174

FUNDAÇÃO CARGILL

ADUBO LÍQUIDO: PRODUÇÃO E USO NO BRASIL

Antonio Enedi Boaretto

Antonio de Pádua Cruz

Pedro Henrique de Cerqueira Luz

ADUBO LÍQUIDO: PRODUÇÃO E USO NO BRASIL

Antonio Enedi Boaretto
Engenheiro Agrônomo, Mestre, Doutor em Agronomia,
Livre Docente, Adjunto, Ex-Professor Titular (FCA/UNESP),
Professor Associado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP

Antonio de Pádua Cruz
Engenheiro Agrônomo, Mestre,
SN - Centro de Pesquisa e Produção do Sulfato de Amônio Ltda.

Pedro Henrique de Cerqueira Luz
Engenheiro Agrônomo, Mestre, ex-pesquisador do
PLANALSUCAR/Instituto do Açúcar e Álcool,
Professor Assistente - FMVZ/USP

FUNDAÇÃO CARGILL
Campinas, SP, Brasil
1991

1ª tiragem de 1.200 exemplares
Nº 174, março de 1991

FUNDAÇÃO CARGILL
Sede: São Paulo, SP, Brasil
Escritório: Rua Álvaro Müller, nº 370
Vila Itapura
13023 - CAMPINAS, SP, BRASIL

Boaretto, Antonio Enedi
Adubo líquido: produção e uso no Brasil, por Antonio Enedi Boaretto, Antonio de Pádua Cruz e Pedro Henrique de Cerqueira Luz. Campinas, SP, Fundação Cargill, 1991.

vi, 100p., ilust., 21 cm.

Cruz, Antonio de Pádua, colab.
Luz, Pedro Henrique de Cerqueira, colab.

CDD 631.8

APRESENTAÇÃO

O objetivo principal deste trabalho é apresentar, numa única obra, o que existe a respeito de produção e uso de adubo líquido no Brasil.

Esta idéia começou quando o Engº Agrº Antonio de Pádua Cruz foi convidado a ministrar palestras em cursos de Agronomia, já que era responsável pela fábrica de adubos líquidos da Usina Bonfim (SP). Aos escritos destas palestras foram acrescidos outros capítulos. Um destes diz respeito ao transporte, distribuição e aplicação dos adubos líquidos, que resume as pesquisas e experiências do Engº Agrº Pedro Henrique de Cerqueira Luz, no Planalsucar/IAA. Finalmente o Engº Agrº Dr. Antonio Enedi Boaretto, realizou um abrangente levantamento de literatura sobre as avaliações agronômicas já realizadas no Brasil.

O presente texto, conjungadas estas três experiências citadas, pretende dar uma visão geral sobre o uso e produção de adubo líquido no Brasil, sendo que todas as críticas e sugestões serão bem recebidas pelos autores.

Os autores

SUMÁRIO

1. HISTÓRICO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS NO MUNDO 1
1.1. Origem 1
1.2. Evolução da moderna indústria de fertilizantes fluidos 2
1.3. Fatores que determinaram o aumento da produção e consumo de adubos fluidos 4
2. OS FERTILIZANTES FLUIDOS NO BRASIL 4
2.1. Os primeiros trabalhos de pesquisa e as primeiras tentativas de implantação 4
2.2. Situação dos fertilizantes fluidos no Brasil 5
2.3. Fatores determinantes do crescente interesse pelos fertilizantes fluidos no Brasil 6
2.4. A vinhaça e a implementação da adubação fluida na cana-de-açúcar 7
2.5. As primeiras fábricas de adubos fluidos com propósitos comerciais 8
3. DEFINIÇÕES E TIPOS DE FERTILIZANTES FLUIDOS 9
3.1. Definições 9
3.2. Tipos de fertilizantes fluidos 9
3.2.1. As soluções 9
3.2.2. As suspensões 12
4. MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NO BRASIL 13
4.1. Nitrogênio 13
4.2. Fósforo 17
4.3. Nitrogênio e fósforo 18
4.4. Potássio 20
4.5. Enxofre 20
4.6. Micronutrientes 20
5. PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES FLUIDOS 20
5.1. Produção de aquamônia 21
5.2. Produção de soluções nitrogenadas sem pressão 24
5.3. Produção de soluções bases e misturas NPK 24
5.4. Produção de adubos fluidos nas fábricas instaladas nas usinas de açúcar 32
5.4.1. Processos de produção 32
5.4.1.1. Adubos para o plantio de cana-de-açúcar 32
5.4.1.2. Adubos para soqueira de cana 38
5.4.2. Equipamentos para a produção de fertilizantes fluidos nas usinas de açúcar 39
6. TRANSPORTE, DISTRIBUIÇÃO/APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES FLUIDOS 41
6.1. Introdução 41
6.2. Transporte 41
6.3. Distribuição 46
6.4. Aplicação 50
6.4.1. Forma e localização 50
6.4.2. O produto e a aplicação 55

6.4.3. Equipamentos 56
6.4.4. Manejo da aplicação 64
7. AVALIAÇÕES AGRONÔMICAS REALIZADAS NO BRASIL 73
7.1. Introdução 73
7.2. O nitrogênio nos adubos fluidos 74
7.2.1. Amônia anidra 74
7.2.2. Aquamônia 75
7.2.3. Uran 80
7.2.4. Conclusão 85
7.3. O fósforo nos adubos fluidos 85
7.4. O potássio e os micronutrientes nos adubos fluidos 92
7.5. Enxofre nos adubos fluidos 92
7.6. As misturas sólidas x líquidas 95
LITERATURA CITADA 96

1. HISTÓRICO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS NO MUNDO

1.1. Origem

A adubação das culturas com fertilizantes na forma líquida não pode ser considerada uma novidade. Na Grécia antiga, por exemplo, os agricultores já utilizavam dos esgotos das cidades, através de canais, para promover a fertilização das hortas e pomares de laranja. Nos séculos XVIII e XIX, os adubos orgânicos, na forma fluida, foram muito utilizados pelos agricultores europeus, principalmente na Inglaterra e na França quando já existiam recomendações para a produção de um biofertilizante, a partir de dejetos de animais, águas de esgoto e outros materiais fermentescíveis, os quais misturados, após um mês de armazenamento (cura) poderiam ser aplicados na forma líquida para a fertilização das lavouras.

Não é possível estabelecer precisamente quando surgiram os primeiros fertilizantes líquidos inorgânicos. Porém, segundo WOLF et al. (1985), Matthew Tindale em 1721, patenteou um processo de produção de um fertilizante fluido a partir de greda (espécie de calcário) e água do mar, sendo este o relato mais antigo de uma formulação fluida inorgânica. São os fatos relatados a seguir, os mais importantes na evolução dos fertilizantes líquidos.

a) Em 1808, Humphrey Davy realizou experimentos com várias soluções de sais inorgânicos e obteve bons resultados com a aplicação de soluções diluídas de carbonato de amônio em diversas culturas.

b) Em 1840, o irlandês James Murray produziu e comercializou misturas de fertilizantes fluidos inorgânicos, sendo que estes adubos foram muito utilizados na Inglaterra no período de 1840 a 1843.

c) Em 1843, Bishop verificou que o uso de aquamônia era particularmente adequado para aumentar a produtividade de capineiras. Nesta mesma época Schottenmann utilizou soluções de cloreto e sulfato de amônio, na adubação de trigo e obteve expressivos aumentos de produtividade.

d) Gardiner, nos anos de 1842 e 1843, conduziu vários experimentos utilizando ossos solubilizados em ácido sulfúrico para adubar a cultura de aveia.

Sabe-se ainda que no século XIX, Baussingault, na França, aplicou soluções diluídas de sulfato de amônio e cloreto de potássio dobrando a produção de trigo. Na Inglaterra, Williams verificou que a produção de nabos era significativamente aumentada pela aplicação de ossos moídos e suspensos em ácido sulfúrico e água. Finalmente, na Alemanha, Kuhmann demonstrou que do ponto de vista econômico, soluções amoniacais - subproduto da obtenção do gás de iluminação - eram superiores a outros nitrogenados tanto minerais quanto orgânicos (MALAVOLTA, 1984).

No início deste século, a produção de fertilizantes em geral e de fluidos, em particular, foi estimulada pelo desenvolvimento da produção de amônia anidra através de processos de síntese mais práticos e econômicos. O processo Haber-Bosch, de síntese de amônia, desenvolvido na Alemanha em 1911, permitiu àquele país criar um enorme estoque do produto.

No período de 1918 a 1926 surgiram nos Estados Unidos várias fábricas de amônia e desta forma foi possível a produção de compostos nitrogenados sintéticos, os quais foram utilizados pela emergente indústria de fertilizantes fluidos.

Uma das primeiras fábricas de fertilizantes fluidos, a partir da solubilização dos sólidos em água, foi a "G & M Liquid Fertilizer Co." que entrou em operação no ano de 1923, nos Estados Unidos (WOLF et al., 1985).

Nas décadas de 30 e 40, o uso de fertilizantes em solução teve um crescimento pequeno, muito embora existisse um grande número de pesquisas, de artigos e livros que demonstravam as vantagens da aplicação de soluções diluídas de fertilizantes no desenvolvimento das plantas cultivadas.

1.2. Evolução da moderna indústria de fertilizantes fluidos

Além das primeiras fábricas que obtinham os fertilizantes fluidos a partir dos sólidos dissolvidos em água, havia a utilização de uma outra forma de nitrogênio disponível nos Estados Unidos no período de 1923 a 1932: a aplicação de amônia anidra na água de irrigação. Nesta época algumas fábricas produziram soluções de uréia mais amônia e carbonato de amônio. Porém, somente em 1942 é que essas soluções foram efetivamente empregadas em aplicações diretas no solo em um campo de cana-de-açúcar. Neste mesmo ano a "Allied Chemical Corp." começou a testar uma solução de uréia mais nitrato de amônio com 32% de nitrogênio e sem pressão de amônia. Esta solução que recebeu o nome de "Solution 32", é ainda muito comum na adubação fluida, com os nomes de uran ou UAN (no Brasil é conhecido por uran).

Neste período inicial, a utilização de fertilizantes fluidos nos Estados Unidos não foi muito expressiva, mas com o fim da segunda guerra mundial, o grande estoque de nitrogênio e os baixos preços desse material promoveram um grande aumento no emprego de fertilizantes sólidos e fluidos naquele país.

No ano de 1943, vinte anos após o surgimento do primeiro fertilizante fluido obtido pela dissolução em água de matérias-primas sólidas, foram comercializadas nos Estados Unidos: mil toneladas do produto, passando para 54 mil toneladas no ano de 1954 (PRESSINOTTI & CASTRO, 1984). Nos anos seguintes, o crescimento na produção e utilização de fertilizantes fluidos foi bastante incrementado, como pode ser constatado pelos dados apresentados nas Figuras 1 e 2.

Verifica-se pela Figura 2 que houve uma diminuição na taxa de crescimento do consumo de adubos (sólidos mais líquidos). Essa diminuição foi motivada principalmente pelos adubos sólidos, pois a taxa de crescimento dos adubos fluidos diminui menos intensamente que a dos sólidos, verificando-se até um aumento da taxa de crescimento dos adubos fluidos a partir de 1980. Esse aumento de consumo de fertilizantes fluidos foi acompanhado por um grande aumento das unidades produtoras, passando de 390 em 1960 para 2751 fábricas na década de 70 e chegando a 3200 em 1980.

Não somente nesse país, mas também em outras regiões do mundo tem-se verificado este crescente interesse pela adubação líquida. No Reino Unido, o total de fertilizantes

Figura 1. Participação dos fertilizantes fluidos no total de nutrientes (N, P_2O_5 e K_2O) comercializados (USA, 1960 a 1981).
Adaptado de WOLF et al., 1985.

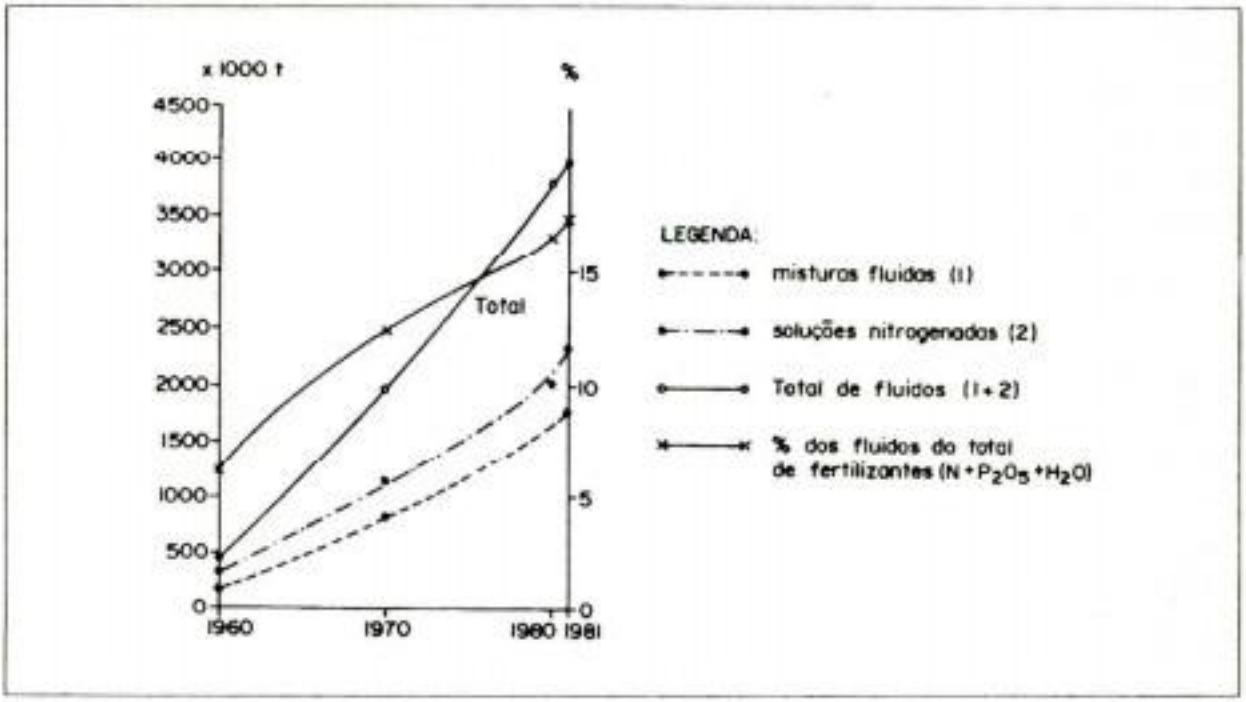
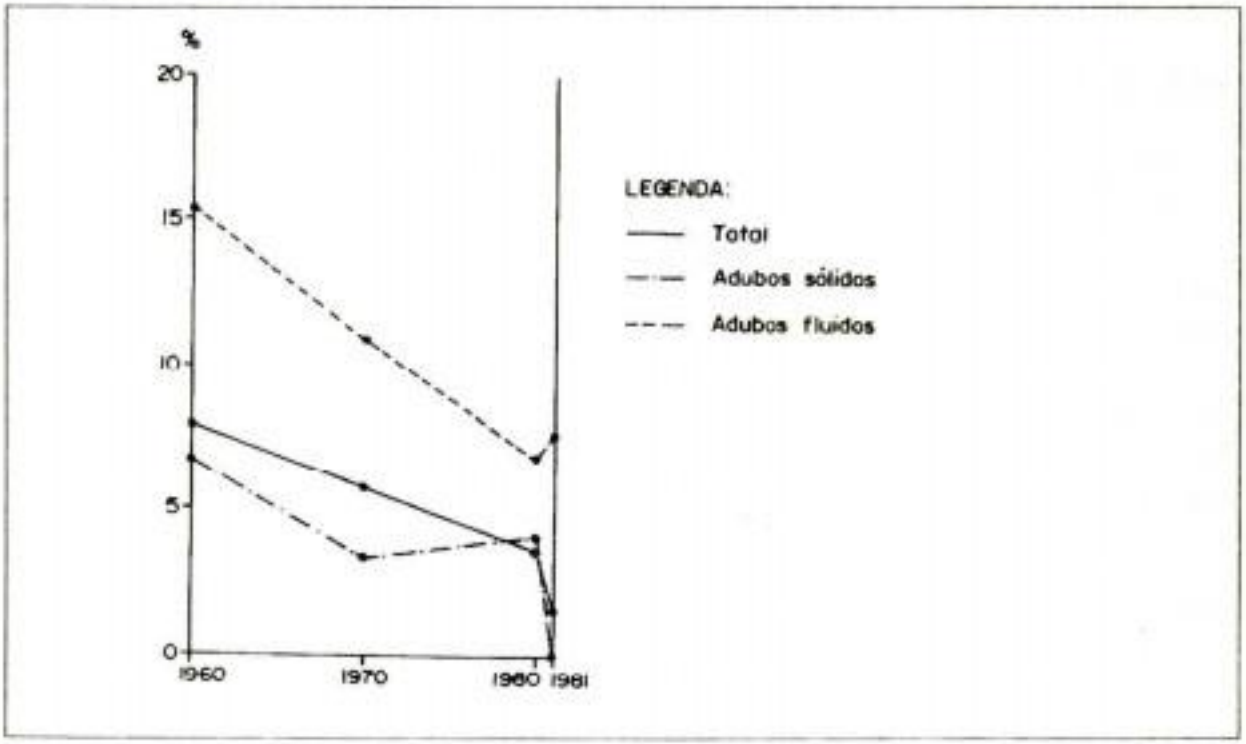


Figura 2. Variação porcentual do consumo de nutrientes (USA, 1960 a 1981).
Adaptado de WOLF et al., 1985.



fluidos, comercializado em 1971, representou cerca de 3% e em 1981 eram 10% do total e na França em 1970, os fluidos representaram cerca de 10% do total. As soluções claras contendo N e P, assim como as suspensões contendo NPK, estão ganhando popularidade na França, Bélgica e Holanda. Em menor proporção os adubos fluidos vêm sendo utilizados também na Espanha, China, Suécia, Japão, Rússia, Checoslováquia e Hungria. A taxa de crescimento nas diversas regiões do mundo é menor do que nos Estados Unidos, porque a mão-de-obra ainda disponível é barata. Porém com a escassez e elevação do custo da mão-de-obra é de se esperar que os fertilizantes fluidos venham a crescer em taxas elevadas, nos países citados (HIGNETT, 1972; PALGRAVE, 1981).

1.3. Fatores que determinaram o aumento da produção e consumo de adubos fluidos

Os fatores que determinaram o grande crescimento dos fertilizantes fluidos nas últimas duas décadas estão associados a aspectos econômicos e técnicos.

Do ponto de vista econômico, a escassez de energia e de mão-de-obra podem ser apontadas como as principais causas do crescente interesse pelos fertilizantes fluidos. Estes consomem menos energia nos processos de produção que os sólidos e apresentam menor utilização de mão-de-obra tanto no processo de produção como no manuseio e aplicação no campo. Portanto, geralmente apresentam um menor preço por unidade de nutriente.

No aspecto técnico são citados o aumento da produção de ácido fosfórico, a produção de misturas fluidas pela reação de neutralização do ácido fosfórico com amônia, a produção de ácido superfosfórico, o surgimento do reator "Pipe", o aparecimento das suspensões fertilizantes e o desenvolvimento de equipamentos que permitem a aplicação segura e eficiente dos fertilizantes fluidos nas diversas culturas. Esses fatores contribuíram decisivamente para o crescimento do consumo deste tipo de adubo.

2. OS FERTILIZANTES FLUIDOS NO BRASIL

2.1. Os primeiros trabalhos de pesquisa e as primeiras tentativas de implantação

Ao se comparar a história dos fertilizantes fluidos no Brasil com a de outras partes do mundo, principalmente Europa e Estados Unidos, pode-se verificar que aquela é bastante recente. Os primeiros trabalhos e observações referem-se exclusivamente à utilização de adubos orgânicos na forma fluida. Dafert e colaboradores relataram em 1929, que a estrumação líquida era a melhor forma de utilização do esterco, embora com poucos adeptos dessa prática, naquela época (MALAVOLTA, 1984).

Um dos trabalhos mais importantes, em direção à adubação fluida na agricultura brasileira, foi realizado em 1950 por ALMEIDA e colaboradores na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Em experimentos de vaso e de campo, os autores aplicaram vinhaça (resíduo líquido da indústria alcooleira) e concluíram que ela podia e devia ser empregada como fertilizante. Naquela época os autores certamente não imaginavam que, com o advento do PROÁLCOOL (vide **2.3.**) e a expansão da cultura canavieira, a vinhaça viesse a constituir-se no principal "adubo líquido" empregado na agricultura brasileira. Esta partici-

pação da vinhaça no contexto da adubação fluida no Brasil é tão importante que será tratada com maiores detalhes no item **2.4.**

Na década de 60 surgiram as primeiras tentativas de utilização de fertilizantes inorgânicos na forma fluida, através do emprego da amônia anidra (82% N) em aplicações diretas no solo ou em associação com vinhaça para a fertilização da soqueira de cana-de-açúcar. Nessa década apareceu também pela primeira vez o uran (solução nitrogenada com 32% N total), obtido a partir de uréia e nitrato de amônia.

Somente em meados da década de 70 é que teve início de modo expressivo a produção comercial dos fertilizantes inorgânicos em soluções e em suspensões, quando as primeiras fábricas de fertilizantes fluidos foram instaladas nas usinas de açúcar e álcool.

2.2. Situação dos fertilizantes fluidos no Brasil

Com exceção da vinhaça, que na realidade trata-se de um resíduo orgânico da produção do álcool, e dos adubos foliares, que formam uma outra família de fertilizantes líquidos, a situação atual da produção e utilização de fertilizantes inorgânicos na forma fluida, no Brasil, pode ser resumida na relação a seguir.

Quantidade produzida	125.000 t/ano
Área adubada	250.000 ha
Fábricas em operação	30 unidades
Fábricas sem fins comerciais	27 unidades
Fábricas com fins comerciais	3 unidades
Consumo por culturas	(% do total produzido)
cana-de-açúcar	90 %
café, citrus, feijão, milho, trigo, arroz, batata e tomate	10 %

Embora esses números sejam referentes ao ano de 1985, sabe-se que esta condição não apresentou grandes variações nos últimos 3 anos. Isto fica evidenciado pelos resultados de levantamento feito por CACERES & KORNDÖRFER (1988) junto às usinas e destilarias cooperadas (COPERSUCAR)[1] no ano de 1986. Os autores verificaram que em 1985 foi instalada apenas 1 fábrica de fertilizante fluido, enquanto que em 1984 eram montadas 7, em 1983, 3 e as restantes, antes de 1982, num total de 15 unidades produtoras. A produção e utilização dos adubos fluidos no Brasil é ainda muito pouco expressiva, não obstante as inúmeras vantagens práticas e econômicas apresentadas por esse sistema de adubação menos de 6% da área cultivada com cana-de-açúcar é adubada com fertilizantes inorgânicos na forma líquida e considerando-se que a área agrícola nacional ocupada com culturas anuais e perenes é de cerca de 50 milhões de ha, verifica-se que apenas 0,5% da área explorada utiliza-se de fertilizantes fluidos. No caso de usinas e destilarias cooperadas (COPERSUCAR), há uma área superior a 230.000 ha, representando 30% da área de seus integrantes, que vem sendo fertilizadas com adubos fluidos (CACERES & KORNDÖRFER, 1988).

[1] Cooperativa dos Produtores de Açúcar.

Quando se compara a produção e utilização nacional dos fertilizantes fluidos com as de outras regiões do mundo como a dos Estados Unidos, por exemplo, verifica-se que ela no Brasil está apenas nos seus primórdios. Em primeiro lugar porque a indústria brasileira de adubos fluidos tem menos de 15 anos. Além disso, entre outras causas do pouco desenvolvimento desta tecnologia, pode-se citar: os baixos índices nacionais de consumo de fertilizantes; os baixos coeficientes de modernização dos processos de produção agrícola; o emprego pouco expressivo da prática de irrigação; a relativa disponibilidade de mão-de-obra no campo, a inexistência de equipamentos adequados para a distribuição no campo e aplicação dos adubos fluidos nas diversas culturas.

Fora essas limitações, cabe ressaltar que a literatura nacional sobre processos de produção, métodos de aplicação e eficiência agronômica dos fertilizantes fluidos é ainda bastante escassa, com destaque apenas para alguns trabalhos relativos aos processos de produção, realizados pelos técnicos do Centro de Estudos de Fertilizantes, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas no Estado de São Paulo (CEFER/IPT) e pela Divisão Agronômica do Centro de Tecnologia da COPERSUCAR.

Como afirmou YAMADA (1985), o uso dos adubos fluidos no Brasil caracteriza-se pela prática antecipando-se à pesquisa.

2.3. Fatores determinantes do crescente interesse pelos fertilizantes fluidos no Brasil

A crise mundial do petróleo, ocorrida na década de 70, criou indiretamente, as condições básicas para o fomento da adubação fluida no Brasil. O governo preocupado com a forte dependência nacional do petróleo e dos fertilizantes, criou em 1974 o Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola (PNFCA) e em 1975 o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL). O primeiro tinha por objetivo a auto-suficiência da produção nacional de fertilizantes e o segundo previa, inicialmente, a substituição de 20% da gasolina pelo álcool anidro e em 1979 esta meta foi alterada para substituição de 100% da gasolina por álcool hidratado.

No período de 1974 a 1984, a produção nacional de fertilizantes nitrogenados e fosfatados teve um enorme desenvolvimento, de tal forma que em 1984 o Brasil já produzia 83% do nitrogênio e 96% do fósforo consumidos pela agricultura. Assim o suprimento nacional de matérias-primas para a produção de fertilizantes fluidos estava potencialmente garantido.

O Programa Nacional do Álcool que estabelecia como meta, para a safra 85/86, a produção de 10,7 milhões de m^3 de álcool, fez com que a cultura canavieira tivesse uma grande expansão, passando de 1,5 milhões de hectares em 1972 para 4,3 em 1986, gerando nesse tempo uma enorme quantidade de vinhaça, cerca de 139,1 milhões de m^3/ano. A vinhaça, por ser um resíduo fluido com alto potencial de poluição, não podia ser despejado nos rios. Por outro lado, apresentando apreciáveis teores de matéria orgânica e de potássio, podia e devia ser empregada como fertilizante. Então as usinas de açúcar e álcool passaram a utilizá-la em grande escala na fertilização da cultura canavieira. Como a vinhaça é um resíduo líquido, as usinas criaram toda a infra-estrutura para o manuseio e aplicação desse "adubo fluido" nas lavouras.

2.4. A vinhaça e a implementação da adubação fluida na cana-de-açúcar

A vinhaça apresentando uma concentração maior de potássio em relação ao nitrogênio, para ser empregada na fertilização da soqueira de cana-de-açúcar, tem necessidade de ter essa relação corrigida, ou promover uma adubação complementar, com nitrogênio, para satisfazer as exigências da cultura (Quadro 1).

De um modo geral as usinas de açúcar com destilarias anexas, produzem predominantemente a vinhaça de mosto de melaço e de mosto misto, com concentração de potássio entre 3,34 a 3,95 kg de K_2O/m^3 do produto. Nas áreas adubadas com vinhaça, aplicada através de caminhões, são colocados de 90 a 120 m^3/ha do resíduo em área total. Isto representa uma adubação média de 350 kg de K_2O/ha. Por outro lado esta mesma quantidade de vinhaça leva ao solo também 55 kg de N/ha, o que dá uma relação N/K_2O de 0,16. Como, em geral recomenda-se 100 kg/ha de nitrogênio aplicado em faixas nas soqueira de cana, percebe-se que quando se utiliza a vinhaça como fertilizante, há necessidade de complementar essa adubação com nitrogênio. A adubação complementar com nitrogênio normalmente é feita com fontes sólidas convencionais, como uréia (45%), sulfato de amônio (20% N) ou nitrato de amônio (32% N). Verificou-se, porém, que trazendo para as usinas a amônia anidra (82% N) e promovendo aí a sua hidratação, podia ser obtido um fertilizante fluido, a aquamônia (20% N), cuja utilização representava uma redução de cerca de 13 a 30% no custo da adubação da soqueira de cana tratada com vinhaça. Isto fez com que algumas usinas de açúcar e álcool adotassem esta nova forma de adubação nitrogenada.

A partir daí, algumas usinas montaram os seus próprios hidratadores de amônia anidra e algumas caldeirarias produziram as primeiras plantas para hidratação da amônia. Paralelamente outras empresas metalúrgicas ligadas ao setor sucro-alcooleiro passaram a produzir tanques para transporte e equipamentos de aplicação desses fertilizantes. Dessa forma começava a ser implantada de modo mais consistente a adubação fluida no Brasil e, mais especificamente, na cultura da cana-de-açúcar com a produção dos fertilizantes fluidos nas propriedades agrícolas (no caso as usinas de açúcar e álcool), sendo esse sistema de produção e distribuição o mais comum, principalmente porque a cana-de-açúcar é responsável pelo consumo de 90% do adubo fluido produzido no Brasil.

Quadro 1. Composição química da vinhaça em função do tipo de Mosto (RODELLA et. al., 1980).

Componentes	Mosto de Melaço	Mosto Misto	Mosto de Caldo
		kg/m^3	
N	0,57	0,48	0,28
P_2O_5	0,10	0,09	0,09
K_2O	3,95	3,34	1,29
CaO	1,85	1,33	0,13
MgO	0,98	0,58	0,21
Matéria Orgânica	37,30	28,97	22,31
pH	4,2	4,4	3,7

2.5. As primeiras fábricas de adubos fluidos com propósitos comerciais

No final da década de 70 teve início, através da Ultrafértil, a produção comercial de fertilizantes fluidos em soluções e suspensões. Em 1981 foi inaugurado em Jaú, SP, o primeiro misturador de adubos fluidos do Brasil.

Atualmente existem no Brasil três fábricas de fertilizantes fluidos com propósitos comerciais, com uma capacidade instalada para a produção de 85.000 t/ano aproximadamente. As fábricas nacionais de fertilizantes líquidos utilizam-se basicamente das mesmas matérias-primas para a produção de suas misturas, ou seja, empregam a amônia anidra, uréia, nitrato de amônio, uran (32-00-00), sulfato de amônio, soluções básicas (10-30-00 e 06-30-00) e cloreto de potássio.

Um dos principais fertilizantes fluidos produzidos e comercializados por essas empresas é o uran, obtido a partir de uréia e nitrato de amônio e resultando numa solução clara com 32% N total. O uran pode ser utilizado tanto como matéria-prima para a produção de outros fertilizantes, como também diretamente na adubação das culturas, funcionando como um excelente adubo nitrogenado de cobertura. Algumas usinas de açúcar, em vez de ter o seu hidratador de amônia, preferem adquirir o uran e empregá-lo na complementação nitrogenada das áreas tratadas com vinhaça ou como matéria-prima para a produção de outras formulações. Na relação a seguir são apresentadas algumas das principais fórmulas fluidas e soluções nitrogenadas vendidas no Brasil.

Tipo	Composição (%) N P_2O_5 K_2O
Soluções nitrogenadas	32 - 00 - 00
	20 - 00 - 00 + 4% S
	20 - 00 - 00
Formulações NPK	06 - 30 - 00
	10 - 30 - 00
Formulações NPK	03 - 15 - 10
	03 - 15 - 15
	12 - 04 - 12
	16 - 04 - 16
	12 - 06 - 18
	08 - 04 - 12
Formulações NK	10 - 00 - 15
	12 - 00 - 18
	15 - 00 - 15
	18 - 00 - 18
	20 - 00 - 13
	10 - 00 - 10
	08 - 00 - 12
	16 - 00 - 07 + micronutrientes

Os principais consumidores dos adubos fluidos produzidos por essas empresas são os produtores de cana-de-açúcar, com 90% do total vendido. Porém é cada vez maior o consumo de fluidos por outras culturas, principalmente citrus, café, milho, soja, trigo, arroz, tomate, feijão e batata.

3. DEFINIÇÕES E TIPOS DE FERTILIZANTES FLUIDOS

3.1. Definições

De uma maneira bem geral, pode-se definir como adubo líquido todo material que contém um ou mais nutrientes de plantas dispersos em um meio líquido.

Esta definição engloba também os adubos foliares. Estes porém apresentam características próprias quanto ao seu processo de produção, concentração de nutrientes e modo de utilização, formando uma outra família de fertilizantes e não são aqui considerados (vide BOARETTO & ROSOLEM, 1989). Assim sendo, define-se adubo fluido como todo material fertilizante que pode ser manipulado, armazenado, transportado e aplicado no solo na forma líquida.

3.2. Tipos de fertilizantes fluidos

Os fertilizantes fluidos são classificados de acordo com o modo em que os nutrientes encontram-se dispersos no meio líquido. Assim têm-se as soluções ("Clear Liquids"), as suspensões ("Creamy Fertilizer") e o caso especial da amônia anidra (NH_3) que é um gás, nas condições normais de temperatura e pressão.

3.2.1. As soluções

Como o próprio nome diz, as soluções são fertilizantes nas quais os componentes encontram-se completamente dissolvidos no meio líquido, formando uma solução verdadeira, ou seja, uma solução transparente.

Normalmente os fertilizantes fluidos em solução são adubos simples, ou seja, contém apenas um nutriente de plantas. As soluções mais comuns são as soluções nitrogenadas, embora possam existir soluções com nitrogênio e potássio, com nitrogênio e fósforo ou com nitrogênio, fósforo e potássio.

O principal problema dos fertilizantes fluidos em solução é a sua baixa concentração em nutrientes, devido à pequena solubilidade das matérias-primas empregadas. Em decorrência desse problema, o fertilizante em suspensão tem ganho maior popularidade no mundo nos últimos anos, embora as soluções sejam ainda o principal fertilizante fluido vendido nos Estados Unidos e o mais empregado na agricultura brasileira.

As soluções são mais empregadas que as suspensões nos Estados Unidos, principalmente porque a aplicação de soluções simultaneamente com a injeção de amônia anidra no solo é mais fácil. Também porque as soluções são mais utilizadas nos sistemas de irrigação (WOLF et al., 1985).

No Brasil as soluções nitrogenadas são empregadas na adubação de cobertura da cana-

de-açúcar e na complementação das áreas de soqueira de cana que receberam vinhaça. As principais soluções são: soluções nitrogenadas com baixa pressão (aquamônia); soluções nitrogenadas sem pressão (uran) e as soluções básicas (8-24-00, 10-34-00 e 11-37-00).

Solução nitrogenada com baixa pressão

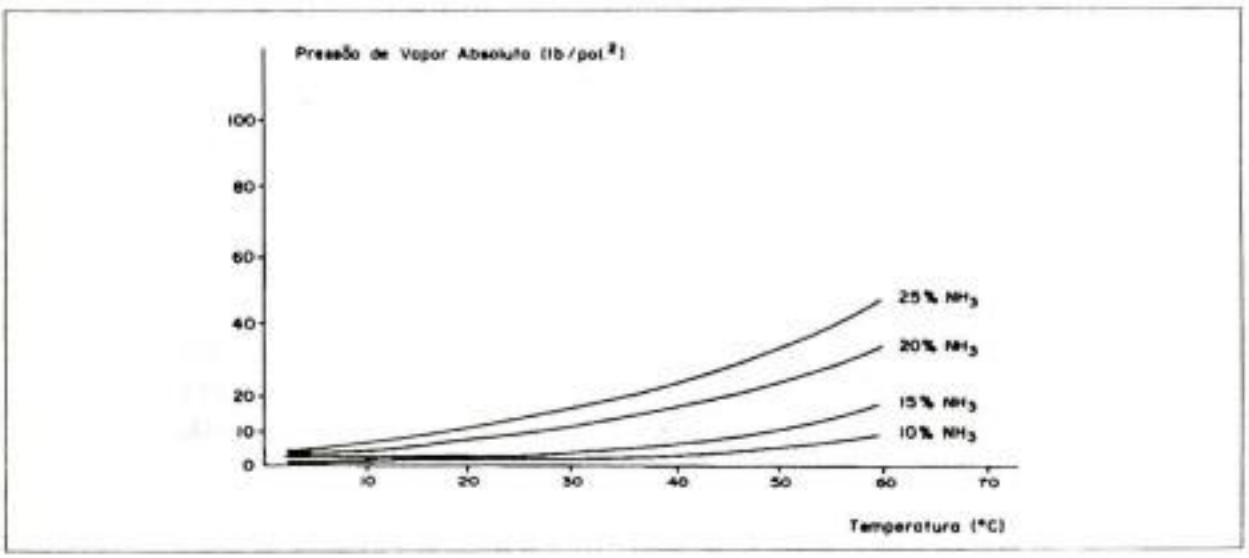
Com o aumento da produção de amônia anidra e a maior utilização da irrigação, ganhou grande popularidade nos Estados Unidos a utilização da amônia anidra em injeções diretas no solo ou no sistema de irrigação, para a fertilização das culturas. A grande vantagem de amônia anidra como fertilizante nitrogenado é a sua alta concentração (82% de N). Porém, esta apresenta uma série de dificuldades para o seu manuseio e aplicação no campo, pois sendo um gás à temperatura ambiente, exige tanques especiais para o seu armazenamento e transporte. A amônia anidra tem pressão de vapor entre 10 e 12 kg/cm^2, é um gás tóxico que exige cuidados especiais para o seu manuseio e além disso apresenta um elevado potencial de perdas por volatilização durante a aplicação. Dessa forma passou-se a hidratar a amônia para utilizá-la como fertilizante, obtendo-se umas solução amoniacal a qual é conhecida como aquamônia ou licor amoniacal. Portanto, a aquamônia nada mais é do que a amônia anidra dissolvida em água, como demonstra a seguinte equação química:

$$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4OH$$

Amônia anidra (gás) — Aquamônia (líquido)

Como esta é uma reação de equilíbrio, na aquamônia as duas fases (líquida e gás) coexistem, gerando uma certa pressão de vapor, a qual será tanto maior quanto maior for a concentração de nitrogênio e a temperatura (Figura 3).

Figura 3. Relações entre teor de NH_3 na solução, temperatura e pressão de vapor.



Como a concentração de nitrogênio na aquamônia varia em torno de 20% N, esta pode ser armazenada e transportada em tanques que possuem válvulas de retenção de 0,35 kg/cm², para evitar possíveis perdas. Esta pressão é aproximadamente 37 vezes menor que a pressão de vapor da amônia anidra. Esta redução da pressão de vapor pela hidratação da amônia traz um grande número de vantagens, tais como: tanques de armazenamento e transporte mais simples e de menor custo, menor risco para os operadores e redução das perdas por volatilização.

A aquamônia pode ser aplicada no solo, com a metade da profundidade exigida pela amônia anidra para que não ocorram perdas significativas de nitrogênio. Isso quer dizer que a aquamônia pode ser aplicada na profundidade de 7,5 a 13 cm, desde que haja boas condições de umidade no solo para o desenvolvimento das plantas.

Como já foi citado, a aquamônia com 16% a 20% N é o adubo nitrogenado líquido mais utilizado no Brasil atualmente. As usinas de açúcar compram a amônia anidra (82% N) que tem o custo do nutriente por unidade de peso mais barato e uma vez estando o produto na propriedade, promovem a sua hidratação, produzindo a aquamônia, a qual é manuscada sem problemas e pode ser utilizada tanto diretamente na adubação da cultura da cana, como ser empregada na produção de outros fertilizantes fluidos contendo NPK.

Soluções nitrogenadas sem pressão

Um outro tipo de solução que vem ganhando cada vez mais popularidade no Brasil são as soluções nitrogenadas sem pressão as quais são obtidas na indústria pela mistura de soluções de uréia e nitrato de amônio. Esse produto é designado como uran (ou UAN nos Estados Unidos) e pode conter de 28 a 32% de nitrogênio total. No Brasil, o uran comercializado contém 32% de nitrogênio total.

