutrientes nas folhas. A utilização da análise foliar como critério diagnóstico se baseia na premissa de existir uma relação significativa entre o suprimento de nutrientes e os níveis dos elementos, e que aumentos ou decréscimos nas concentrações se relacionam com produções mais altas ou mais baixas, respectivamente (EVENHUIS e WAARD, 1980).

O nível de nutriente dentro da planta é um valor integral de todos os fatores que interagiram para afetá-lo. Considerando-se a multiplicidade de fatores que influenciam o crescimento e a resultante produtividade de uma planta, é até surpreendente que as relações entre a análise de plantas, suprimento de nutrientes e produção sejam tão válidas como são (MUNSON e NELSON, 1974).

Grande parte dos erros cometidos na interpretação de análises químicas de plantas se deve aos procedimentos de amostragem. Por causa dos diversos fatores que atuam sobre a planta, esses procedimentos precisam ser padronizados da forma mais completa possível, a fim de que as variações de concentração que ocorrem dentro da própria planta, e mesmo por alguns efeitos exógenos como a sazonalidade e outros, tenham sua influência minimizada.

5.1. Fatores que influenciam a composição mineral das plantas

Há muitos fatores que afetam direta ou indiretamente a concentração dos nutrientes nas plantas, que é em última análise, a resultante da atuação desses parâmetros.

5.1.1. Parâmetros de solo

Parâmetros tais como textura, capacidade de troca de cátions, densidade, aeração, potencial redox e pH, todos afetam a disponibilidade de nutrientes.

Outros fatores, como umidade do solo, influenciam a disponibilidade pela ação que exercem sobre os mecanismos de transporte de nutrientes até às raízes. Plantas sob deficiência hídrica podem ter limitação de suprimento de elementos como P e K que se movem até às raízes através de lento processo de difusão, mesmo em condições de bom suprimento no solo (BARBER, 1962). A temperatura do solo afeta a liberação de nutrientes do solo e também o crescimento e desenvolvimento radicular que são bastante importantes na absorção de nutrientes.

5.1.2. Espécies e variedades

Cada espécie se comporta de uma maneira característica, o que é claramente evidente quando se analisam plantas diferentes em um mesmo ambiente, crescendo no mesmo solo ou substrato.

As dicotiledôneas de modo geral apresentam concentrações mais elevadas de Ca, Mg e B, enquanto as monocotiledoneas mostram teores mais altos de K. As cruciferas tendem a acumular mais S, enquanto arroz, cevada e espinafre são relativamente mais ricas em Fe. A maior acumulação de nitrato em gramineas, bem como outras caracteristicas nutricionais estão ligadas a diferenças entre espécies (COTTENIE, 1980).

As diferenças genéticas quanto à capacidade diferencial de absorção de nutrientes ocorrem também entre linhagens e variedades dentro da mesma espécie conforme pode ser observado na revisão de MUNSON e NELSON (1974). Se por um lado essas diferenças dificultam a interpretação pela diagnose foliar, por outro têm permitido ao melhoramento novas ações no sentido de selecionar plantas mais eficientes à absorção e uso dos nutrientes do solo, uma alternativa bastante atraente principalmente para os nutrientes cujas reservas minerais são esgotáveis.

De forma semelhante é frequente ocorrerem variações na composição quimica em plantas onde há grande variabilidade de copas e porta enxertos como no caso dos citros (HIROCE et al., 1981).

5.1.3. Idade fisiológica e parte da planta a ser amostrada

Durante a fase inicial do periodo vegetativo, a taxa de absorção de nutrientes é alta, e em consequência as concentrações nos tecidos são altas. À medida que a planta cresce, há uma diluição, diminuindo a concentração de nutrientes nos tecidos. Assim, tecidos fisiologicamente jovens, em geral apresentam concentrações mais elevadas.

De forma geral os teores de N, P e K decrescem com a idade da planta ou do órgão da planta, enquanto os teores de Ca, Mg, Mn e B frequentemente aumentam, conforme pode ser observado na Tabela 5. Folhas jovens, portanto, mostram teores relativamente mais altos de N, P e K, enquanto em folhas mais velhas ocorre frequentemente acumulação de Ca. Por esta razão, amostras de folhas para análise devem ter idade fisiológica semelhante ou originarem-se do mesmo ponto de inserção no caule.

Tabela 5. Tendência da concentração de nutrientes em relação à idade do tecido da planta (SMITH, 1962).

Planta	Diminui com a idade	Aumenta com a idade
Maçã	N, P, K	Ca, Mg
Amora	P	Ca, Mg
Citros	N, P, K, Cu, Zn	Ca, Mg, Mn, Fe, Al, B
Citros (fruto)	N, P, K, Mg	Ca
Figo	N, P, K	Ca, Mg
Pêssego	N, P, K, Cu, Zn	Ca, Mg, Mn, Fe, Al, B
Pinheiro	K	Ca
Hortaliças	N, P, K	Ca

5.1.4. Outros fatores

A concentração de nutrientes nas folhas pode ser influenciada não só pelos fatores já descritos, mas também por uma série de outros que poderão afetar de forma mais ou menos intensa as concentrações dos nutrientes nas folhas, dependendo da intensidade com que ocorram. Nesta situação podem ser citadas as interações entre os nutrientes, os efeitos de certas práticas culturais, como o uso de cobertura morta, e a presença de pragas e moléstias.

5.2. Procedimento de amostragem

A amostragem é sem dúvida a fase onde ocorrem os erros que mais dificultam a interpretação dos resultados da análise foliar. Há necessidade de padronização para minimizar os efeitos dos diversos fatores que afetam a composição das folhas.

O princípio teórico da amostragem consiste na seleção de folhas, ou partes da folha, que apresentem a maior estabilidade possível em relação aos fatores da planta que afetam a sua composição e a maior sensibilidade em termos de refletir a variação de composição que se espera em função de tratamentos impostos à planta, como por exemplo, a variação no suprimento de nutrientes, dos quais se esperavam respostas da planta.

A maior precisão na amostragem para fins de diagnose é obtida através do uso de amostras compostas, onde um determinado número de plantas distribuídas pela área são amostradas e as folhas são juntadas. Amostras seletivas de plantas individuais são normalmente utilizadas para análise de folhas mostrando sintomas de deficiência ou para outras finalidades específicas. Amostras de referência devem ser coletadas de forma semelhante enquanto amostras extras mostrando sintomas intermediários são úteis na interpretação dos resultados (EVENHUIS e WAARD, 1980).

Existe na literatura ampla divulgação de procedimentos que podem ser seguidos para amostragem, destacando-se as publicações de CHAPMAN (1966), WALSH e BEATON (1973), MALAVOLTA (1981), TRANI et al. (1983), MARTIN-PREVEL et al. (1987) e BENTON JONES et al. (1991).

Na Tabela 6 estão apresentados os critérios de amostragem recomendados para culturas onde mais se tem usado a diagnose foliar no Brasil. Para outras plantas recomenda-se a consulta da literatura anteriormente citada.

5.3. Relacionamento da produtividade com a concentração de nutrientes nas folhas e no suprimento

Muitos experimentos têm mostrado o relacionamento entre o conteúdo mineral nas folhas e no meio de crescimento ou substrato. Assumindo que um elemento essencial está agindo ou atuando como um fator limitante isolado, é muito fácil mostrar experimentalmente que um baixo nível de nutrientes indica uma deficiência e falta de disponibilidade no substrato e que um alto nível na planta indica alta disponibilidade no substrato. Entretanto, na prática, situações bem definidas são raras porque normalmente ocorrem interferências ou interações com outros nutrientes. Apesar disso, há uma relação básica entre a concentração de um nutriente e o crescimento ou produção de uma planta conforme pode ser observado na Figura 2. Nessa figura podem ser delimitadas as seguintes fases:

- sob severa deficiência, pode haver um decréscimo de concentração do nutriente com as primeiras aplicações de nutrientes, devido ao estímulo do crescimento e subsequente diluição do nutriente pela formação de material orgânico - efeito de diluição ou efeito de Steembjerg;

- sob deficiência moderada a concentração do nutriente na planta permanece constante, apesar da crescente disponibilidade. Isso ocorre porque a maior absorção é compensada pela formação de mais material orgânico;

- na próxima fase, há uma resposta no crescimento da produção, proporcional ao crescimento da concentração, até se atingir uma concentração ótima (nível crítico), acima da qual não há mais resposta na produção;

- finalmente, não se consegue aumento de produção, apesar do contínuo acúmulo do nutriente, o que se denomina consumo de luxo, podendo-se seguir uma fase onde a absorção excessiva do nutriente pode provocar efeitos adversos de toxicidade, diminuindo o crescimento ou a produção da planta.

Esse tipo de efeito em forma de C na porção esquerda da Figura 1 é geralmente associado à resposta da planta à concentração de macronutrientes nas folhas, geralmente a ação dos micronutrientes

Tabela 6. Recomendação para amostragem de folhas de algumas plantas cultivadas.

Planta	Epoca	Folha	Tamanho da amostra
Abacaxi	Florescimento	Parte basal não clorofilada da folha mais longa (folha "D"). Essas folhas têm inserção aproximada de 45o com a haste e a base quadrada	50 folhas, 1/planta. Cortar em pedaços e retirar + 200g
Algodao	Florescimento (80-90 dias)	3a. folha a partir do ápice da haste principal, sendo a 1a. aquela completamente aberta	30 folhas, 1/planta
Arroz	30 dias após a germinação	Toda a parte aérea	30 plantas
Bananeira	Emissao da inflorescência	10 cm centrais da 3a. folha a partir do ápice eliminando-se a nervura central e metades periféricas	25 folhas, 1/planta
Cafeeiro	Verao	3o. par de folhas a partir do ápice dos ramos, média da planta nos quatro pontos cardeais.	100 folhas, 4/planta em 25 plantas
Cana-de-acucar	4-5 meses de idade	20 cm centrais da folha + 3, sendo +1 a primeira com bainha visível, excluindo-se a nervura central	100 folhas, 1/planta
Citros	Verao	Folhas geradas na primavera, com cerca de 6 meses de idade, nos ramos com frutos, nos quatro pontos cardeais da planta	100 folhas, 4/árvore em 25 plantas
Macieira	Florescimento	Folhas maduras com pecíolo de ramos do ano, na altura média da planta nos quatro pontos cardeais	100 folhas, 4/árvore em 25 plantas
Milho	9 semanas	30 cm do terço basal sem a nervura central na folha +4, a quarta folha a partir do ápice cuja inserçao da bainha com o colmo é visível	30 folhas, 1/planta
Seringueira	Verao	Folhas sem pecíolo. Ás plantas jovens (até 4 anos); colher as duas folhas mais desenvolvidas do último lançamento maduro no exterior da copa a plena luz. Plantas adultas (mais de 4 anos); colher duas folhas mais desenvolvidas do último lançamento maduro em ramos baixos na copa em áreas sombreadas	50 folhas, 2/planta em 25 árvores
Soja	Florescimento	3a. folha na haste principal a partir do ápice, com pecíolo	30 folhas, 1/planta

é mais drástica. Assim que a limitação é eliminada, uma pequena alteração na concentração do micronutriente resulta num significativo aumento de crescimento ou produção. Variações do nivel de 1 ou 2 ppm do nutriente na folha pode significar a diferença entre a deficiência e a suficiência do micronutriente.

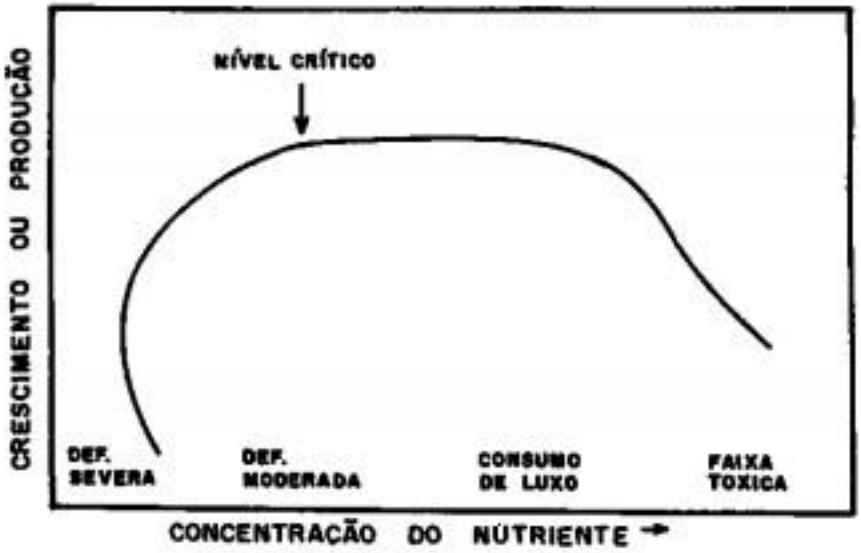


Fig. 2. Relação entre a concentração do nutriente no tecido e o crescimento ou produção. (SMITH, 1962).

6. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Entre os objetivos de interpretação incluem-se a avaliação do estado nutricional das plantas e o tratamento de sintomas agudos de distúrbios nutricionais. Uma premissa básica é a de que a otimização da condição vegetativa da cultura é essencial para a melhoria da produtividade. É essencial em qualquer situação que se disponham de valores de referência para se comparar os dados da amostra em análise. Em princípio esses índices deviam ter aplicação universal, mas na prática esses valores estão muito relacionados com particularidades ambientais, de modo que os valores de referência quase sempre precisam ser adaptados a condições locais, embora alguma extrapolação sempre seja possível.

Entre os critérios de interpretação normalmente usados podem-se citar o baseado no nivel crítico, em faixas de valores correspondentes a zonas de deficiência aguda, deficiência latente,

ótimo, consumo de luxo e excesso. Esses critérios consideram apenas as concentrações dos nutrientes na matéria seca. Outro critério que vem se popularizando é o (DRIS) Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (BEAUFILS, 1973), que utiliza conceito de balanço de nutrientes e parece menos sujeito a interferências de particularidade locais do ambiente e dos sistemas de amostragem das plantas.

6.1. Nível crítico

O nível crítico corresponde à concentração na folha abaixo do qual a taxa de crescimento, a produção ou a qualidade são significativamente diminuídas.

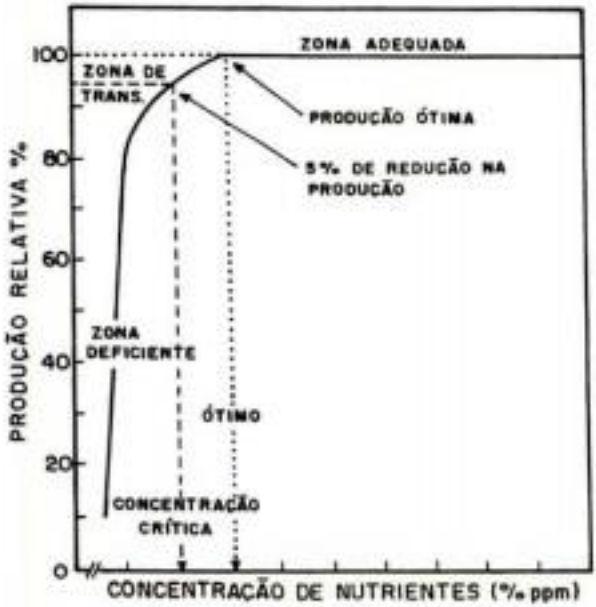


Fig. 3. Representação esquemática mostrando como as concentrações críticas são determinadas para partes específicas de plantas em idades fisiológicas estabelecidas (ULRICH e HILLS, 1967).

Com certeza, o termo significativamente pode ter interpretação diversa. Por exemplo, ULRICH e HILLS (1967) estabeleceram que o nível crítico para diversas culturas seria a concentração correspondente a uma produção de 95% da ótima (Figura 3), enquanto GALLO et al. (1965) estabeleceram níveis críticos para milho com base numa produção relativa de 80%.

Outras interpretações usam diferentes terminologias. Num conceito interpretativo desenvolvido por OKHI (1987), o nível crítico do nutriente é a concentração que provoca uma redução de 10% na produção. Esse nível é definido como nível crítico de deficiência. De forma semelhante, o nível crítico de toxidez é a concentração tóxica do nutriente que reduz em 10% a produção da planta. Esses conceitos podem ser mais bem observados na figura 4.

Esse critério tem sido bastante utilizado no Brasil onde já existe vasta experimentação procurando estabelecer índices apropriados para diversas culturas nas mesmas condições. A tabela 7 foi composta considerando-se as culturas que aparecem na tabela de TRANI et al. (1983) acrescida de outras culturas e valores para alguns nutrientes que aparecem em tabela publicada por MALAVOLTA (1981).

Os dados desta tabela não são definitivos e em certos casos são até discrepantes quando se comparam as diferentes fontes de literatura, mas de forma geral já se constituem numa base de interpretação, embora seja um critério bastante influenciado por condições locais de ambiente.

Fig. 4. Relação entre a concentração de zinco na lâmina 1 de sorgo granífero e a produção de matéria seca da parte aérea (OKHI, 1987).

6.2. Faixas de concentração

Para a maioria das culturas geralmente não existe um determinado ponto de ótima produção, mas sim uma determinada faixa, porque o

Tabela 7. Níveis críticos para diversas plantas cultivadas.

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	%						ppm				
Abacaxi (18 meses)	1.50	0.12	3.00	0.30	0.30	-	-	-	-	-	-
Algodão	3.20	0.17	1.50	2.00	0.50	0.40	50	8	-	15	30
Amendoim	4.00	0.20	1.00	-	-	-	100	-	-	200	-
Arroz	3.00	0.12	2.00	0.60	0.30	-	30	15	-	-	20
Banana	2.60	0.22	2.80	0.60	0.30	0.20	15	8	70	-	20
Batata (30 dias)	5.00	0.30	3.00	-	-	-	20	-	-	-	-
Cacau	3.00	0.30	1.30	1.60	0.30	-	-	3	-	40	25
Café	2.80	0.12	1.80	1.00	0.35	0.20	40	6	70	50	10
Cana-de-açucar	1.60	0.12	1.20	0.40	0.20	0.20	10	6	100	50	10
Citros	2.20	0.12	1.00	3.00	0.30	0.20	50	6	60	25	25
Coqueiro	1.70	0.10	0.50	0.50	0.30	-	-	-	-	-	-
Couve-flor	3.50	0.50	3.50	3.50	-	-	40	5	-	60	-
Feijao	3.00	0.30	2.00	2.50	0.50	0.20	20	8	-	-	30
Maçã	2.50	0.20	1.50	1.20	0.30	-	20	10	-	75	30
Milho	3.00	0.22	3.00	0.45	0.25	0.20	20	9	-	-	20
Pinus	1.30	0.20	1.00	-	0.20	0.20	60	5	100	200	-
Soja	4.50	0.25	1.70	1.00	0.40	0.25	20	10	50	20	20
Sorgo	3.00	0.50	2.20	0.35	0.25	-	-	9	-	-	20
Tomate	4.00	0.40	3.00	2.00	0.50	-	100	20	150	100	50
Uva	2.50	0.20	1.50	0.40	0.40	-	100	15	-	-	-

aumento de produção obtido com doses crescentes de nutrientes é sempre associado a um erro. O mesmo é verdadeiro em relação à concentração adequada ou nível crítico. Por isso, às vezes é conveniente se recomendar níveis de adubação suficientes para manter as concentrações de nutrientes um pouco acima do nível crítico, numa faixa de suficiência.

Especialmente para culturas onde existe grande diversidade de clones, combinações de porta-enxerto e cavalos e variedades parece mais apropriado se usarem faixas de concentração para interpretação dos resultados.

Em princípio as faixas de concentração são divididas em cinco níveis: deficiência aguda, deficiência latente, intermediária, níveis altos e níveis tóxicos. As delimitações entre cada uma dessas faixas pode ser feita de acordo com as considerações apresentadas na Tabela 8, conforme aparece na publicação de COTTENIE (1980).

Como exemplo do uso desse sistema de interpretação, a tabela 9 mostra as normas atualmente usadas para os citros em geral, conforme foi publicada por RODRIGUES (1991).

Em relação ao nível crítico, o método de interpretação baseado em faixas de concentração é relativamente menos afetado por pequenos efeitos locais de ambiente e da própria planta, uma vez que os limites são mais amplos. Mesmo assim, a amostragem é sem dúvida o primeiro passo importante que necessariamente deve ser padronizada de forma mais completa possível.

Na publicação de JONES et al. (1991) podem ser encontradas tabelas contendo faixas de concentração de nutrientes, equivalentes a teores baixos, suficientes e altos para mais de uma centena de plantas, abrangendo culturas agronômicas, ornamentais, frutas e nozes, florestas e outros. Os autores especificaram o processo de amostragem e a correspondente tabela de interpretação para cada cultura. É um material bastante recomendável.

6.3. Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)

Os dois critérios de interpretação até agora discutidos baseiam-se no estabelecimento de padrões para plantas produtivas e comparação das concentrações dos nutrientes das amostras com esses padrões. Nos dois procedimentos utiliza-se o teor absoluto dos nutrientes.

Tabela 8. Relação entre as faixas de concentração nas folhas e consequências no crescimento e qualidade da produção.

Aumento de Concentração			
	Excesso ou toxicidade	Decréscimo de produção possivelmente com sintomas visuais	
			nível inicial de toxicidade
	Consumo de luxo	Bom crescimento mas com acúmulo interno de nutrientes e possíveis interações	
	Estado ótimo de nutrição	Bom crescimento e geralmente boa qualidade	
			limite de resposta de produção
	Deficiência latente	Sem sintomas visuais, mas aumento de produção e qualidade pela fertilização	
			limite de sintomas visuais
	Deficiência aguda	Sintomas visuais e efeito direto da fertilização e aplicação foliar	

O sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) é um conceito de interpretação relativamente novo (BEAUFILS, 1973). O DRIS é uma técnica baseada na comparação de índices, calculados através das relações entre nutrientes. Na sua concepção, foi desenvolvido para tornar a interpretação menos dependente de variações de amostragens com respeito a idade e origem do tecido permitir um ordenamento de fatores limitantes de produção, e realçar a importância do balanço de nutrientes.

O DRIS é baseado no princípio de interrelações nutricionais que determinam, numa ordem descendente, aqueles dos mais para os menos limitantes. O procedimento inicialmente usado para o estabelecimento de padrões do DRIS baseou-se na relação entre concentração de nutrientes e produtividade de algumas plantas como o milho, com larga disponibilidade de dados na literatura mundial. Entretanto, quando se usa esse tipo de dados geralmente a distribuição dos valores não é normal. Para normalizar essa distribuição, WALWORTH e SUMNER (1987) propuseram dividir a população de dados em dois subgrupos esquematicamente mostrados na Figura 5, separando um grupo altamente produtivo de outro subgrupo menos produtivo. Os valores das concentrações, relações entre concentrações dos nutrientes ou produto de concentrações de nutrientes para esse grupo mais produtivo permanece normalmente

Tabela 9. Faixas de teores de nutrientes em folhas de citros gerados na primavera com 6-7 meses de idade de ramos com frutos (RODRIGUES, 1991).

Nutriente	Deficiência aguda	Deficiência latente	Otimo	Teores altos	Excesso
N (%)	< 2,0	2-2,3	2,4-2,7	2,8-3	> 3,0
P	< 0,09	0,09-0,11	0,12-0,16	0,17-0,29	> 0,30
K	< 0,7	0,7-1,1	1,2-1,7	1,8-2,3	> 2,4
Ca	< 1,5	1,5-2,9	3,0-4,5	4,6-6,9	> 7,0
Mg	< 0,20	0,20-0,29	0,30-0,49	0,5-0,7	> 0,7
S	< 0,14	0,14-0,19	0,20-0,39	0,40-0,60	> 0,60
B (ppm)	< 20	20-35	36-100	101-200	> 200
Cu	< 3,6	3,6-4,9	5-12	13-20	> 20
Fe	< 35	35-49	50-120	130-200	> 200
Mn	< 18	18-24	25-49	50-500	> 500
Mo	< 0,05	0,05-0,09	0,10-1,0	2-50	> 50
Zn	< 18	18-24	25-49	50-200	> 200

distribuido para a população de alta produtividade, que será usada como referência no estabelecimento dos padrões do DRIS.

