

# ADUBOS E SUAS CARACTERÍSTICAS



**ALTA PRODUÇÃO**

**MATERIAL AGRÍCOLA**



**DARE**

TECNOLOGIA E APLICAÇÃO AGRÍCOLA



**NESSE MATERIAL CONTÉM**



# **ADUBOS OU FERTILIZANTES**

**Classificação sob o ponto de vista  
químico**

**Fertilizantes orgânicos**

**Fertilizantes organo-minerais**

# **QUALIDADE DOS FERTILIZANTES**



**E MUITO MAIS...**

A produção agrícola depende de uma série de fatores limitantes, isto é, o mau desempenho de um pode comprometer todos os demais. Basicamente, esses fatores são os seguintes: clima, solo, planta, práticas culturais e incidência de pragas e doenças.

Entende-se como clima, um conjunto de condições naturais que determinam a ecologia de uma região, destacando-se a radiação solar, a temperatura e a água.

O solo, conforme já referido, é fundamental para abrigar e fixar as plantas, armazenar água e fornecer os nutrientes essenciais à vida vegetal. Em relação à função de fornecedor de nutrientes, os solos podem ser ricos ou pobres nesses nutrientes, e solos ricos são empobrecidos com o decorrer da exploração agrícola.

A função dos adubos ou fertilizantes é levar nutrientes vegetais ao solo.

Quanto à planta, atualmente dispõe-se de variedades mais adaptadas a determinadas condições e, conseqüentemente, mais produtivas. As práticas culturais compreendem todas as recomendações técnicas gerais e específicas que devem ser observadas: preparo do solo, calagem, adubação, qualidade da semente, espaçamento, irrigação, controle do mato, etc.

Finalmente, todas as plantas estão sujeitas às pragas e doenças, que comprometem não só a produção como a qualidade do produto. O controle fitossanitário, ou seja, o combate às pragas e doenças, é uma prática indispensável à agricultura.

De todos os fatores relacionados, o clima e o solo são os que determinam o potencial agrícola da região. No Brasil, o clima é dos mais favoráveis, dispondo, em abundância, de radiação solar, temperatura adequada e água. Em termos de solo, a área agricultável é também imensa.

Nestas condições naturais privilegiadas, ocorrem algumas deficiências: certa desuniformidade pluviométrica e solos com acidez elevada e pobres de nutrientes. Porém, são deficiências corrigíveis do ponto de vista técnico, até com certa facilidade, através da irrigação, calagem e adubação.

É por isso que o Brasil é conceituado como 'um País eminentemente agrícola' e que está predestinado a ser o "celeiro do mundo".

O presente trabalho trata especificamente da prática da adubação, isto é, do fornecimento ao solo de nutrientes essenciais ao desenvolvimento dos vegetais, através da adição de adubos.

# **ADUBOS OU FERTILIZANTES**

**Adubo ou fertilizante é um produto mineral ou orgânico, natural ou sintético, fornecedor de um ou mais nutrientes vegetais.**



# Classificação sob o ponto de vista químico

**Fertilizantes minerais:** são os fertilizantes constituídos de compostos inorgânicos (compostos desprovidos de carbono). São também considerados fertilizantes minerais aqueles constituídos de compostos orgânicos (compostos que contêm carbono) sintéticos ou artificiais, como a uréia –  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , a calciocianamida e os quelatos.

Os fertilizantes minerais se subdividem em três classes:

**Fertilizantes simples:** são os fertilizantes constituídos fundamentalmente de um composto químico, contendo um ou mais nutrientes vegetais, quer sejam eles macro ou micronutrientes ou ambos. A relação dos fertilizantes minerais simples reconhecidos pela legislação brasileira.

**Fertilizantes mistos ou misturas de fertilizantes:** são os fertilizantes resultantes da mistura de dois ou mais fertilizantes simples

**Fertilizantes complexos:** são misturas de fertilizantes resultantes de processo tecnológico em que se formam dois ou mais compostos químicos. São misturas produzidas com a participação de matérias-primas (amônia -  $\text{NH}_3$ , ácido sulfúrico -  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , ácido fosfórico -  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), as quais dão origem a compostos químicos como sulfato de amônio -  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , fosfato monoamônico (MAP) -  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , fosfato diamônico (DAP) -  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ .

## **Fertilizantes orgânicos**

São os fertilizantes constituídos de compostos orgânicos de origem natural, vegetal ou animal. A relação dos fertilizantes orgânicos reconhecidos pela legislação brasileira.

É importante distinguir-se bem a capacitação dos fertilizantes minerais e orgânicos. Isso fica facilitado utilizando-se o conceito de melhorador ou condicionador do solo: são produtos que promovem a melhoria das propriedades físicas (porosidade, aeração, capacidade de retenção de água) ou físico-químicas (capacidade de retenção de cátions) do solo. Exemplo: serragem, vermiculita.

Portanto, a função de melhorar as características químicas (conteúdo de nutrientes) fica reservada aos fertilizantes. E comparando-se os conceitos de fertilizante e de condicionador, verificase que os materiais orgânicos se enquadram muito melhor no segundo, pois sua ação é muito mais eficaz no aumento da porosidade, aeração, retenção de água,

atividade microbiana e capacidade de retenção de cátions, do que como fornecedor de nutrientes.

Isto porque os materiais orgânicos contêm nutrientes vegetais em baixíssimas concentrações, necessitando-se de grandes quantidades desses produtos para funcionarem como fertilizantes. E isso fica limitado pela disponibilidade do produto e pelo custo, principalmente do transporte.

Assim, é evidente que os produtos orgânicos desempenham muito mais as funções de condicionador ou melhorador do solo e muito pouco as funções de fertilizante, enquanto os produtos minerais desempenham efetivamente as funções de fertilizante.

Essa distinção é muito importante porque é incorreta a comparação dessas duas classes de produtos como fertilizantes: os produtos orgânicos certamente estarão prejudicados, e poderão ser conduzidos a um errôneo descrédito, quando na verdade deve-se fazer uso de todo o material orgânico de que se puder dispor devido à sua função de condicionador e ao aumento na eficiência dos fertilizantes minerais.

Isto porque os materiais orgânicos contêm nutrientes vegetais em baixíssimas concentrações, necessitando-se de grandes quantidades desses produtos para funcionarem como fertilizantes. E isso fica limitado pela disponibilidade do produto e pelo custo, principalmente do transporte.

Assim, é evidente que os produtos orgânicos desempenham muito mais as funções de condicionador ou melhorador do solo e muito pouco as funções de fertilizante, enquanto os produtos minerais desempenham efetivamente as funções de fertilizante.

Essa distinção é muito importante porque é incorreta a comparação dessas duas classes de produtos como fertilizantes: os produtos orgânicos certamente estarão prejudicados, e poderão ser conduzidos a um errôneo descrédito, quando na verdade deve-se fazer uso de todo o material orgânico de que se puder dispor devido à sua função de condicionador e ao aumento na eficiência dos fertilizantes minerais.

## **Fertilizantes organo-minerais**

São os fertilizantes resultantes da mistura de fertilizantes orgânicos e minerais. O objetivo dessas misturas é enriquecer os materiais orgânicos de nutrientes vegetais. Porém, sua aplicabilidade tem sido restrita porque só se consegue produzir essas misturas com concentrações relativamente baixas tanto do componente orgânico como do mineral.



# Classificação sob o ponto de vista químico

**Sólidos:** são os fertilizantes que se apresentam no estado sólido.

Os fertilizantes sólidos estão subdivididos em duas classes:

a) Pó ou farelado: quando as partículas são de pequenas dimensões.

b) Granulado: quando as partículas são de dimensões que permitem caracterizar um grânulo. Nesta classe, as misturas de fertilizantes apresentam peculiaridades próprias:

- misturas de grânulos ou misturas de granulados: são as obtidas pela simples mistura de dois ou mais fertilizantes simples previamente granulados. São misturas físicas e caracterizam-se por apresentar os nutrientes contidos em grânulos distintos;

- misturas granuladas: são as obtidas pela mistura de dois ou mais fertilizantes simples em pó e sua posterior granulação, ou são obtidas de uma mistura complexa e posterior granulação. No primeiro caso, são também misturas físicas e, no segundo, misturas químicas; mas ambas caracterizam-se por conter, em cada grânulo, todos os nutrientes garantidos na mistura.