As soluções nitrogenadas sem pressão, por possuírem o nitrogênio em formas mais estáveis (-NH_2, NH_4^+ e NO_3^-), oferecem menor possibilidade de perdas por volatilização durante o uso, também não oferecem nenhum risco aos operadores e, finalmente, apresentam maior concentração de nitrogênio que a aquamônia. Porém apresentam a desvantagem de serem produzidas com matérias-primas mais processadas (uréia e nitrato de amônio), fazendo com que o preço do nitrogênio por unidade de peso seja maior no uran que na aquamônia. Além disso o uran não permite que se produza soluções ternárias (NPK) mais concentradas, porque o nitrato de amônio reage com o cloreto de potássio, produzindo cloreto de amônio e nitrato de potássio, o qual é pouco solúvel à temperatura ambiente e pode causar problemas de cristalização da solução. Entretanto foi justamente procurando diminuir os problemas de cristalização que surgiu o uran. Isto porque verificou-se que quando se dissolve a uréia em água, a máxima concentração de nitrogênio possível é de 18% e quando se dissolve o nitrato de amônio sozinho, a máxima concentração possível é de 17% N. Porém quando se dissolve conjuntamente uréia e nitrato de amônio em água, pode-se obter uma solução com 32% de N, sem problemas de cristalização.

No Quadro 2 são apresentadas algumas características químicas e físicas das soluções nitrogenadas sem pressão.

Quadro 2. Características físicas e químicas das soluções nitrogenadas sem pressão.

Características	Valores		
Concentração de nitrogênio (%)	28	30	32
Concentração em % de peso			
Nitrato de amônio	40,1	42,2	44,3
Uréia	30,0	32,7	35,4
Água	29,9	25,1	20,3
Peso específico a 15,6°C, (g/cm³)	1,283	1,303	1,320
Temperatura de cristalização	-18°C	-10°C	-2°C

As soluções nitrogenadas sem pressão são utilizadas diretamente como adubo simples ou também como matéria-prima para a produção de suspensões contendo NPK. Muitas usinas de açúcar que estão introduzindo a adubação fluida e não possuem hidratadores de amônia, adquirem o uran para complementar a adubação nas áreas tratadas com vinhaça ou para produção de fórmulas ternárias (NPK).

Soluções bases

São consideradas soluções bases, as misturas binárias obtidas pela reação do ácido fosfórico com amônia, nas quais os fosfatos de amônio formados encontram-se completamente dissolvidos no meio líquido. Há no Brasil as formulações 06-30-00 e 10-30-00.

As soluções básicas são mais comuns nos Estados Unidos, onde a tecnologia de produção de adubos fluidos e a utilização do ácido superfosfórico permitem a produção de soluções mais concentradas. No Brasil, como não existe comercialmente o ácido superfosfórico, essas soluções não são produzidas.

A indústria nacional produz suspensões coloidais pela reação do ácido ortofosfórico com a amônia anidra. São exemplos dessas suspensões as misturas 06-30-00 e 10-30-00, as quais são empregadas principalmente como matéria-prima para a produção de outras formulações fluidas, pela mistura com uran e cloreto de potássio.

As suspensões coloidais 06-30-00 e 10-30-00 também podem ser empregadas puras em pulverizações foliares por aviões ou diluídas em aplicações terrestres ou ainda podem ser empregadas na adubação via solo.

Com o aumento do número de fábricas de fertilizantes fluidos instaladas em propriedades agrícolas, alguns agricultores estão começando a comprar as suspensões coloidais para produzir as formulações NPK desejadas.

3.2.2. As suspensões

As suspensões ou misturas em suspensão, são fertilizantes fluidos nos quais, parte dos nutrientes são mantidos suspensos no meio líquido pela adição de um agente geleificante,

Quadro 3. Principais suspensões produzidas e utilizadas no Brasil e sua formulação NPK.

Suspensões coloidais	Suspensões NPK	Suspensões NK
06-30-00		
10-30-00	03-15-10	10-00-15
	03-15-15	12-00-18
	12-04-12	15-00-15
	16-04-16	18-00-18
	12-06-18	20-00-13
	02-10-10 (*)	
	2,4-12-12 (*)	

(*) Estas foram as primeiras suspensões produzidas nas usinas de açúcar, a partir da aquamônia + ácido ortofosfórico + rocha fosfática + cloreto de potássio + ácido sulfúrico.

normalmente argilas. As argilas aumentam a viscosidade do meio e sustentam os cristais em suspensão. As principais argilas utilizadas com este fim são a atapulgita e a bentonita. Outros produtos como celulose finamente moída, torta de filtro "Oliver" e vinhaça, podem também ser utilizados para aumentar a estabilidade das suspensões, porém estes produtos ainda não são utilizados em escala comercial.

A moderna indústria de fertilizantes fluidos dos Estados Unidos, teve seu início com a produção de soluções ("Clear liquids") mas nos últimos anos vem apresentando um aumento muito expressivo na produção e consumo de suspensões. Esta situação também ocorre no Brasil, onde, embora as soluções nitrogenadas são os fertilizantes fluidos mais comuns, a produção de suspensões vem aumentando a cada ano. As suspensões produzidas no Brasil encontram-se no Quadro 3.

4. MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NO BRASIL

4.1. Nitrogênio

No comércio brasileiro existem fontes nitrogenadas sólidas e líquidas. As principais fontes sólidas contendo nitrogênio e que podem ser empregadas na produção dos adubos fluidos no Brasil, estão no Quadro e Figura 4, que contém algumas características dos mesmos. Verifica-se que a uréia e o nitrato de amônio são mais solúveis que os outros três adubos nitrogenados (Fig. 4) e que a solubilização destes em água absorve calor (Quadro 4).

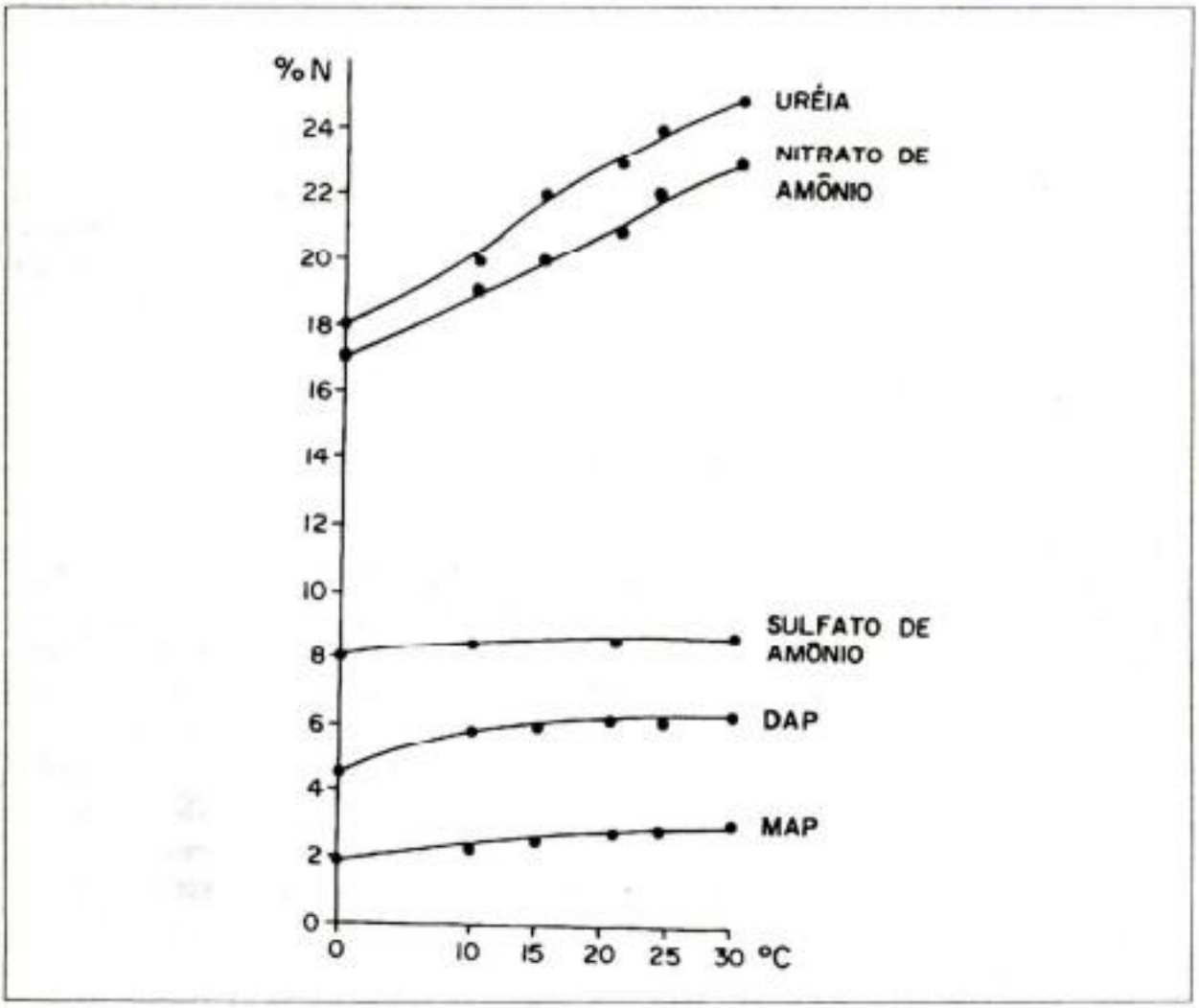
O preparo das soluções é feito em tanque de aço carbono com agitador, no qual o material sólido é então dissolvido em água, levando em consideração a solubilidade de cada solução. Um aspecto interessante é o comportamento da uréia e nitrato de amônio pois se produzem soluções contendo teores de nitrogênio mais elevados do que as soluções individuais de cada um desses adubos. Este comportamento é explorado pelas indústrias de soluções nitrogenadas sem pressão.

Quadro 4. Calor de solução absorvido no preparo de soluções nitrogenadas em água a 25°C.

Soluto	Uréia		Nitrato de Amônio		Sulfato de Amônio		MAP		DAP	
	N	ΔH	N	ΔH	N	ΔH	N	ΔH	N	ΔH
%	%	(*)	%	(*)	%	(*)	%	(*)	%	(*)
20	9,0	11,3	6,4	13,3	4,0	2,5	2,0	6,6	3,2	5,9
30	13,5	16,3	9,6	18,5	6,0	3,7	-	-	4,8	9,3
40	18,0	21,0	12,8	22,8	8,0	4,7	-	-	6,4	12,6
50	22,5	25,2	16,0	26,4	-	-	-	-	-	-

(*) Kcal por kg de solução.

Figura 4. Porcentagem de nitrogênio na solução nitrogenada saturada a diferentes temperaturas.



Quadro 5. Propriedades do sulfato de amônio puro.

Cor	branca/amarelo palha
Peso molecular	132,14
N (%)	21,02
Densidade (g/cm^3)	1,769
Peso específico da solução saturada (g/cm^3)	1,2414 (20°C) 1,2502 (93°C)
Ponto de fusão	512,2°C
Estabilidade térmica	Decompõe-se acima de 280°C

Sulfato de amônio

Fórmula: $(NH_4)_2SO_4$; N = 21%; S = 24%.

As suas principais vantagens são a baixa higroscopicidade, boas propriedades físicas e estabilidade química. A desvantagem é o baixo teor de nitrogênio, embora contenha alta porcentagem de enxofre. No Quadro 5 são apresentadas algumas de suas características (IFDC/UNIDO, 1979).

Nitrato de amônio

Fórmula: NH_4NO_3; N-total = 33%; N-NO_3 = 16,5%; N-NH_4 = 16,5%.

As soluções saturadas deste adubo contém praticamente os mesmos teores de nitrogênio da uréia, mas têm o inconveniente de ser um poderoso oxidante, que pode provocar explosões e além disso é um produto higroscópico. A relação a seguir fornece algumas propriedades deste adubo (IFDC/UNIDO, 1979).

Características	Dados	Características	Dados
Cor	branca	Densidade 20°/4°C	1,725
Peso molecular	80,04	Ponto de fusão	170,4°C
N (%)	35,0		

Uréia

Fórmula: $CO(NH_2)_2$; N = 45%.

Pode ser empregada com vantagens em formulações ácidas e em soluções não pressurizadas. Na relação a seguir fornecem-se algumas de suas propriedades quando pura (IFDC/UNIDO, 1979).

Características	Dados	Características	Dados
Cor	branca	Peso específico	1,335
Peso molecular	60,06	Ponto de fusão	132,7°C
N (%)	46,6		

Amônia anidra

Fórmula: NH_3; N = 82%.

É produzida e comercializada no Brasil por firmas que também se encarregam da entrega, que é feita através de carretas rodoviárias com capacidade de 16 a 20 t. Ela não é armazenada como tal nas usinas de açúcar e álcool, pois é hidratada no momento da descarga.

Reage com cobre, zinco e suas ligas e como não causa corrosão ao ferro e aço, estes são empregados nos tanques, encanamentos e outros equipamentos utilizados no seu manuseio. Algumas propriedades deste adubo são apresentadas a seguir (IFDC/UNIDO, 1979).

Características	**Dados**
Ponto de ebulição	- 33°C
Ponto de congelamento (à pressão atmosférica)	- 77°C
Calor latente de vaporização	327,4 Kcal/kg
Solubilidade em água a 25°C e pressão atmosférica	0,456 g/g água
Pressão de vapor	-18°C 1,10 kg/cm
	0°C 3,35 kg/cm
	38°C 13,87 kg/cm
Peso específico	-18°C 0,6749
	0°C 0,6385
	38°C 0,5831
Mistura explosiva	16 a 25% de NH_3 no ar

Aquamônia

Fórmula : NH_4OH; N = 20%.

A partir da amônia anidra produz-se a aquamônia. Este adubo não se encontra disponível no comércio, pois a hidratação é feita nas usinas de açúcar e álcool, sendo o adubo nitrogenado líquido mais empregado nestas.

Uran

Fórmula: $NH_4NO_3 + CO(NH_2)_2$;

N-total = 32%; $N\text{-}NH_2$ = 14%; $N\text{-}NO_3$ = 9% e $N\text{-}NH_4$ = 9%.

Possui 32% de nitrogênio, sendo 14% da forma amídica e nas formas de amônio e nitrato, 9% de cada. É produzido a partir das soluções de uréia e nitrato de amônio mais água. Estas soluções são passos iniciais na obtenção destes dois adubos nitrogenados e são necessários gastos de energia para se obter os produtos sólidos, sendo então preferível evitar este passo. Por esta razão a produção de uran é feita nas indústrias onde são obtidas a uréia e o nitrato de amônio.

O teor de nitrogênio é expresso em peso/peso, isto é 1000 kg do produto contém 32 kg deste nutriente. Como a densidade é 1,326 g/cm^3 são necessários 754 litros para pesar os 1000 quilogramas. É um líquido claro, incolor ou amarelado, não volátil, sendo que o chei-

ro de amônia que desprende se deve à adição de aquamônia para acerto de pH, cujo valor está na faixa 7,0 a 8,0.

Sulfuran

Este adubo líquido contém os seguintes teores de nutrientes:

$N\ (total) = 20,0\%$

$N\ (NH_2) = 8,5\%$

$N\ (NH_4^+) = 7,3\%$

$N\ (NO_3^-) = 4,2\%$

$S\ (SO_4^{-2}) = 4,0\%$

A obtenção é semelhante ao uran, acrescentando-se o sulfato de amônio. A densidade é 1,26 g/cm³, é incolor, não volátil, com pH na faixa de 4,5 a 5,0.

4.2. Fósforo

Rocha Fosfática

No Brasil há jazidas de rocha fosfática, com amplas variações no teor de P_2O_5. Atualmente, a maior parte da produção é feita por várias empresas.

SERRANA - Extrai a rocha fosfática de baixo teor em Jacupiranga/SP. O concentrado comercializado contém 36% P_2O_5.

CAMIG (Cia. Agrícola de Minas Gerais) - Comercializa a rocha fosfática moída com 24% e 28% P_2O_5 de jazidas localizadas em Araxá/MG.

ARAXÁ S.A. (ARAFÉRTIL) - Produz concentrado com 36% P_2O_5, sendo a jazida localizada em Araxá/MG.

VALEP (Mineração Vale do Paranaíba S/A) - Produz concentrado com 35% P_2O_5.

FOSFÉRTIL - Produz em Patos de Minas, MG, e o concentrado tem 24% P_2O_5.

GOIÁSFÉRTIL - Produz concentrado de rocha com 38% P_2O_5, em Catalão/GO.

Os fosfatos naturais brasileiros são fosfatos de cálcio, cuja fórmula geral seria: $Ca_{10}(PO_4)_6 X_2$ e que varia amplamente em composição química.

A qualidade da rocha é expressa pelo teor de P_2O_5 e também em termos de fosfato tricálcico, $Ca_3(PO_4)_2$, conhecido no comércio como BLP ou "bone phosphate of lime". Os fatores de conversão são:

$$P_2O_5 = BLP \times 0{,}4576$$
$$BLP = P_2O_5 \times 2{,}1852$$

Ácido fosfórico

Fórmula: H_3PO_4; $P_2O_5 = 52\%$.

O ácido fosfórico é a principal fonte de fósforo encontrada no comércio nacional, contendo 52% de P_2O_5, densidade de 1,7 g/cm³. Contém 4% de gesso e é empregado tal qual ou em mistura com outros produtos. É um material solúvel em água, tendo ponto de ebulição a 260°C, começando a perder água a partir de 160°C e se transforma em ácido pirofosfórico, polifosfórico e metafosfórico.

O ferro, zinco e alumínio são atacados pelo ácido com liberação de hidrogênio. Já o aço inoxidável, cobre, bronze, latão e outros materiais plásticos resistem bem ao ácido, mesmo concentrado e à temperatura ambiente. O ácido fosfórico não é inflamável nem explosivo, contudo, por sua ação sobre outros metais, liberando hidrogênio, pode ter risco de explosões e incêndio, porque o hidrogênio é altamente inflamável e explosivo em mistura com o ar, entre os limites de 4 a 75% em volume.

O armazenamento do ácido deve ser efetuado em locais separados, bem ventilados, com piso cimentado. A concentração máxima tolerável dos vapores é de 1 mg/m³ no ar, sendo irritante para a pele e mucosas oculares, mas sob condições normais de utilização, o risco de irritação das vias respiratórias é pequeno. Para se precaver os trabalhadores devem fazer uso de todo o equipamento de proteção individual necessário: óculos de segurança, protetores faciais, luvas resistentes a ácidos, botas, máscara etc. Em caso de acidente lavar os olhos com água, lavar a parte contaminada do corpo com sabão e água.

4.3. Nitrogênio e fósforo

Fosfato de amônio

Já foram apresentados (Quadro 4 e Figura 4), algumas propriedades dos fosfatos de amônio encontrados no comércio brasileiro: o monoamônio fosfato (MAP) e o diamônio fosfato (DAP), que são obtidos na indústria pela reação de amoníaco e ácido ortofosfórico. Possuem alta concentração de fósforo e de nitrogênio, alta solubilidade e propriedades físicas e químicas satisfatórias. As características principais estão no Quadro 6 (IFDC/UNIDO, 1979), além daquelas já fornecidas no Quadro 4 e Figura 4.

Formulações líquidas 06-30-10 e 10-30-00

No comércio existem duas formulações líquidas contendo nitrogênio e fósforo. As características destas estão no Quadro 7.

Quadro 6. Características dos fosfatos de amônio puro.

Característica	MAP	DAP
Fórmula	$NH_4H_2PO_4$	$(NH_4)_2HPO_4$
N (%)	12,2	21,9
P_2O_5 (%)	61,7	53,8
pH da solução 0,1 M	4,0	7,8

Quadro 7. Características físicas e químicas das suspensões coldidais: 10-30-00 e 06-30-00.

	10-30-00	06-30-00
Composição		
N amoniacal (%)	10	6
P_2O_5 solúvel em CNA + água	30	30
P_2O_5 solúvel em água (%)	27	27
P_2O_5 total (%)	30	30
Densidade (g/cm^3)	1,370	1,350
Aspecto físico	Líquido espesso, coloração amarelada	Líquido espesso, coloração branca
Volatilidade	Não volátil	Não volátil
pH	6,2 - 6,8	3,5 - 4,5
Corrosividade	Pouco corrosivo (1)	Pouco corrosivo
Estabilidade	Bastante estável (2)	Bastante estável

(1) A suspensão coloidal 06-30-00 é mais corrosiva que a 10-30-00 por apresentar reação mais ácida.
(2) Embora sejam consideradas estáveis por se tornarem homogêneas com uma leve agitação, esta prática é indispensável antes da utilização.

4.4. Potássio

Cloreto de potássio

Fórmula: KCl; K_2O = 62%; Cl = 48%.

Por ser a fonte de potássio mais econômica é a empregada na preparação de adubos líquidos. Este adubo forma soluções contendo até 16% K_2O na temperatura ambiente. É usado principalmente o tipo standard branco. A adição de cloreto de potássio em adubos líquidos é simples e direta, porém a sua dissolução provoca esfriamento da solução.

4.5. Enxofre

Ácido sulfúrico

Fórmula: H_2SO_4; S = 32%.

O ácido sulfúrico já foi muito utilizado por algumas fábricas de adubos fluidos instaladas nas usinas de açúcar com a finalidade de promover a solubilização da rocha fosfática. O produto contém o enxofre que é um nutriente vegetal e é exigido em grande quantidade pela cultura da cana-de-açúcar. Por ser um produto de preço elevado e com alto grau de pureza, é menos empregado como fonte de enxofre que o sulfato de amônio, descrito juntamente com outros adubos nitrogenados (4.1.). Líquido incolor de aspecto oleoso, denso e de cheiro irritante. O ponto de ebulição está entre 315° e 338°C. Possui riscos incomuns de fogo/explosão, entretanto em contacto com materiais combustíveis pode inflamá-los.

O armazenamento deve ser em local bem ventilado, e os materiais devem ser de aço inox ou aço doce revestidos. A tolerância no ar é de 0,25 ppm e em superexposições pode causar bronquite, dermatite etc. Em caso de vazamento, deve-se de imediato evacuar o local. Evitar respingos e em caso de acidente, lavar imediatamente, com água em abundância, a área atingida. No manuseio, nunca pipetar e nas diluições o ácido deve ser vertido sobre a água para evitar reações violentas, com geração de calor e espalhamento do mesmo.

4.6. Micronutrientes

Como os adubos líquidos são hoje empregados principalmente em cana-de-açúcar não se tem recomendado a adição de micronutrientes. Entretanto se houver conhecimento de ocorrência de carência de zinco, cobre, pode-se usar sulfato de zinco heptahidratado (23% de Zn) e sulfato de cobre pentahidratado (24% Cu). Outros micronutrientes podem ser usados como o ácido bórico (17% B), no café e o sulfato de manganês tetrahidratado (25% de Mn), em citrus.

5. PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES FLUIDOS

Apresenta-se aqui uma visão geral dos equipamentos, processos e matérias-primas na produção dos principais fertilizantes fluidos utilizados na agricultura brasileira.

5.1. Produção de aquamônia

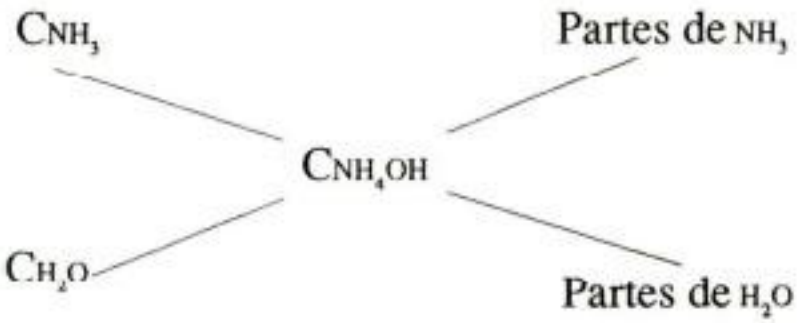
Processo de produção

A amônia anidra é uma substância química alcalina, tóxica, perigosa, de difícil armazenamento e manipulação. Nas condições normais de temperatura e pressão é um gás, mas pode ser facilmente liquefeita e então armazenada e transportada. Cerca de 100 ppm de NH_3 no ar é considerado o limite superior para exposições contínuas e em 2500 ppm é considerado perigoso mesmo por curtas exposições. Além disso, a amônia anidra é inflamável e explosiva quando em concentração em volume no ar entre 16 a 25%. Devido a esses aspectos tem-se preferido no Brasil fazer a hidratação da amônia anidra do que seu emprego no estado gasoso.

Como a aquamônia é o produto da hidratação da amônia anidra, o seu processo de produção consiste simplesmente na mistura da amônia anidra com água, na proporção adequada, para se obter a concentração de nitrogênio desejada. Pode-se indicar a seqüência de operação como segue.

a) Cálculo da quantidade de água

A amônia anidra contém 82% de N (peso/peso) e neste exemplo os cálculos são feitos para a produção de aquamônia com 20% de N (peso/peso), que é mais comum nas usinas de produção de açúcar.

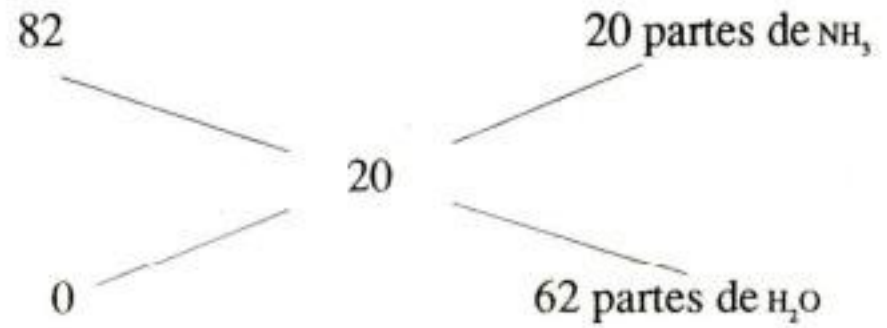


Onde:

C_{NH_3} = concentração de nitrogênio da amônia anidra (82%);

C_{H_2O} = concentração de nitrogênio na água (0%);

C_{NH_4OH} = concentração de nitrogênio na aquamônia (20%).



Verifica-se que para 1 unidade de peso de NH_3 são necessárias 3,1 unidades de peso de H_2O. É dado a seguir o exemplo de cálculo de quantidade de água necessária para hidratar 18 ton. de amônia anidra com 82% N, produzindo uma solução amoniacal com 20% N.

Massa de água/Massa de amônia anidra = 3,1.

Massa de água = 3,1 x 18000 kg de NH_3.

Massa de água = 55.800 kg de água, ou 55.800 l de água.

b) Procedimento para execução da hidratação.

- Colocar o volume de água calculado, no tanque de processo.
- Engatar a mangueira de descarga ao tanque de amônia anidra do caminhão.
- Acionar o sistema de refrigeração no trocador de calor.
- Acionar a bomba de processo.
- Acompanhar pela leitura dos manômetros, para saber quando o tanque de amônia anidra já está vazio.

De um modo geral estes são os passos empregados normalmente no processo de produção da aquamônia nas usinas de açúcar que possuem fábrica de fertilizantes fluidos.

Equipamentos

Uma planta de hidratação de amônia anidra consiste basicamente de várias partes.

- Mangueiras especiais para recepção da amônia anidra.
- Hidratador.
- Trocador de calor.
- Bombas de processo.
- Tanque de hidratação.
- Tanques de armazenamento da aquamônia.

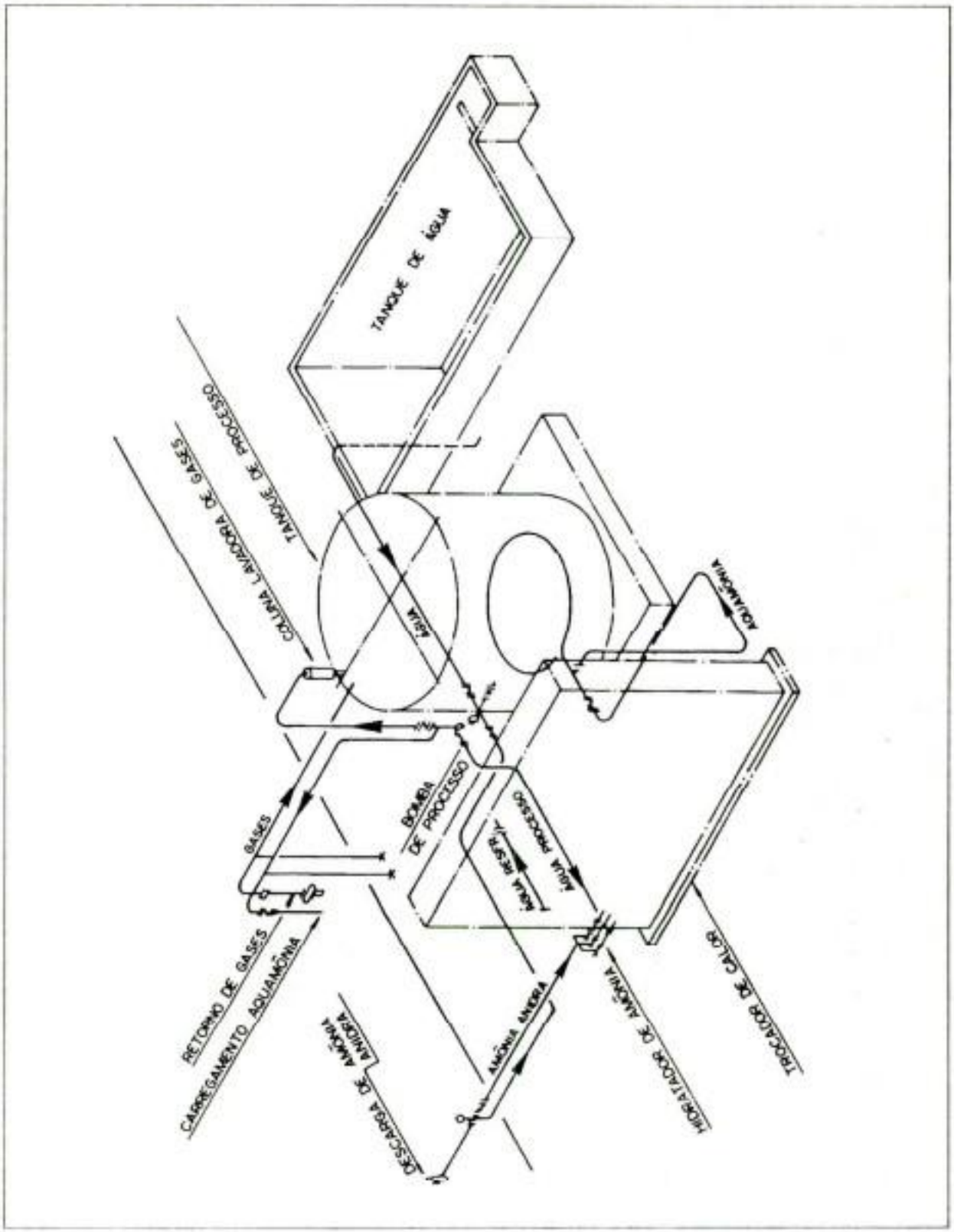
Todos os tanques e tubulações podem ser em aço carbono, visto que tanto a matéria-prima como o produto final não são corrosivos.

Na Figura 5 encontra-se uma representação esquemática de uma planta de hidratação de amônia anidra. (Esquema fornecido pela GASCOM - Equipamentos Industriais Ltda).

Matéria-prima

A matéria-prima empregada na produção de aquamônia é a amônia anidra com 82% de N, a qual é transportada na forma de gás liquefeito de 10 a 12 kg/cm^3 de pressão, em tanques especiais com capacidade entre 14 a 20 toneladas do produto.

Figura 5. Representação esquemática de uma unidade de hidratação de amônia.



A amônia anidra é produzida pela Nitrofértil em Cubatão/SP. Apresenta a grande vantagem de possuir um elevado grau de pureza e, portanto, uma alta concentração de nitrogênio. Por ser um gás tóxico, deve ser manuseado dentro das normas de segurança estabelecidas.

5.2. Produção de soluções nitrogenadas sem pressão

Processo de produção

As soluções nitrogenadas sem pressão, das quais o principal representante é o uran, resultam da simples mistura de soluções saturadas de uréia e nitrato de amônio e água, sendo produzido no Brasil somente pelas fábricas de fertilizantes fluidos com propósitos comerciais. Entretanto pode-se produzir uran a partir da uréia e nitrato de amônia sólidos.

Equipamentos

A unidade produtora de soluções nitrogenadas sem pressão constitui-se de:

- depósitos de matérias-primas;
- reator em aço carbono;
- sistema dosador das matérias-primas;
- sistema de alimentação dos reatores;
- bombas para transporte da solução;
- tanques de armazenamento do uran.

Matérias-primas

As matérias-primas utilizadas na produção do uran são as seguintes: uréia produzida por empresa do grupo Nitrofértil (no Brasil) que possui 45% de nitrogênio na forma amídica, e nitrato de amônio (fertilizante produzido também por empresas do grupo Nitrofértil com 32% de nitrogênio total).

O cuidado, caso se fosse produzir uran a partir de uréia e nitrato de amônia comerciais, é a necessidade de bom controle de qualidade, através de análises químicas para corrigir os cálculos das quantidades, com base nos teores reais de nitrogênio nos produtos. Um outro problema é que o nitrato de amônio normalmente é revestido com um agente condicionador, o qual precipita-se durante o preparo da solução. Deve-se, portanto, filtrar o produto final a fim de mantê-lo isento de impurezas (PRESSINOTTI, 1984).

O uran é comercializado diretamente pelos produtores e não é atualmente preparado nas usinas de açúcar e álcool.

5.3. Produção de soluções bases e misturas NPK

Processo de produção

As misturas NP ou soluções bases, e as suspensões coloidais NPK podem ser produzidas através de dois processos, segundo as matérias-primas empregadas.

a) Processos à quente ("Hot mix") que envolve a reação química entre amônia anidra ou aquamônia com o ácido fosfórico, havendo desprendimento de calor (reação exotérmica), resultando um fosfato de amônio líquido de composição variável. Exemplos: 10-30-00 ou 6-30-00.

b) Processo a frio ("Cold mix"), onde não ocorre reação química, mas simplesmente a mistura física dos líquidos bases (32-00-00, 6-30-00, 10-30-00) para a produção de outras misturas NP ou também com cloreto de potássio, para a produção de misturas NPK. Exemplos: 5-2-10, 10-10-00.

Normalmente os processos de produção de misturas fluidas, utilizados no Brasil, começam com a produção de uma solução de fosfatos de amônio a partir da reação química da aquamônia com o ácido fosfórico (processo à quente).

A qualidade dessa mistura, no que diz respeito à solubilidade, estabilidade (no caso das suspensões), tamanho e tipo de cristais formados, é função da relação mássica entre o nitrogênio e o fósforo contidos na mistura.

Assim, a Figura 6 representa a solubilidade da solução saturada de fosfatos de amônio, podendo-se verificar que a razão

$$N\text{-}NH_4/P_2O_5 = 0{,}294$$

é a que permite a máxima solubilidade dos fosfatos de amônio produzidos.

Nos Estados Unidos a razão mássica $N\text{-}NH_4/P_2O_5$ mais empregada é a 0,333, isto porque, caso haja cristalização, os cristais formados serão de fosfato de diamônio (DAP), os quais por suas características de forma e tamanho, não deverão causar problemas na estocagem, transporte e aplicação dos fertilizantes (PRESSINOTTI, 1984).

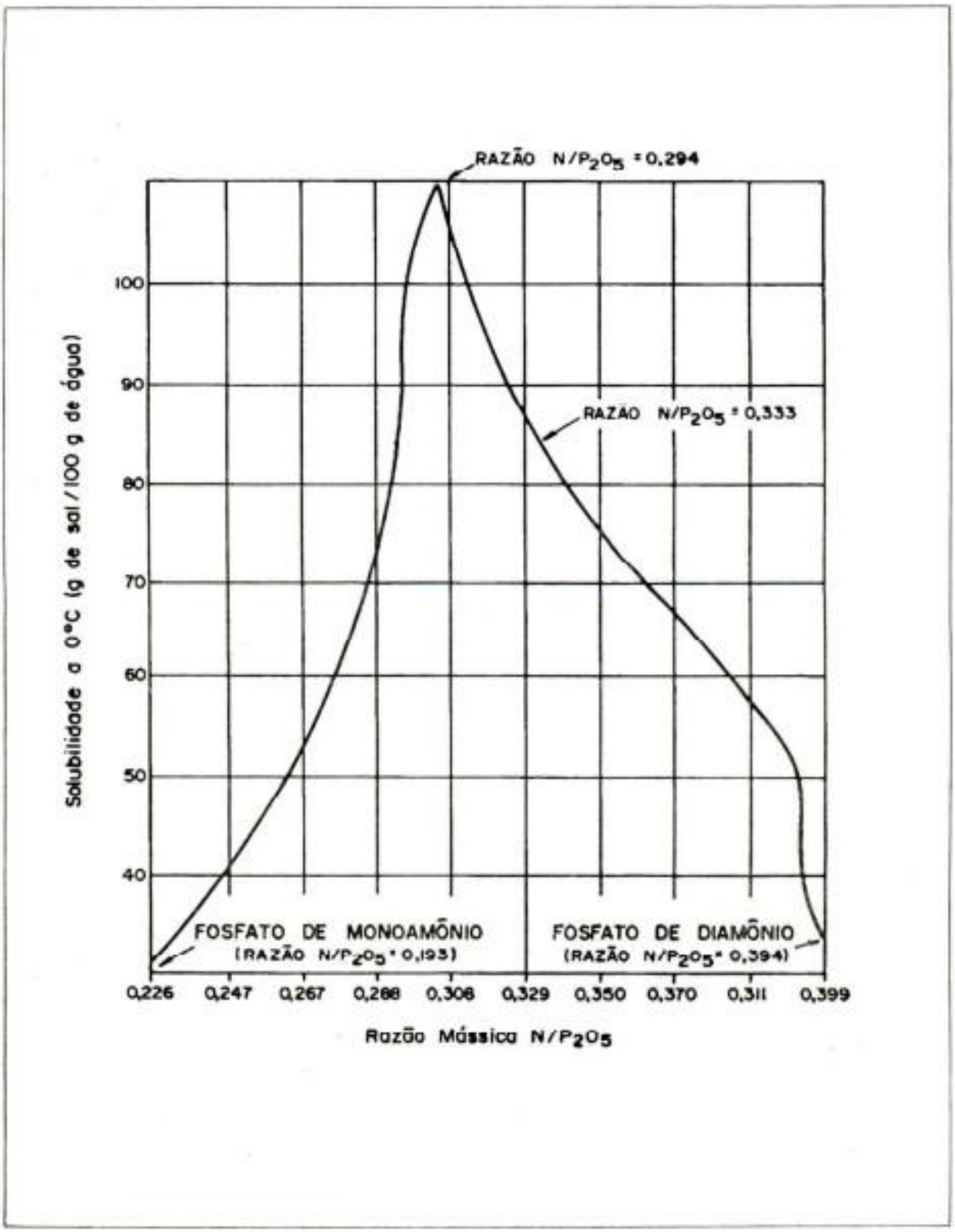
Conclui-se do exposto que não é possível a produção de misturas em solução muito concentrada, que apresentem uma relação $N\text{-}NH_4/P_2O_5$ diferentes dos valores citados. Além disso o cloreto de potássio também concorre para que as misturas NPK em solução, na relação de nutrientes exigidas pelas culturas, não sejam soluções concentradas.

Esta é a principal limitação dos fertilizantes fluidos em solução. Neste caso lança-se mão das suspensões, as quais são obtidas pela adição de um agente estabilizador, normalmente uma argila.

Nos Estados Unidos a argila mais empregada é a atapulgita e no Brasil é a bentonita, que são adicionadas na base de 1 a 3% em relação à massa da suspensão.

Para ilustrar são dados a seguir exemplos teóricos de produção de uma solução NPK e uma suspensão NPK.

Figura 6. Solubilidade da solução saturada de fosfatos de amônio.