Quando apenas três nutrientes são estudados, é possivel usar um sistema visual de representação, através de setas e circulos como a representação da Figura 6, onde aparece a interpretação para uma análise de N, P e K em milho.

A faixa central, dada pelo diâmetro 4/3s, compreende uma zona de relativo equilibrio e é representada por uma seta horizontal (→). As zonas compreendidas entre os circulos concêntricos dados pelos diâmetros 4/3s e 8/3s, representam um desequilibrio de ligeiro a moderado, sendo representadas por setas que fazem 45° com a horizontal (↗, ↘) e, finalmente, as zonas externas ao circulo maior, oferecem um notável desequilibrio e são representadas por setas verticais (↑, ↓), conforme representado na Figura 5.

Fig. 5. Ilustração esquemática da curva normal do DRIS. Áreas tracejadas representam os únicos componentes que podem ser identificados como não saudáveis devido a deficiência, excesso ou desbalanço dos nutrientes em questão (Walworth e Sumner, 1987).

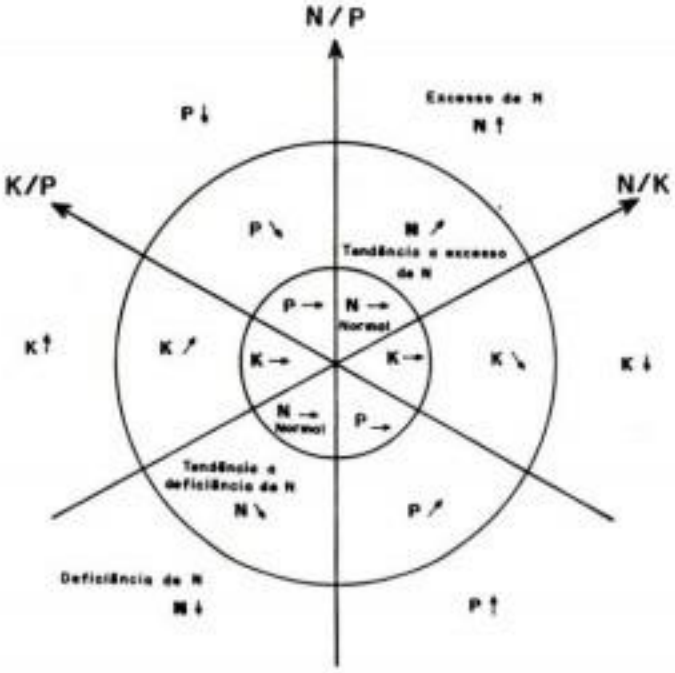


Fig. 6. Representação esquemática através do DRIS.

Quando se trata de interpretação da relação entre três nutrientes, a visualização através desse sistema de setas e círculos é viável, porém quando se procuram interpretar relações entre mais de três nutrientes, a visualização esquemática exigiria outro plano o que seria inviável. Por esta razão, BEAUFILS (1971) introduziu o conceito de índices primários que representam numericamente o balanço nutricional, substituindo as setas do diagrama interpretativo. Valores negativos significam deficiência do elemento em relação aos demais; valores positivos indicam um excesso e, quanto mais próximo do zero estiverem esses índices, mais próxima estará a planta do equilíbrio nutricional.

Para o cálculo dos índices do DRIS, após a definição de uma população padrão ou de referência, constituída por indivíduos de alta produtividade, estabelecem-se as relações entre nutrientes, com suas médias e respectivos coeficientes de variação. Para um nutriente Y hipotético utiliza-se a seguinte fórmula para o cálculo do índice.

$$I_y = \frac{\sum_{i=1}^{n} f\,(Y/Xi) - \sum_{j=1}^{m} f\,(X_j/Y)}{n + m}$$

$$f\,(Y/X) = \left(\frac{Y/X_{(a)}}{Y/X_{(p)}} - 1\right) \cdot \frac{100K}{CV\ \%} \quad \text{para } Y/X_{(a)} > Y/X_{(p)}$$

$$= 0 \quad \text{para } Y/X_{(a)} = Y/X_{(p)}$$

$$= \left(1 - \frac{Y/X_{(p)}}{Y/X_{(a)}}\right) \cdot \frac{100K}{CV\ \%} \quad \text{para } Y/X_{(a)} < Y/X_{(p)}$$

$Y/X_{(a)}$ = relação na amostra
$Y/X_{(p)}$ = relação na população de referência
CV % = coeficiente de variação da relação
K = constante de sensibilidade (10, 20, 30)

O DRIS, além da interpretação dos valores relativos da importância de cada nutriente permite trabalhar com o conceito de balanço de nutrientes.

$$BN = (|\ I_a\ | + |\ I_r\ | + |\ I_k\ |) / 3$$

O balanço nutricional expressa o valor médio do somatório dos valores absolutos de cada índice. Quanto mais esse valor se distancia de zero, maior é o desequilíbrio nutricional para a amostra.

Apesar das grandes possibilidades do DRIS, não se deve pensar no seu uso exclusivo como método de interpretação. Seu uso associado aos conceitos tradicionais, tanto de nível crítico como da faixa de suficiência, pode trazer informações complementares muito importantes na avaliação do estado nutricional de uma determinada amostra.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ARNON, D.I. & STOUT, P.R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant. Physiology**, Rockville, 14: 371, 1939.

BARBER, S.A. A diffusion and mass flow concept of soil nutrient availability. **Soil Sci.**, Baltimore, **93**: 39-49, 1962.

BEAUFILS, E.R. Physiological diagnosis; a guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. **Fertilizer Society South African J.**, 1: 1-30, 1971.

BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)**. A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. University of Natal. Soil Sci. Bull. nº 1, 1973.

BROWN, P.H.; WELSH, R.M.; CARY, E.E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiol.** ,Rockville, **85**: 801-3, 1987.

CHAPMAN, H.D. **Diagnostic criteria for plants and soils**. Univ. of California, 1966.

COTTENIE, A. Present status of plant analysis as a method for preparation of fertilizer recommendations. In: FAO. **Soils**. Rome, 1980. p.21-36. (FAO. Bulletin, 38/1).

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas**; principios e perspectivas. Trad. de E. Malavolta. São Paulo, Livros Técnicos e Cientificos, EDUSP, 1975, 341 p.

EVENHUIS, B. & WAARD, P.W.F. Principles and practices in plant analysis. In: FAO, Soils. Rome, 1980. p.152-63. (FAO. Bulletin, 38/1).

FAO. **Soil and plant testing and analysis**. In: FAO. **Soils** Rome, 1980. (FAO. Bulletin, 38/1).

GALLO, J.R.; COELHO, F.A.S.; MIRANDÀ, L.T. A análise foliar na nutrição do milho. I - Resultados preliminares. **Bragantia**, Campinas, 24: XLVII-LIII, 1965. Nota nº 9.

GOODALL, D.W. & GREGORY, F.G. **Chemical composition of plants as an index of their nutritional status**. East Malling, Imp. Bur. Hort. Plant Crops, 1947. (Techinical Communication, 17).

HIROCE, R.; POMPEU Jr., J.; FIGUEIREDO, J.O. Efeito de dez porta-enxertos na composição mineral das folhas da laranjeira Valência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 6., Recife, 1981. **Anais**. Recife, Soc. bras. Fruticultura, 1981. p. 626-33.

JONES, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook**; a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. MICRO-MACRO Publ. 1991. 213p.

LAGATU, H. & MAUME, L. Le diagnostic foliare de la pomme de terre. **Ann. Ecol. Nat. Agric.**, Montpellier, **22**: 50-158, 1934.

LUNDEGARDH, H. **Die Blattanalyse**, G. Fisher Jena Verlag, 1945.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**; adubos e adubação. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado **nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba, Asociação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba. 1989. 201 p.

MARCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press. 1986. 674 p.

MARTIN-PRÉVEL, P.; GAGNARD, J.; GAUTIER, P. **Plant Analysis**; as a guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops. Technique et Documentation, 1987.

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Bern, International Potash Institute, 1987. 655 p.

MUNSON, R.D. & NELSON, W.L. Principles and practices in plant analysis. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D., ed. **Soil testing and plant analysis**, 1973. p. 223-48.

OKHI, K. Critical nutrient levels related to plant growth and some physiological processes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, 10: 1583-90, 1987.

RODRIGUES, O. Nutrição e adubação dos citros. In: RODRIGUES, O., VIÉGAS, F.C.P. Citricultura brasileira. Campinas, Fundação Cargill, 1980. p. 385-428.

SMITH, P.F. Mineral analysis of plant tissue. **Annual Review of Plant Physiology**, Polo Alto, 13: 81-108, 1962.

TRANI, P.E.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. **Análises foliar**: amostragem e interpretação. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 18p.

ULRICH, A. & HILLS, F.J. Principles and practices of plant analysis. In: Soil testing and plant analysis. Madison, SSSA. 1967. pt. 2, p.11-24. (Special Publications Series).

WALSH, L.M. & BEATON, J.D. **Soil testing and plant analysis**. Madison, Soil Science Society of America. 1973.

WALWORTH, J.L. & SUMNER, M.E. The diagnosis and recommendation integrated system. In: B.A. STEWART, R.A., ed. **Advances in soil science**. Springer Verlag, 1987. p.188-94.

ESTUDO DO SISTEMA RADICULAR DAS PLANTAS

Flávio Zanette[1]

Jucinei José Comen[2]

1. INTRODUÇÃO

Hoje ainda são ignorados alguns detalhes do crescimento do caule das plantas, apesar de todas as facilidades de acesso para observações e medições que podemos ter.

As raizes, pelo seu habitat natural, o solo, apresentam dificuldades muito maiores para conhecermos o seu comportamento. Por ser o solo um elemento opaco e muito variado em nada facilita o interesse dos pesquisadores em conhecer a dinâmica das raizes e suas interações com o solo.

É fácil compreender que muito mais do que o caule as raizes sofrem uma grande pressão do meio onde atuam, por isso seu desenvolvimento e sua atividade, apesar de um grande "comando" genético, dependem muito da interação do solo.

Antes de pretendermos conhecer a distribuição das raizes de uma planta no solo, devemos ter bem claro qual é a arquitetura natural do sistema radicular da espécie em questão. Como sabemos, existem plantas que apresentam um sistema radicular bem hierarquizado, com uma ou algumas raizes principais de onde derivam as demais, ex. as arbóreas e arbustivas dicotiledôneas propagadas por semente.

Outras plantas, como as gramíneas apresentam um sistema radicular fasciculado sem uma grande definição hierárquica.

Na Figura 1, apresentamos alguns modelos de arquiteturas de sistemas radicular de diferentes espécies.

---

[1] Professor Doutor em Morfogênese - Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 672. Cep 80001.970, Curitiba, PR.

[2] Mestrando em Ciências do Solo - Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 672. Cep 80001.970, Curitiba, PR.