**Fluidos:** são os fertilizantes que se apresentam no estado líquido.

Estão subdivididos em duas classes:

a) Soluções: são os fertilizantes líquidos que se apresentam na forma de soluções verdadeiras, isto é, isentas de material sólido.

b) Suspensões: são os fertilizantes líquidos que se apresentam na forma de suspensões, isto é, uma fase sólida dispersa num meio líquido.

**Gasosos:** são os fertilizantes que se apresentam no estado gasoso, nas condições normais de temperatura e pressão. O único fertilizante que se apresenta nesta forma é a amônia anidra.

- misturas granuladas: são as obtidas pela mistura de dois ou mais fertilizantes simples em pó e sua posterior granulação, ou são obtidas de uma mistura complexa e posterior granulação. No primeiro caso, são também misturas físicas e, no segundo, misturas químicas; mas ambas caracterizam-se por conter, em cada grânulo, todos os nutrientes garantidos na mistura.

**Fluidos:** são os fertilizantes que se apresentam no estado líquido.

Estão subdivididos em duas classes:

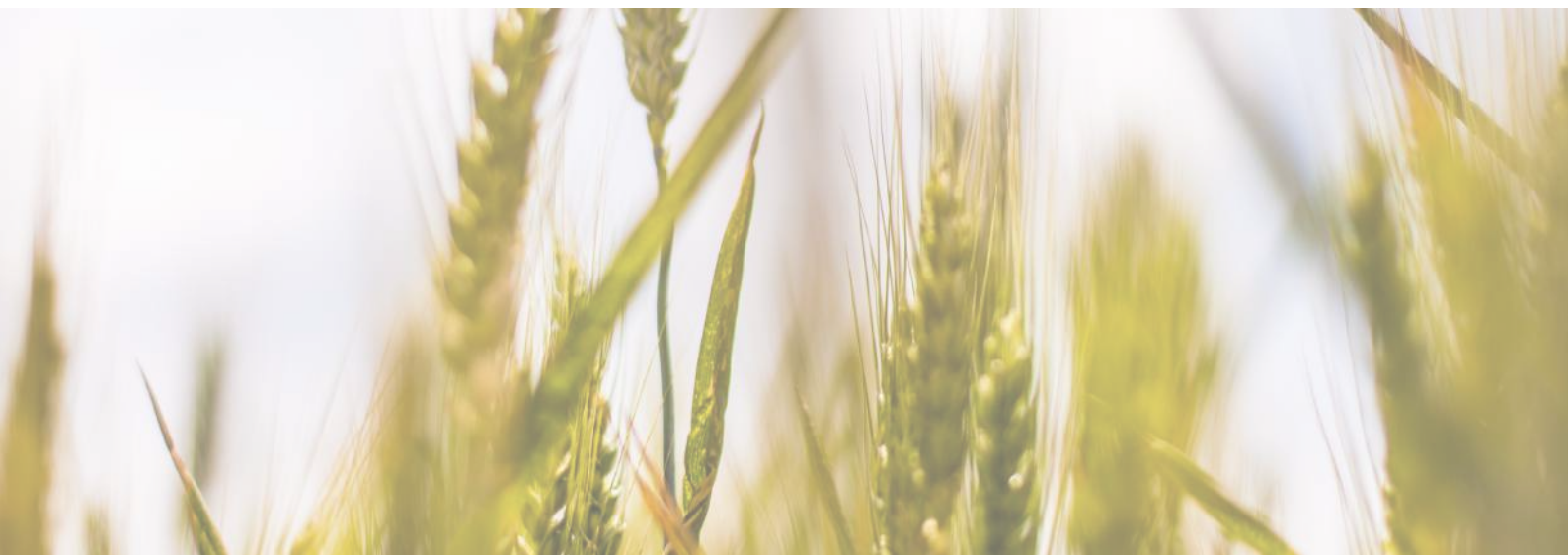
a) Soluções: são os fertilizantes líquidos que se apresentam na forma de soluções verdadeiras, isto é, isentas de material sólido.

b) Suspensões: são os fertilizantes líquidos que se apresentam na forma de suspensões, isto é, uma fase sólida dispersa num meio líquido.