SOLUÇÃO 5-10-10

a) As matérias-primas a serem usadas são: NH_4OH (aquamônia) com 20% de $N\text{-}NH_4$; uran com 32% de N-total, 9% de $N\text{-}NO_3$, 9% de $N\text{-}NH_4$ e 14% de $N\text{-}NH_2$; KCl com 60% de K_2O e H_3PO_4 com 52% de P_2O_5.

b) Cálculo das quantidades das matérias-primas nitrogenadas. No preparo de 1000 kg da fórmula proposta, têm-se 50 kg de N-total que terão a seguinte origem:

$$50 \text{ kg N-total} = N\text{-}NO_3(\text{uran}) + N\text{-}NH_4(\text{uran}) + N\text{-}NH_2(\text{uran}) + N\text{-}NH_4(\text{aquamônia}) \quad (1).$$

Portanto,

$$N\text{-}NH_4 = N\text{-}NH_4(\text{uran}) + N\text{-}NH_4(\text{aquamônia}) \quad (2).$$

A razão mássica $N\text{-}NH_4/P_2O_5$ é 0,294.

Como na preparação de 1000kg da fórmula têm-se 100 kg de P_2O_5, a quantidade máxima de $N\text{-}NH_4$ é obtida então:

$$\text{kg } N\text{-}NH_4 = 0{,}294 \times 100 \text{ kg} = 29{,}4 \text{ kg}.$$

$$N\text{-}NH_4(\text{uran}) + N\text{-}NH_4(\text{aquamônia}) = 29{,}4 \text{ kg} \quad (3).$$

Substituindo (3) em (1), fica

$$50 \text{ kg N-total} = N\text{-}NO_3(\text{uran}) + N\text{-}NH_2(\text{uran}) + 29{,}4 \text{ kg} \quad (4).$$

Portanto,

$$N\text{-}NO_3(\text{uran}) + N\text{-}NH_2(\text{uran}) = 50 \text{ kg} - 29{,}4 \text{ kg} = 20{,}6 \text{ kg}$$

Como uran contém 23% de $N\text{-}NO_3$+$N\text{-}NH_2$, além de 9% de $N\text{-}NH_4$, para se ter 20,6 kg de $N\text{-}NO_3$+$N\text{-}NH_2$ são necessários 90 kg de uran que já contém 8,1 kg de $N\text{-}NH_4$. Substituindo esse valor na equação (3), tem-se

$$8{,}1 + N\text{-}NH_4(\text{aquamônia}) = 29{,}4 \text{ kg}.$$

$$N\text{-}NH_4(\text{aquamônia}) = 21{,}3 \text{ kg}.$$

Como a aquamônia contém 20% de $N\text{-}NH_4$ serão necessários 107 kg para fornecer estes 21,3 kg que faltam para completar os 50 kg de N-total.

c) Cálculo de ácido fosfórico:

massa H_3PO_4 = 100/0,52 = 192 kg.

d) Cálculo do cloreto de potássio:

massa KCl = 100/0,63 = 159,0 kg.

e) Cálculo da água necessária para completar 1000 kg:

massa H_2O = 1000 - (90+103+192+159) = 452 kg.

Esta fórmula 5-10-10, preparada com 90 kg de uran, 107 kg de aquamônia, 192 kg de ácido fosfórico, 159 kg de cloreto de potássio e 452 kg de água, tem uma relação mássica $N\text{-}NH_4/P_2O_5 = 0,294$ como era desejado inicialmente.

f) Seqüência de adição: segue a relação a seguir.

Ordem	Matéria-prima	Quantidade kg
1º	Água	452
2º	Aquamônia	107
3º	Uran	90
4º	Ácido fosfórico	192
5º	Cloreto de potássio	159

Na relação a seguir apresentam-se algumas soluções possíveis de serem produzidas a partir de aquamônia, ácido fosfórico comercial, uran e cloreto de potássio.

Relações entre os nutrientes	Formulações
1:1:0	13-13-0
1:2:0	9-18-0
2:1:0	16-8-0
1:1:1	7-7-7
2:1:1	10-5-5
1:2:2	5-10-10
1:3:0	10-30-0

SUSPENSÃO 10-20-10

a) As matérias-primas são:
MAP (10-50-0), sendo o nitrogênio na forma amoniacal;
aquamônia, tendo 20% nitrogênio na forma amoniacal;
uran, com 32% N-total sendo 14% $N\text{-}NH_2$, 9% $N\text{-}NH_4$ e 9% $N\text{-}NO_3$;
cloreto de potássio (63% K_2O);
bentonita sódica (argila).

b) Cálculo da quantidade de MAP
$M_{MAP} = 200/0,5 = 400$ kg
Esta massa de MAP contém também 40 kg de $N\text{-}NH_4$.

c) Cálculo das matérias-primas nitrogenadas que faltam para completar os 100 kg N-total no preparo de 1000 kg da fórmula.
A razão mássica máxima: $N\text{-}NH_4/P_2O_5 = 0,333$
Portanto, a quantidade máxima:
$N\text{-}NH_4 = 0,333 \times 200 = 66,6$ kg de $N\text{-}NH_4$.

A massa de nitrogênio total terá a seguinte origem:
N-total = $N\text{-}NH_4$ (MAP) + $N\text{-}NH_4$ (uran) + $N\text{-}NO_3$ (uran) + $N\text{-}NH_2$ (uran) + $N\text{-}NH_4$ (aquamônia). (1).
Portanto, o nitrogênio amoniacal terá a seguinte origem:
$N\text{-}NH_4 = N\text{-}NH_4$ (MAP) + $N\text{-}NH_4$ (uran) + $N\text{-}NH_4$ (aquamônia).

Substituindo-se as massas conhecidas tem-se:
66,6 kg = 40 kg + $N\text{-}NH_4$ (uran) + $N\text{-}NH_4$ (aquamônia) (2).

Portanto:
$N\text{-}NH_4$ (uran) + $N\text{-}NH_4$ (aquamônia) = 26,6 kg

Substituindo os valores encontrados na equação (1)
100 kg = 40 kg + 26,6 + $N\text{-}NO_3$ (uran) + $N\text{-}NH_2$ (uran)
$N\text{-}NO_3$ (uran) + $N\text{-}NH_2$ (uran) = 33,4 kg
Correspondendo a 145 kg de uran e esta quantidade, também já possui 13 kg de $N\text{-}NH_4$.
Calcula-se a quantidade de $N\text{-}NH_4$ (aquamônia) substituindo os valores na equação (2).
66,6 kg = 40 + 13 kg + $N\text{-}NH_4$ (aquamônia)
$N\text{-}NH_4$ (aquamônia) = 13,6 kg, corresponde a 66 kg de aquamônia.

d) O cálculo do cloreto de potássio é semelhante ao exemplo anterior, correspondendo a 159 quilogramas.

e) Cálculo da quantidade de bentonita:
corresponde à 24% da massa total da mistura e serão necessários 24 kg.

Cabe observar que a atapulgita é adicionada tal qual no agitador. Sua faixa usual de utilização é de 1 a 2% em relação à massa total da suspensão. Há casos em que a boa estabilidade só é conseguida com 3% de atapulgita.

Quando se usa bentonita sódica, há necessidade de prepará-la, que segundo PRESSINOTTI (1984) se faz de maneira que segue:

- prepara-se uma mistura contendo 90% de água e 10% de bentonita sódica;
- agita-se vigorosamente até que a suspensão se gelcifique satisfatoriamente;
- adiciona-se cerca de 1% de soda cáustica (NaOH) sólida, em relação à massa de bentonita.

Pode-se utilizar também no lugar da soda, como agente dispersante, o tripolifosfato de pentassódio ou pirofosfato de sódio, na concentração de 0,5 g em relação à massa total da suspensão. É importante notar que os agentes dispersantes citados foram igualmente eficientes quando comparados com a soda.

f) Cálculo da quantidade de água: semelhante ao exemplo anterior, equivalendo a 204 kg.

g) Seqüência e operações: são apresentadas na relação a seguir.

Matéria-prima	Observação	Quantidade (kg)
Água		204
+		
Aquamônia		68
+		
MAP		400
——————>	Agitar e esperar esfriar	
+		
Argila		24
+		
Uran		145
+		
Cloreto de potássio		159
——————>	Agitar e deixar em repouso	
Total (suspensão 10-20-10)		1000

Na relação a seguir são apresentadas as máximas concentrações de N-P_2O_5-K_2O recomendadas no preparo de suspensões.

Razão $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$	Concentração Máxima
1:3:0	10-30-0
1:3:1	8-24-8
1:3:3	6-18-18
1:2:1	10-20-10
1:2:2	8-16-16
1:1:1	12-12-12
2:1:1	16-8-8
3:1:1	18-6-6

Foi verificado ainda que quando a quantidade de água na mistura era menor que 30% não se conseguia obter suspensões, pois o material ficava muito espesso e que em quantidades maiores que 40% de água havia dificuldade de se obter uma suspensão homogênea.

As suspensões contidas no Quadro 8 são encontradas no comércio brasileiro.

Quadro 8. Suspensões encontradas no comércio brasileiro.

N	P_2O_5 em sol. CNA + água	K_2O	S	MG
%				
3	15	10	-	-
3	15	15	-	-
5	15	10	2,0	-
5	15	15	2,0	-
5	20	10	2,0	-
10	5	15	3,0	-
10	10	10	4,0	-
12	3	18	1,0	-
12	4	12	2,0	-
12	4	16	2,0	-
12	6	12	2,0	-
12	6	18	1,0	-
15	3	18	1,0	-
16	4	16	0,5	-
18	3	12	1,0	-
10	0	15	3,0	-
12	0	12	4,0	-
12	0	15	3,0	-
12	0	18	2,0	-
15	0	15	2,0	-
16	0	7	4,0	-
18	0	12	1,5	-
18	0	18	-	-
20	0	13	-	-
6	30	0	-	0,4
10	30	0	-	-
20	0	0	4,0	-
32	0	0	-	-

Equipamentos

Os equipamentos utilizados para a produção de suspensões estão nas Figuras 7 e 8 onde estão apresentados esquematicamente duas fábricas típicas de fertilizantes fluidos.

Matérias-primas

As matérias-primas mais comumente utilizadas na fabricação das misturas fluidas no Brasil são descritas a seguir.

Fonte de N: aquamônia, uréia, nitrato de amônio, uran (32-0-0) e sulfato de amônio.

Fonte de P: ácido fosfórico, misturas bases (6-30-00 e 10-30-10), MAP e DAP.

Fonte de K: cloreto de potássio, do tipo "Standard" branco.

5.4. Produção de adubos fluidos nas fábricas instaladas nas usinas de açúcar

Das 30 fábricas de fertilizantes fluidos em operação no Brasil, 26 encontram-se nas usinas de açúcar e álcool, produzindo adubos fluidos para a cultura da cana-de-açúcar.

Os programas de produção de adubos fluidos nas usinas de açúcar e álcool, seguem, em geral as seguintes etapas:

a) hidratação da amônia anidra;
b) produção de soluções NK ou NPK, e
c) produção de suspensões NPK.

Segundo CACERES & KORNDÖRFER, (1988), nas usinas e destilarias cooperadas (COPERSUCAR) existem três modelos básicos de fábricas de adubos fluidos que foram elaborados pelas firmas ANIDRA, CODISTIL e COPERSUCAR. Embora não haja grandes diferenças de processos, praticamente não há fábricas iguais, porque são feitas numerosas adaptações. O máximo de funcionários necessários varia de um mínimo de três (um turno) e um máximo de quinze (dois turnos).

A hidratação de amônia anidra já foi comentada, porém a produção das misturas fluidas nas fábricas montadas nas usinas tem algumas particularidades que diferem dos processos de produção empregados nas outras fábricas de fertilizantes fluidos. Assim sendo, pretende-se neste item, apresentar um resumo dos processos, equipamentos e matérias empregados na produção de adubos fluidos nestas fábricas.

5.4.1. Processos de produção

5.4.1.1. Adubos para o plantio da cana-de-açúcar

Com base nas recomendações de adubação de plantio da cana, orientadas pela análise de solo, as relações de nutrientes que atendem à maioria dos casos são: 1:3:5 e 1:5:5. Assim as principais misturas fluidas produzidas nas usinas de açúcar são: 02-10-10, 03-03-10, 2,5-10-10, 2-12-12 e 3-12-12 e as doses aplicadas variam de 1000 a 1300 kg/ha. A densidade desta fórmula está entre 1,05 a 1,35 kg/ha (CACERES & KORNDÖRFER, 1988).

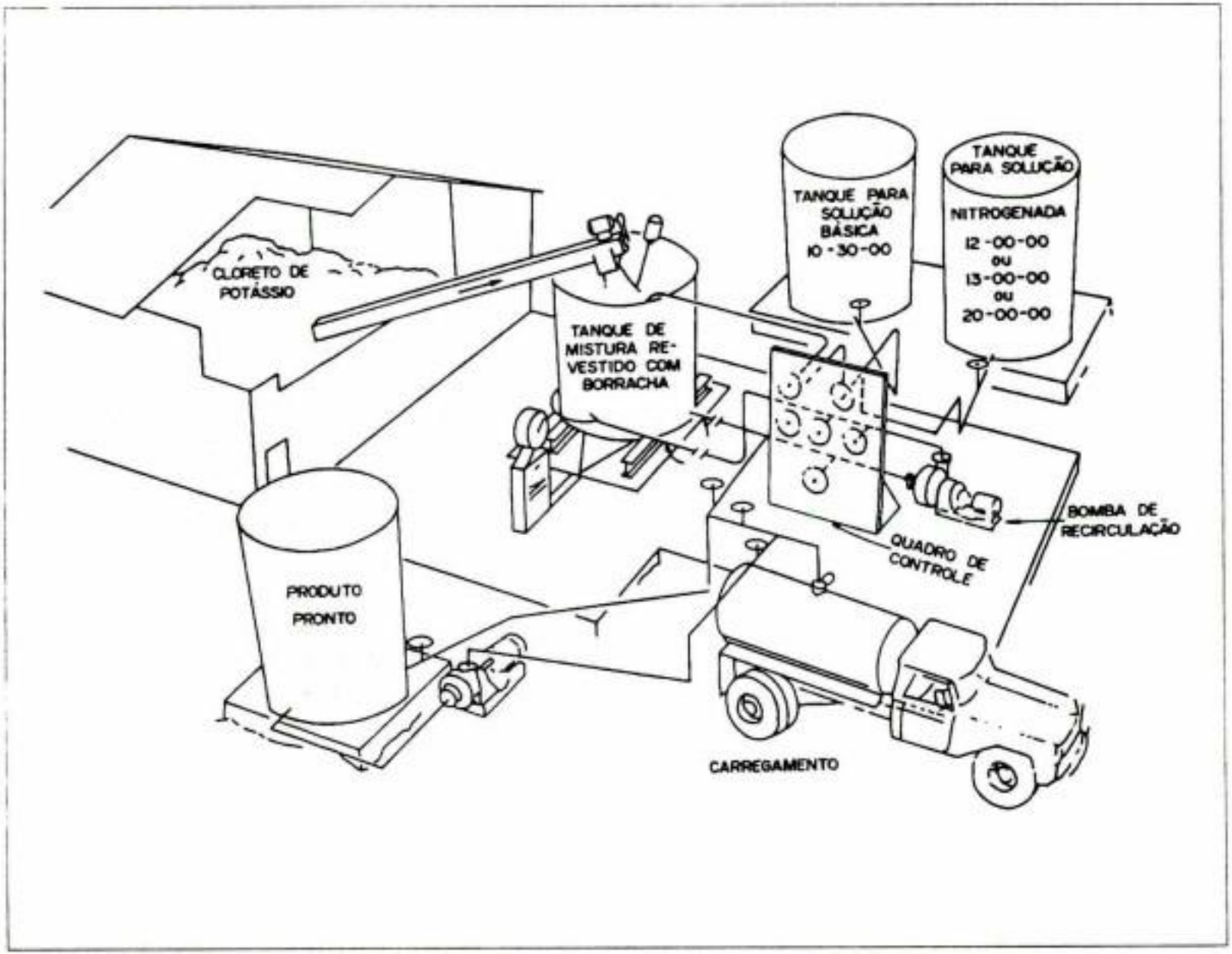
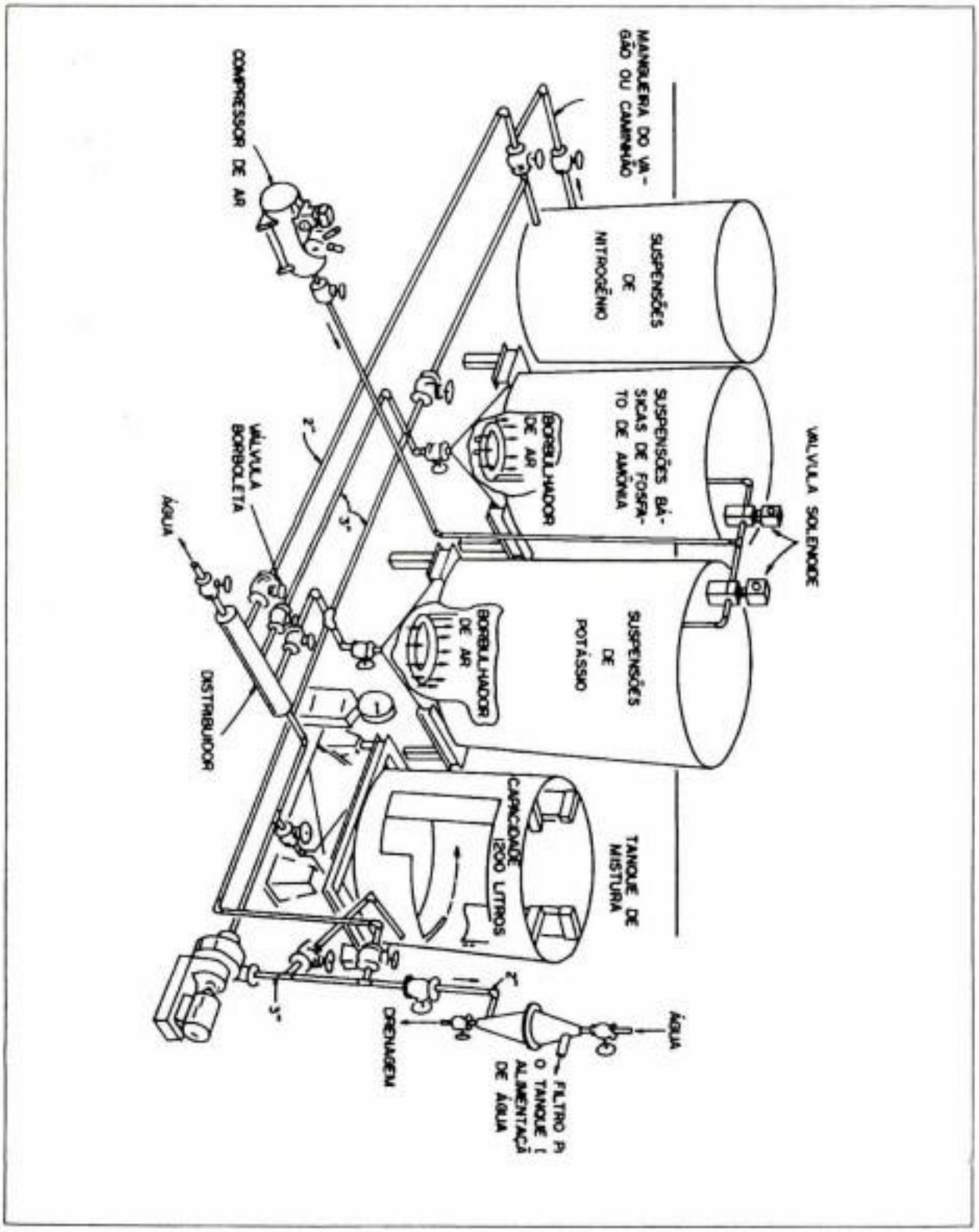


Figura 7. Esquema típico de uma unidade de mistura de fertilizantes fluidos.

Figura 8. Esquema típico de unidade de mistura de fertilizantes fluidos a partir de suspensões prontas recebidas de outros produtores.



Como o principal objetivo e vantagem da adubação fluida é a redução de custos, no início as usinas de açúcar começaram a produzir as formulaçõcs utilizando uma mistura de rocha fosfática, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, aquamônia e cloreto de potássio. Para melhor entendimento, detalha-se a produção dessas formulações, através de dois exemplos práticos que serão apresentados a seguir.

1º Exemplo: produção de uma suspensão 2-10-10, com 70% do P_2O_5 proveniente do ácido fosfórico e 30% P_2O_5 de rocha fosfática.

a) Matérias-primas
- Aquamônia (19,4% N)
- Ácido fosfórico (51,96% P_2O_5)
- Rocha fosfática (37,6% P_2O_5)
- Cloreto de potássio (60,9% K_2O)
- Água

b) Cálculo das quantidades para 1000 kg da fórmula

$$M_{Aquamônia} = \frac{20}{0,194} ; \quad M_{Aquamônia} = 102,9 \text{ kg} \qquad (I)$$

$$M_{Ác.\ Fosfórico} = \frac{70}{0,5196} ; \quad M_{Ác.\ Fosf.} = 134,9 \text{ kg} \qquad (II)$$

$$M_{Rocha\ Fosf.} = \frac{30}{0,376} ; \quad M_{Rocha\ Fosf.} = 79,8 \text{ kg} \qquad (III)$$

$$M_{Cl.\ Potássio} = \frac{100}{0,609} ; \quad M_{Cl.Potássio} = 164,25 \text{ kg} \qquad (IV)$$

$$M_{H_2O} = 1.000 - (I + II + III + IV)$$

$$M_{H_2O} = 1.000 - 481,8$$

$$M_{H_2O} = 518,15 \text{ kg}$$

Quadro 9. Componentes de mistura fluida 2-10-10, utilizando-se rocha fosfática.

Matérias-primas	Quantidade	Densidade	Volume
	kg	kg/l	l
Aquamônia	102,9	0,91	114,0
Ácido Fosfórico	134,9	1,56	86,5
Água	518,2	1,00	518,2
Rocha Fosfática	79,8	-	-
Cloreto de Potássio	164,2	-	-

Como as matérias-primas fluidas são dosadas com base em volume, as quantidades de aquamônia e ácido fosfórico, calculadas em peso, podem ser convertidas em unidade de volume, como está resumido no Quadro 9.

c) Procedimento para o preparo da fórmula

- Adicionar 20 a 25% do volume de água necessária.
- Adicionar o ácido fosfórico.
- Adicionar a rocha fosfática.
- Agitar durante 30 minutos.
- Adicionar o restante de água.
- Adicionar a aquamônia.
- Agitar durante 10 minutos.
- Adicionar o cloreto de potássio.
- Agitar durante 10 minutos.

O produto obtido será uma suspensão estável, a qual é facilmente homogeneizada por agitação hidromecânica.

Ressalta-se que nestas suspensões produzidas nas usinas de açúcar, não são utilizados agentes geleificantes. Isto pode ser explicado pelo fato de que o adubo produzido é utilizado quase que imediatamente. Portanto não é armazenado por longos períodos de tempo. Dessa forma a estabilidade alcançada é suficiente para que o produto obtido seja de fácil manuseio e aplicação sem problemas quanto a homogeneidade.

Recentemente, a partir dos trabalhos realizados pelo Centro de Tecnologia Agrícola da COPERSUCAR e com base em observações feitas pelos técnicos responsáveis pela produção de adubos fluidos em várias usinas, constatou-se que o ataque da rocha fosfática pelo ácido fosfórico, não estava sendo eficiente. Este assunto é ainda bastante polêmico no que diz respeito às vantagens do processo de produção de suspensões contendo NPK, utilizan-

do-se rocha fosfática e ácido fosfórico. Com base nestas observações, muitas usinas que recebem orientação técnica da COPERSUCAR, deixaram de utilizar a rocha fosfática, passando a utilizar como fonte de fósforo somente o ácido fosfórico. Isto eleva o custo de produção do fertilizante, porém o produto obtido apresenta maior porcentagem de P_2O_5 prontamente disponível às plantas e melhor qualidade física.

2º Exemplo: produção da fórmula 2-10-10, com 100% do P_2O_5 do ácido fosfórico.

No exemplo a seguir apresenta-se o processo de produção da mesma fórmula 2-10-10 para cana-de-açúcar, porém sem a utilização de rocha fosfática, ou seja, todo o P_2O_5 da fórmula é proveniente do ácido fosfórico.

a) Matérias-primas
- Aquamônia (20% N)
- Ácido Fosfórico (52% P_2O_5)
- Cloreto de Potássio (62% K_2O)
- Água

b) Cálculo das quantidades para 1000 kg da fórmula

$$M_{Aquamônia} = \frac{20}{0,20}; \quad M_{Aquamônia} = 100 \text{ kg}$$

$$M_{Ácido\ Fosf.} = \frac{100}{0,52}; \quad M_{Ácido\ Fosf.} = 192,3 \text{ kg}$$

$$M_{Cl.\ Potássio} = \frac{100}{0,60}; \quad M_{Cl.\ Potássio} = 166,7 \text{ kg}$$

$$M_{H_2O} = 1000 - (100 + 192,3 + 166,7)$$

$$M_{H_2O} = 541 \text{ kg}$$

Como as matérias-primas são dosadas com base em volume, as quantidades necessárias de cada matéria-prima encontram-se no Quadro 10.

Quadro 10. Componentes de mistura fluida 2-10-10.

Matérias-primas	Quantidade	Densidade	Volume
	kg	kg/l	l
Aquamônia	100,0	0,91	109,9
Ácido Fosfórico	192,3	1,56	123,3
Água	541,0	1,00	541,0
Cloreto de Potássio	166,7	-	-

c) Procedimento para o preparo da fórmula
- Adicionar 20 a 25% do volume de água.
- Adicionar o ácido fosfórico.
- Adicionar o volume de aquamônia.
- Adicionar o restante da água.
- Agitar durante 15 minutos.
- Adicionar o cloreto de potássio.

5.4.1.2. Adubos para soqueira de cana

A maioria das usinas não aduba a soqueira de cana com fósforo. Neste caso as formulações fluidas empregadas são as soluções 08-00-10, 10-00-10, 10-00-12, 7-00-11 e outras que são produzidas a partir da mistura da aquamônia com cloreto de potássio seguindo o seguinte esquema:

Água
+
Aquamônia (20% N)
+
Cloreto de potássio (60% K_2O).

Outras usinas colocam fósforo na adubação da soqueira da cana-de-açúcar e neste caso utilizam a solução 05-02-10, ou outras formulações que guardam uma relação N: P_2O_5: K_2O, próximas de 2:1:3, como nos exemplos: 6-1,5-10 e 5-2-10.

No Quadro 11 estão indicadas as principais formulações, densidades e doses empregadas nas usinas e destilarias cooperadas (CACERES & KORNDÖRFER, 1988).

Quadro 11. Formulações mais utilizadas nas usinas de açúcar e doses empregadas nas mesmas usinas e destilarias cooperadas (CACERES & KORNDÖRFER, 1988).

Local	Cana planta			Cana soca		
	Fórmula	Densidade	Dose	Fórmula	Densidade	Dose
	$N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$	kg/l	kg/ha	$N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$	kg/l	kg/ha
1	03-12-12	1,28	1000	08-00-09	1,10	1000
2	02-12-12	1,23	1230	10-00-12	1,06	1060
3	02-10-10	1,27	1200	05-02-10	1,10	1680
4	03-12-12	1,28	1000	08-00-09	1,10	1000
5	2,4-10-12	1,22	1250	7,1-1,5-09	1,05	1400
6	2,5-09-09	1,20	1000	07-00-11	1,15	1150
7	-,-	-,-	-,-	04-00-08	1,00	650
8	07-00-10	1,06	1250	10-00-10	1,05	1250
9	04-12-12	1,24	1240	10-00-10	1,05	1250
10	03-12-12	1,26	1000	08-00-12	1,04	1300
11	02-10-10	-,-	-,-	06-3,4-12	-,-	-,-
12	03-12-10	1,25	1000	06-1,5-10	1,09	1400
13	2,4-12-12	1,20	1300	06-00-12	1,00	800
14	03-13-14	1,28	1280	09-00-11	1,05	1150
15	2,4-12-10	1,33	1040	07-1,5-10	1,09	1400
16	-,-	-,-	-,-	20-00-00	0,92	300
17	-,-	-,-	-,-	20-00-00	0,92	400
18	-,-	-,-	-,-	32-00-00	1,33	260
19	03-15-15	1,35	650	20-00-00	1,20	420

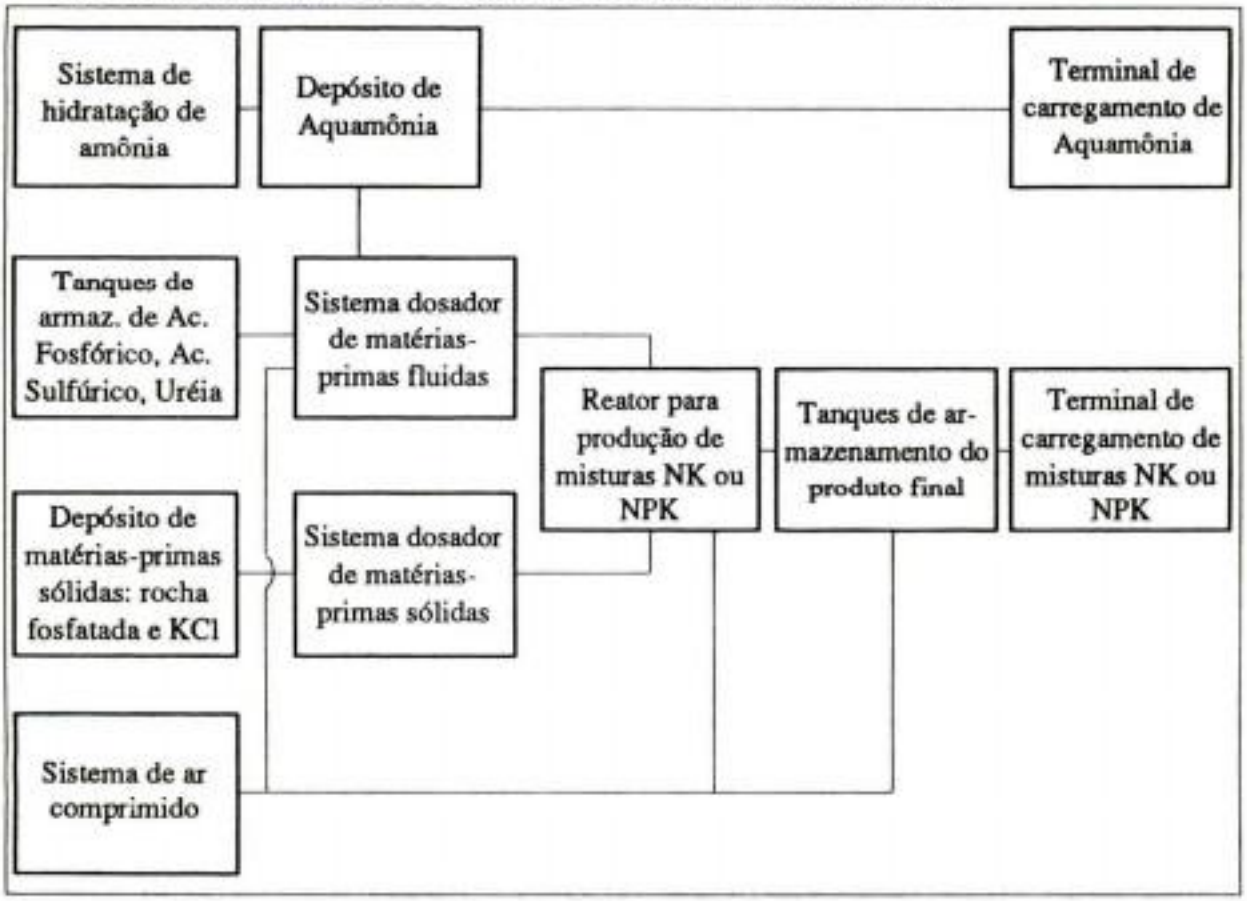
5.4.2. Equipamentos para a produção de fertilizantes fluidos nas usinas de açúcar

Embora exista uma grande variação entre as fábricas de adubos fluidos instaladas nas usinas de açúcar, uma unidade produtora típica é composta basicamente de 12 partes.

a) Sistema de hidratação da amônia.
b) Tanques para armazenagem do ácido fosfórico e ácido sulfúrico.
c) Depósito de matérias-primas sólidas.
d) Tanque dosador de ácido fosfórico.
e) Tanque dosador de aquamônia.
f) Tanque dosador de água.
g) Reator.
h) Bombas para alimentação do reator.
i) Bombas para transferência do produto.
j) Sistema de ar comprimido.
k) Sistema alimentador dos reatores com matérias-primas sólidas.
l) Tanques de armazenamento do produto final.

A Figura 9 mostra esquematicamente as instalações das fábricas de adubos fluidos que estão operando nas usinas de açúcar do Brasil.

Figura 9. Representação esquemática, através de diagrama de blocos, das fábricas de adubos fluidos em funcionamento nas Usinas de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo.



No caso das usinas e destilarias cooperadas (COPERSUCAR) segundo CACERES & KORNDÖRFER, (1988), os hidratadores existentes são de 5 tipos: Tubular (Codistil, Transcalor ou de fabricação na própria usina), placas (Alfa Laval), serpentina e cascata (fabricados nas próprias usinas) e misto (Alpina). O tempo médio de descarga de um caminhão de 18t de amônia anidra é de cinco a seis horas. Os tanques de armazenamento de ácido fosfórico feitos de fibra de vidro, aço inoxidável ou de aço carbono revestido, têm capacidade de estocagem que varia de 20 a 120 m^3, o que possibilita um estoque de 7,1 a 60 kg de P_2O_5/ha onde se usa o adubo fluido. No caso do ácido sulfúrico, sua estocagem é feita em tanques de aço carbono. Os reatores são fabricados em aço inox, fibra de vidro, ou aço revestido e a maioria das usinas possui apenas um ou no máximo dois. A capacidade é variável de 1 a 12 m^3.

A capacidade de armazenamento da aquamônia e de matérias-primas é de fundamental importância para fornecimento de amônia anidra e ácido fosfórico. Isto porque reduz os riscos advindos da falta de adubos necessários para que a empresa agrícola possa cumprir o seu programa de adubação. Nas usinas e destilarias cooperadas (COPERSUCAR), esta é uma preocupação e segundo CACERES & KORNDÖRFER, (1988), as mesmas estão se

equipando para poder estocar quantidades adequadas de aquamônia e ácido fosfórico. No caso da aquamônia, a capacidade de armazenamento varia entre 270 a 2400 m³, divididos em vários tanques de aço carbono. Para se ter uma idéia mais precisa da capacidade real de armazenamento, pode-se relacionar a capacidade nominal com a área adubada. Nas usinas e destilarias cooperadas, a capacidade é de somente 2,9 a 21,5 kg de N/ha (CACERES & KORNDÖRFER, 1988). A tancagem de produtos acabados é feita em reservatórios de aço carbono e varia nas usinas entre 20 a 400 m³, ficando a média de 120 m³ por propriedade agrícola que utiliza adubos líquidos.

6. TRANSPORTE, DISTRIBUIÇÃO/APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES FLUIDOS

6.1. Introdução

O transporte, distribuição e aplicação, provavelmente se traduz num dos principais problemas da adubação fluida no Brasil. Isto ocorre porque a grande maioria das fábricas de adubos fluidos existentes no país, cerca de 90%, é instalada em usinas de açúcar/destilaria, as quais não dominam a tecnologia de produção de suspensões com argilas. Desta forma, a elaboração de fertilizantes mais concentrados e com boas características de estabilidade fica comprometida, elevando os custos de armazenagem/transporte, dificultando a aplicação, além de requerer nessas operações uma eficiente agitação.

As unidades industriais das empresas que exploram comercialmente o mercado de fertilizantes fluidos, estão instaladas em poucos locais, concentrando a produção próximo a centros produtores agrícolas e portanto, potencialmente grandes consumidores. A FERTIBRÁS, possui instalações industriais em Araraquara, SP, a QUIMBRASIL e JAÚ FÉRTIL, ambas em Jaú, SP. Contudo há estudos nessas empresas, com a intenção de construírem sub-unidades em locais estratégicos, cujo consumo seja grande, o que deverá diminuir o custo de transporte dos fertilizantes.

A operação de aplicação dos fertilizantes fluidos, está mais avançada para a cultura da cana-de-açúcar, onde se dispõem de diferentes opções de equipamentos para a realização da adubação, segundo as necessidades agronômicas da cultura. Para as culturas perenes como o café e o citrus, já existem aplicadores comerciais, embora estejam passando por um processo de teste, e portanto, em desenvolvimento. Fato semelhante ocorre para as culturas anuais como soja, trigo, milho, algodão e tomate, nas quais, os equipamentos ainda estão a nível de protótipo.

6.2. Transporte

Situação atual

O transporte dos fertilizantes fluidos das fábricas para o campo apresenta certas particularidades, em decorrência da estrutura de produção vigente, lembrando que este tem participação na composição de custo do produto colocado no campo, variando em função da distância a ser percorrida, do tipo de transporte adotado e do produto transportado.

Conforme comentário anterior, cerca de 90% da produção de fertilizante fluido, são oriundos de fábricas instaladas em usinas de açúcar, configurando um sistema de transporte fábrica/campo, com características peculiares. Desta forma, de uma maneira geral, a distância média entre fábrica e o campo (talhões de cana-de-açúcar) está na faixa de 15 a 20 km, podendo ser considerada pequena. A relação entre tráfego em estrada pavimentada e de terra é muito variável, em função de cada usina, bem como a estrutura da rede viária (dimensões, conservação e manutenção dos carreadores, estradas primárias e secundárias).

A produção comercial, localizada em Araraquara e Jaú, tem sua razão de ser, visto que são regiões produtoras de culturas de exportação de grande porte, como é o caso da cana e citrus em Araraquara e da cana e café em Jaú. Deste modo, o atendimento aos produtores fica centralizado na região, que oferece um potencial de demanda elevado, sem ter que percorrer grandes distâncias para levar o produto, viabilizando sua comercialização.

A região de Guaíra, SP, forte produtora de cereais (soja, feijão e milho), está aplicando o fertilizante fluido juntamente com a irrigação (adotada intensamente na região). Como a exploração agrícola no local é bastante tecnificada, de capital intensivo, é de se esperar que num futuro próximo, poderá ser um centro consumidor de fertilizantes fluidos, aliado ao fato de que a fábrica comercial mais próxima está a cerca de 180 km (em Araraquara). Outra região com potencial de consumo é a de Ribeirão Preto, SP, grande produtora de cana, cereais, citrus e café.

O produto e o transporte

O conhecimento das propriedades físicas dos fertilizantes fluidos, tanto para soluções como suspensões, é importante e necessário para o dimensionamento e utilização dos sistemas de transporte.

Sob a ótica de transporte, as principais propriedades a serem analisadas são: densidade, viscosidade, tamanho e forma dos cristais, sinérese e a sedimentabilidade dos cristais.

A densidade do produto é um parâmetro importante para o estabelecimento da carga a ser transportada. Para finalidade de projeto, o parâmetro pode atingir até 2,0 t/m^3, sendo que o intervalo de variação para as diferentes soluções e suspensões é de 0,92 a 1,38 t/m^3. (COPERSUCAR, 1982; QUIMBRASIL, 1984; CACERES & KORNDÖRFER, 1988).

A viscosidade do fluido, que poderia ser tida como uma avaliação da resistência deste ao movimento, é uma propriedade fundamental, que deve ser conhecida quando há necessidade de movimentá-los (CALMANOVICI & BICHARA, 1987). Este parâmetro, que é influenciado pela temperatura, formulação e matéria-prima, pode ser determinado por viscosímetros. Todavia, pode ser avaliado através de um ensaio chamado de fluidez (PRESSINOTTI & CASTRO, 1984), que dá uma idéia relativa, o qual consiste em inclinar a 45°C por 01 minuto, um recipiente contendo o fertilizante (agitado por uma bagueta), avaliando a quantidade que derrama com relação à que seria possível de ser derramada, considerando-se de fácil escoamento por gravidade ou bombeamento aquele que verter 98% ou mais.