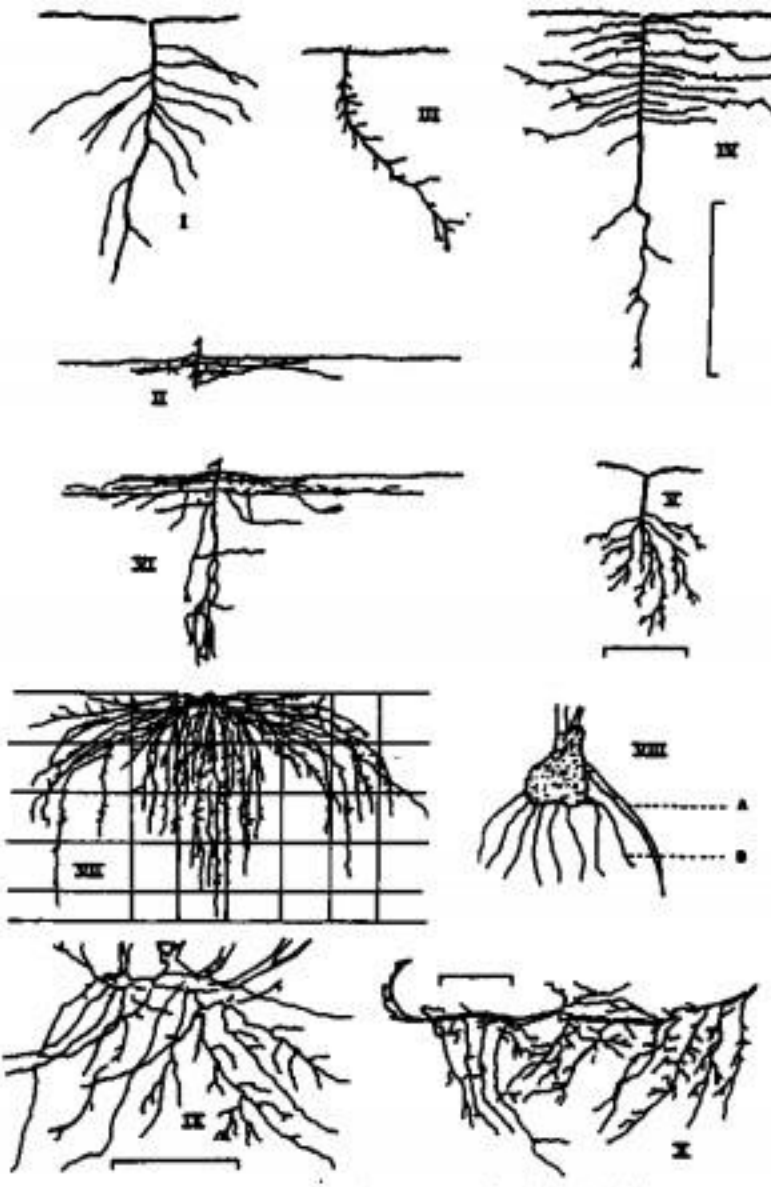


FIGURA 1. Modelos de arquiteturas de sistemas radicular de diferentes espécies.

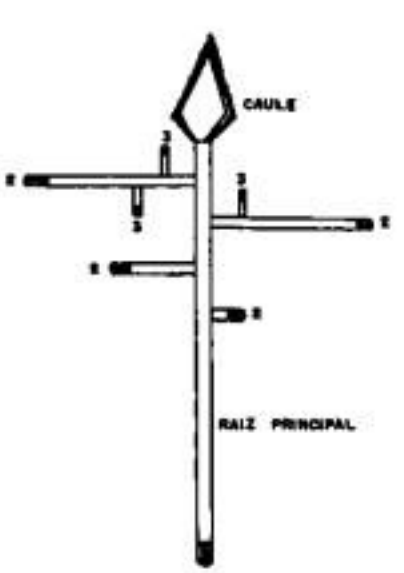


Figura 2. Esquema proposto para estudo da distribuição das raizes.

Qualquer que seja o modelo estrutural do sistema radicular podemos estabelecer uma convenção para o estudo da distribuição das raizes seguindo o esquema proposto na Figura 2.

Uma raiz no solo sofre muitas interferências do meio sobre seu desenvolvimento. Uma interferência concreta são os obstáculos fisico (torrões, blocos) que uma raiz encontra no seu crescimento. Riedacker (1978), demonstrou algumas mudanças provocadas na direção de crescimento das raizes pelos obstáculos fisicos do solo. (Figuras 3 e 4).

2. MÉTODOS DE ESTUDO DO SISTEMA RADICULAR

O estudo das raizes de plantas pode dirigir-se em duas direções: a) estudar o desenvolvimento radicular fora do solo, por exemplo, solução hidropônica, neblina nutritiva ou in vitro; b) estudar as raizes no solo. Neste caso podemos fazer estudos por amostragem (métodos não destrutivos) ou por escavações totais ou parciais (métodos destrutivos). No solo os estudos podem ainda ser feitos no campo, em vasos ou em recipientes especiais.

Neste trabalho é feita uma revisão de alguns métodos utilizados no estudo do sistema radicular das plantas no solo, tanto lenhosas como herbáceas.

FIGURA 3. Representação esquemática, mostrando o comportamento da raiz ao encontrar um obstáculo (superior a 8 cm) plano horizontal e vertical.

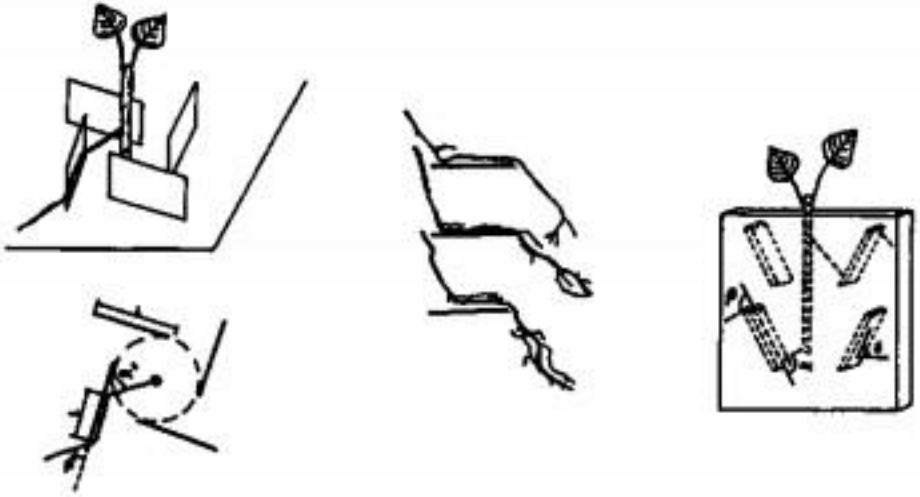


FIGURA 4. Representação esquemática, mostrando o comportamento da raiz, ao encontrar um obstáculo curto.

BOHM (1979); SCHUURMAN & GOEDWAAGEN (1971); TAYLER et alii (1986) citam alguns desses métodos destrutivos que passaremos a descrever.

2.1. Escavações

A arquitetura geral do sistema radicular e a extensão do volume de solo enraizado pode ser determinado por escavação cuidadosa de todo o sistema radicular ou de parte dele. Um suporte é colocado na parte aérea da planta e o solo é removido cuidadosamente ao redor das raizes com o auxilio de ferramentas ponteagudas, ar ou água. A localização e a extensão das raizes pode ser desenhada, fotografada ou montada, conforme for o objetivo do estudo.

Este método é mais indicado para solos rochosos ou cascalhentos ou quando o volume de solo enraizado não é simétrico. A técnica causa a perda de muitas raizes pequenas e consome muito tempo. Estima-se que uma pessoa leva cinco semanas para escavar e medir o sistema radicular de uma árvore de pinho com 15 anos de idade. Cerca de 60 t de solo foram removidas na escavação do sistema radicular de uma árvore frutifera adulta.

2.2 Monolito

Retiram-se blocos de solo ou monolitos e faz-se a separação de raizes por lavagem. Os monolitos são retirados de sucessivas profundidades até profundidades de enraizamento, ou retira-se apenas um bloco de solo cortando-o nas profundidades desejadas. Este método é frequentemente aplicável para investiga-ções que visam fazer determinações quantitativas das raizes, que podem ser complementadas com representações gráficas. O método da prancha com pregos pode ser considerado uma variação, pois com auxilio de pregos é retirado um bloco de solo semelhante ao monolito.

NELSON & ALLMARAS (1968) mecanizaram o método do monolito e utilizaram uma moldura movida hidraulicamente capaz de coletar amostras de raizes de até quatro plantas de milho em uma só amostragem. BOHN et al. (1979) estimaram que o trabalho necessário para obter os dados de um monolito até a profundidade de 1,8 m foi de 26 horas. KOPKE (1981), comparando quatro dos principais métodos de avaliação de raizes, o do monolito, o do trado, o do perfil e o do tubo de vidro, utilizados a campo, encontrou a maior densidade de comprimento de raizes (cm/cm^3) com o método do monolito, considerando-o desta forma com o método padrão. Este método apresentou maior exatidão na obtenção de dados.

2.3. Trado

Envolve a retirada de amostras volumétricas de solo e de raiz, em diferentes distâncias e profundidades da base da planta, e em alguns casos em uma sequência de tempo pré-determinada. A coleta de amostras pode ser feita através de trado manual ou por máquina

de amostragem com sistema hidráulico. Em seguida, determina-se a massa, o comprimento, o raio e a superfície radicular.

O volume das amostras frequentemente é menor do que o volume dos monolitos. BOHM (1979) sugere que sejam coletadas pelo menos cinco amostras em cada parcela para se obter resultados estatisticamente significativos. NOORDWIJK et al. (1985), por outro lado, postulam que o número de amostras que devem ser coletadas depende da precisão requerida na determinação da densidade radicular média e da variação entre as amostras. Os coeficientes de variação, em amostras coletadas pelo método do trado, para massa seca de raízes de cereais são em média 45% para 0-30 cm e 51% para 30-60 cm de profundidade, respectivamente. Para coeficientes de variação de 40%, considerados normais, são necessárias 25 amostras por tratamento para se distinguir 22% de diferenças entre duas médias, ou 10 amostras para 35% de diferença.

O tempo requerido para coletar uma amostra de solo é de cerca de 20 minutos. Este tempo é pequeno quando comparado aos 240 minutos necessários para lavar e separar as raízes dos resíduos orgânicos ou das raízes mortas de outras plantas. A técnica de quebrar o torrão retirado pelo trado elimina a necessidade da lavagem ou da limpeza das amostras. A amostra de solo é segurada firmemente com as mãos e uma força é aplicada, de forma que o torrão de solo quebre numa posição pré-determinada. As raízes que projetam-se para fora ou quebram na superfície são contadas e obtêm-se como determinação cm de raízes/cm^2 de super-fície horizontal. O método da quebra do torrão é impraticável em solos com pedras, cascalhos ou com baixa coesão, ou em solos contendo raízes com diâmetro maior do que 2,0 mm.

2.4. Parede de perfil

É considerado o método mais simples dos métodos quantitativos. Abre-se uma trincheira e em uma face vertical remove-se uma camada de 5,0 mm de espessura para a exposição das raízes. Isto pode ser feito através de ferramentas manuais, ou por jatos de água ou ar. Em seguida, coloca-se uma grade contra a parede e estima-se o comprimento das raízes dentro de cada quadrado da grade. Este método pode ser aplicado mais que uma vez para a mesma planta em diferentes distância do caule. Segundo KOPKE (1981) este método apresenta a relação mais favorável entre o tempo gasto e a informação obtida, porém, subestima a densidade de comprimento de raízes quando comparado com o método do monolito, necessitando assim a multiplicação dos dados obtidos por um fator de correção.

Parede de vidro

O desenvolvimento das raízes é acompanhado através de janelas de vidro colocadas junto ao perfil do solo. O rizotron é a aplicação deste método, o solo que contem as raízes fica atrás de cada janela. Os rizotrons podem ser simplesmente uma cova aberta contendo um vidro ou parede de plástico transparente, ou podem ser

grandes instalações contendo muitos metros quadrados de superfície visível.

O rizotron apresenta várias vantagens sobre os outros métodos, pois, permite determinações sucessivas na mesma planta no tempo e que as estimativas do crescimento das raízes sejam efetuadas rapidamente acompanhando-se assim a dinâmica do crescimento. Estas vantagens também aplicam-se aos minirizotrons, onde pequenos tubos de vidro são introduzidos no solo e as raízes ficam visíveis através de espelhos e de técnicas de iluminação. Os minirizotrons foram aperfeiçoados pela utilização de microcâmaras que permitem a atividade do sistema radicular. É um método mais sofisticado, o que exige o envolvimento de pessoal especializado.

Elemento marcado

Utilizam-se isótopos, como por exemplo o 32p. Os elementos marcados são deixados a distâncias determinadas da planta e posteriormente verifica-se a sua presença na planta, o que indica a extensão das raízes até o isótopo. O isótopo também pode ser injetado no caule da planta, e, posteriormente realiza-se a amostragem do solo.

2.5. Cartografia "in situ"

TARDIEU & MANICHON (1986 a, b) utilizaram este método para estudar o sistema radicular. O método consiste em determinar um quadriculado num plano vertical e horizontal, cortando o volume de solo enraizado e determinando visualmente a densidade radicular nos dois planos. O método foi adotado por MANICHON (1982) para estudo das consequências do estado estrutural do solo sobre a penetração de raízes, e permite um estudo da disposição espacial das raízes, a determinação "in situ" do contato solo-raízes e a fácil determinação da distância que a água deve percorrer até as raízes.