# QUALIDADE DOS FERTILIZANTES

As características de qualidade dos fertilizantes são as condições naturais ou artificiais com que esses produtos podem se apresentar, e têm relação direta ou indireta com a sua eficiência.

Essas características são diversas ou até numerosas e podem ser de natureza física, química ou físico-química.



# Características de natureza física

As características de natureza física são:

**Estado físico:** os fertilizantes podem se apresentar nos três estados físicos: sólido, fluido e gasoso.

A forma sólida foi, e ainda é, a predominantemente usada no Brasil.

O uso de fertilizantes fluidos, soluções e suspensões, é relativamente recente no Brasil, mas vem mostrando um ritmo crescente de consumo.

Quanto ao estado gasoso, o único fertilizante assim empregado em aplicação direta é a amônia anidra, mas, no Brasil, praticamente não é usada, pois exige cuidados rigorosos e tecnologia.

**Granulometria:** a granulometria dos fertilizantes sólidos relaciona-se com o tamanho e a forma de suas partículas.

**Tamanho:** a influência do tamanho das partículas nas características dos fertilizantes sólidos fundamenta-se no fato de que a subdivisão de um material aumenta sua superfície de exposição por unidade de massa. Como consequência, todos os fenômenos que dependem do contato, como velocidade de dissolução, absorção de umidade atmosférica ou higroscopicidade e outros, são intensificados ou reduzidos em função do tamanho.

Assim, o tamanho das partículas dos fertilizantes sólidos deve ser considerado sob dois aspectos:

- Os fertilizantes solúveis em água e higroscópicos, como nitrato de amônio, uréia, nitrocálcio, etc., devem ser preferidos com granulometria grosseira. A maioria dos processos de produção de fertilizantes solúveis dão origem a produtos de granulometria fina, podendo esta ser considerada sua forma inata; a fim de minimizar os inconvenientes apontados, aumenta-se o tamanho de suas partículas através da granulação.

- Os fertilizantes pouco solúveis em água, como os termofosfatos, fosfatos naturais, etc., devem ser preferidos com granulometria fina. O grau de finura deve ser maior quanto menor a solubilidade, a fim de que esta seja facilitada.

Uma importante característica de qualidade dos fertilizantes sólidos, relacionada com o tamanho de suas partículas, é a uniformidade do tamanho. A desuniformidade gera a segregação, isto é, a separação e acomodação seletiva das partículas por ordem de tamanho, com a movimentação e trepidação do produto.

Isso pode comprometer seriamente a homogeneidade, em especial da mistura de grânulos, onde a separação por ordem de tamanho leva automaticamente à separação dos nutrientes. Além disso, a desuniformidade do tamanho acarreta a distribuição irregular dos fertilizantes nas adubações, tanto quantitativamente, dificultando as regulagens das adubadoras, quanto qualitativamente, se ocorrer a segregação no caso das misturas de grânulos.

**Forma:** a forma das partículas dos fertilizantes sólidos é bastante variada e não tem um maior relacionamento com suas características de qualidade, a não ser em relação à fluidez, isto é, o livre escoamento do produto dos recipientes que os contém, e ao empedramento, como será visto adiante.

Consistência: é o grau de dureza ou resistência dos grânulos à quebra ou à abrasão. A fragilidade dos grânulos provoca sua quebra ou esfarelamento (gerando pó) no armazenamento, no transporte e no manuseio, tornando suas partículas desuniformes no tamanho e provocando, como conseqüência, os inconvenientes já apontados. A consistência dos grânulos pode ser aumentada com o uso de substâncias chamadas aglutinantes.