O tamanho e a forma dos cristais podem provocar transtornos quando ultrapassam determinados limites, pois podem promover o entupimento de tubulações, afetar o bombeamento

no que tange a fluxo e desgaste prematuro dos componentes da bomba pelo efeito de abrasão. Para evitar o crescimento excessivo dos cristais nas suspensões, deve-se manter o fertilizante sob agitação periódica e evitar o resfriamento lento e heterogêneo da massa líquida. Quanto ao tipo de cristal, o laminar é o que apresenta a maior facilidade de manter-se em suspensão, pois possui uma elevada área superficial por unidade de peso (CALMANOVICI & BICHARA, 1987). A sedimentabilidade dos cristais afeta diretamente a homogeneidade do fertilizante fluido, pois, se ocorrer a formação de precipitado durante o transporte, poderá ocasionar a segregação dos nutrientes de uma formulação, provocando a alteração da relação entre ele ao longo do tanque. Assim, a agitação do produto deve ser compatível com a sua sedimentabilidade.

Dá-se o nome de sinérese ao fenômeno de separação de fases de uma suspensão, ficando uma parte de líquido clara e outra de suspensão propriamente dita (CALMANOVICI & BICHARA, 1978). Isto pode ser facilmente detectado, deixando-se em repouso num recipiente transparente por algum tempo. Para contornar o problema, quando ocorre, basta conseguir-se uma boa homogeneização do produto por meio de agitação.

Outras características dos fertilizantes fluidos a serem verificadas sob a ótica de transporte são: corrosividade, abrasão e a volatibilidade, pois estas podem determinar o tipo de material empregado na confecção dos tanques.

Com base nas colocações anteriores, nota-se a importância das propriedades físicas em termos de transporte dos fertilizantes fluidos. Cabe comentar que o comprometimento maior ou menor do transporte em função dessas propriedades, fica na dependência de um maior ou menor controle da qualidade nas fábricas.

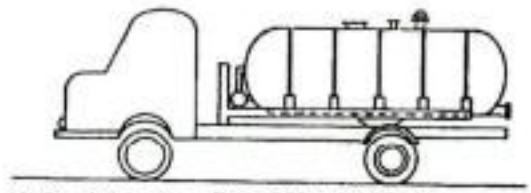
Equipamentos de transporte

O transporte dos fertilizantes fluidos das fábricas para o campo é feito predominantemente por caminhões-tanque, com capacidades que vão de 6.000 a 18.000 l, podendo também ser realizado por carretas-tanque tracionadas, com capacidade de 6.000 a 12.000 l. A Figura 10 ilustra os tipos de veículos usados no transporte.

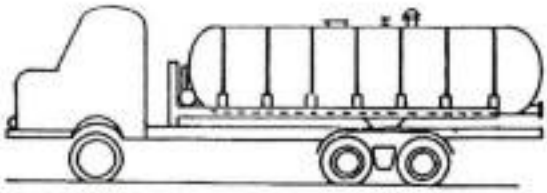
Os tanques utilizados podem ser de aço carbono (ASTM) revestidos com tintas anti-corrosivas; aço inoxidável (AISI 304); aço naval (SAC 50-11) ou de fibra de vidro. A vida útil do equipamento depende principalmente, do material utilizado na confecção do tanque, da manutenção e conservação, do tipo do produto transportado e das condições de operação.

Os tanques de aço inoxidável (AISI 304), apresentam alta resistência à corrosão, podendo transportar desde os fertilizantes com pH baixo, como é o caso daqueles formulados nas usinas para adubação de plantio (2-10-10; 3-12-12; 3-13-14; 2,4-12-10), que são os mais problemáticos, até as soluções nitrogenadas, como a aquamônia de pH mais elevado. Além disso, oferecem boa resistência à abrasão e dão origem a equipamentos de baixo peso e de longa duração. Os de fibra de vidro também são bastante resistentes à corrosão, possibilitando o transporte de praticamente qualquer tipo de fertilizante fluido. São leves, permitindo um uso mais eficiente da capacidade de transporte do caminhão, mas, por outro lado, têm uma menor resistência à fadiga mecânica.

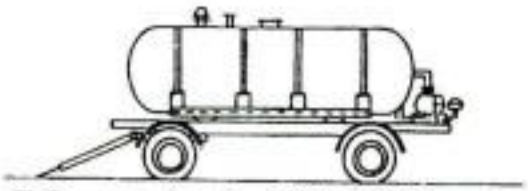
Figura 10. Principais tipos de veículos utilizados no transporte de fertilizantes fluidos.



A) Caminhão "toco" - 6.000 a 10.000 l.



B) Caminhão "trucado" - 10.000 a 18.000 l.



C) Carreta tracionada - 6.000 a 8.000 l.

Para o transporte das soluções nitrogenadas, que são menos corrosíveis, como o uran e a aquamônia, os tanques podem ser de aço carbono, pois a corrosão ocorre em pequenas proporções, não comprometendo significativamente a vida útil dos mesmos. No entanto, o revestimento interno com produtos anti-corrosíveis é providencial para evitar a ocorrência do citado fato. Outro aspecto interessante é que os tanques de aço-carbono apresentam uma boa ductilidade, resultando numa elevada resistência à fadiga mecânica, além de exigirem menores investimentos que os de inox e fibra de vidro.

Os tanques normalmente são de secção elíptica, podendo também ser encontrados de secção circular. Internamente, a presença do "quebra ondas" é importante para se obter uma adequada resistência ao impacto da massa líquida, além da manutenção da estabilidade longitudinal do veículo transportador. Os principais tipos de "quebra ondas" são de grade com orifício circular e cônico. Além desses componentes, os tanques devem possuir conjunto ou sistemas para acionamento, sucção e recalque, circulação e agitação, e transferência ou abastecimento.

O tipo de bomba normalmente utilizada é a centrífuga, devendo-se dar preferência para o rotor e eixo de aço inox, devido aos efeitos de abrasão e corrosão que determinados fertilizantes fluidos provocam. O sistema de abastecimento ou transferência deve permitir a

movimentação do produto sem perda (escape) e em tempo adequado; para tanto, as mangueiras de transferência devem ser corretamente dimensionadas, bem como optar pelo sistema de engate rápido. O acionamento para as unidades automotrizes pode ser feito pela tomada de força, derivada do câmbio do caminhão, ou através de motor estacionário adaptado, que é empregado nas carretas-tanque.

Agitação

Como as fábricas instaladas nas usinas não dominam completamente a tecnologia de produção de fertilizantes fluidos mais concentrados, mas têm como compromisso manter uma quantidade mínima de nutrientes para reduzir o volume a ser transportado, as suspensões produzidas resultam bastante instáveis, sujeitas a uma fácil precipitação, facilitando o estabelecimento de gradientes de concentração dos nutrientes na massa líquida. Assim, atenção especial deve ser dada ao sistema de agitação empregado no transportador.

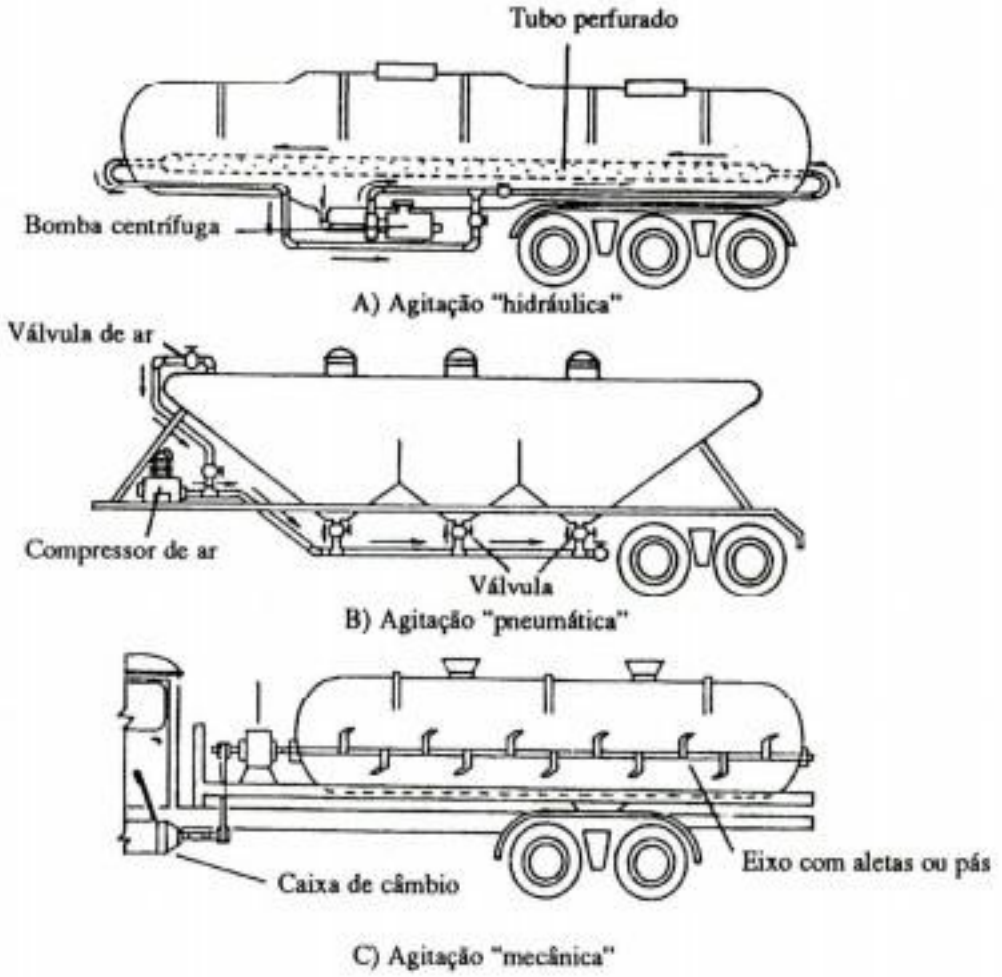
Os principais sistemas de agitação que podem ser utilizados nos tanques de transporte são: pneumático, hidráulico e mecânico, que estão esquematizados na Figura 11.

Esses sistemas devem permitir a adequada homogeneização do produto, evitando a formação de aglomerados, incrustações, entupimentos e sedimentação. A agitação pneumática baseia-se no borbulhamento de ar comprimido dentro do tanque para manter a homogeneização da suspensão. Para tanto, o equipamento deve possuir um compressor de ar e um sistema de tubulação para a distribuição do ar. A inexistência de contato entre o fertilizante fluido e as partes móveis (eixos da bomba e agitador) juntamente com as gaxetas, vem a ser a principal vantagem do sistema. Aquela realizada por meios mecânicos, utiliza-se de pás ou hélices para promover a agitação da massa líquida. Um dos inconvenientes desse sistema é a dificuldade da limpeza do equipamento após a operação, pois não dispõe de circulação forçada de água, o que pode gerar problemas de incrustações/corrosão.

Os sistemas de agitação hidráulica são aqueles cuja manutenção do produto em movimento dentro do tanque, se faz mediante um fluxo hidráulico produzido por bombas. Como o equipamento (tanque, circuitos de agitação e distribuição) necessita de lavagens periódicas, estas podem ser feitas usando-se o próprio sistema de agitação, juntamente com a água. Dependendo do tipo de fertilizante fluido e do equipamento, esta limpeza deverá ser mais ou menos freqüente, o que exigirá a disponibilidade no campo de água para a lavagem em circuito fechado.

Um sistema interessante de agitação é aquele apresentado por PERTICARRARI & BRAUNBECK (1986), denominado de hidromecânica, o qual consta de um eixo tubular, dotado de bicos ejetores-propulsores, dispostos longitudinalmente no centro do tanque e apoiado sobre mancais nos extremos do mesmo, sendo conectado a uma bomba centrífuga que é responsável pela circulação integral do produto no tanque (agitação hidráulica), ao mesmo tempo que força os bicos e o eixo tubular a girarem por propulsão hidráulica (agitação mecânica), (Figura 12). Esse sistema tem proporcionado bom desempenho, evitando os indesejáveis depósitos (precipitados) do fertilizante fluido no fundo e/ou laterais do tanque, mesmo quando transporta suspensões NPK de baixa estabilidade.

Figura 11. Sistemas de agitação para tanques de transporte de fertilizantes fluidos.

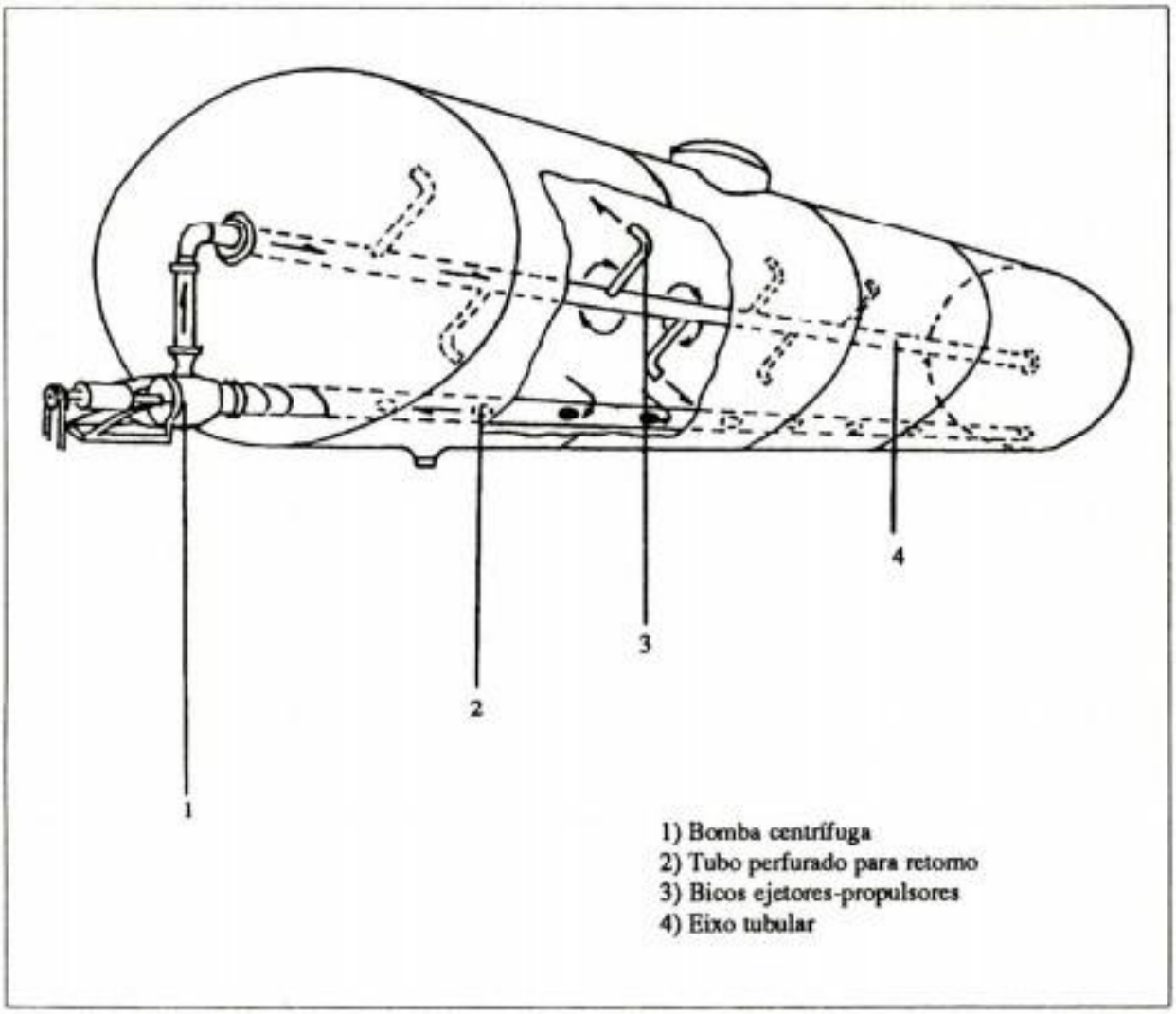


Os sistemas de agitação mais utilizados pelos veículos de transporte de adubo fluido das usinas são dos tipos: mecânico, hidráulico e hidromecânico, com predominância para o primeiro tipo.

6.3. Distribuição

A distribuição dos fertilizantes fluidos no Brasil é variada e decorre da estrutura atual de produção. Desta forma, tem-se a distribuição dos produtos fabricados pelas empresas comerciais e, daqueles produzidos nas usinas de açúcar, ou seja, na propriedade.

Figura 12. Ilustração do sistema de agitação "hidromecânica".



Importante aspecto a ser considerado na distribuição, é a concentração dos nutrientes no fertilizante, pois interfere diretamente no custo final deste, em função da distância transportada. Portanto em dada situação, haverá um limite de distância, tal que o custo do nutriente para um dado fertilizante fluido, será igual ao de um sólido, fonte do mesmo nutriente, porém, com concentração superior. Esta vem a ser a razão pela qual usinas que trabalham com adubos sólidos e fluidos simultaneamente, sendo este último de baixa concentração, estabelecem raio de distância limite para a aplicação de fluido; e é também um dos fatores que determinará a instalação das sub-unidades das empresas comerciais que exploram adubos fluidos. Atualmente pode-se distingüir quatro sistemas de distribuição, cujo critério básico de classificação é o esquema de fabricação, podendo ser por empresas comerciais ou propriedades agrícolas. A seguir é apresentado o processo de divisão dos sistemas de distribuição os quais estão esquematizados nas Figuras 13 a 16.

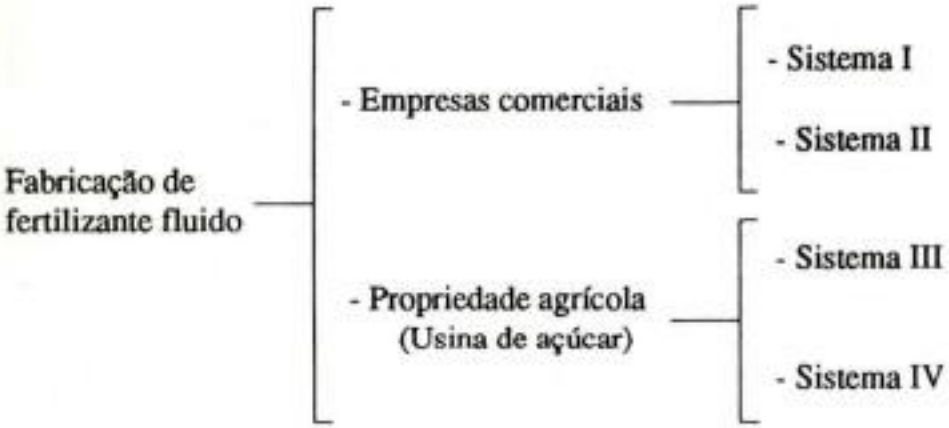


Figura 13. Sistema I de distribuição de fertilizantes fluidos produzidos por empresas comerciais e armazenados em tanques na propriedade agrícola.

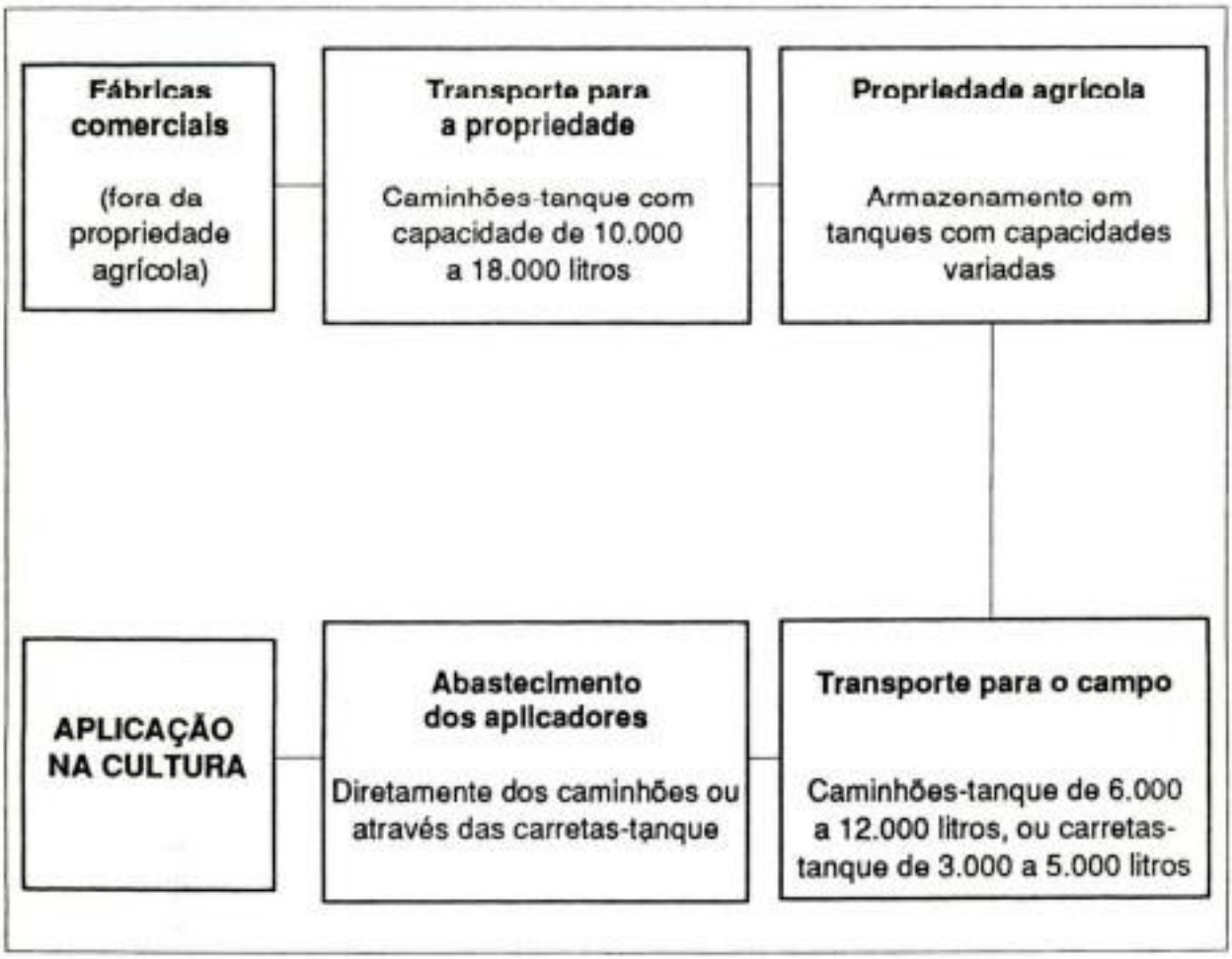


Figura 14. Sistema II de distribuição de fertilizantes fluidos produzidos por empresas comerciais e armazenados em tambores de polietileno.

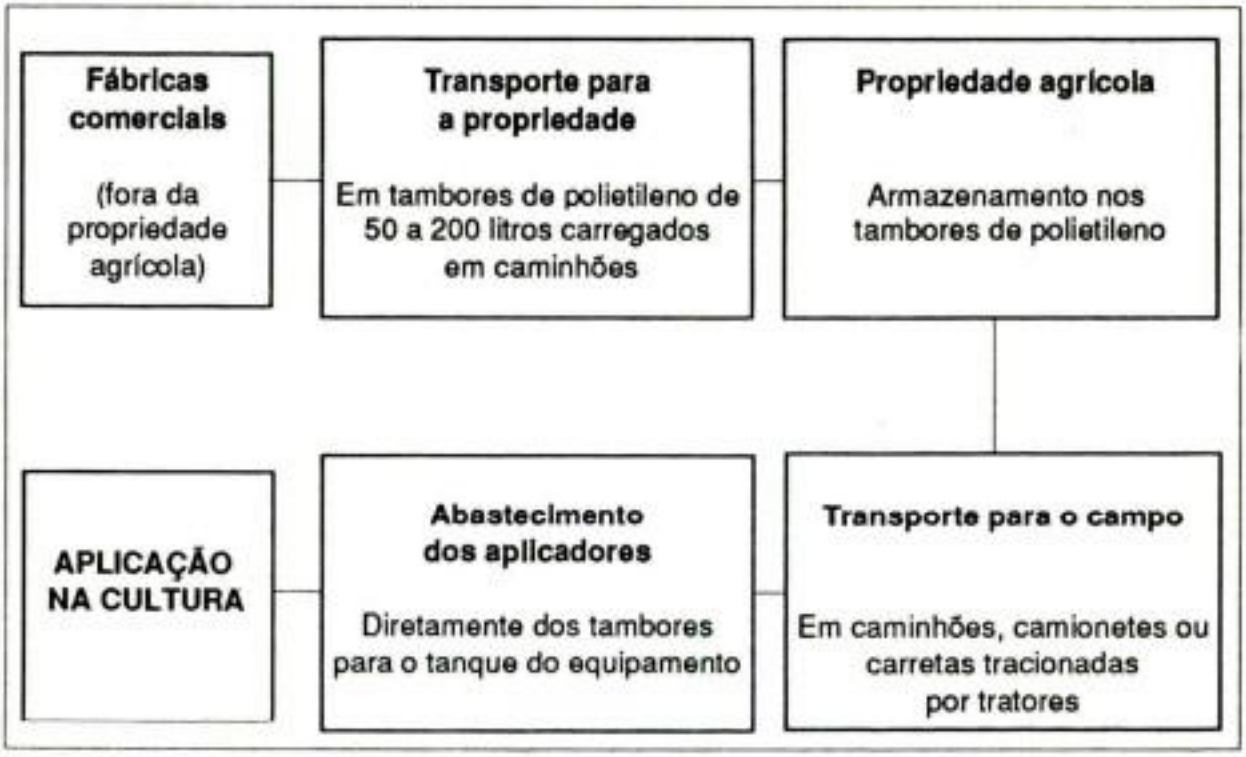
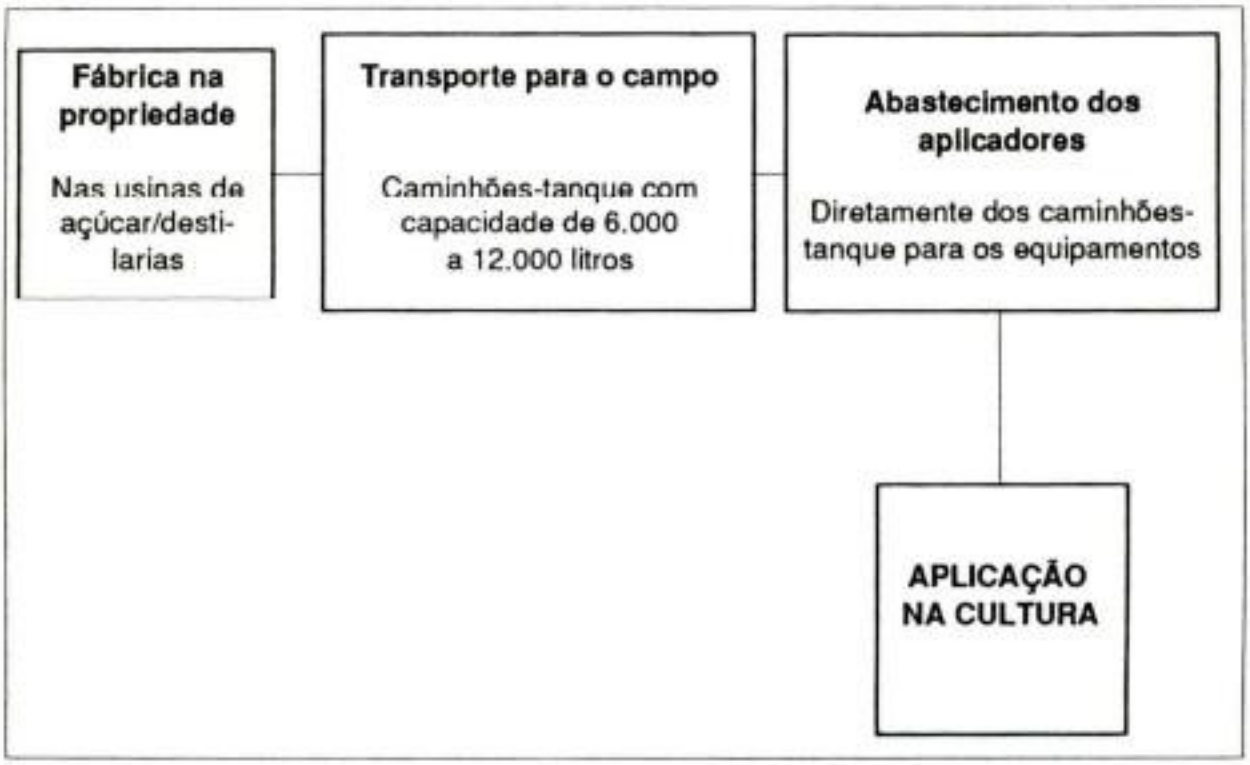


Figura 15. Sistema III de distribuição de fertilizantes fluidos produzidos na propriedade com transbordo no campo.

Figura 16. Sistema IV de distribuição de fertilizantes fluidos produzidos na propriedade sem transbordo no campo.



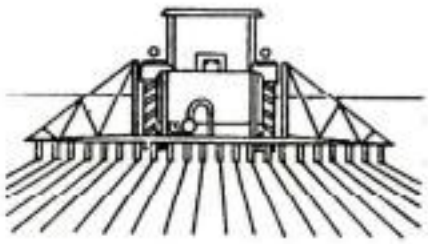
6.4. Aplicação

A aplicação dos fertilizantes fluidos é uma das operações fundamentais no processo de fertilização das culturas, pois está associada a aspectos culturais, tais como: forma e localização, época e requerimento de dose. Além disso a técnica de aplicação utilizada, que pode ser manual, mecanizada ou por irrigação, deve ser plenamente conhecida para o sucesso da operação. MORICOCHI (1986), ressalta a importância da aplicação, atribuindo aos fertilizantes fluidos melhores possibilidades de se obter maiores uniformidades na distribuição com adubadoras do que quando se utilizam fertilizantes sólidos, mesmo que estes tenham boas características físicas, completa o autor. A técnica predominante utilizada atualmente para aplicação dos adubos líquidos é a mecanizada, através de equipamentos aplicadores, cujas características, desempenho e manejo de operação serão comentados com intuito de oferecer aos usuários as bases da tecnologia de aplicação.

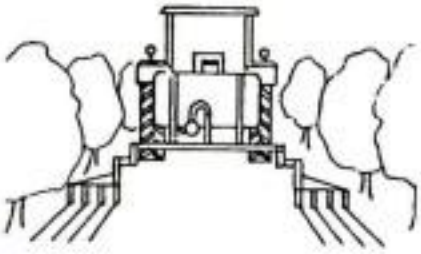
6.4.1. Forma e localização

Os fertilizantes fluidos, como os demais, devem ser aplicados respeitando uma dada localização e forma (modo), que é variável segundo as características da cultura e do fertilizante (tipo e nutriente). Quanto à forma de aplicação pode-se separar em linha, faixa e a lanço, e estas por sua vez, podem ser em superfície ou profundidade (para os dois primeiros tipos), conforme esquemas apresentados na Figura 17.

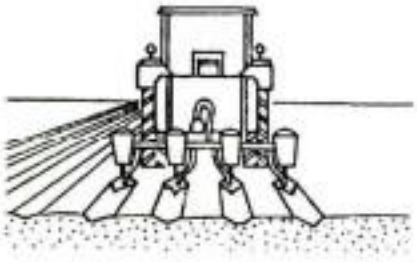
Figura 17. Esquematização das possibilidades de aplicação dos fertilizantes fluidos quanto à forma e localização.



A) Aplicação a lanço em superfície.



B) Aplicação em faixa superficial.



C) Aplicação em linha em profundidade.

Quanto aos nutrientes, para os adubos nitrogenados recomenda-se colocá-los de modo tal que a água possa conduzi-los até o sistema radicular, pois esse contato se faz predominantemente via fluxo de massa. Para os fertilizantes que contém fósforo seu posicionamento deve garantir o maior contato com a raiz, pois a difusão é o processo dominante para o estabelecimento do contato do íon com a raiz, se bem que o fósforo é sujeito à fixação e, portanto, uma solução conciliadora deve ser encontrada para essa situação. Os adubos potássicos devem ser também localizados com o intuito de se obter um contato maior com o sistema radicular, devendo-se porém lembrar que o KCl, principal fonte de potássio, apresenta um íon de alta mobilidade, além de problemas de salinidade (MALAVOLTA, 1980).

Alguns resultados acerca da forma e localização dos fertilizantes serão apresentados a seguir, com o objetivo de enfatizar a problemática, exemplificando com dados, além de se estabelecer uma ligação com os adubos líquidos, visando sua utilização, visto que, se dispõem de poucos estudos específicos sobre o assunto. Assim sendo, BITTENCOURT &

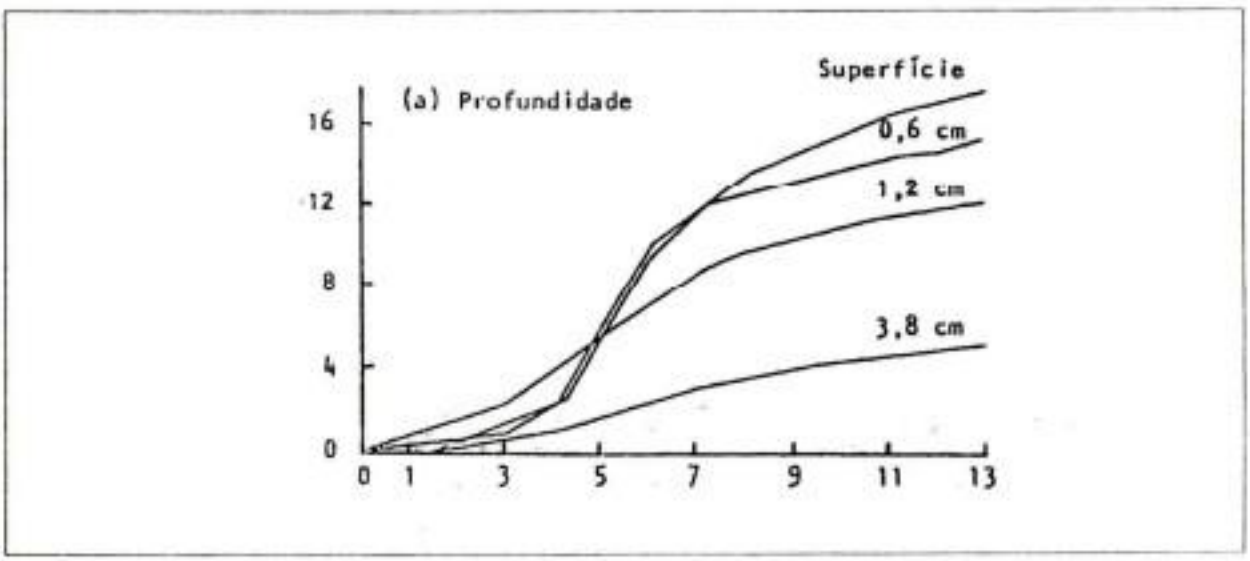
CARMELLO (1987), apresentam dados sobre a eficiência de absorção do fósforo aplicado no plantio da cana, utilizando-se do superfosfato simples, conforme a relação a seguir.

Posicionamento do fertilizante	Eficiência de absorção (%)
Dois pontos no fundo do sulco	2
Linha no fundo do sulco	8
Faixa de 10 cm no fundo do sulco	13

Como se comentou anteriormente, a forma de aplicação do fósforo, poderia ser uma solução intermediária, nem a lanço nem em linha, e parece que o resultado evidencia a forma em faixa, se bem que pequena, cerca de 10 cm, lembrando que se trata da cultura da cana.

SILVA & ABRAMIDES (1974), realizaram um estudo preliminar de adubação de soqueira de cana, onde o fertilizante foi aplicado em superfície, com incorporação por cultivador e em profundidade com subsolagem, obtendo respostas significativas e positivas para a aplicação profunda. Outro estudo sob esse aspecto foi realizado por ORLANDO Fº et al. (1979), para soqueira da variedade CB41-76, dispondo o adubo em superfície (distribuição na linha de cana com leve "chegamento de terra") e em profundidade, de cerca de ± 15 cm, em ambos os lados da linha de cana, distando 40 cm do centro desta. Os resultados foram favoráveis para o segundo caso, porém não significativos, e desta forma, os autores consideram a aplicação profunda como promissora, cuja tendência é de se obter maiores produções. Com relação ao modo de aplicação de nitrogênio, KIEHL (1983), estudando os fatores que influenciam as perdas de amônia por volatilização a partir da uréia, verificou que estas são maiores quando a uréia é aplicada em superfície, pois nesse caso a amônia tem poucas possibilidades de reagir com o solo. Pela Figura 18 observa-se que as perdas diminuem a medida que se aumenta a profundidade de aplicação da uréia, sendo que o autor

Figura 18. Perdas de amônia por volatilização oriundas da aplicação de uréia.
Fonte: KIEHL, 1983.



recomenda que para adubações com cobertura, que esta seja no mínimo de 5 cm, lembrando que deve ser incorporada (com cultivador de disco ou haste).

Para a aquamônia, a partir dessas constatações, vê-se a necessidade de incorporação. Outro aspecto a ser considerado na aplicação de nitrogênio é a umidade do solo, de acordo com os resultados apresentados por SILVA et al. (1988), dispostos no Quadro 12. Esses indicam que para a aquamônia houve tendência de melhores produções de soqueira de cana para a aplicação em profundidade com o solo úmido, do que para o seco, explicando que devido à formação de "torrões" e conseqüentemente, "fendas" no segundo caso (solo seco), a possibilidade de ocorrência de volatilização do nitrogênio foi maior.

Desta forma, para a cana-de-açúcar, onde há maior disponibilidade de informação, por ser pioneira no uso de fertilizantes fluidos, pode-se comentar os vários aspectos com relação à forma e localização.

Quadro 12. Resultados médios de produtividade de cana-de-açúcar (t cana/ha e t pol/ha) e análise estatística para aplicação de nitrogênio em diferentes doses, fontes e formas.

Tratamento	N/ha	Produto	cana/ha	pol/ha
	kg		t	
	(Aplicação em superfície e incorporação com cultivador - solo seco)			
1	0	Testemunha	82	14,02
2	80	Uréia	111	18,51
3	160	Uréia	107	15,41
4	80	Uran	95	18,54
5	160	Uran	112	-
	(Aplicação em profundidade - solo seco)			
6	0	Testemunha	78	13,24
7	80	Aquamônia	98	15,56
8	160	Aquamônia	100	16,35
9	80	Uran	100	16,86
10	160	Uran	110	18,14
	(Aplicação em profundidade - solo úmido)			
11	0	Testemunha	78	12,90
12	80	Aquamônia	115	19,41
13	160	Aquamônia	108	17,99
Teste 1			8,71*	10,44*
D.M.S.			21,31	3,35
C.V.			8,54	8,08

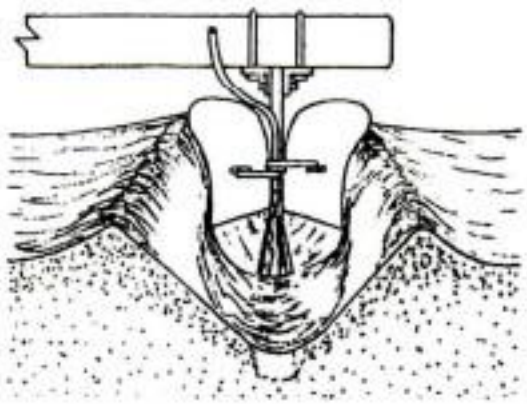
* Significativo ao nível de 1%.

Fonte: SILVA et al., (1988).