2.6. Determinação de parâmetros radiculares

A densidade de massa seca de raízes (g/cm^3), onde os resíduos orgânicos e o solo são separados das raízes e estas são secas e pesadas, é uma determinação simples e de suficiente exatidão para alguns propósitos. Nestes casos podemos cultivar as plantas em volumes de solo conhecido, inclusive em vasos.

A grande maioria dos modelos de absorção de água e íons requer determinações da densidade de comprimento de raízes (cm/cm^3). Para este tipo de determinação, após a lavagem das raízes normalmente utiliza-se o método da interseção (NEWMAN, 1966; TENNANT, 1975). ROWSE e PHILIPS (1974) descreveram um instrumento para a contagem automática das interseções das raízes.

Atualmente, com os avanços na área de informática e na análise de imagens, o tempo necessário para determinar o comprimento e o diâmetro de raízes pode ser diminuído, significativamente

permitindo a rápida determinação da área de superfície total e do volume de raízes.

Queremos chamar a atenção que não existe um só método que possa ser ideal para estudar qualquer parâmetro relativo ao sistema radicial. Enquanto um método que utiliza substrato líquido ou neblina nos permite quantificar o volume, peso ou comprimento do sistema radicial em relação ao caule, outro método o da escavação nos poderá informar sobre a arquitetura do sistema radicial. Podemos ainda desejar obter informações sobre a densidade das raízes finas no solo, para isso podemos empregar o método da amostragem com o trado ou da parede de perfil.

A escolha do método de avaliação de raízes depende portanto do objetivo do estudo. Os parâmetros mais comumente utilizados incluem massa, comprimento, área ou volume de raízes.

O número de raízes sozinho pode dar uma boa estimativa da relativa extensão de enraizamento. Este parâmetro pode ser usado em estudos empregando todas as técnicas de observação: escavação, trado, parede de perfil e rizotron. É um parâmetro de fácil determinação, entretanto, pode não ser relacionado diretamente com qualquer outro parâmetro radicular, exceto para comprimento.

A determinação da biomassa total de raízes é mais importante para estudos relacionados com a distribuição de carbono no solo. As grandes raízes lenhosas dominam a biomassa total, mas representam pequeno efeito direto na absorção de água e nutrientes, a biomassa sozinha representa muito pouco da atividade do sistema radicular.

Fisiológicamente, o comprimento e a superfície de área de raízes parecem ser os parâmetros de maior importância que afetam funções de absorção das raízes ao invés da massa de raízes sozinha, salvo para as gramíneas onde os parâmetros citados tem uma estreita correlação, pela maior homogeneidade das raízes. A determinação do comprimento e superfície de raízes tem se mostrando muito importante devido à sua inclusão na simulação de modelos onde as taxas de absorção de materiais é limitada pelas taxas de difusão de elementos no solo e a distribuição de raízes finas.

A superfície de área pode ser um bom índice do número de sítios de absorção na superfície radicular. É um parâmetro relevante nos estudos de absorção de água e nutrientes que atingem as raízes primeiramente por fluxos de massa (exemplo: N e K em solos férteis). As determinações do volume de raízes podem ser relacionadas com a superfície de área de absorção total do córtex e com a capacidade do sistema radicular armazenar nutrientes.

BIBLIOGRAFIA CITADA

BOHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlim, Springer-Verlag, 1979. 189p.

BOHM, W., MADUAKOR, H. TAYLER, H.M. Comparison of five methods for charaterizing soybean rooting density and development. **Agron. J.**, Madison, v. **69**, p.415-419, 1977.

KOPKE, U. Methods for studying root growth. In: RUSSEL, et al. **The soil/root systems in relation to brazilian agriculture**. Londrina: Fundação Instituto Agronômico do Paraná, 1981. p.303-318.

MEWMAN, E.I. A method of estimating the total lenght of root in a sample. **J. Appl. Ecol.**, v. 3, p.139-145, 1966.

NELSON, W.W., ALLMARAS. An improved monolith method for excavating and describing roots. **Agron. J.**, Madison, v. 61, p.751-754, 1969.

NOORDWIJ, M. Van, FLORIS, J., DE JAGER, A. Sampling schemesfor estimeting root density distribuition in cropped fields. **Nethertands J. Agric. Sci.**, Wageningen, v. 33, p.241-262, 1985.

RIEDACKER, A. Etude de la déviation des racines horizontales ou obliques esseus de boutures de peuplier qui renconerent un obstacle: applications pour la conception de conteneurs. **Ann. Sci. forest.**, V. 35, n. 1, p.1-18, 1978.

ROWSE, H.R., PHILLIPS, D.A. An instrument for estimating the total lenght of root in a sample. **J. Appl. Ecol.**, v. 11, p.309-314, 1974.

SCHUURMANN, J.J.; GOEDEWAAGEN, M.A. **Methods for the examination of root systems and roots**. 2 ed. Wageningen, Pudoc, 1971. 86p.

TAYLOR, H.M. Methods of studying root systems in the field. **Hort. Sci.**, Alexandria, v. 21, p.952-956, 1986.

TARDIEU, F., MANICHON, H. Caractérisation en tant que capteur d'eau de l' enracimement du mais em parcelle cultivée I. Discussion des critéres d'étude. **Agronomie**, v. 6, n. 4, p.345-354, 1986a.

TARDIEU, F., MANICHON, H. Caractérisation en tant que capteur d'eau de l'enracimement du mais en parcelle cultivée II. Une méthoder d'étude de la répartition verticale et horizontale des racines. **Agronomie**, v. 6, n. 5, p.415-425, 1986 b.

TENNANT, D. A test of modified line intersect method estimating root lenght. **J. Ecological**, v. 63, p.995-1001, 1975.

VIRGINIA, R.A., JARRELL, W.M. Approaches for studying the function of deep root systems. In: TENHUNEN et al.. **Plant response for stress**. Berlim, Springer-Verlag, 1987. p.107-127.

NUTRIÇÃO MINERAL E QUALIDADE DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

Henrique Paulo Haag[1]

1. INTRODUÇÃO

Em 13 de fevereiro de 1766 nascia na Inglaterra, Thomas Robert Malthus, tornando-se em 1796 cura de uma pequena capela em Okewood perto de Albury sua cidade natal (POURSIN & DUPOY, 1975).

Em 1798 publicou um pequeno volume intitulado "Sobre o princípio da população". O público revelou-se sensível as suas idéias e os poucos exemplares esgotaram-se rapidamente. O livro provocou as reações mais diversas possíveis. Malthus firmou-se em sua opinião e a defendeu com suas leituras e pesquisas.

Em 1803 publicou uma segunda edição aumentada e reelaborada, na forma de um volume com 600 páginas. Quatro edições se sucederam (1806, 1807, 1817 e 1826) sem modificações ou acréscimos substanciais em relação a segunda edição. A teoria de Malthus baseou-se na economia clássica que estabelece o princípio da população como pedra angular. A obra de Malthus é baseada sobre dois postulados:

1. o alimento é necessário ao homem;

2. a paixão entre os sexos é necessária e se manterá com poucas mudanças, tal qual existe atualmente (1798).

A sua principal conclusão é: "A população cresce de acordo com uma progressão geométrica, enquanto que os meios de subsistência aumentam de acordo com uma progressão aritimética".

Felizmente as previsões de Malthus não se realizaram como um todo. As populações não aumentaram na proporção imaginada por ele e os alimentos, graças ao uso de fertilizantes, defensivos agrícolas e melhoramento genético aumentaram substancialmente. A "Revolução Verde"[2] veio a provar que a humanidade é capaz de se defender da fome. O que ocorre hoje é uma desproporção de distribuição e consumo de alimentos, alguns comem demais enquanto que outros de menos. A Figura 1 apresenta a evolução da população mundial nos últimos 1000 anos. Observa-se que houve um aumento substancial na população por ocasião da "era da colonização" e

---

[1] Professor Titular. Departamento de Química. E.S.A. "Luiz de Queiroz"-USP. Palestra entregue para publicação em 15/04/92. O Prof. Henrique Paulo Haag faleceu em 27/04/92.

[2] Norman E. Borlang, prêmio Nobel, 1967 com ajuda da Fundação Rockefeller e do governo Mexicano

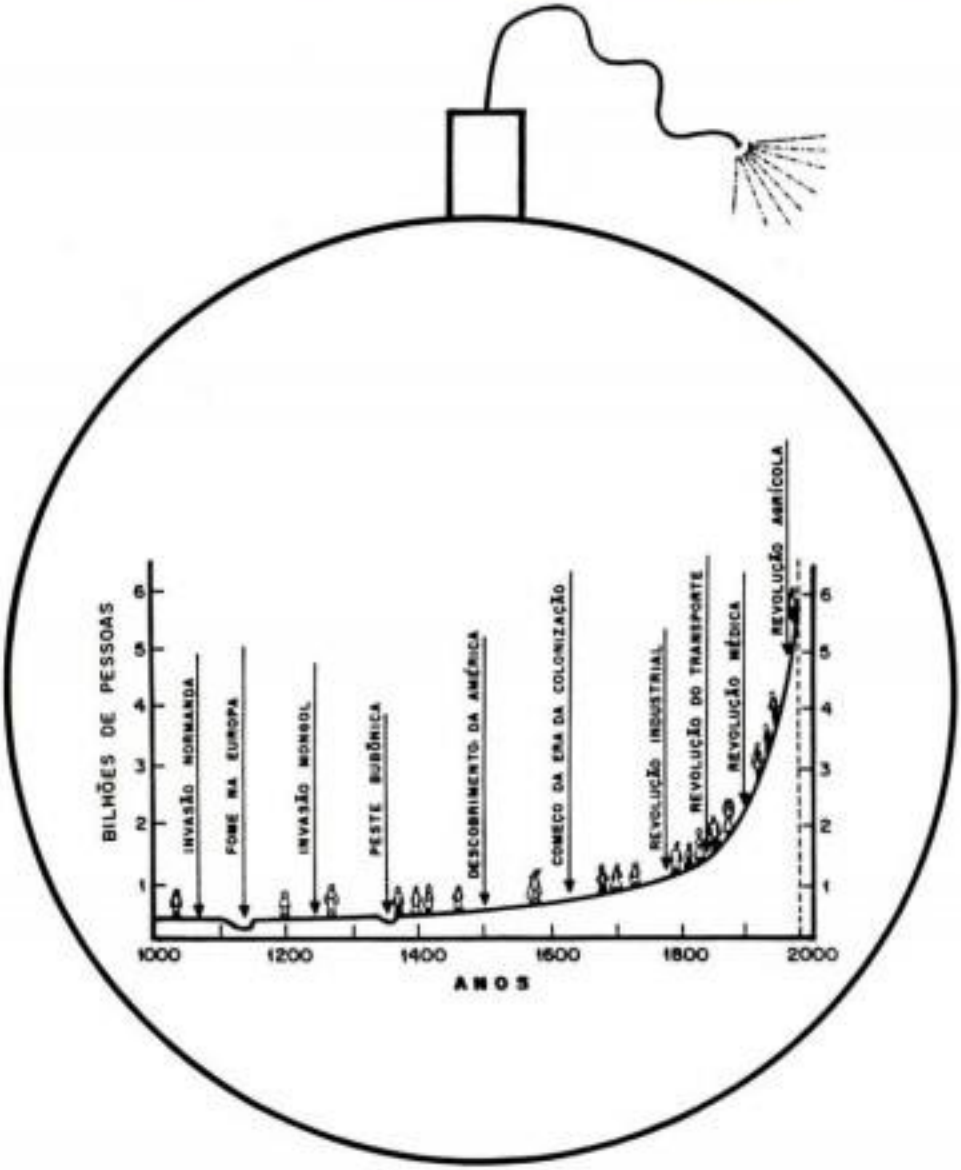


Figura 1. Aumento da população em 1000 anos no globo.

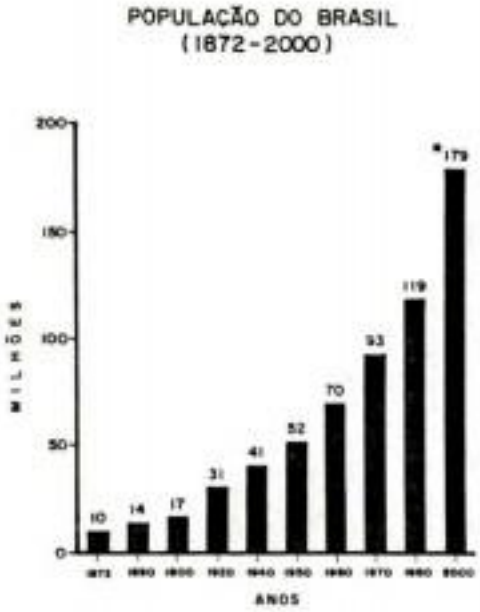


Figura 2. Aumento da população brasileira no período de 1872-2000.

principalmente na "revolução médica" aliada a "revolução agrícola". As estimativas afirmam que no ano 2.000 serão 6 bilhões de pessoas no globo que deverão ser alimentadas diariamente. A população do Brasil, como era natural, acompanhou esta explosão populacional conforme se observa na Figura 2. Apesar da área total do Brasil ser de 8.511.963 km^2 (IBGE, 1991), e que toda a Europa cabe no território nacional sobrando ainda cerca de vinte porcento da área (Figura 3), há milhões de pessoas passando necessidades alimentares drásticas o que sem dúvida, ressalvados os problemas econômicos, é um desastre para o País.

A Organização Mundial da Saúde detectou cinco doenças nutricionais que afligem a humanidade, inclusive o Brasil.

ANEMIA - Insuficiência de pigmento vermelho no sangue (deficiência principalmente de Fe).

BÓCIO ENDÊMICO - Aumento do volume da glândula tireóide devido a deficiência de I entre outros fatores. Deformação do pescoço, retardamento mental e surdo-mudez.

KWASHIORKOR - Carência protéica grave - inchação (edema), apatia e irritabilidade.

Figura 3. Superfície do Brasil incluindo os países europeus.

MARASMA - Carência grave de calorias - retardamento de crescimento, ausência de gordura subcutânea, atrofia muscular.

XEROFTALMIA - Carência grave de vit. A. - sequidão dos olhos (xerose), cegueira noturna (mictalopia), ulcerações da córnea.

VIEIRA (1981), aponta o perfil alimentar do brasileiro, quando afirma que entre 60% a 70% da população é composta de desnutridos com 1,50 m de altura, QI = 70, carência crônica de proteínas, calorias, Fe, Ca e P.

A autora pesquisou as carências por regiões geográficas das quais concluiu:

Região Norte - carência de Ca, vit. C, vit. A;

Tabela 1. Consumo de proteína g/dia nas diversas regiões mundiais.

Regiões	Proteína		
	1961/63	1979/81	1986/88
	g/dia		
Mundial	62,5	64,6	70,0
África	51,6	55,4	55,0
N + C America	88,3	92,4	96,2
América do Sul	64,3	66,7	67,0
BRASIL	57,3	61,1	62,5
Ásia	49,5	56,2	60,4
Oceania	89,2	100,7	103,3
Paises desenvolvidos	91,3	99,4	102,7
Paises em desenvolv.	49,1	56,1	59,4

FONTE: FAO - 1984 e 1989.

Tabela 2. Consumo de caloria/dia/pessoa nas diversas regiões mundiais.

Regiões	Caloria/Dia/Pessoa		
	1961/63	1979/81	1986/88
Mundial	2.296	2.587	2.671
África	2.042	2.268	2.261
N + C, América	2.959	3.255	3.371
América do Sul	2.406	2.631	2.662
BRASIL	2.320	2.504	2.623
Ásia	1.904	2.087	2.450
Europa	3.100	3.250	3.459
Oceania	2.885	3.008	3.149
Paises desenvolvidos	3.063	3.229	3.418
Paises em desenvolv.	1.639	2.106	2.434

OBS. Mínimo exigido 3.000 Cal/dia.
FONTE: FAO - 1984 e 1989.

Tabela 3. Consumo de retinol (vit. A) e vit. C por dia nas diversas regiões mundiais.

Regiões	Retinol			Vit. C		
	64/66	80/82	86/88	64/66	80/82	86/80
	------ µg/dia[1] -----			------ mg/dia[2] -----		
Mundial	212	221	318	92	94	94
África	157	162	154	80	81	91
N + C, América	485	443	758	91	102	134
América do Sul	265	281	328	97	91	111
BRASIL	169	188	328	85	78	125
Ásia	65	86	200	80	83	76
Europa	541	620	687	130	135	147
Oceania	678	570	547	109	115	127
Paises desenvolv.	496	545	691	116	123	138
Paises em desenv.	86	105	196	81	83	80

[1] As necessidades nutricionais da vit. A são expressos em retinol. Mínimo diário 350 µg de retinol.
[2] Vit. C: Mínimo 70 mg/dia/pessoa.
FAO - 1984 e 1989.

Tabela 4. Ingestão de Ca e Fe por dia nas diversas regiões mundiais.

Regiões	Exigências alimentares					
	Ca[1]			Fe[2]		
	64/66	80/82	86/88	64/66	80/82	86/80
	---------- mg/dia ----------			----------		
Mundial	461	465	472	15,5	16,0	14,4
Africa	393	405	384	20,0	19,2	18,2
N + C América	816	768	853	16,3	16,7	13,8
América do Sul	502	478	497	14,4	13,7	12,7
BRASIL	479	422	485	13,6	12,3	11,6
Ásia	304	327	327	14,5	15,3	13,2
Europa	767	839	919	16,1	17,3	16,6
Oceania	765	776	911	14,6	14,9	17,6
Paises desenvolv.	765	793	860	16,1	16,9	16,1
Paises em desenv.	326	348	346	15,2	15,7	13,9

[1] Mínimo: 800 mg/dia/pessoa
[2] Mínimo: 15 mg/dia/pessoa
FONTE: FAO - 1984 E 1989.

Região Nordeste - carência de Fe, anemia;

Região Centro-Oeste - carência de Ca, riboflavina;

Região Sul - carência de I.

No Rio de Janeiro e em São Paulo, há carência de proteína principalmente entre as crianças com alta incidência de Kwashiorkor e Marasma.

A FAO procura aquilatar a situação alimentar dos países através de certos índices básicos, tais como: consumo de proteína (Tabela 1), ingestão de calorias (Tabela 2), ingestão de retinol, (vit. A) e vit. C (Tabela 3), Aquisição de Ca e Fe (Tabela 4) entre outros índices.

Infelizmente os dados mostram que o consumo médio pelos brasileiros é abaixo da média mundial, com exceção do retinol (vit. A) e vit. C que adquirem em quantidades ligeiramente superiores à média mundial. As diferenças tornam-se mais acentuadas quando se compara "países desenvolvidos" contra "países em desenvolvimento". A problemática alimentar como um todo é entendida pelo exame da Figura 4.

A produção de alimentos essenciais no Brasil é pequena como se observa na Tabela 5. Observa-se que nos últimos quatorze anos a produção per capita estacionou ou diminuiu. Somente a cultura da soja aumentou, com a ressalva que o brasileiro consome quase que exclusivamente o óleo, sendo que o "leite de soja" é mais consumido em pequena quantidade pelas crianças em idade escolar. Os produtos de origem animal têm o consumo igualmente restrito como se observa na Tabela 6. O rendimento médio em t/ha de alimentos básicos no Brasil nos últimos 59 anos, praticamente estacionou como se observa na Tabela 7.

3. PORQUÊ MELHORAR OS PRODUTOS AGRÍCOLAS

O produtor é levado a tentar produzir mercadorias de melhor qualidade pelas seguintes razões:

1 - consumidor mais exigente;
2 - volume de ofertas as vezes excessivas;
3 - processamento industrial.

Os produtos agrícolas de exportação, só podem ser vendidos, quando satisfazem as normas de qualidade exigidos pelos países importadores. De modo que a produção de mercadorias de alta qualidade sempre se torna lucrativa para o agricultor.

Resta definir qualidade: - propriedade, atributo ou condições das coisas ou pessoas, capaz de distingui-las das outras e de lhes determinar a natureza (FERREIRA, 1975).

Figura 4. Diagrama de disponibilidade de alimentos e estado nutricional de parte da população.

A qualidade sob o ponto de vista da nutrição mineral nos produtos agrícolas deve ser analisada sob dois aspectos:

1 - sabor, aparência;
2 - qualidade biológica.

Tabela 5. Produção **Per Capita** de alimentos no Brasil - 1975-1989.

Ano	Arroz	Feijão	Mandioca	Milho	Trigo	Soja
	kg/habitante/ano					
1975	74,0	21,7	248,4	155,5	38,9	94,1
1976	90,6	17,1	236,2	164,8	59,4	104,2
1977	81,5	20,7	234,8	174,4	52,5	113,3
1978	64,4	19,4	224,8	117,8	62,0	64,2
1979	65,4	18,9	125,0	140,5	56,7	88,2
1980	81,9	16,5	196,0	171,1	62,7	127,3
1981	68,2	19,3	197,9	171,6	49,5	122,2
1982	77,5	22,7	191,6	174,7	49,0	102,4
1983	60,3	12,4	171,8	145,4	-	113,4
1985	80,0	20,0	190,0	150,0	40,0	100,0
1986	70,0	90,0	180,0	150,0	40,0	100,0
1987	10,0	10,0	170,0	200,0	40,0	120,0
1988	80,0	20,0	150,0	190,0	40,0	120,0
1989	70,0	20,0	160,0	170,0	40,0	160,0

FONTE: ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL, Rio de Janeiro, RJ, 1976-1990.

Tabela 6. Consumo de leite, ovos, carne bovina e peixes no Brasil, por habitante/dia.

Regiões	Habitantes	Consumo de leite - 1985
		----- l/hab./dia[1] ------
BRASIL	131.411.396	0,251
Norte	3.897.838	0,185
Nordeste	38.899.513	0,110
Sudeste	59.983.408	0,278
Sul	20.577.765	0,355
Centro-Oeste	9.528.872	0,446

[1] Admitindo que a produção seja toda consumida **in natura**

Consumo de carne bovina - 16,9 kg/hab./ano = 46,30g/dia/hab.
Consumo de ovos - 157,2 ovos/hab./ano = 0,4 ovos/dia/habitante.
Consumo de peixe - 7,4 kg/hab./ano = 20 g/dia/habitante.

FONTE: IBGE, Rio de Janeiro, RJ, 1985.

Tabela 7. Rendimento médio em t/ha (1931/1990) no Brasil em algumas culturas nos últimos 59 anos.

Período	Café (côco)	Arroz (casca)	Feijão (grão)	Mandioca (rizoma)	Milho (grão)
	t/ha				
1931/1933	0,39	1,42	0,97	-	1,43
1934/1936	0,41	1,42	0,87	-	1,42
1937/1939	0,40	1,44	0,83	-	1,33
1940/1942	0,11	1,66	0,84	12,9	1,29
1943/1945	0,25	1,50	0,76	12,9	1,26
1946/1948	0,39	1,59	0,68	13,3	1,29
1949/1951	0,41	1.60	0,59	12,9	1,26
1952/1954	0,37	1,47	0,67	12,8	1,20
1955/1957	0,36	1,49	0,65	12,9	1,21
1958/1960	0,80	1,55	0,67	13,0	1,27
1961/1963	0,92	1,62	0,65	13,4	1,31
1964/1966	0,86	1,54	0,65	14,1	1,28
1967/1969	0,96	1,48	0,70	14,5	1,34
1970/1972	1,07	1,50	0,66	14,5	1,34
1973/1975	1,16	1,47	0,60	12,5	1,39
1976/1978	0,98	1,42	0,47	12,0	1,48
1979/1980	1,05	1,48	0,48	12,0	1,59
1981/1983	0,64	1,85	0,48	11,2	1,54
1984/1986	0,57	1,81	0,45	12,1	1,75
1987/1988	0,63	1,85	0,48	12,1	1,93
1989/1990	1,01	2,10	0,44	12,6	2,05
Média (1931/1990)	0,65	1,56	0,62	12,8	1,42
Média Mundial (1988/1989)	0,51	3,45	3,19	9,84	3,62

FONTES: ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL, IBGE, Rio de Janeiro, RJ. Jaguaribe et al. (1986). FAO, 1989.