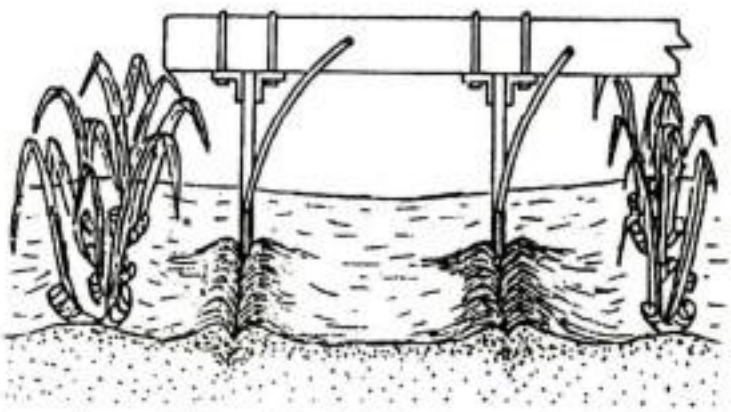
a) Para cana-planta: a aplicação de fórmulas fluidas NPK tem sido realizada no fundo do sulco, em filete contínuo (linha) ou em faixa (de + 10 cm), devendo-se promover retorno do solo ao sulco para incorporar o fertilizante a cerca de 5 cm, evitando problemas de volatilização de N, conforme ilustração da Figura 19. Para adubação de cobertura, pode-se utilizar adubo contendo somente nitrogênio ou mistura NK, que deve ser incorporado em profundidade, ao lado das linhas de cana-de-açúcar.

b) Para cana soca: a aplicação dos fertilizantes é feita juntamente com a operação do cultivo de soqueira sendo que tanto para formulações fluidas N e K, como para somente N, em áreas com vinhaça, estes devem ser aplicados em profundidade quando a fonte de N é a aquamônia, e de preferência com o solo úmido, podendo ser mais superficial quando se usa uran, fonte menos sujeita à volatilização, de acordo com SILVA et al. (1988). Ver esquema da Figura 19.

Figura 19. Representação das formas e localização da aplicação de fertilizantes fluidos em cana-de-açúcar.



A) No plantio: em linha, no fundo do sulco com cobertura de + 5,0 cm.



B) Nas soqueiras: em linha, ao lado (35-45 cm) e em profundidade (+ 15 cm)

Para as culturas anuais a forma de aplicação utilizada é em linha, com as mesmas considerações para a profundidade feitas anteriormente, sendo que a maior intensidade de uso é para adubação nitrogenada de cobertura, onde se pode usar aquamônia, uran e sulfuran.

Para culturas perenes, a aplicação dos fertilizantes fluidos tem sido utilizada com maior intensidade para café e citrus. Com relação à localização e modo de aplicação para citrus, CASALE (1985) sugere que pode ser feita em área total ou na projeção da copa. Quando no primeiro caso, o fertilizante fluido deve ser pouco volátil (uran), sendo que após a aplicação o mesmo deve ser incorporado com grade. Na projeção da copa, o fluido é aplicado em sulcos espaçados a mais ou menos 50 cm, numa profundidade de cerca de 5 a 7 cm, devendo ser coberto logo após a aplicação, quando se usa aquamônia.

Na cafeicultura, o fertilizante fluido também pode ser aplicado em área total ou na projeção da copa, na forma de faixa de ± 20 cm de largura, composto de filetes contínuos espaçados de 5 cm.

Os fertilizantes fluidos pelas suas características permitem ser aplicados quanto à forma e localização, segundo as orientações básicas para as culturas que vêm se utilizando dessa técnica, com as ressalvas feitas anteriormente.

6.4.2. O produto e a aplicação

As propriedades dos fertilizantes fluidos, quer sejam soluções ou suspensões, da mesma maneira que no transporte, interferem na aplicação do produto no campo, pois o comportamento dessas nos aplicadores é variável. Para as soluções, as principais propriedades físicas a se considerar, em termos de aplicação, são: densidade, viscosidade e a temperatura de cristalização. Para as suspensões, além dessas, é necessário conhecer-se as características dos cristais presentes (tamanho, forma e a capacidade de se aderirem uns aos outros), sedimentabilidade e a sinérese (quando ocorre).

No tocante à densidade, pode variar de 0,9 a 1,4 t/m^3, o que pode gerar uma carga de 1,44 t quando se usa aquamônia (D = 0,9 t/m^3) para um aplicador de capacidade volumétrica de 1600 l, ou então, até uma de 2,24 t para uma suspensão NPK (D = 1,4 t/m^3).

Viscosidade é uma propriedade indicadora da tendência de movimentação do produto, que interfere diretamente nas taxa de aplicação (dosagem) obtidas no campo pelos aplicadores de fertilizantes fluidos. Sendo assim, por exemplo, a aquamônia tem uma melhor fluidez que uma suspensão NPK, tal como a 18-00-18 com argila para manter a estabilidade.

O conhecimento das características dos cristais presentes nas suspensões é muito importante, pois podem provocar problemas no manejo do equipamento de aplicação, desde o entupimento dos bicos e mangueiras até a redução da vida útil das bombas, devido ao efeito abrasivo. O tamanho dos cristais segundo PRESSINOTTI & CASTRO (1984), não deve exceder 0,84 mm, que pode ser verificado através do uso de peneira (ABNT - nº 20).

Outro aspecto de relevância é a sedimentabilidade dos cristais, propriedade relacionada com a tecnologia de produção das suspensões para garantir a homogeneidade do produto. Deve-se lembrar que outra maneira de manter a estabilidade é o uso de mecanismos de agitação. Um fertilizante fluido é considerado de boa qualidade, do ponto de vista dessa pro-

priedade, quando os cristais são mantidos em suspensão durante a estocagem estática, ou se existir uma sedimentação de até 2% em volume de cristais, segundo Farag (1982), citado por CALMANOVICI & BICHARA (1987).

Outra característica que deve ser observada é a corrosividade do produto que interferirá na escolha do material a ser empregado na construção dos equipamentos para aplicação.

6.4.3. Equipamentos

Uma das primeiras experiências com equipamentos para aplicação de fertilizantes fluidos ocorreu nos anos 60, através de COBRA NETO & COBRA (1966), aplicando no solo amônia anidra num ensaio com milho. Outra tentativa nessa linha foi realizada em 1979 num experimento de cana-de-açúcar instalado em Piracicaba, SP, COPERSUCAR (1981). No entanto, o uso de amônia anidra em aplicações diretamente ao solo, requer uma infra-estrutura adequada tanto para aplicação como para o transporte e armazenagem, pois este é um gás que se liquefaz sob altas pressões e baixa temperatura, devendo portanto, ser manuseado em tanques próprios, além dos riscos potenciais de provocar acidentes para operários e tratoristas. Desta forma, a opção de preparo de soluções nitrogenadas a partir de amônia anidra, viabiliza o seu emprego na agricultura brasileira, pois facilita o manejo do produto, bem como exige aplicadores mais simples.

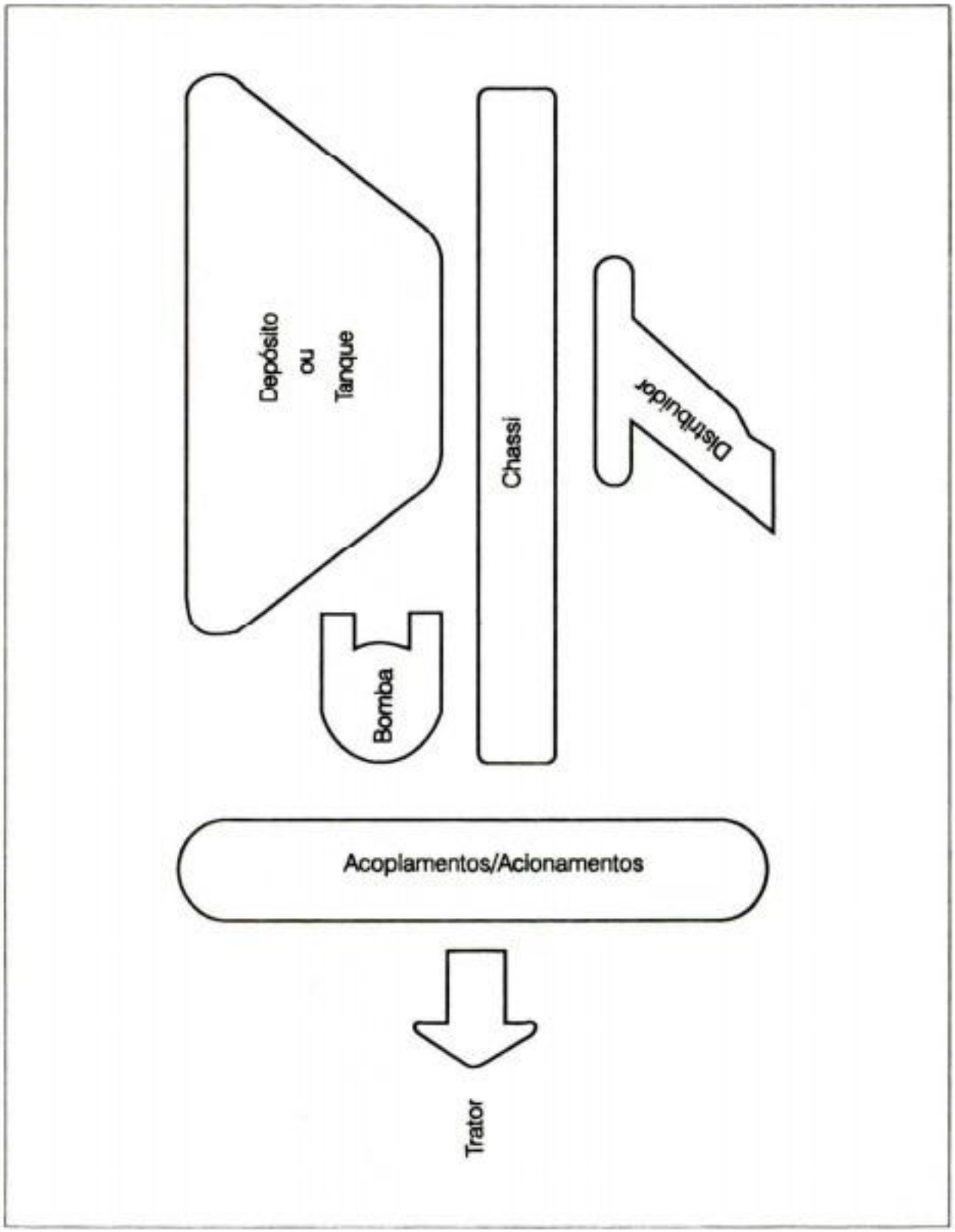
O uso em grande escala de fertilizantes fluidos no Brasil é recente, iniciado por volta de 1978/1979 para a cana-de-açúcar (nas Usinas São José ZL e Barra Grande) e, intensificando-se a partir de 1982/1983, o que fez com que os aplicadores de fertilizantes fluidos usados nessa cultura se tornassem os mais desenvolvidos, com maior disponibilidade de informações. Para café e citrus também encontram-se equipamentos, porém, ainda em processo de desenvolvimento, e para as culturas anuais, como milho, algodão, trigo e feijão, que começaram a utilizar os adubos fluidos há poucos anos, os equipamentos estão a nível de testes, quer protótipos de fabricantes ou aqueles criados e/ou modificados pelos próprios produtores, à semelhança do que ocorreu em algumas usinas quando ainda não havia fabricantes produzindo aplicadores para adubo líquido.

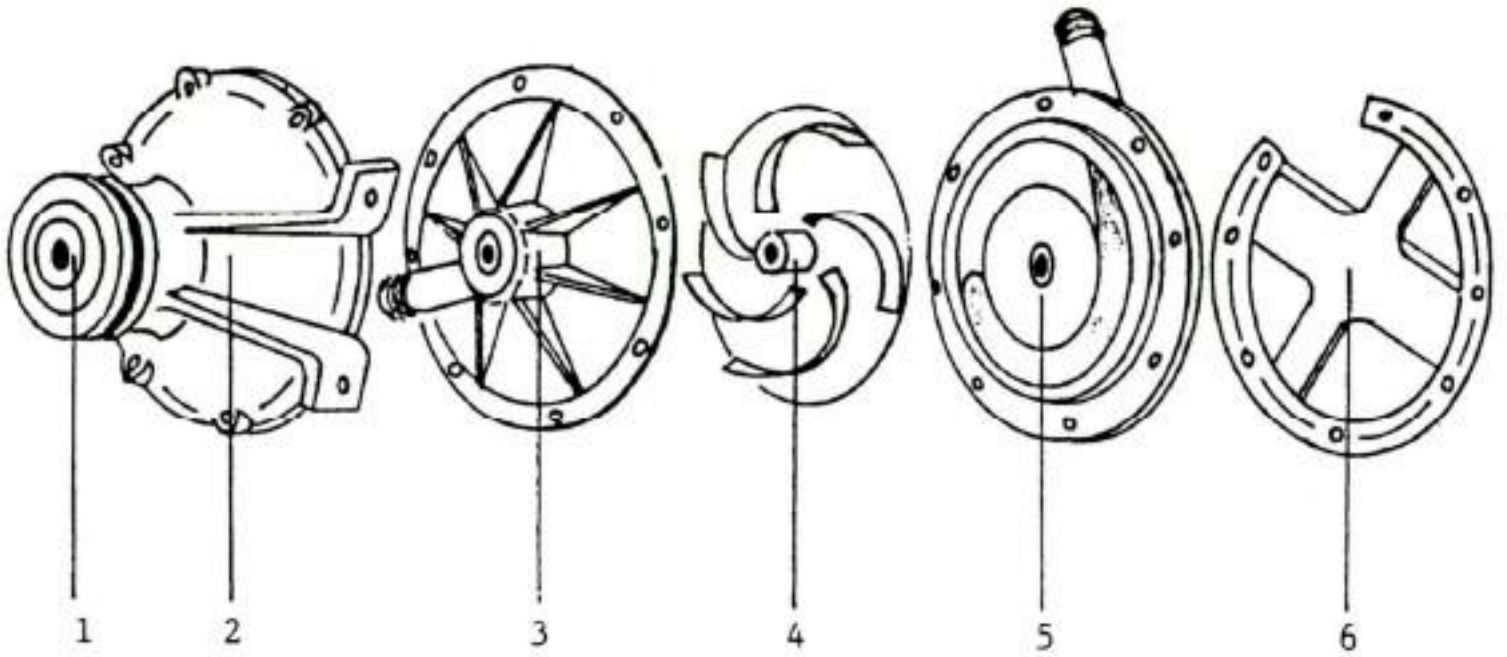
Dentre as vantagens atribuídas à técnica de fertilização fluida, algumas dizem respeito a equipamentos e aplicação, como ressaltam CORBINI (1983), MALAVOLTA (1984), CERQUEIRA LUZ (1986), BITTENCOURT & CARMELLO (1987). Sendo as principais: melhor uniformidade de aplicação, aumento da capacidade de carga dos aplicadores (autonomia de aplicação), redução da mão-de-obra no abastecimento das adubadoras e diminuição das perdas.

Os principais elementos de constituição dos aplicadores de fertilizantes são: acoplamento, acionamento, depósito ou tanques, chassi, bomba e distribuidor conforme podem ser observados no esquema da Figura 20.

O elemento de constituição fundamental do aplicador de fertilizante fluido é a bomba, pois interfere de maneira decisiva sobre os outros elementos, bem como na aplicação do produto, podendo ser usada como critério para classificação dos aplicadores. Os principais tipos de bomba são: centrífuga, peristáltica e de pistão.

Figura 20. Principais elementos de constituição dos aplicadores de fertilizantes fluidos.





1- Polia

2- Suporte da bomba

3- Corpo da bomba

4- Rotor

5- Tampa da bomba

6- Tampa

Figura 21. Componentes básicos de uma bomba centrífuga.

Aplicador com bomba centrífuga

Inicialmente, a utilização de bomba centrífuga nos aplicadores era baseada em adaptações naquelas usadas para distribuição de herbicidas e inseticidas, porém, as características dessas aplicações são diferentes no que tange à pressão, volume e tipo de produto. Quando se aplica o inseticida/herbicida há necessidade do estabelecimento de uma pressão adequada no sistema para que se obtenha um determinado tamanho e espectro de gotas, além de uma dada vazão. Outro aspecto é que há uma tendência de se utilizar baixos volumes por área. Por outro lado, a aplicação de adubo líquido não necessita do mesmo regime de pressão (basta injetá-lo no solo), porém exige uma dada pressão no retorno para promover a agitação. Quanto aos volumes aplicados por área, normalmente são maiores que os de herbicida/inseticida. As suspensões de adubo líquido geralmente provocam problemas de abrasão/corrosão no rotor, eixo e selo mecânico da bomba, o que em condições normais, praticamente não ocorre nos outros tipos de aplicação. Diante dessa situação, verificou-se a necessidade de desenvolver uma bomba centrífuga que atendesse as exigências do novo tipo de aplicação. Os componentes básicos de uma bomba centrífuga usada nos aplicadores podem ser notados na ilustração da Figura 21.

A taxa de aplicação (dosagem) e agitação do produto no tanque é obtida através da pressão gerada pela bomba, operando num regime de rotação (até 3500 rpm), que faz com que o sistema de acionamento compatível seja via tomada de potência do trator. Como decorrência desse tipo de acionamento, a velocidade de deslocamento do trator passa a ser um dos fatores que determina a taxa de aplicação. Deste modo qualquer alteração na marcha do trator que promova mudança na velocidade de operação, implicará em variação na dose aplicada, de maneira inversamente proporcional. Além da velocidade, os outros fatores que afetam a dosagem são: a pressão gerada pela bomba e o diâmetro do orifício dos bicos.

Para as condições usuais de dosagem da cultura da cana (300 a 1800 l/ha) e velocidade de operação (± 3,0 a 6,0 km/h) a vazão da bomba situa-se na faixa de 5,0 a 15,0 l/min, o que traz como conseqüência o uso de bicos com orifícios de restrição, com diâmetro de 1,0 a 3,0 mm (COPERSUCAR, 1982). Os bicos utilizados são de polietileno e vêm de fábrica "cegos", ou seja, sem orifício, que são feitos nas unidades de produção com marcadores de metal calibrados. Cabe citar que o tamanho dos cristais contidos na suspensão deve coexistir com o diâmetro do orifício, caso contrário, ocorrerão os indesejáveis entupimentos.

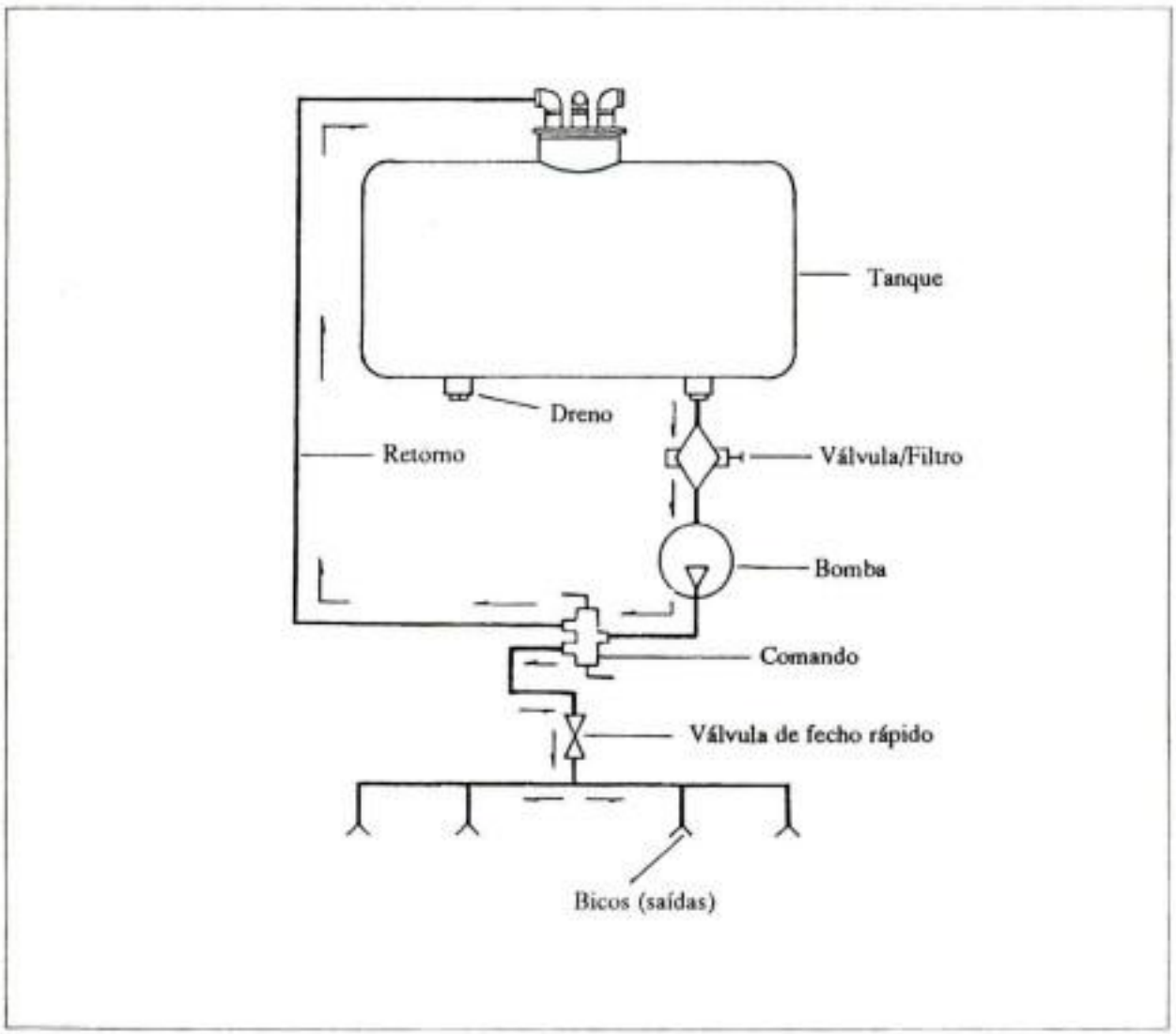
Conforme comentários anteriores, a aplicação de adubo líquido em cana-de-açúcar pode ser feita associada com o plantio, cobertura de cana-planta ou no cultivo de soqueira. Portanto, os bicos poderão ter suas saídas localizadas na posição posterior inferior de hastes dos sulcadores ou de subsoladores/escarificadores.

Outros componentes importantes do sistema de circulação e recirculação do fertilizante fluido no aplicador são: comando hidráulico, filtro, tubulações e sistema de abastecimento. O comando hidráulico é responsável pela movimentação do produto no equipamento, possibilitando o fluxo para aplicação e/ou retorno (que promove a agitação no tanque), além de poder também regular a vazão. O filtro é usado para evitar obstruções nos bicos, pois deve reter no elemento filtrante os cristais grandes e impurezas. As telas fornecidas apresentam

diâmetros de 0,25 a 1,00 mm, podendo ser de inox ou polietileno. O sistema de abastecimento deve ser de engate rápido, possuir válvulas de vácuo/pressão para acomodações de gases e permitir a rápida recarga dos tanques, o que contribui para a redução da mão-de-obra de campo, que era normalmente usada para a recarga das adubadoras de fertilizantes sólidos. Um esquema de circuito, com os principais elementos do aplicador com bomba centrífuga, é dado na Figura 22.

Os tanques ou depósitos de fluido apresentam variadas capacidades, num intervalo de 400 a 1500 l. Destaque deve ser dado ao posicionamento desses, que pode ser sobre a barra porta-ferramenta do implemento, bem como lateralmente ao corpo do trator. No primeiro caso, o volume do tanque fica limitado à capacidade de levantamento do sistema hidráulico do trator, que permitirá tanques de até 800 l, para aqueles de até 145 cv cuja exceção fica sendo para os supertratores (210-220 cv) que admitem depósitos para 1500 l. A disposição

Figura 22. Esquema do circuito hidráulico do aplicador com bomba centrífuga.



lateral tem seus méritos, pois torna possível a instalação nos tratores usualmente empregados na sulcação e no cultivo de cana (100 a 120 cv), de tanques que totalizam capacidades de 1500 a 1600 l, sendo o dobro do que poderiam carregar no engate de 3 pontos, explorando com maior eficiência o potencial de transporte do trator, além de aumentar consideravelmente a autonomia do aplicador, que conduzirá a melhores rendimentos operacionais. Encontram-se nessa situação 2 tanques de 700-750 l de cada lado do trator, ou então 4 de 400 l, sendo 2 de cada lado. Quanto ao tipo de material empregado na confecção dos tanques, os mesmos comentários feitos para os de transporte (item 6.2. Equipamentos de transporte) são válidos. Os aplicadores com bomba centrífuga normalmente estão associados com tanques de plástico injetado de 400 l (polietileno), ou de fibra de vidro (± 750 l).

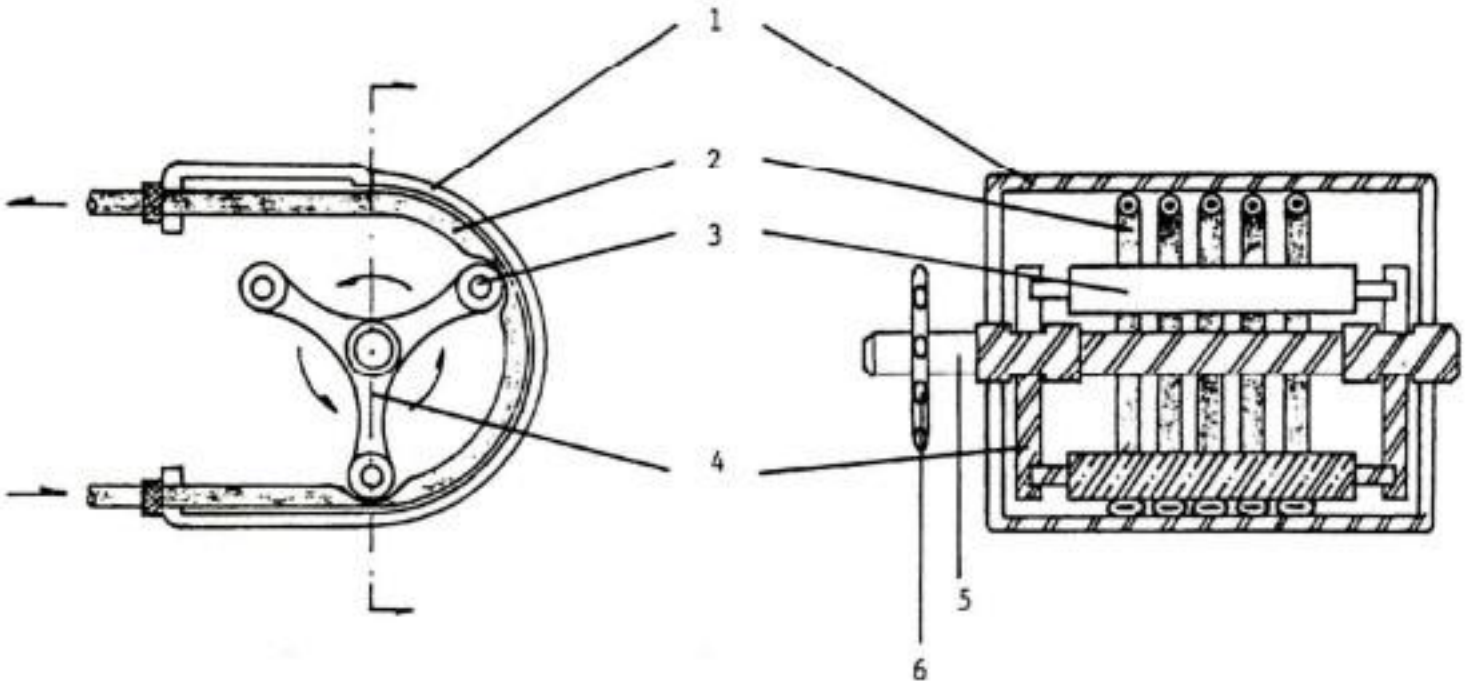
Essa disposição dos tanques necessitará de chassi adequado, cuja fixação será no corpo do trator, sendo portanto, diferente da tradicional, cujo chassi é a própria barra porta-ferramenta do implemento. Isto possibilita que as unidades de produção possam utilizar o implemento com suas ferramentas, que outrora era para adubo sólido, bastando retirar os componentes da adubadora e instalar as tubulações, bico e saídas para o fertilizante fluido.

Aplicador com bomba peristáltica

Um tipo simples de bomba para aplicação de líquidos de baixa pressão é a bomba peristáltica, cujo uso foi incrementado nos Estados Unidos a partir da década de 40, pela Estação Experimental de Agricultura do Tennesse (KEPNER et al., 1972). Os componentes básicos desse tipo de bomba são carretel com os roletes e os tubos ou mangueiras em número de 4 ou 5. O movimento circular giratório do carretel, faz com que os roletes pressionem as mangueiras, forçando a transferência de um dado volume de produto, sendo portanto, uma bomba de transferência de volume de baixa pressão. Essa característica se adequa bem às particularidades de aplicação de adubos fluidos, que não necessitam de elevada pressão conforme comentários anteriores, lembrando porém, que exceção deve ser feita à amônia anidra, que por uma série de razões não é utilizada ainda no Brasil.

O bombeamento é independente em cada linha, o que é um aspecto interessante, pois evita a derivação do fluxo, contribuindo para menor variabilidade entre as saídas e, quando há problema, afeta somente uma linha. A Figura 23 contém uma ilustração da bomba peristáltica, onde pode se notar que não há contato entre o fertilizante fluido e peças metálicas, ou então, com válvulas, fazendo com que seja reconhecida pela sua simplicidade mecânica.

Como é uma bomba de baixa pressão, cujo regime de rotação do carretel não é elevado, permite que o acionamento seja feito pelo rodado do trator ou por roda de terra, através de transmissões (engrenagens, eixos e correntes). Desta forma, o funcionamento de bomba fica dependente da movimentação do rodado do trator e, como o volume de líquido transferido pela bomba é proporcional ao avanço dos roletes do carretel, a taxa de aplicação fica subordinada à relação de transmissão entre o rodado e o eixo da bomba, a qual pode ser alterada através de jogos de engrenagem. Sendo assim, a dosagem deixa de ser função da variável velocidade de deslocamento do equipamento, o que é uma característica desejável, conforme salienta CERQUEIRA LUZ (1985), pois é fundamental para a manutenção da taxa de



1- Carcaça
2- Mangueiras ou tubos
3- Roletes
4- Carretel
5- Eixo da bomba
6- Engrenagem da bomba

Figura 23. Representação de uma bomba peristáltica.

aplicação na unidade de espaço (ml/m, por exemplo) para que se obtenha a necessária uniformidade de distribuição. A bomba não possui retorno, pois é de baixa pressão, portanto, a agitação no tanque tem que ser através de outro meio. A solução que tem sido utilizada é a agitação mecânica, cuja fonte de movimento pode ser a tomada de potência do trator que estará ociosa ou pelo rodado.

As mangueiras ou tubos são os elementos vitais desse tipo de bomba, requerendo portanto, toda a atenção. Um dos pontos principais para a manutenção da regularidade entre as saídas é o tamanho e diâmetro das mangueiras, que deverá ser idêntico para as diferentes saídas. O tipo e a qualidade da borracha são fundamentais para o funcionamento dos movimentos "peristálticos" da bomba, bem como da preservação da vida útil.

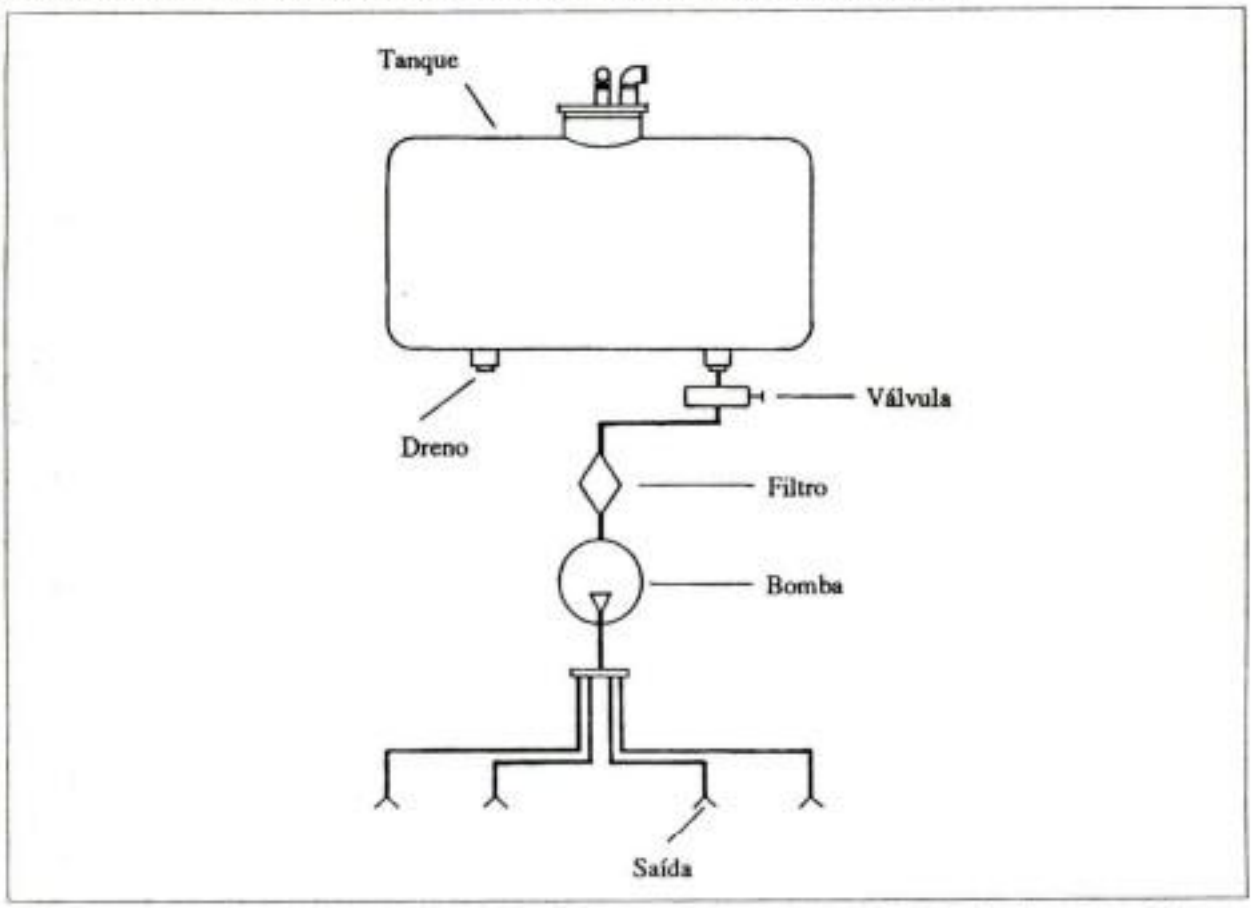
Além da bomba, outros componentes importantes são: tanque, filtro, saídas, tubulações e sistema de abastecimento. Os tanques empregados com maior freqüência nesses aplicadores são de aço carbono, revestidos com tintas anticorrosivas, se bem que há disponibilidade de tanques de polietileno. Os comentários quanto à capacidade e disposição dos tanques no trator, bem como do abastecimento feito para o aplicador com bomba centrífuga, são também cabíveis para o de peristáltica. O filtro é de simples retenção para o material grosseiro ($\pm > 3{,}0$ mm), pois esse aplicador não utiliza bico de restrição nas saídas, devido ao baixo regime de pressão da bomba. As tubulações que vão para as saídas apresentam diâmetros de 1/2" a 3/4", lembrando que as de plástico cristal são sujeitas a ataques químicos dos fertilizantes fluidos. Na Figura 24 é apresentado um esquema de circuito desse tipo de equipamento, com bomba peristáltica. O posicionamento das saídas para aplicação do fluido, no caso dos equipamentos para cana-de-açúcar, é o mesmo dos aplicadores com bomba centrífuga. O peristáltico oferece também aplicadores para citrus e café, sendo que para o primeiro, as saídas podem estar dispostas em uma barra articulada, podendo estar espaçados de 5 a 10 cm, com um comprimento da barra de cerca de 1,5 m, que é utilizada para aplicação em faixa.

No caso do café, o aplicador dispõe do dois braços colocados posteriormente à barra-porta-ferramenta, com sistema pantográfico, tendo na extremidade um "patim" que desliza sobre a superfície do terreno, sob a região da copa do café, acompanhando as irregularidades do solo. Nesse "patim", estão colocadas as saídas, em número de 4 ou 5, espaçadas de $\pm$ 5 cm, na posição posterior do mesmo.

Outros

Outros tipos de bombas poderiam ser utilizadas, conforme KEPNER et al., (1972), como a de engrenagens ("gear pump"), de cilindro ("roller pump") e a de pistão ("piston ou plunger pump"). Dessas, somente a de pistão chegou a ser testada em protótipo, onde verificou-se haver independência da dosagem em relação à velocidade, que é um aspecto favorável. O acionamento pode ser feito via roda do trator ou por roda auxiliar de terra, através de transmissões com engrenagens, cuja troca permite alterar a taxa de aplicação. Para evitar variação entre as saídas, é conveniente utilizar bomba com número de pistões iguais ao de saída. As desvantagens desse tipo de bomba são: complexidade mecânica, problemas para

Figura 24. Esquema do circuito hidráulico do aplicador com bomba peristáltica.



aplicar suspensões abrasivas; necessidade de tanque pulmão de ar (diminuição da pulsação do fluxo), além do elevado custo. Atualmente, equipamento com este tipo de bomba não é produzido comercialmente.

6.4.4. Manejo da aplicação

Para realizar a aplicação dos fertilizantes fluidos é providencial que se observem alguns fatores que podem comprometê-la. Desta forma, o conhecimento pleno dos aplicadores é importante, assim como o tipo e a dosagem do fluido a ser aplicado, qual operação agrícola, as condiçoes de apoio e segurança na aplicaçao.

A dosagem recomendada para a aplicação deve tornar-se uma meta a ser seguida, pois, atrás de uma recomendação de adubação existe toda uma tecnologia científica, baseada em pesquisas de campo e laboratório, para permitir indicações de doses economicamente viáveis e com perspectivas de resposta pelas culturas. Portanto, a regulagem adequada do equipamento e a sua manutenção durante a aplicação são de grande relevância para atingir a meta estabelecida.

Para o aplicador com bomba centrífuga, a dosagem é uma resultante da velocidade de operação, da pressão da bomba e do diâmetro do bico utilizado. Como o acionamento da

bomba é feito pela tomada de potência, o regime do motor deve ser compatível com aquele requerido pela bomba, devendo ser indicado pelo fabricante. Portanto, uma vez que se conheça a rotação indicada, o operador deve mantê-la constante, ficando as alterações da velocidade restritas à troca de marchas. Uma vez estabelecida essa condição, a dose fica condicionada à alteração na marcha (velocidade) e ao diâmetro dos bicos. Em conformidade com o item **Aplicador com bomba centrífuga** a dose varia com a velocidade de operação, a qual uma vez escolhida, deve ser mantida, a não ser que novos acertos sejam feitos nos bicos para compensar a alteração na velocidade.

Para uma dada operação agrícola, a velocidade varia dentro de certos limites, de forma tal que, sob algumas condições pode se obter um jogo de marcadores dos orifícios nos bicos, que atenda essas flutuações. Tal procedimento é utilizado pelas usinas/destilarias nas frentes de aplicação, para oferecer condições de operação para as diferentes situações que acabam por interferir na velocidade, tal como, mudança do tipo de solo, estádio da cultura, umidade do solo etc. Outro aspecto a ser considerado é o treinamento dos tratoristas, no sentido da observância da manutenção da velocidade, do regime de rotação do motor e da conferência periódica dos bicos (quanto a entupimentos, escapes etc).

Por outro lado, para o aplicador com bomba peristáltica, a dosagem fica dependente da relação de transmissão do rodado do trator para o eixo da bomba, sendo alternada através da troca de engrenagens. À primeira vista, parece problemática a escolha das engrenagens que darão origem à dosagem esperada. Isto talvez ocorra quando a seleção (das engrenagens) é feita por tentativa sem conhecimento do comportamento do equipamento, porém, como será visto mais a frente, há outros meios para conseguir atingir a regulagem correta.