É impossivel definir sabor ou gosto, varia de individuo para individuo. O Brasil sendo um país de área continental, faz com que as mudanças no sabor ou no gosto variam de região para região.

Qualidades biológicas são comuns a todos humanos. São os valores alimentares necessários para a manutenção da vida como proteínas. A seguir são apresentados alguns exemplos ligados ao sabor e aparência - "gosto ruim" na batata, deve-se a uma insuficiência de Mn; gosto amiláceo na maçã é devido a falta de B; mau aspecto das "Chips" de batata deve-se a uma insuficiência de K, conhecida como azulamento mecânico na indústria de alimentos; diferentes diâmetros dos pêssegos, dificultando o enlatamento por falta de uniformização, deve-se a nutrição inadequada do K.

A inadequação no fornecimento do N na adubação causa problemas na coloração da maçã e no tempo de armazenamento do alho.

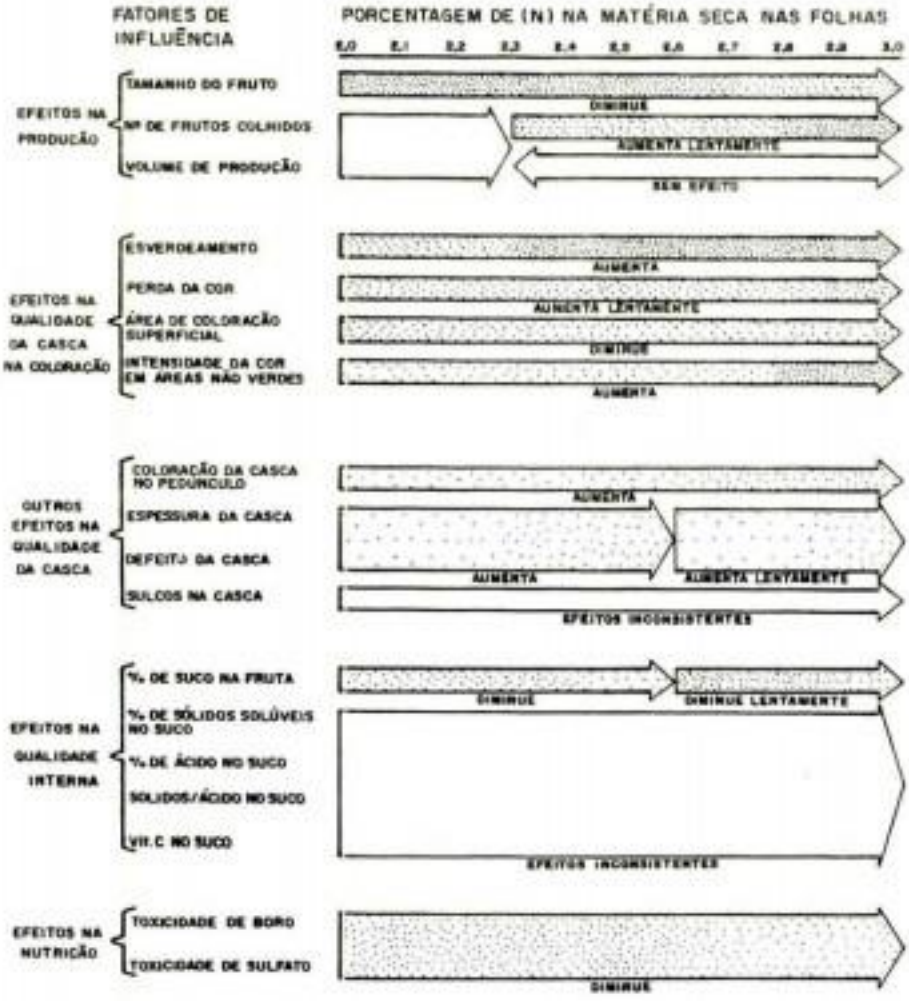


Figura 5. Influência do N% nas folhas de citrus sobre as qualidades do fruto.

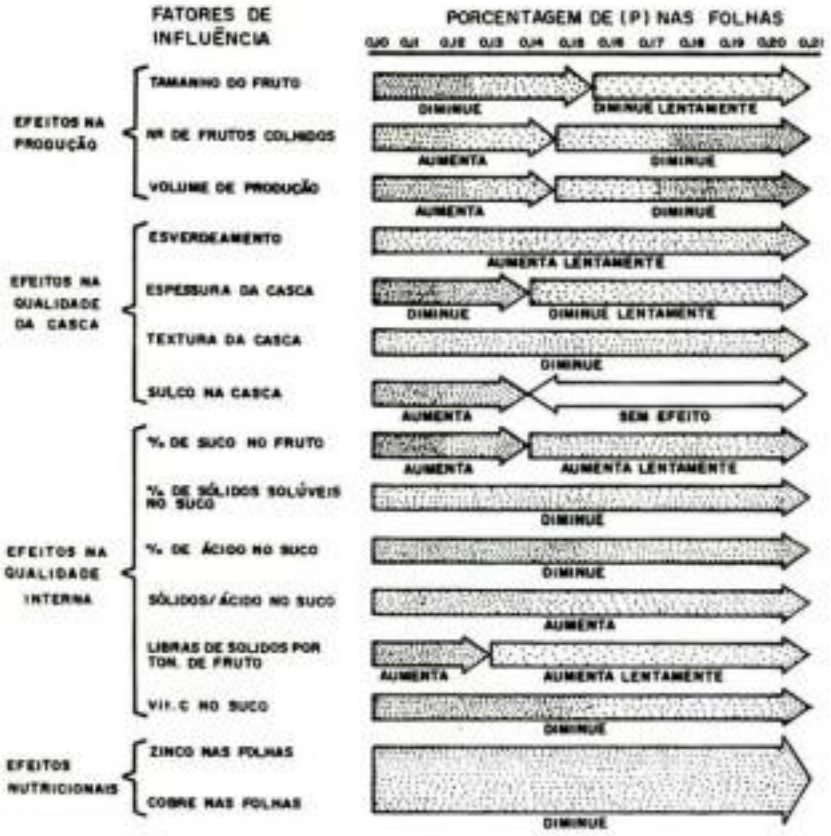


Figura 6. Influência do P% nas folhas de citrus sobre as qualidades do fruto.

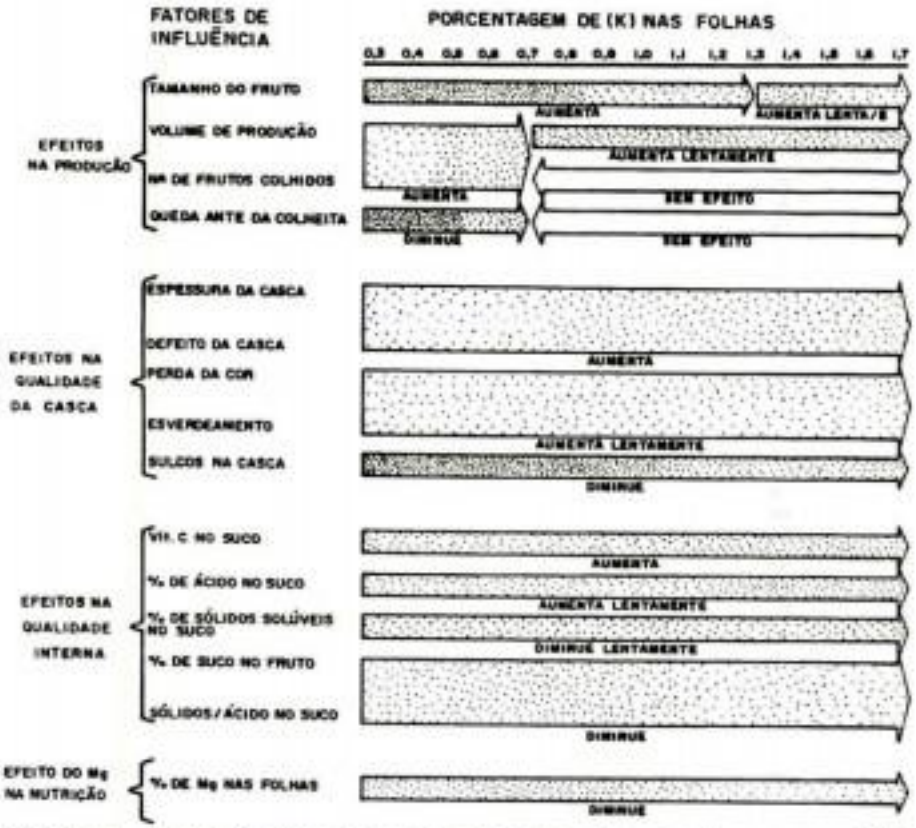


Figura 7. Influência do K% nas folhas de citrus sobre as qualidades do fruto.

A cultura de citros certamente foi a mais pesquisada em âmbito mundial no que se refere a "nutrição x qualidade", (EMBLETON et al. 1973).

Se os acontecimentos biblicos pudessem ser recontados, certamente Eva daria dado uma laranja ao Adão em vez de uma maçã.

A Figura 5 apresenta a influência do N encontrado nas folhas sobre uma série de qualidades na laranja. O tamanho do fruto, número de frutos e volume de produção são afetados pela quantidade de N que se apresenta no pé. Um efeito visual não desejado no consumo do fruto in natura é o esverdeamento que aumenta com o acréscimo de N% nas folhas. Existem informações a cerca do efeito do P% nas folhas sobre as qualidades visuais dos frutos, como se observa na Figura 6. O efeito da concentração de K% nas folhas sobre as qualidades do fruto é apontado na Figura 7.

Um excesso de K pode induzir uma redução na concentração de Mg% nas folhas com todas suas consequências.

As qualidades biológicas que o consumidor não vê e muitas vezes não presta atenção, são essenciais para manutenção da vida.

Voltando novamente aos citros, na Figura 5 observa-se os efeitos da concentração de N% nas folhas sobre a percentagem de suco nos frutos, que diminue a medida que cresce a concentração de N% nas folhas. A percentagem de sólidos solúveis, percentagem de ácido no suco e a relação sólidos/ácidos no suco pouco são influenciados pela concentração de N% nas folhas. A concentração de vit. C, também, não é influenciada pelo N% nas folhas.

As variações da concentração de P% nas folhas afeta de modo mais sensivel as qualidades internas do fruto (Figura 6).

A quantidade de vit. C diminue com o aumento da concentração de P% nas folhas e o suco torna-se menos ácido. O K tem efeito diverso sobre as qualidades internas dos frutos. A vit. C aumenta com o aumento na concentração de K% nas folhas, como se verifica na Figura 7. A percentagem de suco diminue com o aumento da concentração de K% nas folhas.

O N tem um efeito marcante nas qualidades de panificação como se observa na Tabela 8.

Tabela 8. Efeito da aplicação adicional de N no florescimento, na produção, conteúdo de proteina e qualidades de panificação.

	Testemunha, 80kg N ha^{-1} na adubação fundamental	+	40kg N h^{-1} no estádio de florescimento	+	60kg N ha^{-1}
Produção de grãos, t/ha^{-1}	4,59		4,98		5,24
Teor de proteina %	11,90		12,70		13,30
Valor de Sedimentação	28		30		34

FONTE: MENGEL & KIRKBY, 1987.

O N é um elemento importante na formação de NO_3^- especialmente no espinafre que é tido como uma hortaliça de alto valor alimentício. A Tabela 9 ilustra o efeito do N aplicado ao solo e a sua associação com a intensidade luminosa na formação de NO_3^- no espinafre.

Tabela 9. Efeito do conteúdo de N no solo e a intensidade luminosa na concentração de NO_3^- no espinafre.

N/kg de solo	Intensidade luminosa	
	10.800 lux	32.300 lux
mg	% NO_3^-/matéria seca	
0	0,14	0,09
100	1,09	0,35
200	1,61	0,72

FONTE: MENGEL & KIRKBY, 1987.

O K exerce um efeito marcante nas qualidades dos produtos agrícolas mormente nas olericolas. A Tabela 10 apresenta o efeito do K sobre determinadas características não desejáveis no tomateiro.

Tabela 10. Ocorrência do esverdeamento e do fundo preto nos frutos do tomateiro.

K/l. de solução nutritiva, ml	1	2	3
Esverdeamento	82	2	0
Fundo preto	9	15	21
Frutos sadios	92	19	
Total de frutos/6 plantas	187	209	242

FONTE: MENGEL & KIRKBY, 1987.

O B é o segundo elemento que mais afeta a qualidade dos produtos agrícolas. Na relação vê-se o efeito do B na concentração do triptofano, nas folhas de alfafa (SCHUTTE, 1964).

B na solução nutritiva	Triptofano na matéria seca
ppm	
0,00	1,27
0,22	1,36
0,44	2,17
1,08	2,55

A produção de alcalóides nas plantas de fumo é influenciada pela omissão de micronutrientes como se observa na Figura 8, que mostra o efeito da omissão de B, principalmente, na produção de alcalóide nas folhas. Aumentos menores foram observados na omissão de Fe, Zn e Cu.

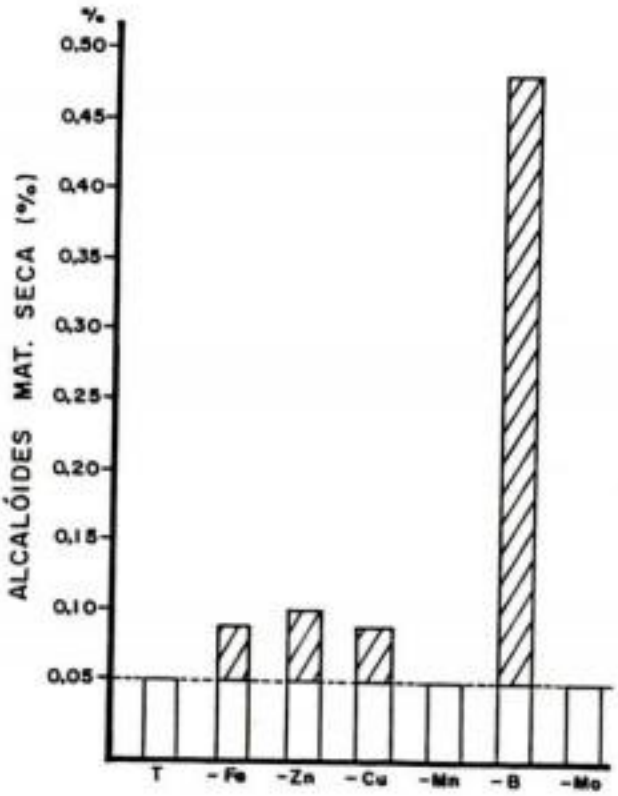


Figura 8. Concentração de alcalóides em folhas de fumoi, influenciadas pela omissão de micronutrientes.

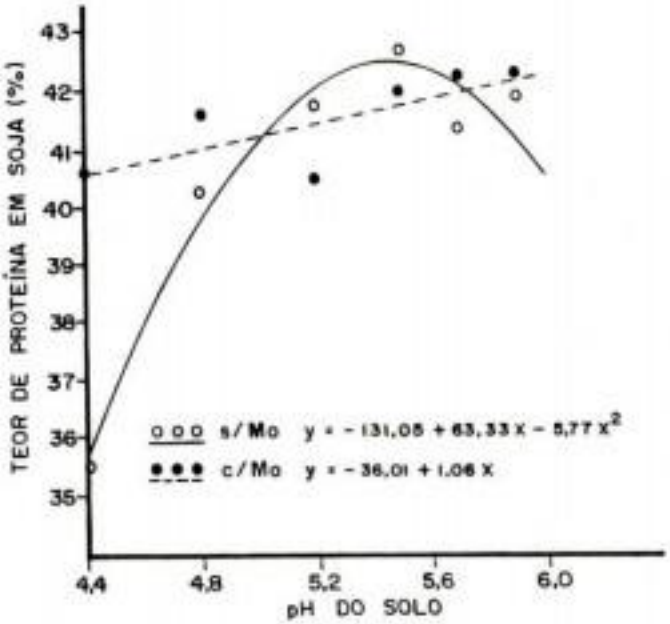


Figura 9. Relação entre o teor de proteína e o pH do solo com e sem aplicação de molibdênio.

Podem ocorrer variações sensíveis entre variedades como mostram os dados da Tabela 11.

Tabela 11. Efeito do fornecimento de K na concentração de vit. C em duas variedades de repolho.

Adubação	Repolho branco vit. C/100g	Repolho vermelho vit. C/100g
NP	17,5	42,0
NP + K_1	21,2	57,5
NP + K_2	30,0	55,5
NP + K_3	30,0	54,3

FONTE: MENGEL, 1968.

A cultura da soja foi pesquisada na produção de proteína e óleo componentes essenciais a vida. LANTMANN et al. (1987) instalaram na localidade de Ponta Grossa, Estado do Paraná, em um Latossolo vermelho Escuro, ensaio com tratamentos em parcelas com doses crescentes de calcário e em subparcela ausência e presença de Mo através da aplicação nas sementes. A Figura 9 apresenta os resultados onde se observa que o Mo está disponivel a planta quando o índice de pH foi maior que 5,4 o que se traduzem por uma maior percentagem de proteína. Na ausência de Mo comparada com a presença de um índice de pH 4,4 o aumento na concentração de proteína foi de aproximadamente 15% na presença de Mo. Recentemente TANAKA et al. (1991), mostraram o efeito da calagem na soja e a produção de proteína e óleo cultivada na Estação Experimental de Ribeirão Preto e Mococa no Estado de São Paulo. Foram aplicadas doses variáveis de calcário dolomítico, afim de aumentar o índice de saturação em bases do solo. Com o aumento do índice saturação no solo, houve um aumento na percentagem de proteína e na diminuição da percentagem de óleo (Figura 10-A). Tomando-se em consideração a produção total de grãos. O óle como a proteína, aumentaram em t/ha como se observa na Figura 10-B.

Para alimentação humana é de grande importância as qualidades biológicas dos produtos agrícolas. Para ilustrar alguns dados são apresentadas as informações na Tabela 13.

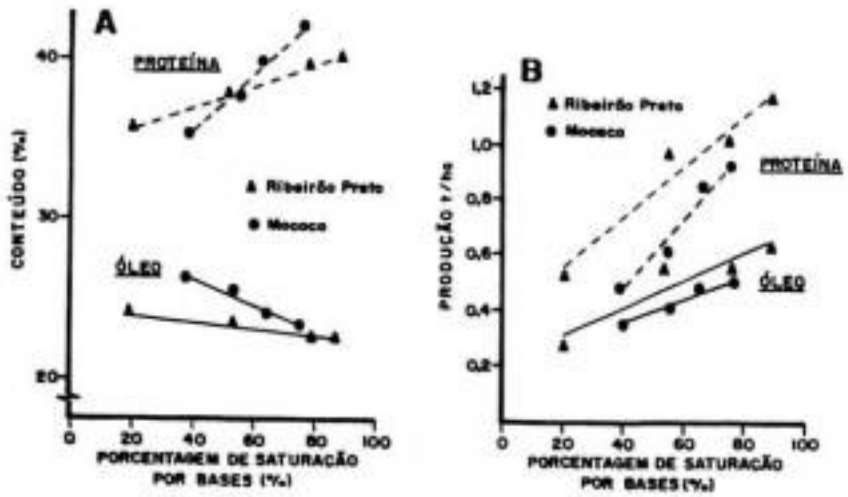


Figura 10. Porcentagem de saturação por bases e concentração de proteína e óleo (A) e produção de proteína e óleo por t/ha (B).

Tabela 12. Algumas "qualidades biológicas" em algumas frutíferas.

	Carbohi-dratos	Ácidos	Ca	Fe	P	Vit.		
						C	B	B
	------- % ------		---------- mg/100 g ----------					
Morango	5	1,3	34	0,7	28	55	0,03	0,05
Abacate	5	-	10	0,6	28	16	0,06	0,13
Tâmara	75	-	72	2,1	60	0	0,09	0,10
Limão	8	5,5	40	0,6	22	50	0,04	-
Laranja	11	1	33	0,4	23	50	0,08	0,03
Banana	23	0,4	8	0,6	28	10	0,04	0,05
Mamão	10	0,2	20	0,4	23	55	0,03	0,04

Observa-se que na tâmara, "pão celestial", é extretamente baixo o teor de vit. C, apesar de ser rica em carbohidratos, cálcio, ferro, fósforo e nas outras vitaminas.

As características visuais mais desejáveis no comércio em São Paulo são apresentadas na Tabela 13, segundo dados levantados pela CAC[3]

Segundo MENGEL & KIRKBY (1987), o fator mais importante na fixação de qualidades em um produto é o genético. Além dos fatores genéticos, os meios ambientais também exerce uma profunda ação sobre as qualidades como se pode observar na Figura 11.

3. CONCLUSÕES

Urge melhorar a produtividade dos produtos de consumo interno, procurando-se também melhorar as qualidades biológicas dos mesmos.

Somente, após a melhora na alimentação brasileira é que o País pode almejar no Primeiro Mundo.

---

[3] Cooperativa Agrícola de Cotia - Cooperativa Central - Av. Jaquaré, 1847 - São Paulo, SP.

Tabela 13. Características mais desejáveis no comércio em São Paulo.

Epécies	Diâmetro	Comprimento	Pêso	Coloração (de côr)
	---------- cm ----------		g	
Alface	15,0-17,0	10	400	verde-clara
Beringela	7 - 8	14-16	200-250	roxo-escura
Cenoura	3 - 3,5	16-20	100-150	vermelha
Couve-flor	22 -25	20	3.000	branca
Pepino	4,5- 5	20-23	350-400	verde
Pimentão	6 - 7	12-14	180-200	verde
Jiló	5	5	0,08	v e r d e

Figura 11. Representação esquemática dos fatores que determinam a fertilidade do solo e a qualidade do produto agrícola (PRIMAVESI, 1984 - Comunicação particular - EMBRAPA/ UEPAE/SÃO CARLOS.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EMBLETON, T.W.; JONES, W.N.; LABANAUSKAS, C.K.; REUTHER, W. Leaf analysis as a diagnostic tool and Guide to fertilization. **In:** REUTHER, W. (ed.). The citrus industry. Riverside, Univ. Califórnia/Div. Agric. Sciences, V.III, 1973. p.183-210.

FAO - **Yearboock production**, 38. Roma, Itália, 1984.

FAO - **Yearboock production**, 43. Roma, Itália, 1989.

FERREIRA, A.B.H. **Novo dicionário da lingua portuguesa**. Rio de Janeiro, RJ, Ed. Nova Fronteira, 1975. 1517p.

IBGE - Anuário Estatistico. Rio de Janeiro, RJ, 47 a 51, 1986 a 1991.

JAQUARIBE, H.; SANTOS, W.G.; ABREU, M.P.; FRITSH, W.; AVILA, F.B. **Brasil, 2000 - Para um novo pacto social**. Rio de Janeiro, RJ, Editora Paz e Terra, 1986. 196p.

LANTMANN, A.F.; BORKERT, C.M.; OLIVEIRA, M.C.N.; SFREDO, G.J. **Efeito de micronutrientes na produção da soja em Ponta Grossa, PR**. Resultados de pesquisa de soja, 1986/1987. Londrina, PR, Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1988. 153p.

MENGEL, K. **Ernahrung und Stoffwechsel der Planze Gustav**. Stuttgart, Fisher Verlag, 1968. 436p.

MENGEL, K.; KIRKBAY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4 ed. Berna, Suiça, International Potash Institute, 1987. 687p.

POURSIN, J.M.; DUPUY, G. Malthus. São Paulo, SP. Ed. Cultrix ed. 1975. 155p.

SCHUTTE, K.H. The biology of the trace elements their rule in nutrition. Londres. Crosby Lockwood & Son Ltd. 1964. 228p.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A; MIRANDA, M.A.C. Effect of liming on soybean festein and oil yield. **Better Crops International 7**(2):9, 1991.

VIEIRA, I.M.S. **Aspectos bioquímicos das doenças nutricionais do Brasil**. Seminário - Curso de Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1981. 95p. (Mimeografado).

FUNDAÇÃO CARGILL