Para permitir diversas relações de transmissão, o equipamento normalmente dispõe de duas relações de transmissão, sendo uma entre o rodado do trator e um eixo primário no aplicador, e a outra, entre esse eixo e o da bomba, conforme ilustração da Figura 25, além de um jogo de engrenagens. CERQUEIRA LUZ (1985), testou um aplicador desse tipo, para cana-de-açúcar, com 8 opções de engrenagens, obtendo-se por combinações, relações de transmissão final de 1,38 a 5,20.

Nesse estudo foi determinada a curva de calibração do equipamento, apresentada na Figura 26, onde se observa que o comportamento do funcionamento da bomba até a relação de transmissão 4,0 pode ser explicado linearmente. Tal fato confirmou o esperado, ou seja a bomba gerou doses diretamente proporcionais às relações de transmissão. Cabe comentar que para a relação de transmissão de 5,2, que é a máxima desse equipamento, houve uma tendência de apresentar valor ligeiramente menor do que o esperado. Assim sendo, para proceder a regulagem do aplicador, o agricultor pode lançar mão da curva de calibração (válida para o aplicador e produto usado para obtê-la) e encontrar de forma direta a relação de transmissão que dê a dose desejada ou então calculá-la.

Para determiná-la pode-se utilizar da equação da curva de calibração (conforme Figura 26), ou então, testar uma relação de transmissão qualquer para se obter um ponto e traçar a reta, considerando-se o outro ponto como sendo a origem do sistema (y=0 e x=0). Outra maneira seria calculá-la através de regra de três direta, que é uma das formas mais práticas

Figura 25. Ilustração das relações de transmissão para o acionamento da bomba peristáltica.

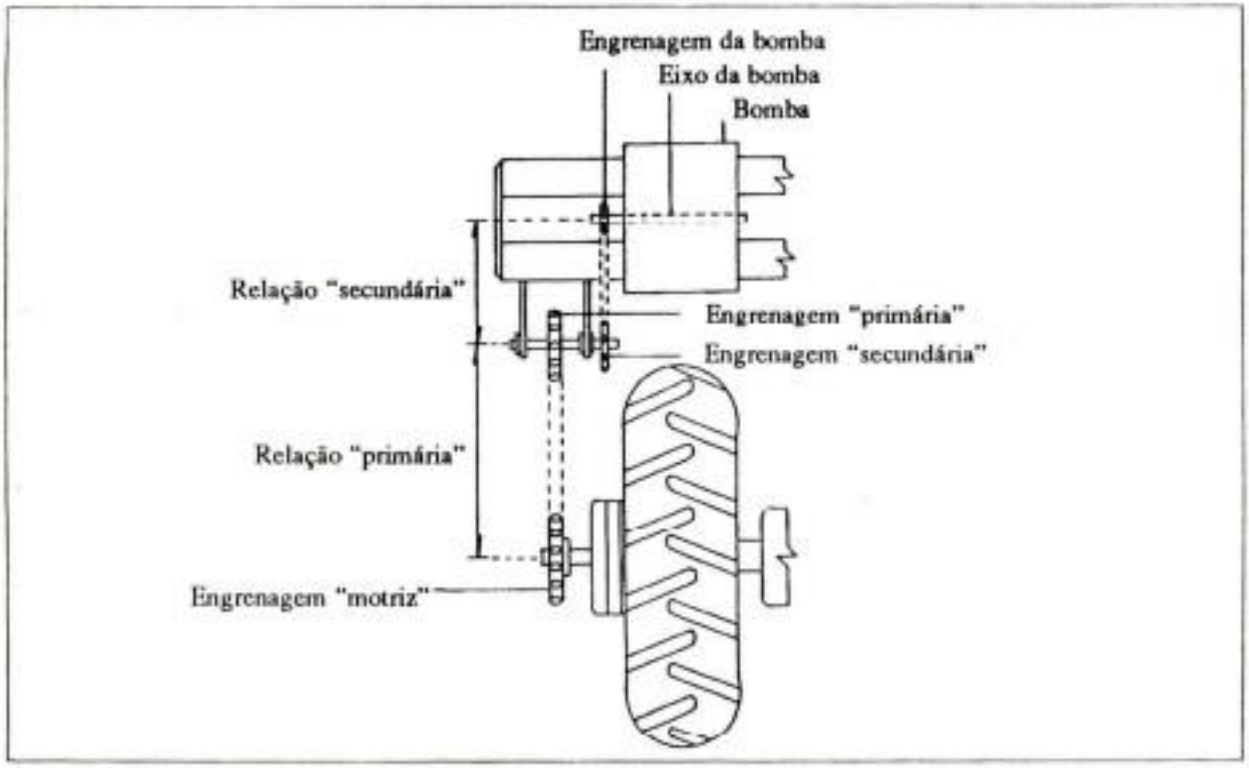
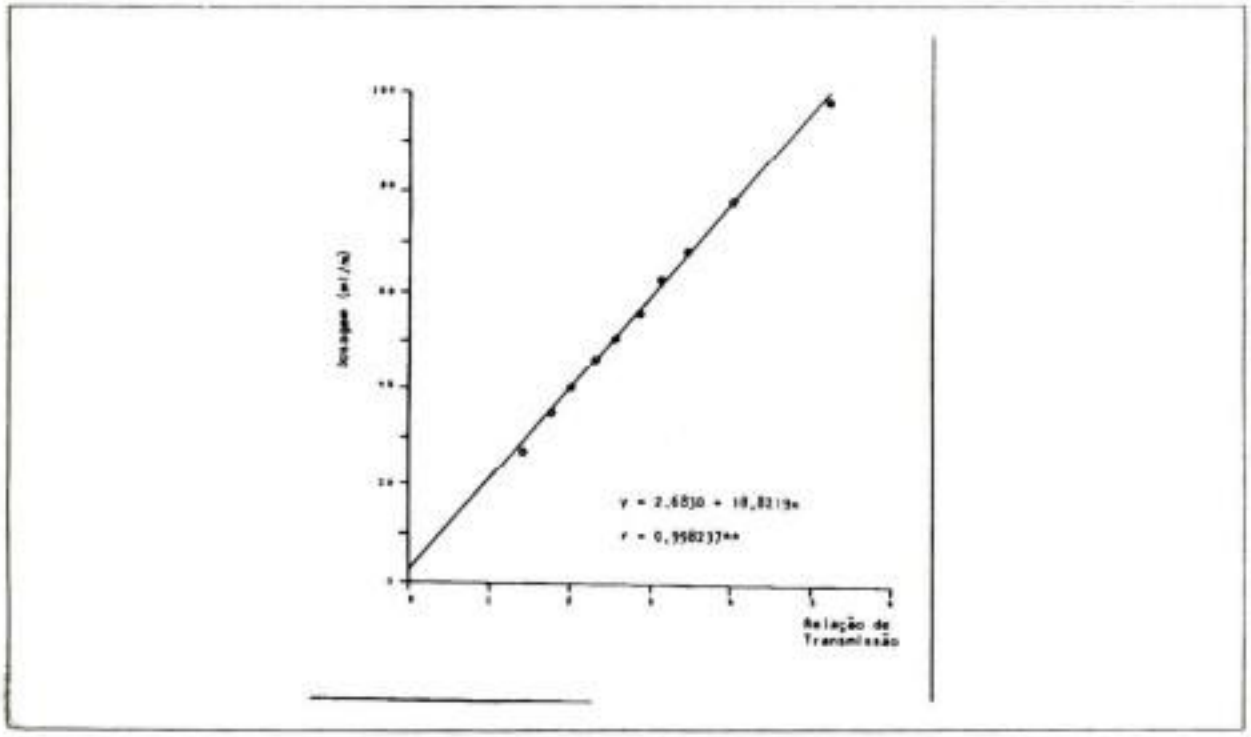
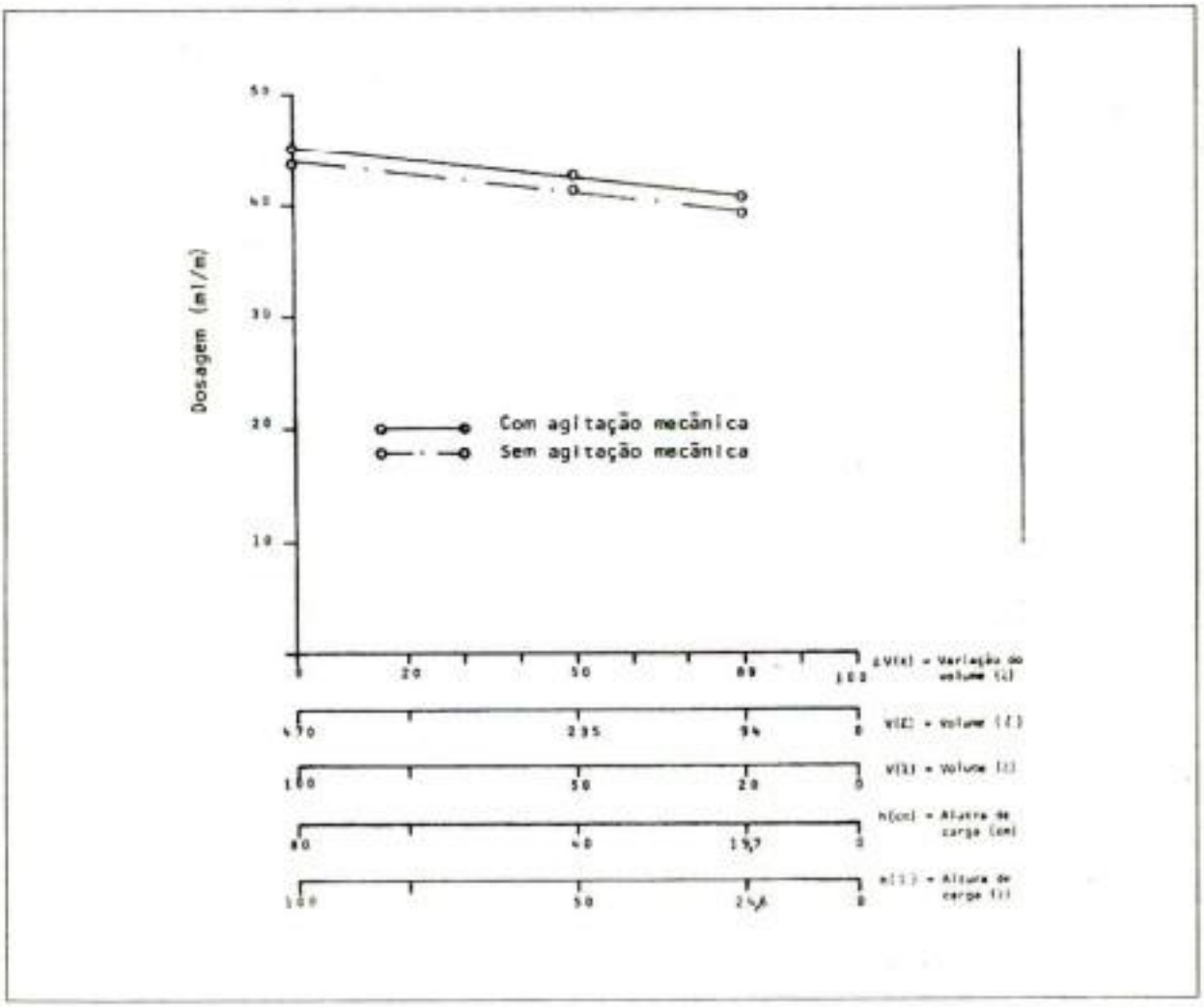


Figura 26. Curva de calibração para o aplicador de fertilizante fluido com bomba peristáltica. Produto: uran.



de se obter a dose nas condições do campo, pois bastaria, como no caso acima, determinar somente um ponto. Portanto, com apenas uma tentativa pode-se encontrar a relação de transmissão (regulagem) que dará a dose desejada, mesmo que numa situação menos favorável (sem a curva e equação de calibração). Deve-se lembrar que uma vez determinada, esta relação não se altera, permanecendo a regulagem constante, mesmo com variações de velocidade (dentro de limites), o que não acontece com o aplicador com bomba centrífuga. Para aplicador com bomba peristáltica há outro fator a ser observado no uso do equipamento, que vem a ser a variação da altura de carga do fluido no tanque, que afeta a taxa de aplicação. Tal problema é decorrente do fato da bomba ser de transferência de volume a baixa pressão e do fluxo do fluido do tanque para a bomba ser gravitacional. Desta forma, diferentes alturas de carga no tanque proporcionarão variações significativas na dosagem do produto, conforme pode ser visualizado na Figura 27, confeccionada com resultados obtidos por CERQUEIRA LUZ, (1985).

Figura 27. Curva de variação da altura de carga para o aplicador de fertilizante fluido com bomba peristáltica. Produto: água.



O comportamento da dosagem com relação à altura da carga é diretamente proporcional, decrescendo à medida que a carga diminui. Desta forma, para uma dada regulagem, a maior taxa de aplicação ocorrerá quando a altura de carga for máxima, ou seja, para o tanque cheio. Sendo assim, para se aproximar da dosagem média esperada, o autor sugere que o implemento deva ser regulado com 50% da altura de carga, conforme exemplo da Figura 28. No entanto, deve-se lembrar que somente a regulagem é feita com 50% de altura de carga, pois para a operação do implemento no campo, deve-se iniciar com este cheio e procurar reabastecê-lo com aproximadamente 15 a 20% da altura de carga, porque não é aconselhável esperar esvaziar totalmente para depois recarregar. Nesse teste analisou-se também o efeito da agitação mecânica sobre a taxa de aplicação, notando-se que não houve efeito interativo, apenas pequeno acréscimo na dosagem quando se usa a agitação.

Embora a expectativa fosse de não se obter alterações na dosagem para variação da velocidade, no aplicador com bomba peristáltica, testes foram realizados por CERQUEIRA LUZ (1985) para 3 classes de dose (mínima, intermediária e máxima) e 3 velocidades, repetindo-as para 3 tipos de fertilizantes fluidos: aquamônia (água); uran e 18-00-18. A análise dos dados para todos os produtos, revelou que na relação de transmissão média as variações de dose dentro de velocidade são mínimas, indicando que a bomba apresenta um regime de funcionamento ótimo para doses intermediárias, conforme pode se perceber nas Figuras 29 a 31. As implicações no manejo da aplicação com esse equipamento (peristáltica), com base nesses resultados, são que para as dosagens de extremos deve-se evitar flutuações da velocidade, ou seja, quando for aplicação de cobertura de baixa dose (< 200 l/ha) ou quando para operação de plantio de cana, por exemplo, com doses de até 1.700 l/ha não são convenientes alterações acentuadas na velocidade de operação. Para os diferentes fertilizantes fluidos, como era esperado, o comportamento foi diferenciado devido às distintas propriedades físicas dos mesmos, o que reforça a orientação de proceder a regulagem toda vez que trocar de produto.

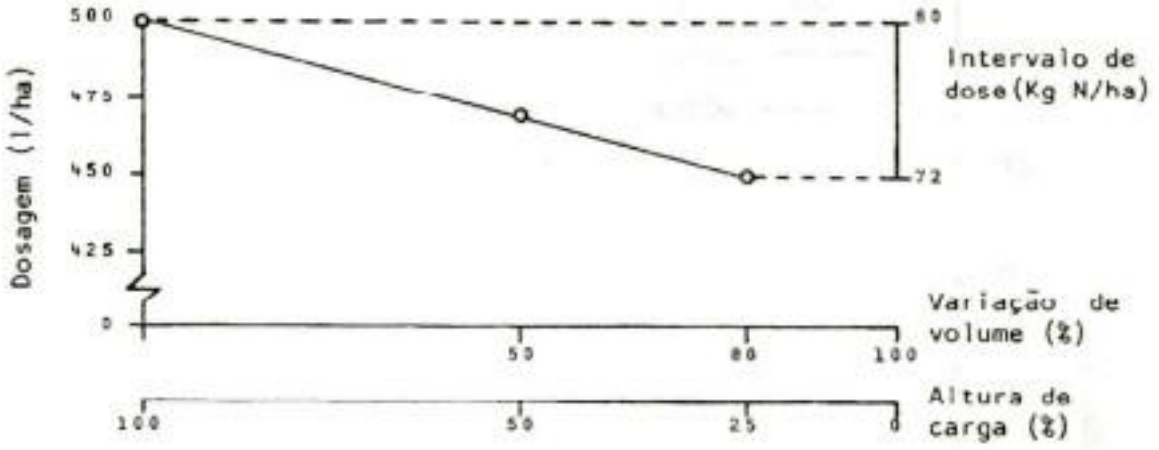
Ainda com relação ao tipo de produto, as soluções, via de regra, não apresentam grandes problemas para serem aplicadas pelos dois tipos de aplicadores. Por outro lado, as suspensões com presença de cristais (cloreto de potássio, por exemplo), apresentam grande efeito abrasivo, principalmente para a centrífuga, reduzindo drasticamente a vida útil da mesma, devido ao desgaste prematuro do rotor, eixo e selo da bomba. A peristáltica também é afetada por esse efeito, implicando somente na troca antecipada da mangueira de borracha, pois nesse tipo de bomba não há contato do fluido com gaxetas, eixos etc. Cabe ressaltar que mecanicamente a substituição de uma mangueira numa bomba peristáltica é muito simples, podendo ser feita pelo próprio tratorista, enquanto que a troca do rotor de uma centrífuga é mais complicada, exigindo a presença do mecânico, ou o envio do aplicador para a oficina.

Outra questão que está associada com a aplicação é a qualidade do fertilizante fluido, principalmente quanto à estabilidade cuja tendência de se precipitar faz com que deva se ter uma eficiente agitação. Tal condição ocorre para suspensões NPK, cuja fonte de fósforo é rocha fosfastada, como algumas fórmulas usadas nas usinas para o plantio da cana-de-açúcar. Nesse sentido, KORNDÖRFER & BOLDRIN (1986) realizaram um estudo utilizando-

Figura 28. Exemplos de duas situações para regulagem do aplicador com bomba peristáltica variando a altura da carga do produto no tanque.

EXEMPLO:- Aplicação de aquamônia em soqueira de cana-de-açúcar em área de vinhaça. Condições: a) dose de nitrogênio - 80 Kg/ha; b) aquamônia - 16%N; c) dosagem da aquamônia - 500 l/ha; d) espaçamento - 1,4 m; e) aplicação no campo - 70 ml/m linear.

Situação 1 - Regulando o aplicador com o tanque cheio.



Situação 2 - Regulando o aplicador com 50% da altura de carga (recomendação)

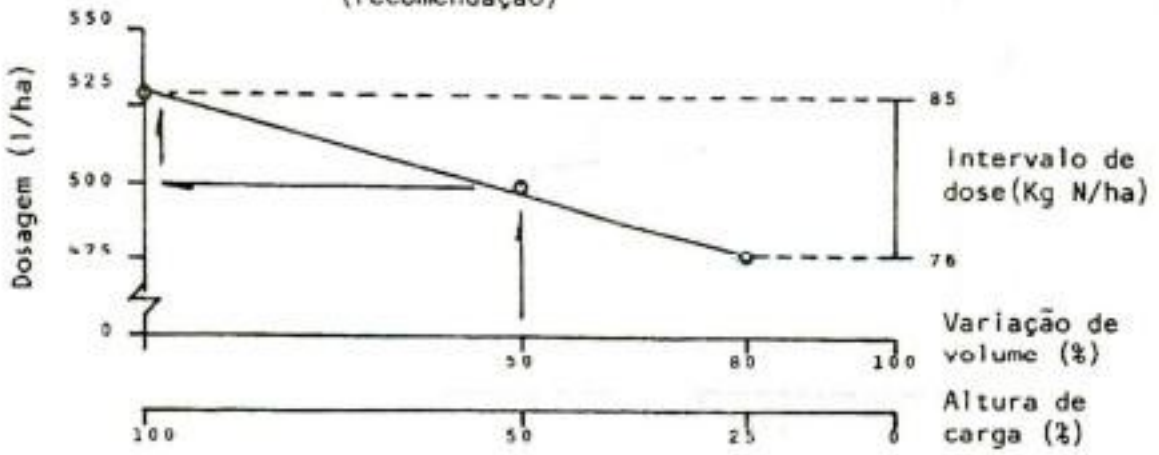


Figura 29. Curva de variação de velocidade para 3 classes de dose do aplicador de fertilizante fluido com bomba peristáltica. Produto: água.

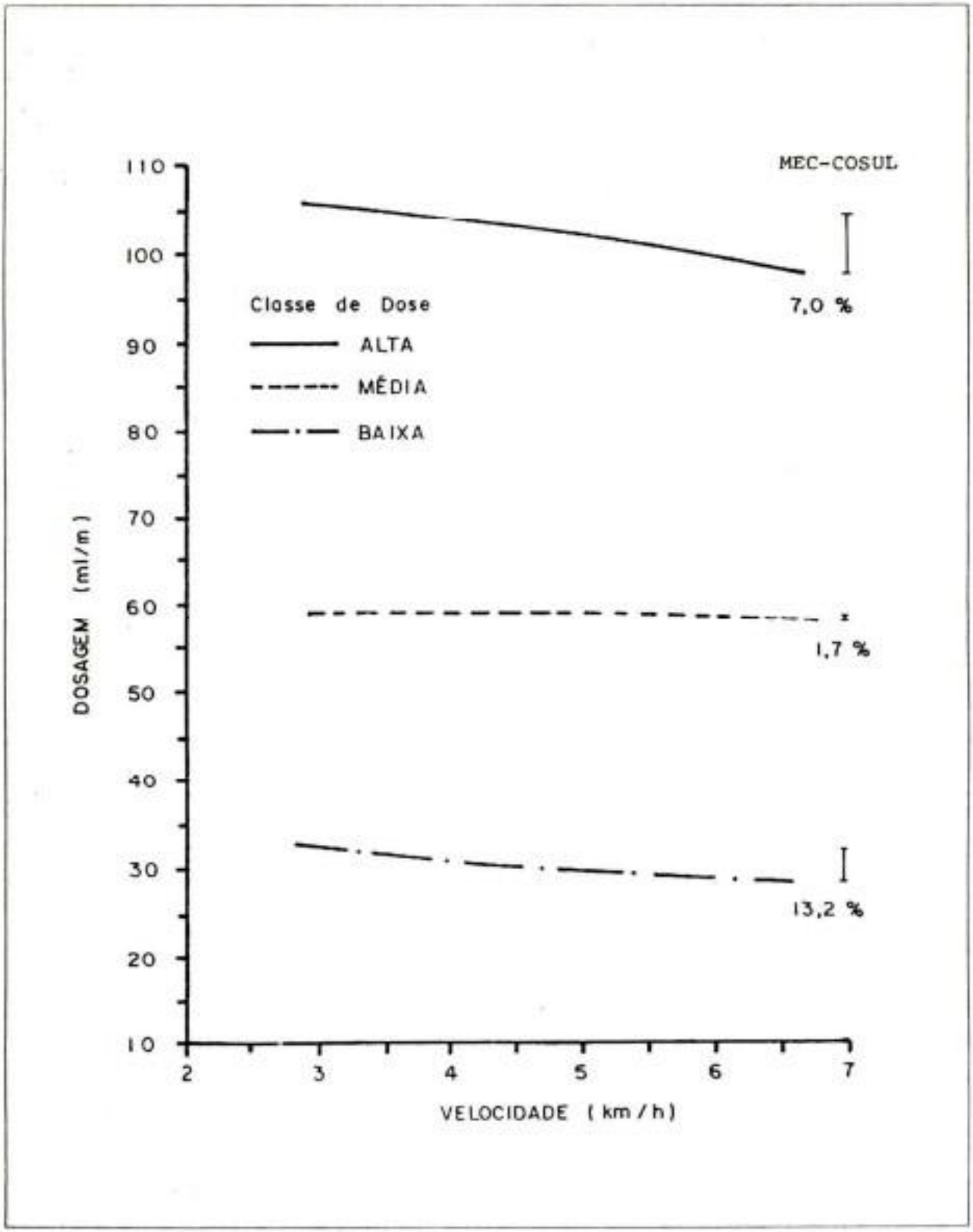


Figura 30. Curva de variação de velocidade para 3 classes de dose do aplicador de fertilizante fluido com bomba peristáltica. Produto: uran.

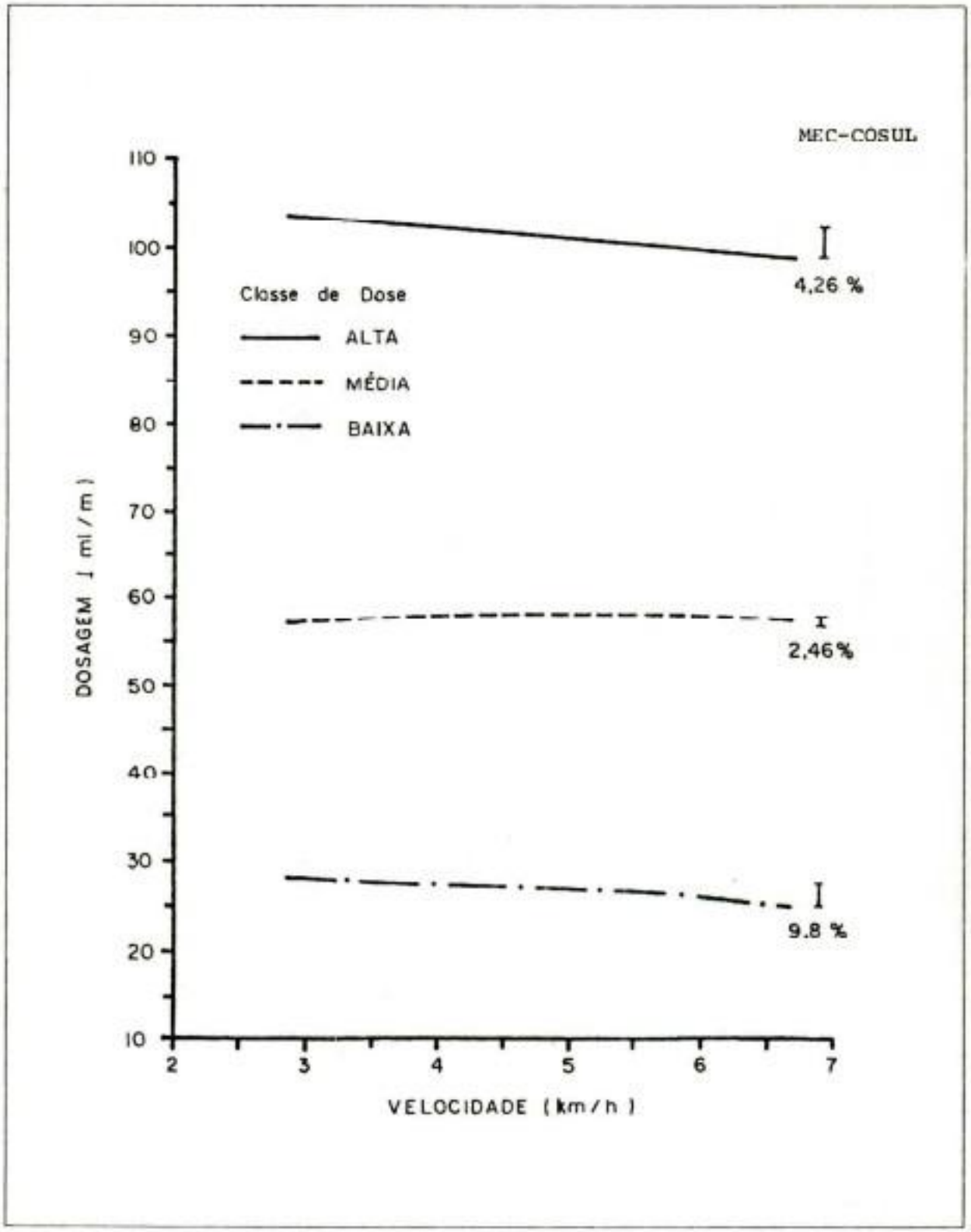
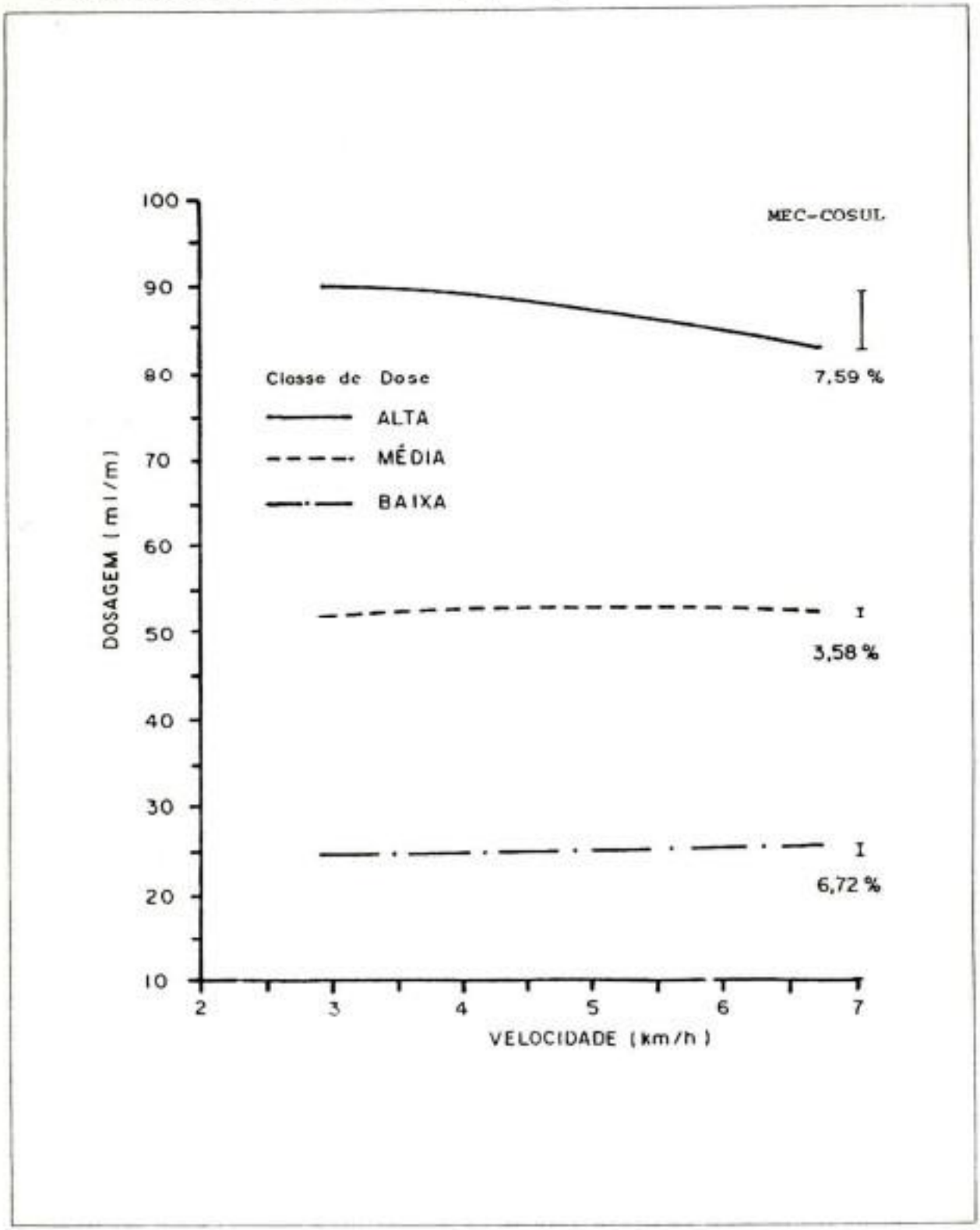


Figura 31. Curva de variação de velocidade para 3 classes de dose do aplicador de fertilizante fluido com bomba peristáltica. Produto: 18-00-18 (suspensão).



se de um aplicador com bomba centrífuga, e portanto, com agitação hidráulica no tanque (retorno da bomba), aplicando fórmulas diferentes quanto à fonte de fósforo, sendo uma somente com ácido fosfórico e outra com presença de rocha fosfatada. Verificaram que ocorreu um pequeno efeito de segregação quando se aplicou a fórmula com rocha fosfatada, de forma que, o fósforo total foi maior no início da aplicação (tanque cheio) que no final (tanque vazio). Diante desse fato, dois aspectos devem ser observados: um diz respeito à eficiência do sistema de agitação e o outro é com relação à tecnologia de produção do fertilizante fluido, bem como um adequado controle de qualidade.

Para as aplicações de aquamônia, que necessita ser injetada no solo para reduzir as perdas de amônia, as atenções devem estar voltadas para o tipo de solo, umidade e profundidade da aplicação.

Quanto ao tipo de solo, de uma maneira geral, os de textura argilosa têm melhor capacidade de retenção que os arenosos. No tocante à umidade do solo no ato da aplicação, as perdas de amônia diminuem à medida que a umidade aumenta, até um certo limite, a partir da qual volta a aumentar. Tal consideração é interessante, pois para a realização da injeção da amônia no solo, através de hastes subsoladoras/escarificadoras, a faixa de umidade do solo favorável é a que apresenta consistência friável, que parece coincidir com aquela de menor perda de amônia. Para a profundidade de aplicação, os solos de textura mais grosseira (arenosos) requerem maiores profundidades sob o ponto de vista da perda de nitrogênio por volatilização, do que os argilosos, porém, sob o enfoque de perdas de nitrogênio por lixiviação, aplicações rasas são mais interessantes. Todavia em termos de propriedades físicas do solo, relacionadas ao cultivo, os arenosos demandam menores mobilizações quando comparados aos de textura fina.

Nas operações que fazem parte da aplicação de fertilizantes fluidos, principalmente quando se utiliza aquamônia, os aspectos relativos à segurança são indispensáveis, pois em determinadas circunstâncias podem provocar efeitos danosos à saúde, como: irritações nos olhos, nariz e garganta; lacrimejamento; tosse, podendo até provocar espasmos respiratórios. Desta forma, nas fases de transporte, transbordo, aplicação ou outra operação de manuseio de aquamônia, recomenda-se o uso de equipamentos de segurança, como luvas de borracha, máscara com cartucho químico, botas e capas impermeáveis.

Os temas abordados sobre a aplicação de fertilizantes fluidos evidenciam a necessidade de se treinar a mão-de-obra, em todos os níveis (tratorista, rurícolas, motoristas, técnicos), para que se alcance o êxito esperado no emprego dessa tecnologia de fertilizaçao.

7. AVALIAÇÕES AGRONÔMICAS REALIZADAS NO BRASIL

7.1. Introdução

Há poucos resultados de pesquisa referentes ao uso de adubos líquidos para aplicação no solo no Brasil. Relatam-se aqui os trabalhos encontrados na literatura nacional em que se usaram adubos líquidos, sendo cada nutriente tratado em separado.

7.2. O nitrogênio nos adubos fluidos

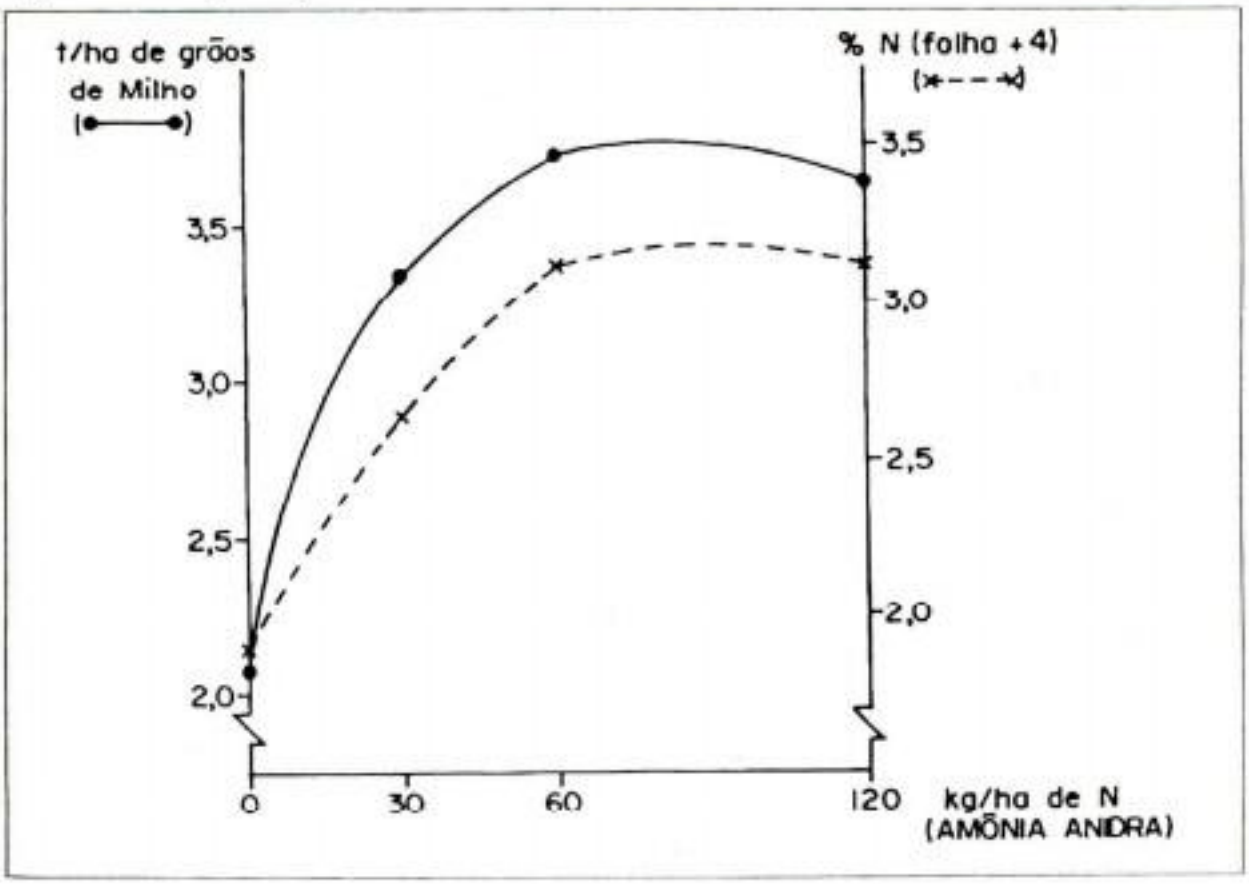
7.2.1. Amônia anidra

O ensaio pioneiro de aplicação da amônia anidra conduzido no Brasil nos anos 60 é o de COBRA NETO & COBRA (1966). Os autores aplicaram amônia anidra na cultura de milho, plantado em solo arenoso, em cobertura um mês após o plantio e a 20 cm de profundidade, sendo que no plantio aplicaram P e K no sulco. Os resultados obtidos mostraram resposta à aplicação do N, elevando a produtividade e o teor foliar deste nutriente (Fig. 32).

A amônia anidra foi aplicada em água de irrigação por GARCIA et al. (1975) e NAKAGAWA et al. (1975), na cultura do tomateiro. Este procedimento foi levado a efeito porque, segundo os autores, este tipo de irrigação constituía uma prática rotineira na citada cultura.

No ensaio de GARCIA et al. (1975) comparou-se a amônia anidra aplicada em 4 doses (6-8-10 e 12 g de N/cova) com 1 dose de sulfato de amônio (6 g de N/cova), doses estas divididas em duas porções iguais e aplicadas aos 30 e 45 dias após o transplante. O equipamento utilizado na aplicação de amônia constou de um cilindro para alta pressão, com registro para contenção da amônia, uma válvula de corte rápido ("shutt-off"), um fluxômetro, um tubo plástico de injeção e na extremidade deste uma agulha hipodérmica para impedir o refluxo de água. Previamente diluiu-se a amônia anidra em água e aplicou-se a solução em

Figura 32. Produção de grãos de milho e teor de N nas folhas.



sulcos em nível com extremidades fechadas, prevenindo-se as perdas de solução no final do sulco. As produções de frutos de tomateiro estão relacionadas no Quadro 13 e mostram uma tendência favorável à amônia anidra, apesar de não ter sido encontrado contraste significativo, pela análise de variância entre as médias.

No ensaio de NAKAGAWA et al. (1975), semelhante ao anterior, diferiu no seguinte: a fonte de N sólido foi o nitrato de amônio em duas doses (6 e 12 g de N/cova) e a amônia anidra nas doses de 6 12 18 e 24 g de N/cova, sendo que o experimento foi repetido em dois locais. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 14 e mostram não existirem diferenças entre as doses e as fontes de N.

No tocante à técnica de aplicação, os autores afirmam que foi apropriada, não havendo dificuldades para atender com grande acuracidade as dosagens estabelecidas. Entretanto, o fluxômetro utilizado teve pequena durabilidade, pois o mesmo era próprio para dosagem de oxigênio. Um aspecto importante é que houve diminuição da permeabilidade do solo à água, provocado pela dispersão da argila, em virtude da alcalinidade da solução, cujo pH esteve próximo de 8.

Em cana-de-açúcar, BRINHOLI et al. (1980a) e BRINHOLI et al. (1980b), compararam o efeito da aplicação de amônia anidra e nitrato de amônio em diferentes doses. Ambas as fontes foram aplicadas em cobertura, sendo que a amônia anidra foi colocada à profundidade de 0,20 m, distante 0,20 m da linha de cana. Os resultados médios são mostrados nas Figuras 33 e 34, em termos de produtividade de colmo; no primeiro ensaio a fonte sólida supera a amônia anidra e no segundo ensaio acontece o contrário. Entretanto quando se analisa em termos de açúcar produzido, ambas as fontes de nitrogênio se equivalem (Quadros 15 e 16), pois não houve diferenças estatísticas entre as médias obtidas.

Em experimento realizado pela Divisão Agronômica da COPERSUCAR, verificou-se uma pequena vantagem da amônia anidra em relação à uréia (Figura 34) embora sem significância estatística e a mesma conclusão foi válida para rendimento de pol.

Diante dos resultados apresentados evidencia-se a possibilidade de utilização da amônia anidra como adubo nitrogenado, como aliás é amplamente demonstrado na literatura internacional. Entretanto, a utilização do produto em escala comercial está condicionada à instalação de infra-estrutura adequada para o armazenamento, transporte, manuseio e aplicação no solo por injeção direta. Por outro lado, no atual estágio tecnológico alguns destes aspectos podem ser melhor equacionados através das soluções nitrogenadas de mais fácil manuseio e aplicação (COPERSUCAR, 1981).

7.2.2. Aquamônia

Sendo a aquamônia apenas mistura de amônia anidra e água e tendo em vista os resultados obtidos com esta, é de se esperar que também a aquamônia se equipare às fontes sólidas de nitrogênio. Os resultados de pesquisa confirmam este aspecto. Por exemplo, em cana-planta e soqueira, demonstrou-se igualmente efeitos do nitrogênio da uréia e aquamônia (Figura 35) e que o efeito da aquamônia é influenciado pelas condições de umidade do solo (SILVA, 1986; DIRIGENTE RURAL, 1987 e SILVA et al., 1988). Uma explicação

Quadro 13. Produção média de frutos tipo Extra, Especial, Primeira e Total (GARCIA et al., 1975).

N	Fertilizante	Produção			
		Extra	Especial	Primeira	Total
g/cova		kg/cova			
6	$(NH_4)_2SO_4$	1,83	1,51	0,56	4,10
6	NH_3	2,52	1,88	0,70	5,25
8	NH_3	2,23	1,79	0,70	4,99
10	NH_3	2,11	1,75	0,52	4,53
12	NH_3	1,97	1,73	0,63	4,64

Quadro 14. Produção média (kg/cova) de frutos de tomate (NAKAGAWA et al., 1975).

N	Fertilizante	Fazenda Lageado LEa [1]	Fazenda São Manoel RPV-RLV [2]
g/cova		kg/cova	
6	NH_4NO_3	3,28	3,17
12	NH_4NO_3	3,28	3,17
6	NO_3	3,19	3,24
12	NO_3	3,22	2,96
18	NO_3	3,49	3,04
24	NO_3	3,28	3,09

(1) Latossolo Vermelho - Escuro fase arenosa.
(2) Regossolo "intergrade" para Podzólico Vermelho Amarelo e "intergrade" para Latossolo Vermelho Amarelo.

Quadro 15. Produção de açúcar em soqueiras (BRINHOLI et al., 1980 a).

Tratamentos		Açúcar		
N	Fonte	Soca	Ressoca 74/75	Ressoca 75/76
kg/ha		t/ha		
15	nitrato de amônio	5,9	4,4	11,0
15	amônia anidra	5,6	4,8	9,2
30	nitrato de amônio	6,4	4,7	10,7
30	amônia anidra	5,4	3,7	8,5
60	nitrato de amônio	6,9	5,5	11,6
60	amônia anidra	5,9	5,2	8,5
Testemunha		5,4	3,6	7,2

Quadro 16. Produção de açúcar em soqueiras (BRINHOLI et al., 1980 b).

Tratamento		Açúcar	
N	Fonte	Soca	Ressoca
kg/ha		t/ha	
30	nitrato de amônio	7,6	6,1
30	amônia anidra	9,0	7,1
60	nitrato de amônio	8,1	6,4
60	amônia anidra	9,4	7,7
120	nitrato de amônio	8,7	7,2
120	amônia anidra	7,6	6,4
Testemunha		6,2	5,1

Figura 33. Resultados médios de produtividade de colmos de cana-de-açúcar.

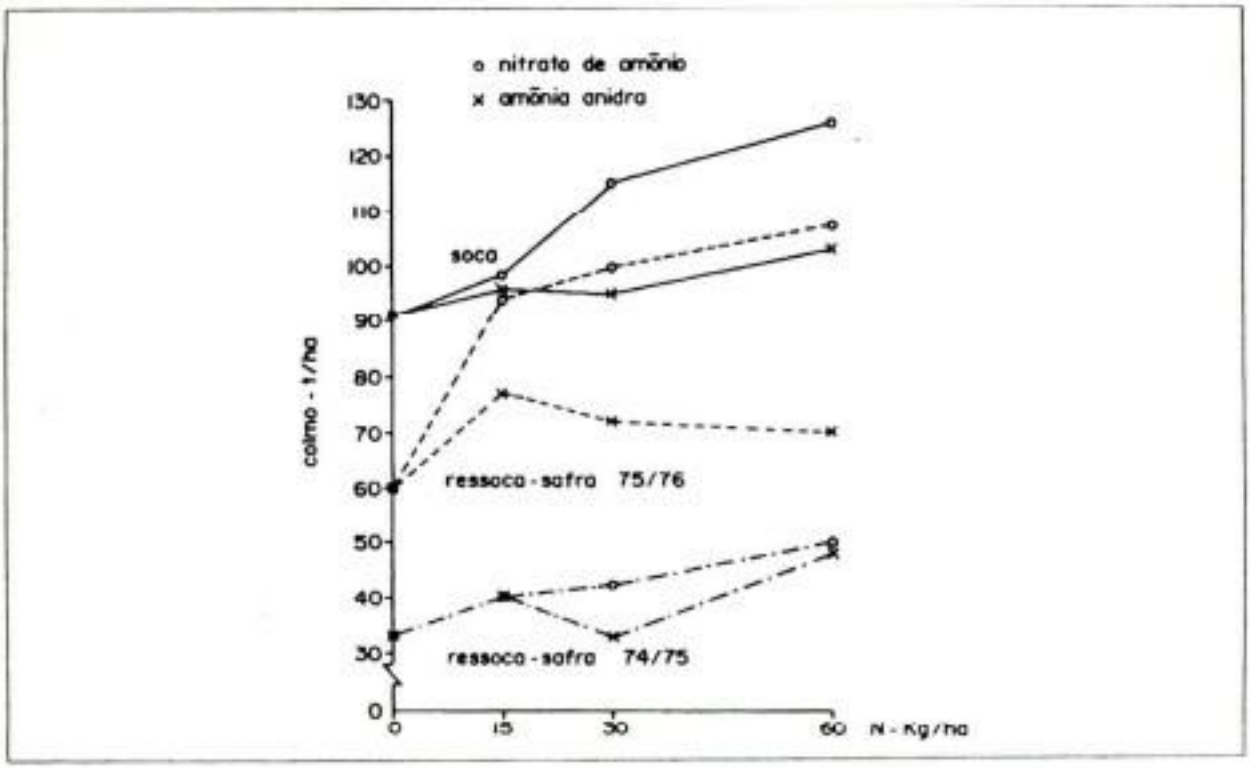


Figura 34. Resultados médios de produtividade de colmos de cana-de-açúcar.
Fonte: BRINHOLI et al. (1981b).

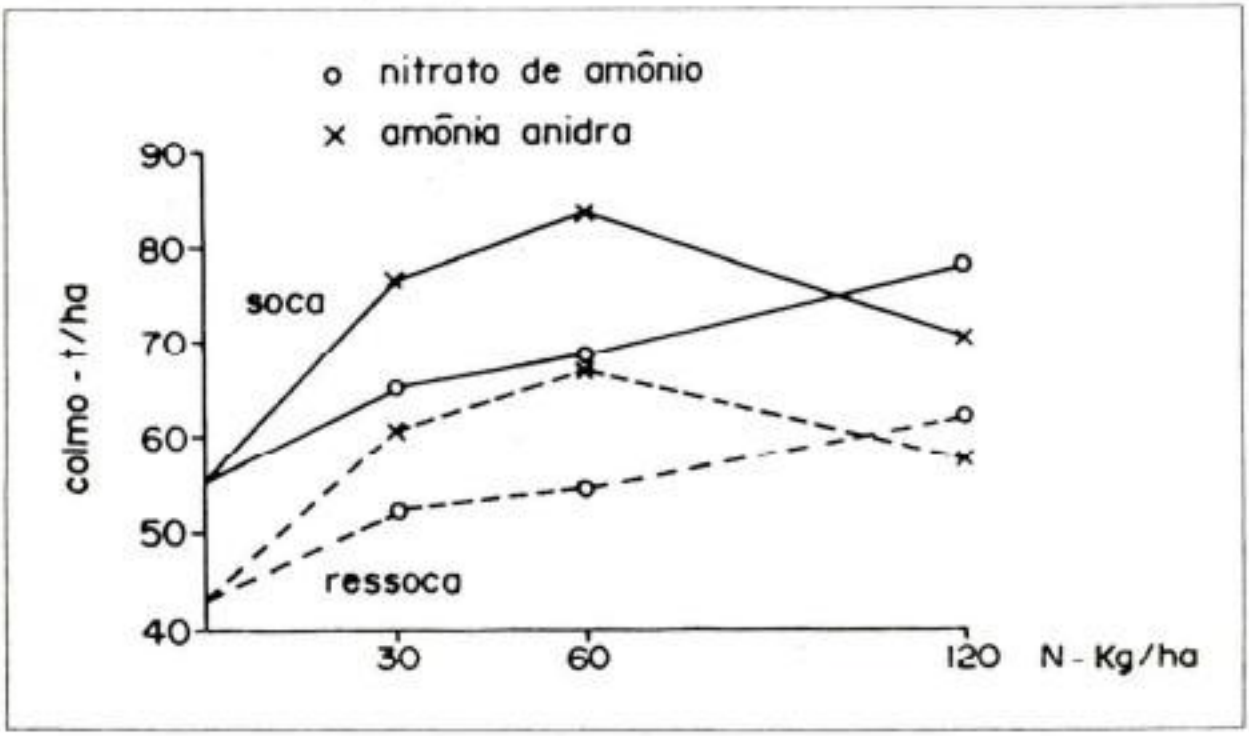


Figura 35. Resultados médios (2 variedades) de produtividade de colmos de cana-de-açúcar em Latos-solo Roxo.
Fonte: COPERSUCAR, 1981, e BITTENCOURT, s.d.

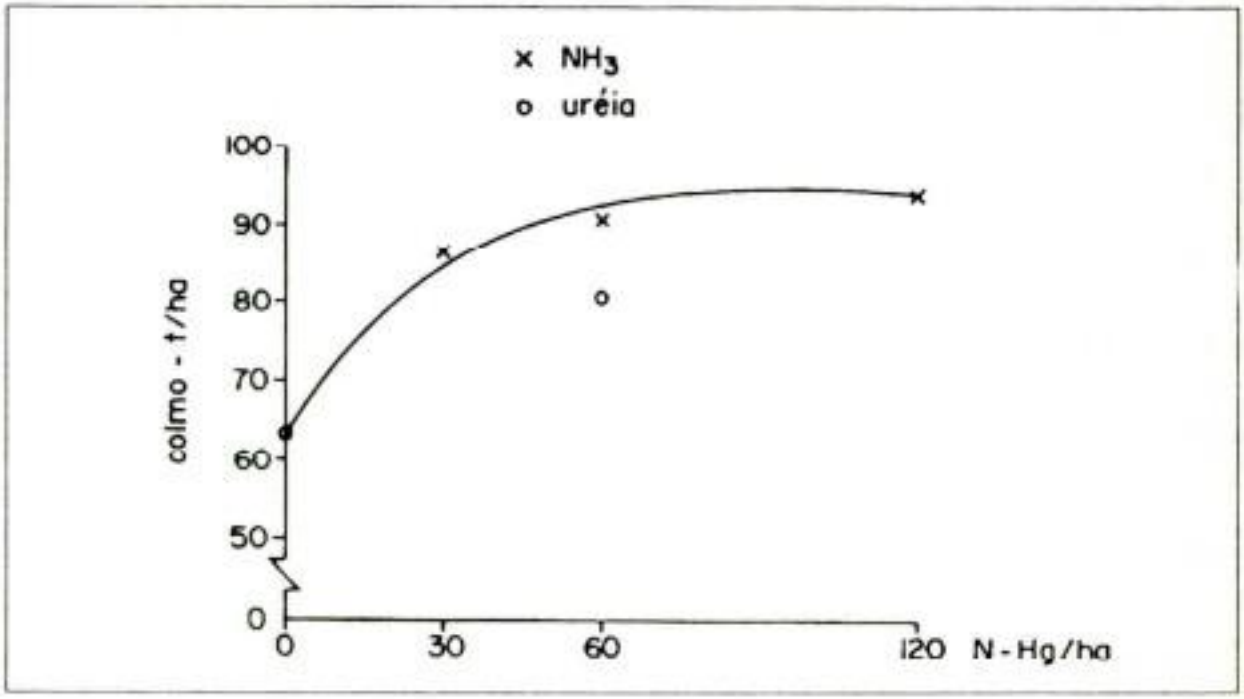
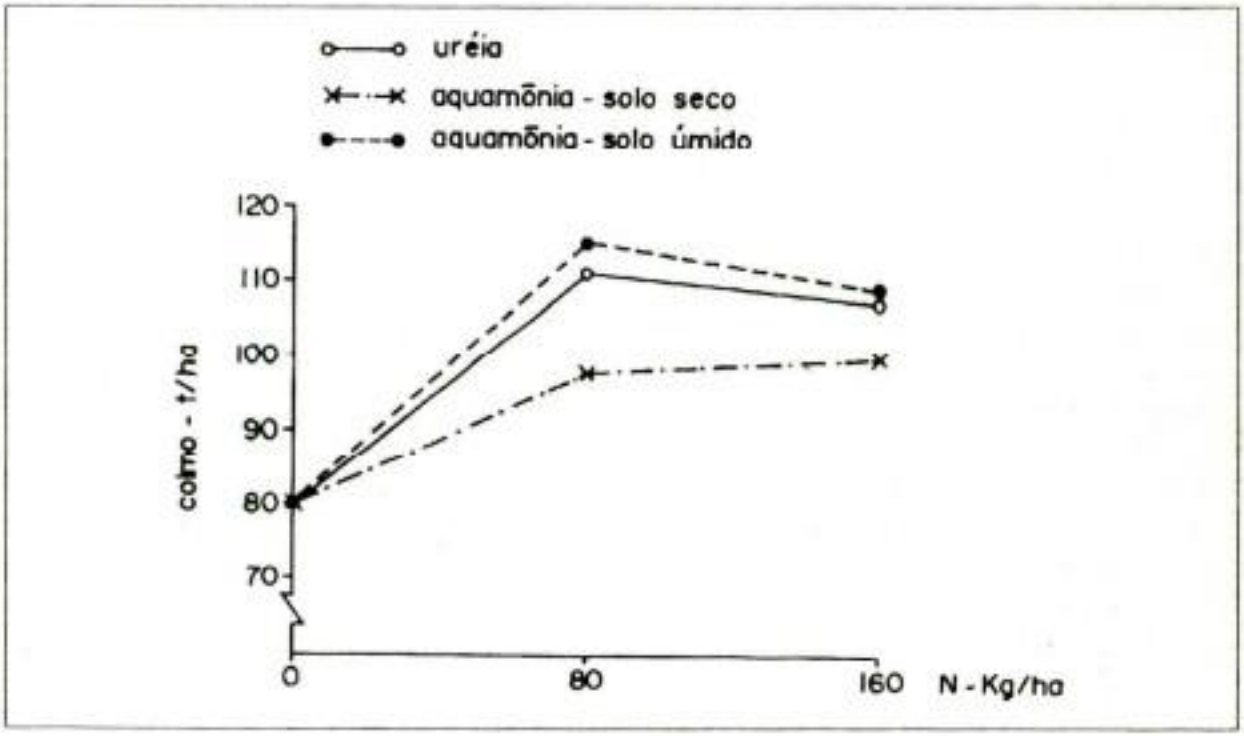


Figura 36. Resultados médios de produtividade de colmos de cana-de-açúcar.
Fonte: SILVA, 1986; DIRIGENTE RURAL, 1987 e SILVA et al., 1988.



provável para este fato seria a volatilização maior de amônia em solo seco. Um motivo de grande interesse pela aquamônia é a sua utilização em soqueira fertilizadas com vinhaça (Figura 36).

Os resultados mostrados por PENNA & FIGUEIREDO, (1984), mostraram a equivalência entre a uréia e a aquamônia (Quadro 17), o que também é confirmado por SILVA et al. (1988), conforme Figura 37 e EMBRAPA (1988), conforme Figura 38.

Um estudo interessante de comparação entre a aquamônia e a uréia foi feito por TRIVELIN et al. (1986) estudando, por meio de metodologia isotópica com ^{15}N, o aproveitamento pela cultura do nitrogênio aplicado. Os autores verificaram não haver diferença significativa entre as fontes de nitrogênio quanto à produção de massa verde, número de perfilhos por metro linear, porcentagem de nitrogênio total e porcentagem de nitrogênio proveniente dos fertilizantes nas diferentes partes da cana. Como conseqüência não houve diferença entre as fontes nitrogenadas nas quantidades absorvidas de nitrogênio dos fertilizantes pela soqueira da cana-de-açúcar (Quadro 18). Dos 90 kg N/ha aplicados houve uma eficiência média de utilizaçao total de 38%, estando 13% nas folhas, 7% nas pontas e 18% nos colmos. A contribuição do nitrogênio do fertilizante ao total deste nutriente contido na cana-de-açúcar representou em média apenas 15%.

Uma preocupação seria a possibilidade de maior volatilização de $N\text{-}NH_3$ da aquamônia em relação à fonte de nitrogênio convencional (uréia). LARA et al. (1987), fizeram medidas do $N\text{-}NH_3$ volatilizado por dois métodos, após a aplicação a 15 cm de profundidade de uréia e aquamônia (100 kg/ha de N) em soqueira (1º corte) que recebeu vinhaça (100 m^3/ha). Como utilizaram ^{15}N puderam separar o $N\text{-}NH_3$ volatilizado proveniente do fertilizante, do nitrogênio proveniente do solo. Os resultados mostram que o processo de volatilização não constitui uma via de perda significativa do nitrogênio aplicado, não havendo diferenças significativas entre as fontes (Quadro 19).

7.2.3. Uran

O uran é uma mistura aquosa de nitrato de amônio e uréia e portanto o nitrogênio nele contido deve ter o mesmo valor agronômico que aquele contido nas matérias-primas. Os resultados de pesquisa confirmam este aspecto.

Em cana-de-açúcar ALONSO et al. (1984) compararam diversas fontes de nitrogênio, inclusive uran, na produtividade de colmo (Figura 39). Verificaram que, tanto em aplicação em superfície como em profundidade, na cana soca cultivada em três solos diferentes, as fontes motivaram produções estatisticamente iguais.

Os resultados apresentados no Quadro 20 evidenciam a igualdade das fontes nitrogenadas quanto à produtividade de colmos de cana (DIRIGENTE RURAL, 1987 e SILVA et al., 1988). Observa-se também que não houve diferença entre as duas maneiras de aplicação do uran, seja aplicado em superfície e incorporado com cultivador ou em profundidade.

Para outras culturas também existem poucos resultados. Por exemplo, em algodoeiro (DIRIGENTE RURAL, 1987) comparou-se uran com uréia e sulfato de amônio aplicados no plantio.

Os resultados apresentados na Figura 40 mostram a igualdade das fontes nitrogenadas sólidas e líquidas.

Em cafeeiro, GARCIA et al., (1983), demonstraram que a uréia e o uran deram produções de café semelhantes, durante três safras (Quadro 21).

Quadro 17. Rendimento agrícola e industrial em função da dose e forma de nitrogênio em soqueiras fertilizadas com vinhaça (PENNA & FIGUEIREDO, 1984).

Tratamentos	Colmos t/ha	Açúcar kg/ha	Açúcar t/ha
Vinhaça	54	102,3	5,6
Vinhaça + 40 N (uréia)	63	108,4	7,0
Vinhaça + 80 N (uréia)	68	110,0	7,7
Vinhaça + 80 N (aquamônia)	68	108,0	6,4

Quadro 18. Produtividade de massa verde, quantidade de nitrogênio total e proveniente dos fertilizantes e eficiência de utilização do nitrogênio aplicado (TRIVELIN, et al., 1986).

Tratamento 90 kg N/ha	Parte amostrada	Massa verde	N-Total (1)	NPPF (2)	EUFT (3)
		t/ha	kg/ha	kg/ha	%
Aquamônia	Folhas secas	22	86	13	14
	Colmos	117	126	16	18
	Pontas	16	48	6	7
	Total	155	260	34	38
Uréia	Folhas secas	21	71	12	13
	Colmos	108	116	17	19
	Pontas	14	45	6	7
	Total	143	232	35	39

(1) Nitrogênio total.
(2) Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante.
(3) Eficiência de utilização do nitrogênio aplicado.

Quadro 19. Volatilização de amônia, de uréia e aquamônia aplicada na soqueira da cana-de-açúcar. Valores médios de dois métodos de coleta de amônia volatilizada (LARA et al., 1987).

Tratamentos		$N\text{-}NH_3$ volatilizado		
		Períodos		
		0-30 dias	31-60 dias	0-60 dias
		kg/ha		
Uréia	NVPF[1]	1,5	1,1	2,6
	NVPS	0,8	1,9	2,7
	NVT	2,3	3,0	5,3
Aquamônia	NVPF	0,3	0,3	0,6
	NVPS	0,7	1,1	1,8
	NVT	1,0	1,4	2,4

(1) NVPF = Nitrogênio volatilizado proveniente do fertilizante.
NVPS = Nitrogênio volatilizado proveniente do solo.
NVT = NVPF + NVPS.

Quadro 20. Produtividade de colmos de cana soca (DIRIGENTE RURAL, 1987 e SILVA et al., 1988).

Forma de aplicação	Nitrogênio	Doses de N	Colmo
		kg/ha	t/ha
Superfície e incorporação	Testemunha	0	82
com cultivador	Uréia	80	111
Solo seco	Uréia	160	107
	Uran	80	95
	Uran	160	112
Profundidade -	Testemunha	0	78
Solo seco	Aquamônia	80	98
	Aquamônia	160	100
	Uran	80	100
	Uran	160	110
Profundidade -	Testemunha	0	78
Solo úmido	Aquamônia	80	115
	Aquamônia	160	108

Figura 37. Resultados de três ensaios em cana-de-açúcar, 1ª soca (em A e C a fonte de K foi a vinhaça e em B, o cloreto de potássio).
Nota: LV - Latossolo Vermelho Amarelo Orto; TR - Terra Roxa Estruturada.

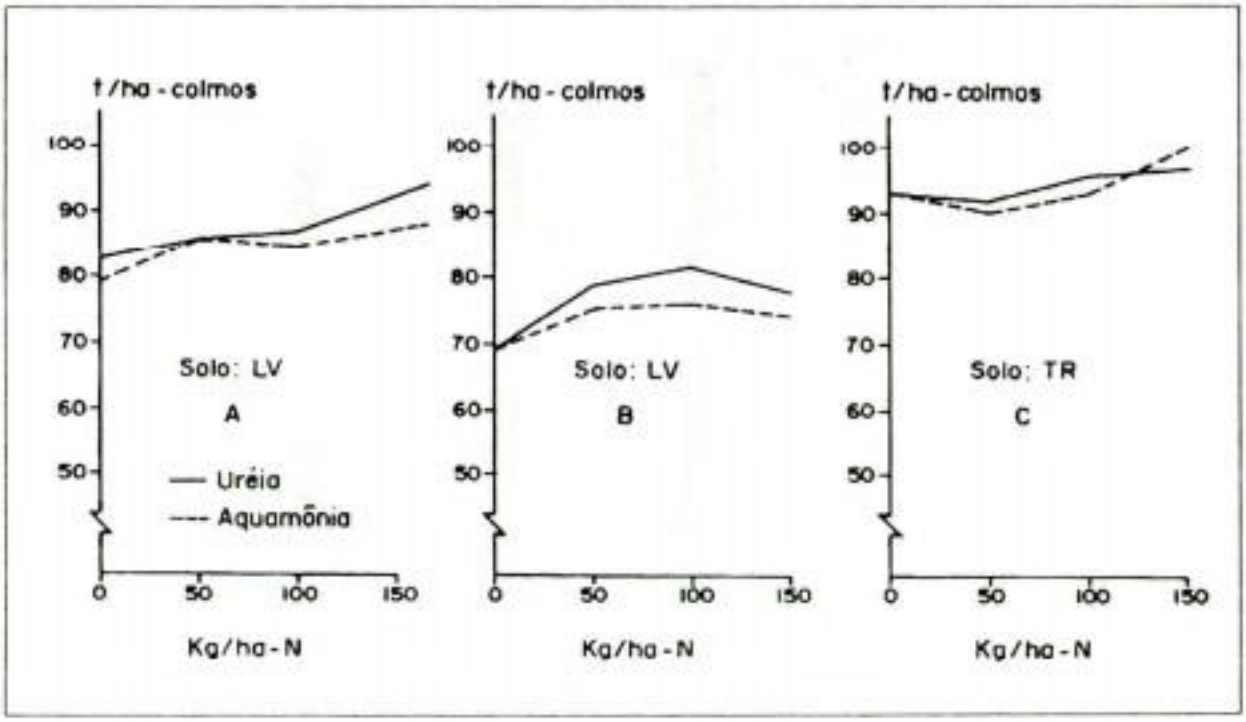


Figura 38. Produtividade de colmos, média de 3 socas, em função de fontes e doses de nitrogênio.
Fonte: EMBRAPA, 1988.

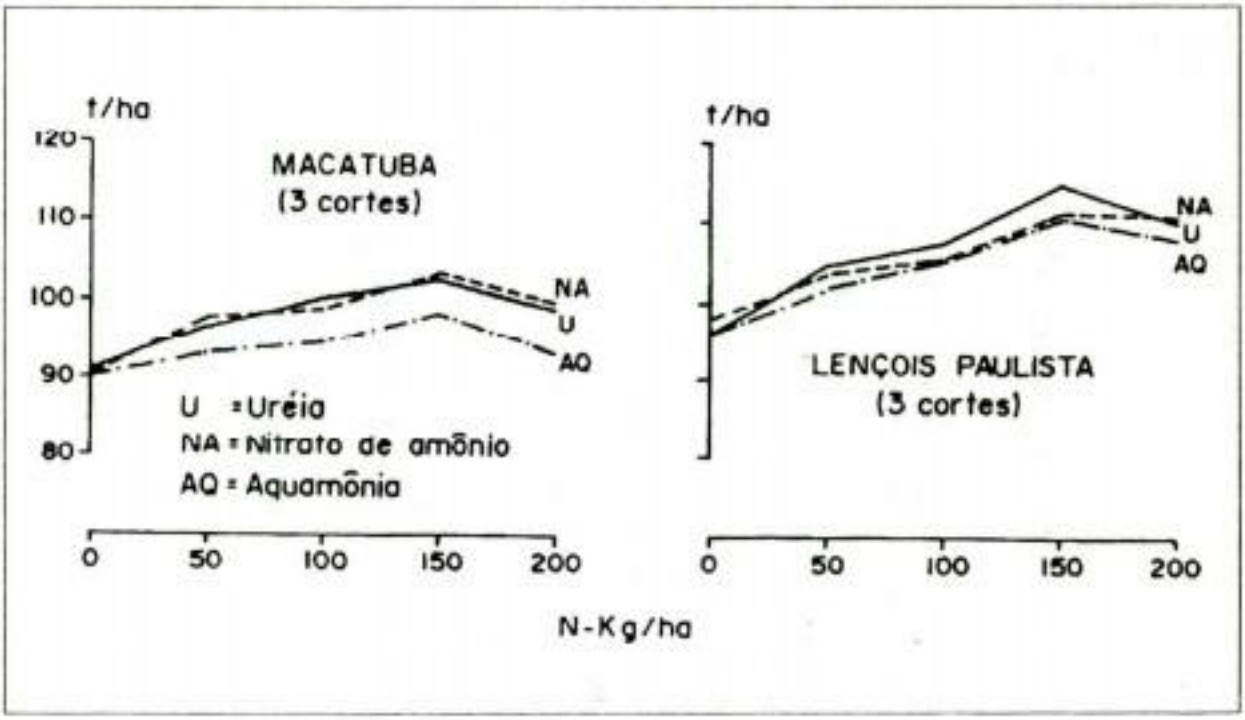


Figura 39. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar.
Fonte: ALONSO et al., 1984.

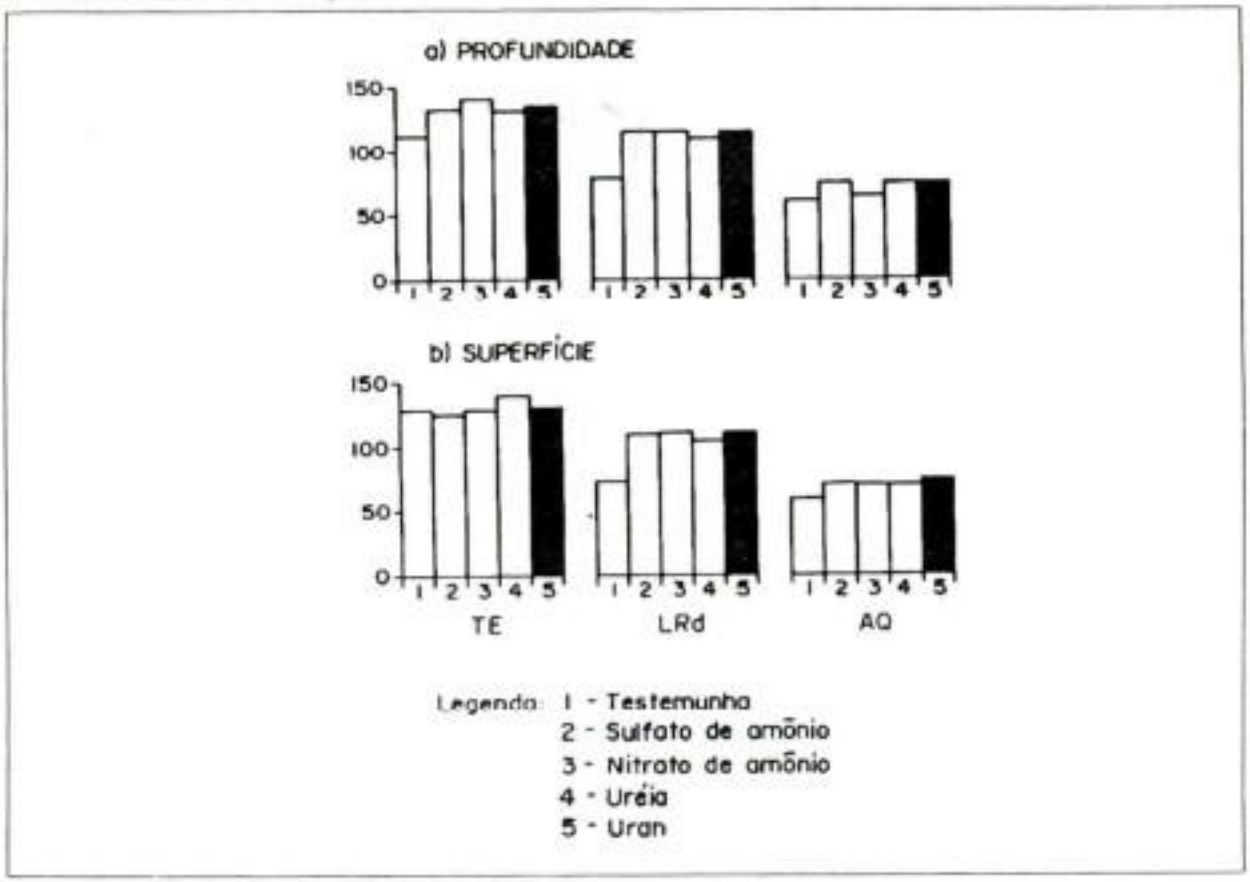
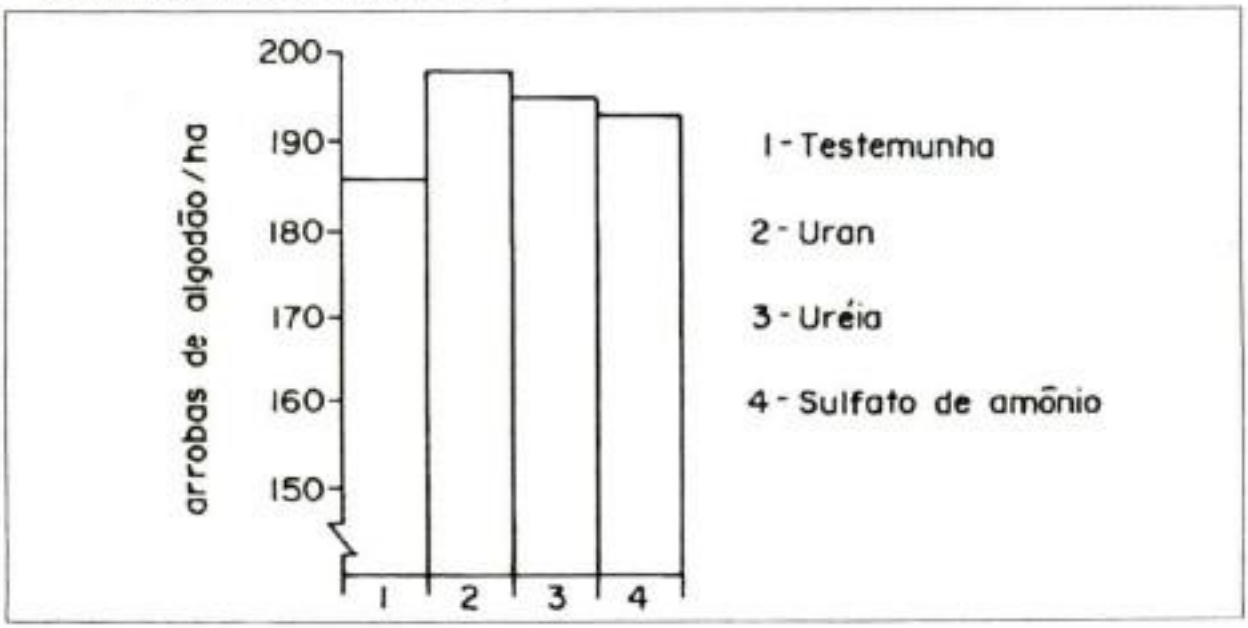


Figura 40. Produtividade de algodão em função de fontes de nitrogênio.
Fonte: DIRIGENTE RURAL, 1987.



Quadro 21. Produções de café durante três safras (GARCIA et al., 1983).

Tratamento [1]	1981	1982	1983	Média
	sacas beneficiadas/ha			
Uréia	27,4	4,0	25,8	19,1
Uran	22,7	5,9	29,2	20,3

(1) Os adubos foram parcelados em 3 vezes.

7.2.4. Conclusão

Quando dois ou mais adubos nitrogenados são aplicados ao solo de forma a fornecerem a mesma quantidade de nitrogênio e propiciarem iguais aumentos de produtividade, diz-se que eles possuem eficiência igual.

Como ficou amplamente demonstrado pelos resultados apresentados pode-se dizer que os adubos nitrogenados fluidos têm eficiências iguais às eficiências dos adubos nitrogenados sólidos, desde que usados de acordo com as recomendações técnicas.

É evidente que a comparação feita não leva em conta o aspecto econômico da adubação. Assim, devido à variação de preço por unidade de nitrogênio aplicado das diferentes fontes, o custo total da adubação é o fato que determinará a escolha da fonte nitrogenada que será empregada.

7.3. O fósforo nos adubos fluidos

Na fabricação dos adubos fluidos no Brasil, há duas tendências com referência à fonte de fósforo: a primeira é a utilização de ácido fosfórico e a segunda é a utilização de rocha fosfatada que é uma tecnologia tipicamente nacional (KORNDÖRFER, 1987). A solubilização da rocha fosfatada é feita com ácido fosfórico ou ácido sulfúrico e tem por objetivo converter o fósforo menos solúvel numa forma prontamente disponível para os vegetais. A taxa de acidulação ou relação de acidulação em uso pelas fábricas de adubos fluidos, dada pela quantidade de P_2O_5 do ácido/quantidade de P_2O_5 da rocha, varia de 2,1 a 2,7 (BITTENCOURT, 1984).

A eficiência agronômica necessita ser avaliada a curto, médio e longo prazo para demonstrar a viabilidade de um adubo fosfatado. Uma avaliação preliminar pode ser feita em laboratório, analisando fósforo extraído por água ou ácidos orgânicos (ácido cítrico a 2% e citrato de amônio). Segundo GOEDERT & SOUZA (1984) este procedimento é válido para aquilatar a eficiência a curto prazo, ou seja, para a cultura imediata à aplicação. No que se refere à eficiência a longo prazo (incluindo o efeito residual), existem poucos dados disponíveis, mas esses indicam que a mesma avaliação é também válida a longo prazo. É critério geral que um produto com baixa solubilidade em ácido cítrico a 2% ou citrato neutro de

amônio tem poucas chances de apresentar uma eficiência agronômica aceitável. Na literatura nacional há somente um trabalho que compara as solubilidades de diferentes misturas de rocha fosfatada e ácido fosfórico (RF e AF) (KORNDÖRFER, 1988). Verifica-se pelo Quadro 22 que somente parte do fósforo da rocha fosfatada é solubilizado pelo ácido fosfórico.

Com dados de KORNDÖRFER (1987) foram elaboradas as figuras 40 e 41. Verifica-se que a conversão do fósforo da rocha em fósforo solúvel em água diminui à medida que entra mais rocha fosfatada na mistura. A conversão de P_2O_5 insolúvel em água para solúvel é nula quando a proporção de P_2O_5 da rocha é de 60% e vai crescendo até um máximo de 100%, quando a proporção é de 10% de rocha, considerando que 5% do P_2O_5 do ácido fosfórico não é solúvel. Quando se analisa a solubilidade do P_2O_5 do ácido cítrico a 2% acontece algo bastante semelhante (Figuras 41 e 42).

Os valores de % P_2O_5 total adicionado que se torna solúvel em AC teriam valores ainda menores se fossem descontados 12% que já eram solúveis em AC antes do ataque pelo ácido fosfórico (considerando os valores de 34% de P_2O_5 total e 4% P_2O_5 solúvel em AC - ácido cítrico a 2%). Os resultados apresentados demonstram que se a proporção de RF (rocha fosfatada) ultrapassar a 10% do P_2O_5 total, deverá haver uma diminuição bastante acentuada na eficiência, não se considerando o fato de que este fósforo poderá eventualmente se solubilizar com o passar do tempo, o que é bastante improvável.

BITTENCOURT (1984), utilizando rocha fosfatada e ácido sulfúrico, numa relação ácido/rocha de 0,6, isto é, 600 kg de ácido sulfúrico 100% para cada tonelada de rocha fosfática, encontrou eficiência de solubilização de aproximadamente 90%, decrescendo à medida que a relação diminuia.

Quadro 22. Análise do fósforo das misturas de diferentes quantidades de rocha fosfatada e ácido fosfórico, com 150 ml de água e agitação por 10 minutos (KORNDÖRFER, 1987).

Misturas [1]		Misturas [2]		P_2O_5 solúvel [3]			
AF	RF	AF	RF	água	CNA + água	AC [4]	total
— % —		— g —		— % —			
100	0	68,7	-	16,7	17,1	17,0	17,5
90	10	61,8	11,6	16,1	16,4	16,4	16,7
80	20	55,0	23,2	13,6	14,2	15,0	16,2
70	30	48,1	34,8	11,6	12,8	13,6	16,3
60	40	41,2	46,4	9,6	10,7	11,9	16,0
50	50	34,3	58,1	8,7	10,1	10,6	16,6
40	60	27,5	69,7	6,2	7,4	9,3	16,5

(1) % P_2O_5 do fósforo total proveniente do ácido fosfórico (AF) ou fosfato natural (RF).
(2) g de ácido fosfórico e rocha fosfatada na mistura.
(3) CNA = citrato neutro de amônio, AC = ácido cítrico a 2%.
(4) AC = ácido cítrico a 2%.

Figura 41. Efeito da relação P_2O_5 (rocha)/P_2O_5 (ácido) sobre a solubilidade do fósforo da rocha em ácido cítrico a 2% (AC).

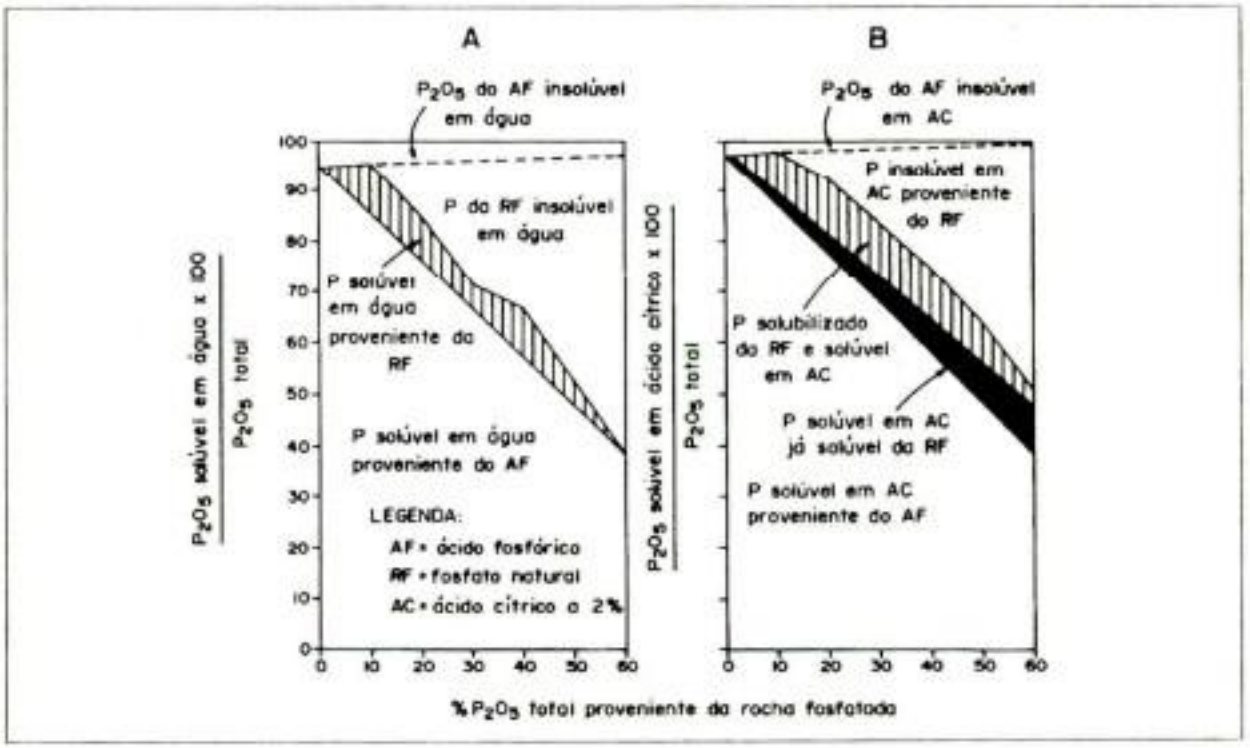


Figura 42. Efeito da relação P_2O_5 (rocha)/P_2O_5 (ácido) sobre a porcentagem de fósforo da rocha fosfatada (RF) que se solubiliza em água e ácido cítrico a 2% (AC).

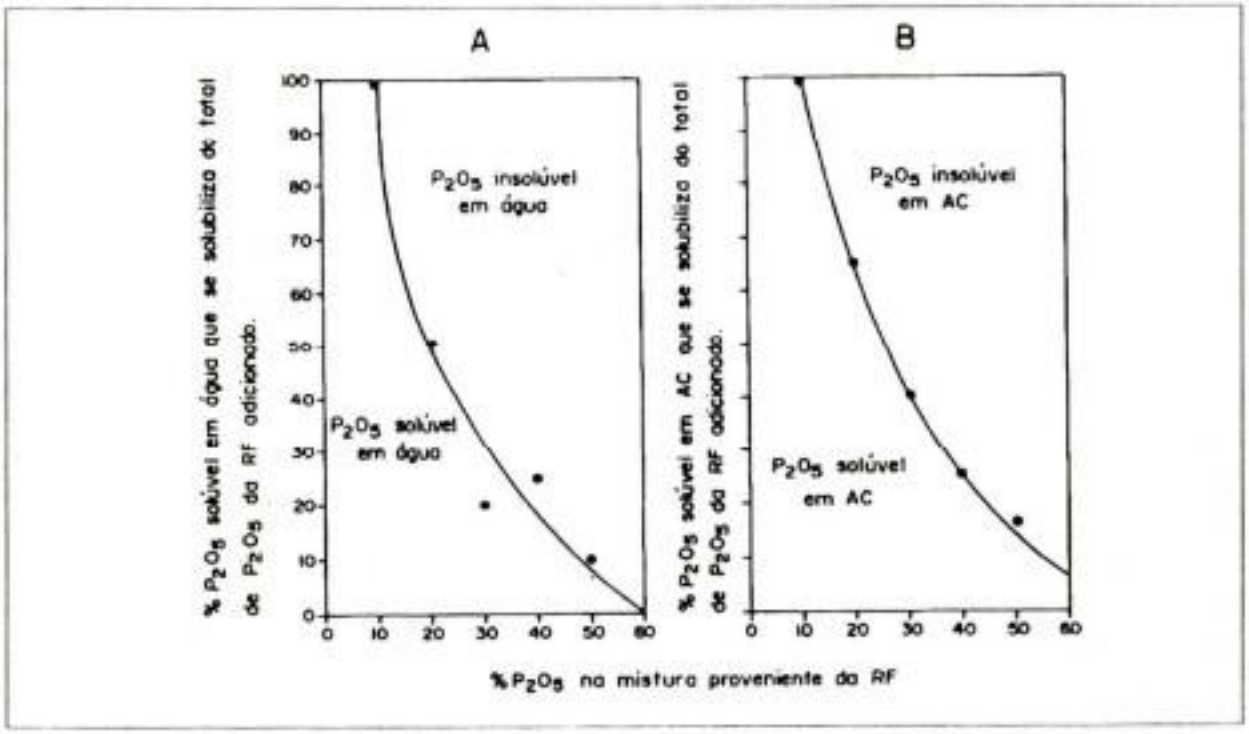
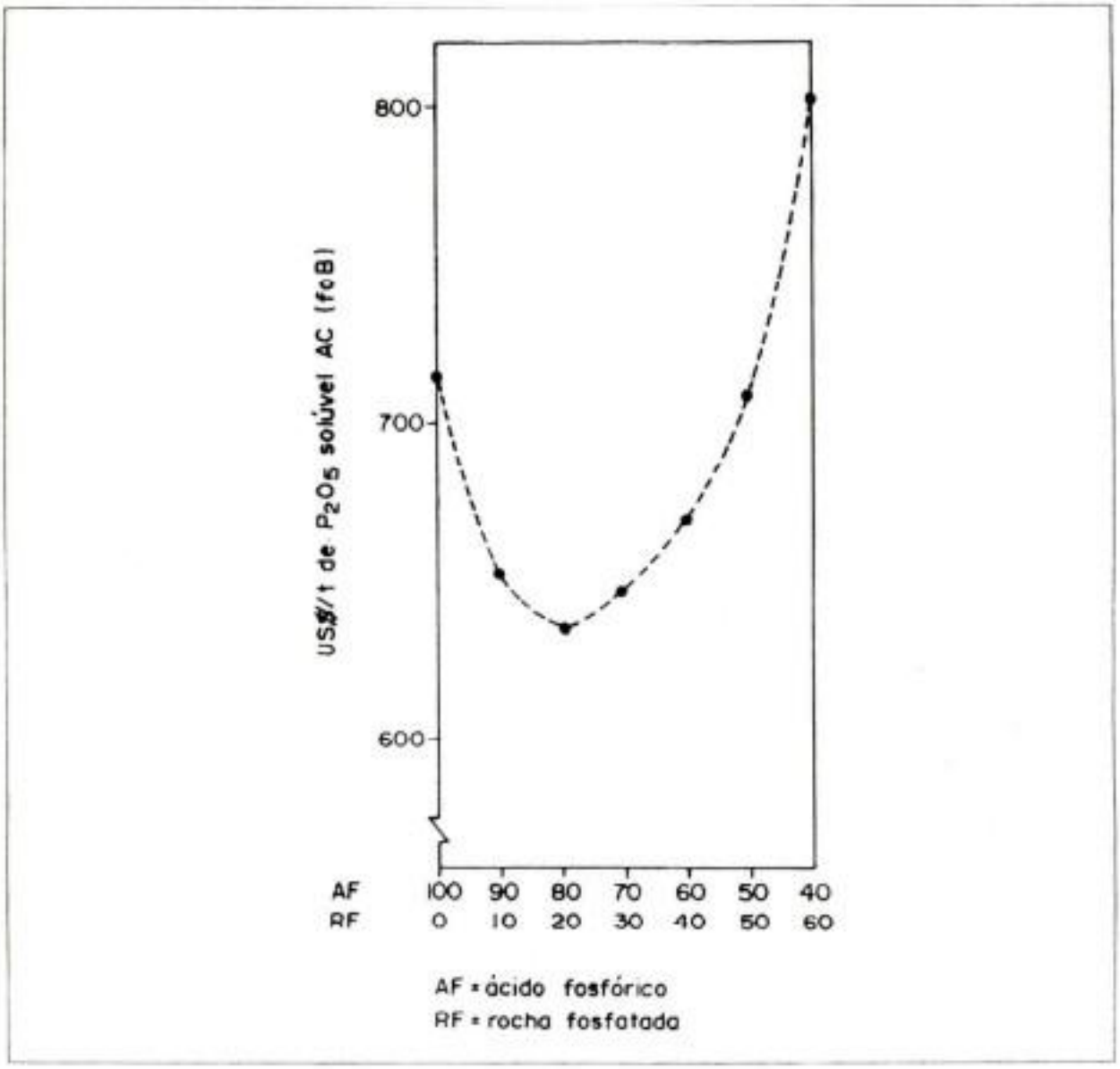


Figura 43. Custo de uma tonelada de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%.



A não solubilização de P_2O_5 da rocha fosfática faria com que o custo de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico aumentasse. Tomando-se por base os preços encontrados em YAMADA (1985) e as porcentagens de solubilização da rocha fosfática pelo ácido recalculados de KORNDÖRFER (1987), elaborou-se a figura 43. Se tomar por base o P_2O_5 solúvel em ácido cítrico com aquele realmente efetivo, verifica-se pela Figura 43 que até 40% de P_2O_5 na mistura, apesar da baixa solubilização do P_2O_5 da rocha fosfática pelo ácido fosfórico, obtém-se na mistura um fósforo solúvel em ácido cítrico mais barato que o P_2O_5 solúvel em ácido fosfórico. Para estes cálculos tomam-se por base que a rocha fosfática tem 34% de P_2O_5 total e 4% solúvel em ácido cítrico, custando US$ 357,00/t.

Entretanto há outros meios de se medir a eficiência agronômica, que exigem prazos relativamente longos (GOEDERT & SOUZA, 1984). O modo mais usado pela pesquisa é a obtenção de índices, calculados com base em dados experimentais, que representam essa eficiência. Os índices mais comuns são: índice de eficiência agronômica (IEA) e o equivalente superfosfato triplo (Eq. ST).

Para obtenção do IEA, são comparadas as quantidades de fósforo extraídas pela planta ou o rendimento obtido pelo uso da fonte que está sendo avaliada em relação à fonte escolhida como referência. As seguintes fórmulas poderão ser usadas se tomarmos o superfosfato triplo (ST) como referência:

$$(1)\ IEA = \frac{\text{P retirado do tratamento - P da testemunha}}{\text{P retirado de ST - P da testemunha}} \times 100;$$

$$(2)\ IEA = \frac{\text{kg/ha produzido no tratamento - kg/ha da testemunha}}{\text{kg/ha produzido no ST - kg/ha da testemunha}} \times 100.$$

O equivalente superfosfato triplo (Eq. ST) se refere à relação porcentual entre a dose de ST e a da fonte testada, necessárias para se obter a mesma produção.

Na literatura nacional encontrou-se apenas um experimento no qual se avalia a eficiência agronômica de fontes sólidas e líquidas de fósforo. O experimento de KORNDÖRFER et al., (1988) é bastante ilustrativo. No Quadro 23 estão os resultados de matéria seca de cana-de-açúcar e quantidade de fósforo extraído até os 7 meses. Com estes resultados calcularam-se os IEA também constantes desse Quadro.

Os resultados apresentados esclarecem que o ácido fosfórico e a mistura de ácido fosfórico e rocha fosfática possuem IEA inferiores ao ST. Isto quer dizer que são inferiores tanto na produção de matéria seca quanto no fornecimento de fósforo à cana-de-açúcar.

Neste mesmo experimento os autores obtiveram produções de colmos que foram analisadas tecnologicamente e são mostradas no Quadro 24.

Verifica-se portanto a inferioridade do ácido fosfórico e da mistura deste com rocha fosfática em relação ao supertriplo. Pode-se explicar o fato dizendo-se que o ácido fosfórico teve parte de seu fósforo insolubilizado no solo e que o fósforo da rocha fosfática só foi solubilizado em parte pelo ácido fosfórico, como foi constatado por KORNDÖRFER (1987).

Com os dados constantes do Quadro 24 pode se construir a Figura 44. Por este gráfico obtêm-se as doses de supertriplo que seriam necessárias para se obter a mesma produção que 100 kg/ha de P_2O_5 na forma de ácido fosfórico.

Obtêm-se então os índices de 45 e 82% para as fontes de ácido fosfórico e rocha fosfatada respectivamente. Isto quer dizer que são necessários apenas 45 e 82 kg/ha de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo para se obter a mesma produção que 100 kg/ha de P_2O_5 na forma de mistura e ácido fosfórico respectivamente. KORNDÖRFER et al. (1988) fizeram a

avaliação econômica do experimento verificando que a fonte que proporcionou maior retorno econômico foi o superfosfato simples, conforme o Quadro 25.

As outras fontes de fósforo nos adubos fluidos são as fórmulas: 10-30-00 e 06-30-00, que são obtidas da reação entre amônia anidra ou aquamônia com ácido fosfórico. O produto resultante é fosfato de amônio líquido, que é empregado nas misturas a frio, dando origem a diferentes formulações. Acredita-se que este fósforo tenha uma eficiência semelhante à do ácido fosfórico já comentado.

Quadro 23. Produção de matéria seca, extração de fósforo (7 meses) e índices de eficiência agronômica.

Tratamentos	Dose P	Matéria seca		fósforo	
	kg/ha	t/ha	IEA	kg/ha	IEA
Testemunha	0	19,7	-	10,3	-
Supertriplo (ST)	100	22,3	100	14,4	100
Super simples (SS)	100	22,6	111	13,6	80
H_3PO_4 (AF)	100	21,8	81	12,5	54
H_3PO_4 + Rocha [1] (RF)	100	20,5	31	12,8	61

(1) Fosfato natural de Araxá solubilizado com ácido fosfórico de tal forma que 65% do P_2O_5 total vinha do ácido e 35% da rocha, em aplicação via fluida.

Quadro 24. Produção de colmo e Pol (KORNDÖRFER et al., 1988).

Tratamentos	Dose de P_2O_5	Colmo		Pol	
	kg/ha	t/ha	IEA	t/ha	IEA
Testemunha	0	124,1	-	14,1	-
Supertriplo (ST)	50	131,3	-	14,6	-
Supertriplo (ST)	100	143,2	100	16,6	100
Super simples (SS)	100	146,2	115	16,5	96
H_3PO_4 (AF)	100	139,0	78	15,9	72
H_3PO_4 + Rocha (RF)	100	131,9	41	14,7	24

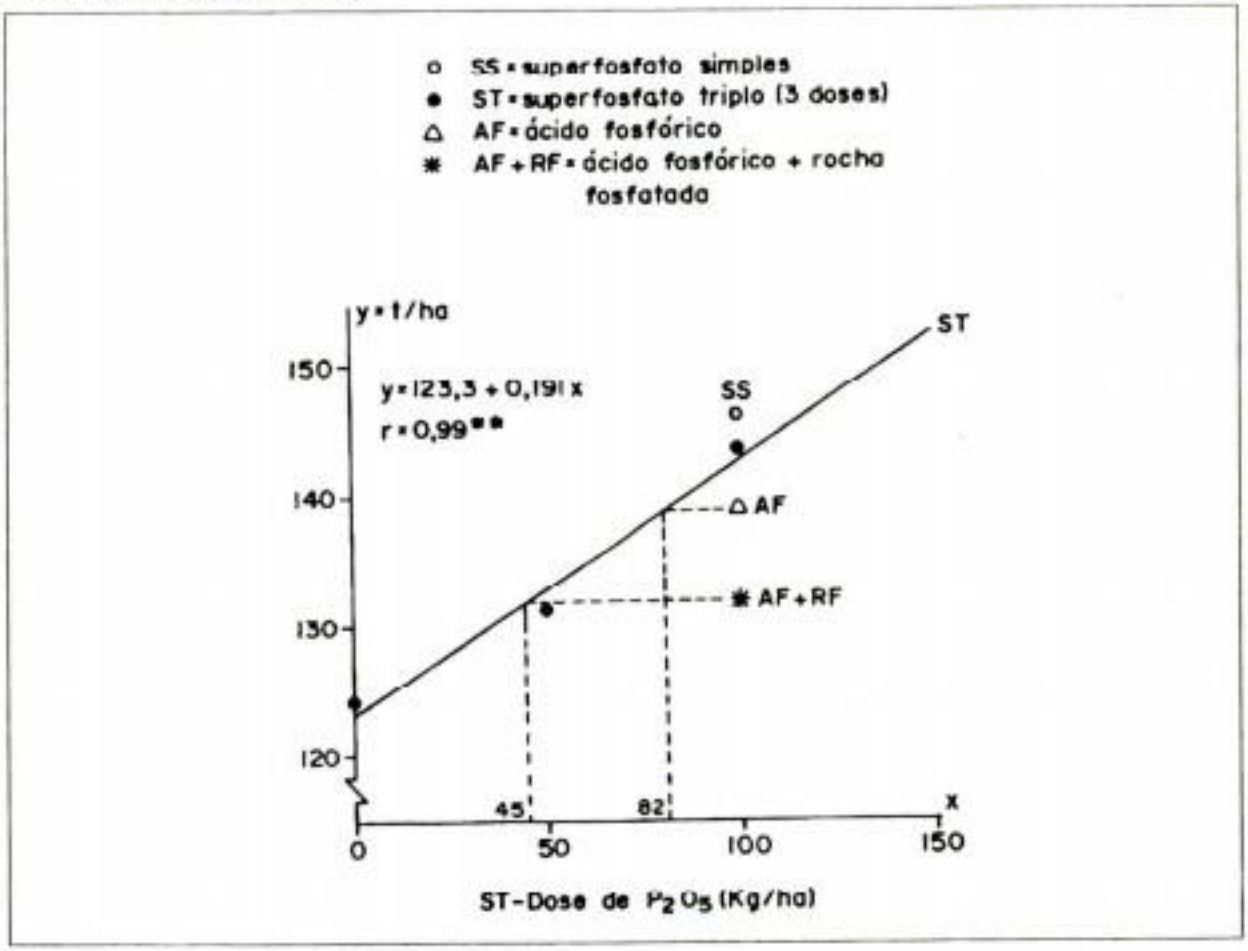
(1) Fosfato natural de Araxá solubilizado com ácido fosfórico de tal forma que 65% do P_2O_5 total vinha do ácido e 35% da rocha, em aplicação fluida.

Quadro 25. Análise econômica das fontes de fósforo (KORNDÖRFER et al., 1988).

Tratamentos	Aumento [1] produção	Custo insumo	Aumento receita	Lucro líquido
	t/ha	NCz$ 10000/ha		
Supertriplo (ST)	19,1	2,8	6,8	4,0
Super simples (SS)	22,0	3,0	7,8	4,8
H_3PO_4 (AF)	14,9	1,9	5,3	3,4
H_3PO_4 + Rocha (AF + RF)	7,8	1,5	2,8	1,3

([1]) Acréscimo na produção de cana devido à aplicação dos tratamentos em relação à testemunha sem fósforo.
A análise de custos foi realizada em 28/07/87: Cz$ 352,12/t colmo; Cz$ 28,48/kg P_2O_5 (ST); Cz$ 29,74/kg P_2O_5 (SS); Cz$ 18,97/kg P_2O_5 (AF); Cz$ 14,98/kg P_2O_5 (AF + RF); Cz$ 7,58/kg P_2O_5 (AF).

Figura 44. Produção de cana-de-açúcar obtida com o uso de diferentes fontes de fósforo.
Fonte: KORNDÖRFER, 1987.



7.4. O potássio e os micronutrientes nos adubos fluidos

Nos adubos fluidos para aplicação no solo, o potássio entra nas misturas principalmente como cloreto de potássio. Nas fórmulas binárias (NK) para se aplicar em canaviais que não receberam vinhaça ou misturas ternárias (NPK) para o plantio da cana-de-açúcar.

Acredita-se que a presença de água nos adubos líquidos não existente nas mesmas fórmulas sólidas, não produza vantagem ou desvantagem na eficiência do potássio. Existe um trabalho tratando de forma indireta a aplicação comparativa do K na forma sólida ou líquida (Quadro 26). Os resultados de GARCIA et al., (1984) mostram que não houve diferenças entre a aplicação sólida ou líquida de potássio.

Os micronutrientes boro e zinco são aplicados em cafeeiro e podem ser incluídos na fórmula. Uma formulação líquida para aplicação em café é a 12-00-04 + 0,2 Zn + 0,1% B (YAMADA, 1985). Nesta fórmula o zinco entra como sulfato de zinco e o boro como ácido bórico. Não há pesquisas sobre a eficiência destes nutrientes comparando as fórmulas sólidas e líquidas mas acredita-se ter a mesma eficiência.

7.5. Enxofre nos adubos fluidos

Os solos brasileiros em geral são pobres em enxofre. Além disso, culturas como a cana-de-açúcar, café, algodão batatinha, são muito exigentes em enxofre e absorvem este nutriente em quantidades superiores às de fósforo. A utilização de adubos "concentrados" e de adubos fluidos (no caso da cana-de-açúcar) não repõe ao solo o enxofre exportado pelas colheitas, visto que estes adubos são produzidos atualmente a partir de matérias-primas que contêm pouco ou nenhum enxofre.

Embora a literatura brasileira seja escassa no que diz respeito à resposta das plantas cultivadas à adubação com enxofre, sabe-se que algumas das principais culturas respondem a esta adubação, principalmente a cana-de-açúcar como atestam os trabalhos realizados por CARVALHO (1983); DEMATTÊ (1986); MORELLI et al., (1987); VITTI (1988).

As fábricas de fertilizantes fluidos nacionais com propósitos comerciais produzem a fórmula 20-00-00 + 4% S que é obtida pela adição de sulfato de amônio ao uran. Este fertilizante é uma solução verdadeira e é utilizada para adubação de cobertura de cana-de-açúcar e de culturas anuais como milho, algodão e tomate.

As fábricas de adubos fluidos instaladas nas usinas de açúcar e que utilizam predominantemente a aquamônia como fertilizante nitrogenado não produzem a fórmula 20-00-00 + 4% S. Contudo, sabe-se que a produção desta fórmula a partir de aquamônia e sulfato de amônio é totalmente viável produzindo uma solução verdadeira ("clear liquids") sem problemas de cristalização. No quadro 27 são apresentadas algumas soluções nitrogenadas contendo enxofre (N-P-K+S) possíveis de serem preparadas a partir de uran (32-00-00) e sulfato de amônio (21% N e 24% S).

No Brasil ainda não é possível a obtenção de soluções verdadeiras ("clear liquids") contendo NP + S visto que a indústria brasileira de fertilizantes fluidos não utiliza os polifosfatos de amônio como matéria-prima (obtido a partir do ácido superfosfórico).

As formulações NPK + S somente são possíveis em suspensões. Utilizando-se da solu-

Quadro 26. Produções de café durante três safras (GARCIA et al., 1983).

Tratamentos [1]	Sacas beneficiadas/ha			
	1981	1982	1983	Média
	nº			
75% Básica sólida	27,3	12,9	36,3	25,5
50% Básica sólida	28,6	10,2	33,0	23,9
75% N sól. + 25% K líq.	31,9	15,5	29,1	25,5
50% N sól. + 50% K líq.	27,3	10,9	30,3	22,8

(1) Básica sólida g/cova/ano de N e K_2O: 1980/81 = 80 - 80; 1981/82 = 140 - 140 e 1982/83 = 150 - 150. O K líquido foi diluído em água (500 ml/cova) e pulverizado no solo na projeção da saia do cafeeiro. Foram feitos três parcelamentos durante o ano.

Quadro 27. Soluções nitrogenadas contendo enxofre.

Fórmula fluida	Sulfato de amônio	Uran	Água
N - P_2O_5 - K_2O - S	kg/t		
11-0-0-8	334	125	541
13-0-0-7	292	215	493
14-0-0-6	250	274	476
17-0-0-5	209	395	396
19-0-0-4	167	485	348
22-0-0-3	125	606	269
25-0-0-2	84	727	189
27-0-0-1	42	817	141

Quadro 28. Resposta da cana-de-açúcar a diferentes adubações (SILVA et al., 1988).

Tratamentos [1]	N	P_2O_5	K_2O	Colmos	
				PV [2]	AQ [3]
	———	kg/ha	———	——	t/ha ——
U + SS + KCl	60	150	150	179	104
Formulação líquida 5-15-15	60	150	150	177	102
U + RF + KCl	60	150	150	161	73
U + KCl	60	0	158	158	73

(1) U = uréia; SS = Superfosfato triplo; RF = rocha fosfática do Araxá.
(2) PV = Podzólico Vermelho Amarelo Orto.
(3) AQ = Areia Quartzosa.

Quadro 29. Produções em áreas de cana soca com adubos sólidos e líquidos (CORBINI, 1983).

Adubo sólido [1]		Adubo líquido [2]	
Área	Colmo	Área	Colmo
ha	t/ha	ha	t/ha
62	59	35	53
62	76	27	83
117	66	21	62
57	72	10	108
113	67	29	70
120	80	35	90
14	76	24	92
34	52	106	55
91	75	6	72
Média	69		76

(1) Fórmula 23-0-29 e aplicada na base de 450 kg/ha.
(2) Fórmula 10-0-12 e aplicada na base de 1000 kg/ha.

ção 10-34-00, sulfato de amônio e cloreto de potássio, podem ser produzidas suspensões tais como:

10 - 5 - 15 + 9,7% S

10 - 20 - 10 + 4,8% S

9 - 6 - 18 + 8,0% S etc.

Não são produzidas no Brasil suspensões NPK + S e somente agora algumas fábricas de adubos fluidos instaladas nas usinas de açúcar estão começando a pesquisar esse tipo de fertilizante. No atual estágio de conhecimento, a maneira mais prática de fornecer enxofre às plantas via adubos fluidos é através de soluções nitrogenadas (uran ou aquamônia) misturadas com sulfato de amônio.

Acredita-se que o enxofre possui eficiência igual nos adubos sólidos e líquidos.

7.6. As misturas sólidas x líquidas

Há pouquíssimos trabalhos de pesquisa que comparam a formulação líquida em relação à sólida. Um desses, SILVA et al., (1988), mostra a igualdade da mistura líquida quando se usou adubo com fósforo solúvel em água, e a superioridade da mistura líquida sobre a sólida, quando se usa na mistura sólida a rocha fosfatada (Quadro 28).

São apresentados no Quadro 29 as produções de colmos da cana-de-açúcar obtidas em testes amplos comparando-se a adubação líquida e a sólida. Como se constata, foram aplicadas as mesmas quantidades de N e P_2O_5 tanto no adubo líquido como no sólido e obtiveram-se praticamente as mesmas produções (CORBINI, 1983).

LITERATURA CITADA

ALONSO, O.; FONTANARI, N.; GERALDO Fº, L.; NAGUNO, M.; CORREA, W.J.; SERRA, G.E. Efeitos de fontes de nitrogênio aplicados em superfície e profundidade em cana soca cultivada em diferentes solos. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3, São Paulo, 1984. **Anais...** São Paulo, 1984, p.143-8.

BITTENCOURT, V.C. **Adubos sólidos x adubos líquidos**. São Paulo, COPERSUCAR, s/d. 10p.

BITTENCOURT, V.C. Fertilizantes Fluidos. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, **25**:4-7, 1984.

BITTENCOURT, V.C. & CARMELLO, Q.A.C. Fertilizantes fluidos; vantagens na adubação da cana. **Rev. ADEALQ**, Piracicaba, **(5)**:22-8, 1987.

BOARETTO, A.E. & ROSOLEM, C.A. **Adubação foliar**. Campinas, SP, Fundação Cargill, 1989. 617p.

BRINHOLI, O.; FURLANI, J.A.; SOARES, E.; SERRA, G. Estudo comparativo de formas e doses de nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar (soca e ressoca). **Brasil Açucareiro, XLVIII**:30-8, 1980a.

BRINHOLI, O.; NAKAGAWA, J.; MARCONDES, D.A.S.; LIEM, T.H. Estudo comparativo de formas e doses de adubos nitrogenados na cultura de cana-de-açúcar (cana-de-ano). **Brasil Açucareiro, XLVIII**:60-4, 1980b.

CACERES, N.T. & KORNDÖRFER, G.H. Situação da adubação fluida das usinas cooperadas. **Bol. Técn. COPERSUCAR,** São Paulo, **(42)**:31-7, 1988.

CALMANOVICI, C.E. & BICHARA, J.M. Propriedades físicas II; aspectos gerais sobre as propriedades físicas dos fertilizantes fluidos. **Fertilizantes**, São Paulo, **9**:6-9, 1987.

CARVALHO, M.J.V. **Efeito de doses de gesso e calcário na cultura da cana-de-açúcar** (*Saccharum* spp variedade NA 56-79). Jaboticabal, FCAV, 1983. 80p. Tese (graduação)

CASALE, H. Fertilizantes fluidos na citricultura. **Laranja; Rev. Téc. Citricultura**, Cordeirópolis, **(6)**:145-60, out. 1985.

CERQUEIRA LUZ, P.H. **Aplicadores de fertilizantes fluidos**. Araras, IAA/PLANALSUCAR. COSUL, 1985. 12p. (no prelo)

CERQUEIRA LUZ, P.H. Adubo fluidos; aplicadores de fertilizantes fluidos. In: SEMINÁRIO AGROINDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR, Piracicaba, 1986. **Resumos...** Araras, IAA/PLANALSUCAR. COSUL, 1986. p.4-5.

COBRA NETO, A. & COBRA, A.P. Adubação nitrogenada de milho com amônia anidra. **R. Agric., XLI** (3):121-6, 1966.

COPERSUCAR. Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar com amônia anidra. **Bol. Tec. COPERSUCAR**, São Paulo, **(14)**:11-5, 1981.

COPERSUCAR. Aplicação de adubos líquidos. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 1, Piracicaba, 1982. São Paulo, COPERSUCAR, 1982. p.287-301.

CORBINI, J.L. Aplicação de fertilizantes líquidos na cultura de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, **2**(2):52-7, nov./dez., 1983.

DEMATTÊ, J.L.I. Solos arenosos de baixa fertilidade. Estratégias de manejo. In: SEMINÁRIO AGROINDUSTRIAL, 5ª e 29ª SEM. "LUIZ DE QUEIROZ" Piracicaba-SP, 1986.

DIRIGENTE RURAL. De gota em gota a expansão dos adubos líquidos. **Dirigente Rural, 26**:10-9, 1987.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Brasília-DF. **Relatório Bianual (1986/1987).** Convênio EMBRAPA/PETROFÉRTIL. GOEDERT, W.J. & DIAS FILHO, F.A., ed. Brasília, EMBRAPA/PETROFÉRTIL, 1988. 176p.

GARCIA, A.W.R.; MARTINS, M.; FLORENCE, M.L.D.A.; FIORAVANTE, N. Estudo comparativo de níveis de adubações líquidas e sólidas para nitrogênio e potássio em cafeeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10, Poços de Caldas, 1983. **Anais...** São Paulo, 1983, p.340-2.

GARCIA, G.J.; NAKAGAWA, J.; CONCEIÇÃO, F.A.D.; GUIMARÃES JR., J.B. Estudo preliminar da amônia anidra em água na cultura de tomateiro estaqueado (*Lycopersicum esculentum* Mill). **Revista de Olericultura**, Botucatu, SP, **XV**:88-90, 1975.

GOEDERT, W.J. & SOUZA, D.M.G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. **Anais...** Brasília, EMBRAPA-ANDA-POTAFOS, 1984. p.255-89.

HIGNETT, T.B. Liquid Fertilizer: Production and Distribution. **Chemical Technology**, **2**:627-37, 1982.

IFDC/UNIDO. **Fertilizer manual**. Alabama, USA, IFDC/UNIDO, 1979. 353p.

KEPNER, R.A.; BAINER, R.; BARGER, E.L. Applying fertilizers and granular pesticides. In: KEPNER, R.A. et al. **Principles of farm machinery**. 2. ed. Westport, AVI, 1972. Chap. 12, p.248-68.

KIEHL, J.C. Uréia: são importantes as perdas de nitrogênio por volatilização. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, **3**(10):28-32, maio/jun. 1983.

KORNDÖRFER, G.H. Solubilização da rocha fosfatada com ácido fosfórico para fabricação de adubos fluidos. **Boletim Técnico COPERSUCAR**, São Paulo, 37:14-8, 1987.

KORNDÖRFER, G.H. & BOLDRIN, A.J. Segregação de nutrientes durante a aplicação de adubos fluidos. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 3., Piracicaba, 1986. São Paulo, COPERSUCAR, 1986. p.283-5.

KORNDÖRFER, G.H.; VIEIRA, G.G. & FORTI, J.A. **Resposta da cana-planta a diferentes fontes de fósforo. Relatório Final de Projeto** - safra 87/88. Piracicaba, COPERSUCAR, 1988. 14p.

LARA, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.P.O.; VICTORIA, A.R.; CAMARGO, P.B.; PICCOLO, M.C. Volatilização de amônia da uréia ^{15}N e aquamônia - ^{15}N aplicadas na cultura de cana-de-açúcar em condições de campo. In: CONGRESSO NACIONAL DE STAB, 4., e CONVENÇÃO DA ACTALAC, 7., Olinda/PE. (Comunicação pessoal)

MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola. **Adubos e Adubação**. 3ª ed. São Paulo. Piracicaba, SP, Ed. Agronômica Ceres, 1981, 596p.

MALAVOLTA, E. A absorção de elementos pelas raízes. In: **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ed. Ceres, 1980. Cap. 3, p.44-79.

MALAVOLTA, E. Aspectos gerais dos fertilizantes fluidos. In: SEMINÁRIO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, São Paulo, 1984. São Paulo, ANDA-POTAFOS/CEFER, 1984. 31p.

MORELLI, J.L.; NELLI, E.J.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos ácidos e na produção da cana-de-açúcar. **STAB**, **6**(2):24-31, 1987.

MORICOCHI, L. Fertilizantes fluidos: aspectos econômicos. **Fertilizantes**, São Paulo. **8**(1):13-5, 1986.

NAKAGAWA, J.; GARCIA, G.J.; CONCEIÇÃO, F.A.D.; FURLANI, J.A. Estudo da amônia anidra em água de irrigação, na cultura de tomateiro estaqueado (*Lycopersicum esculentum* Mill). **Revista de Olericultura**, Botucatu, SP, **XV**:91-3, 1975.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; COLLETTI, J.T. Localização do fertilizante em soqueira de cana-de-açúcar; estudo preliminar. **Bol. Tec. PLANALSUCAR**, Ser. A, Piracicaba, **1**(1):3-23, 1979.

PALGRAVE, D.A. 1981. A decade of progress. **Solutions**, **25**:Nov./Dec.

PENNA, M.J. & FIGUEIREDO, A.A.M. Aquamônia uréia em soqueira de cana-de-açúcar fertilizada com vinhaça. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 2., Piracicaba, 1984. **Anais...** São Paulo, COPERSUCAR, 1984, p.180-95.

PERTICARRARI, J.G. & BRAUNBECK, O.A. Agitação hidromecânica para herbicidas e adubos fluidos. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 3., Piracicaba, 1986. São Paulo, COPERSUCAR, 1986. p.480-6.

PRESSINOTTI, A.F. & CASTRO, M.L.M.M. Produção Nacional de Fertilizantes Fluidos: Características Técnicas. In: SEMINÁRIO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, São Paulo, 1984. São Paulo, ANDA/POTAFOS/CEFER, 1984. 28p.

QUIMBRASIL. **Fertilizantes fluidos.** Jaú, QUIMBRASIL, 1984. 17p.

QUIMBRASIL, 1985. Fertilizantes Fluidos. Jaú, SP, Quimbrasil - Química Industrial Brasileira S.A., 1985. 17p. (Série Novos Produtos).

RODELLA, A.A.; PARAZZI, C.; CARDOSO, A.C. Composição da Vinhaça. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL - STAB-SUL, 3., Águas de São Pedro, 1980. **Anais...** p.243-56.

SILVA, L.C. Adubação Fluida. In: SEMINÁRIO AGROINDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR, Piracicaba, SP, Planalsucar - Coordenadoria Regional Sul, 1986. p.1-3. (Mimeografado).

SILVA, L.C.F.; MARAFON JÚNIOR, J.; BELTRAME, J.A.; ARAGÃO, J.A.; ORLANDO FILHO, J. Adubação fluida em cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, **106**(3):27-32, 1988.

SILVA, J.G. & ABRAMIDES, E. Adubação de soqueira; um estudo preliminar de caso. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, **83**(2):52-5, 1974

TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUES, J.C.S.; VICTORIA, R.L. Aproveitamento pela soqueira da cana-de-açúcar do nitrogênio dos adubos uréia (^{15}N) incorporados ao solo em área fertilizada com vinhaça. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 2., Piracicaba, 1984. **Anais...** São Paulo. COPERSUCAR, 1986. p.287-301.

VITTI, G.C. Efeitos de fontes e doses de enxofre na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Jaboticabal, FCAV/UNESP, 1988. 183p. Tese (Livre - Docência)

WOLF, B.; FLEMING, J. & BATCHELOR, J. **Fluid Fertilizer Manual**. Peoria, Illinois, USA, National Fertilizer Solutions Association, 1985.

YAMADA, T. Fluid Fertilizer situation in Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM - ANNUAL NFSA CONVENTION, 31., Las Vegas, December 9-11, 1985. 25p. (Mimeo).

FUNDAÇÃO CARGILL