**Fluidez:** é a capacidade de livre escoamento do fertilizante por determinados espaços. Essa característica relaciona-se com a eficiência da distribuição mecânica dos fertilizantes. No caso dos fertilizantes sólidos, diversos fatores influem nessa característica, como a higroscopicidade, uniformidade e forma das partículas.

**Densidade:** é o peso por unidade de volume do produto. No caso de fertilizantes sólidos, essa característica tem pouca importância. Por outro lado, no caso de líquidos, relaciona-se diretamente com a fluidez.

## **Classificação sob o ponto de vista químico**

**Número de nutrientes:** quanto ao número de nutrientes, um único produto pode apresentar um, dois ou mais macronutrientes primários, assim como pode conter, também, macronutrientes secundários e micronutrientes. É evidente que a qualidade de um fertilizante é, em geral, bastante dependente do número de nutrientes que contém, desde que necessários.

São raras as condições de cultivo em que apenas um macronutriente primário seja necessário, o que fez crescer o uso de fertilizantes contendo vários nutrientes, especialmente o nitrogênio, o fósforo e o potássio. Isso é conseguido através da mistura de fertilizantes.

Apesar das incontáveis vantagens que as misturas apresentam, os fertilizantes que contêm apenas um ou dois nutrientes (fertilizantes simples) ainda mostram certas particularidades importantes, pois permitem o preparo de misturas específicas pelo consumidor e o parcelamento na aplicação de certos nutrientes.

**Forma química dos nutrientes:** os nutrientes são usados nos fertilizantes sob várias formas químicas e/ou em vários compostos químicos.

O nitrogênio se apresenta principalmente nas formas amoniacal,  $\text{NH}_4^+$ ; nítrica,  $\text{CO}_3$ ; amídica,  $-\text{NH}_2$ ; e protéica ( $\text{H}_2\text{N} - \text{R} - \text{CO} - \text{NH} - \text{R} - \text{COOH}$ )<sub>n</sub>.

O fósforo se apresenta principalmente na forma de ortofosfato,  $\text{PO}_4^{3-}$ , mas em numerosos compostos químicos: monocalcico,  $(\text{CaH}_2\text{PO}_4)_2$ ; bicálcico,  $\text{CaHPO}_4$ ; tricálcico,  $\text{Ca}_3\text{PO}_4$ ; monoamônico,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ; diamônico,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ; apatitas,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ ; sílico-fosfato,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaSiO}_3$ ; e outros.

O potássio se apresenta em uma única forma,  $\text{K}^+$ , e comumente em dois compostos: cloreto,  $\text{KCl}$ ; e sulfato,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , podendo se apresentar também na forma de nitrato,  $\text{KNO}_3$ . Os macronutrientes secundários e micronutrientes também são usados sob várias formas químicas e em vários compostos químicos.

As diferentes formas ou compostos químicos podem comportar-se também diferentemente como fertilizantes, pois apresentam diferentes reações no solo, podem influenciar certas propriedades do solo como pH e salinidade, podem apresentar incompatibilidade com outros fertilizantes numa mistura, estando também associadas às diferentes características físicas e físico-químicas dos fertilizantes.

Apesar disso, de uma maneira geral, a forma ou o composto químico dos nutrientes não tem tido, no Brasil, a relevância que deveria ter em relação à qualidade dos fertilizantes, considerando-se o produto final comercializado; haja vista a legislação brasileira, que exige apenas a garantia do teor total de todos os nutrientes, com exceção do potássio, do qual se exige o teor solúvel em água, e do fósforo, do qual se exige o teor solúvel em água e em solução neutra de citrato de amônio, no caso dos fosfatados acidulados e parcialmente acidulados. No caso dos fosfatados insolúveis em água, exige-se o teor total e o teor solúvel em solução de ácido cítrico a 2% na relação 1:100.

Esses critérios, isto é, teores total, solúvel em água, solúvel em solução neutra de citrato de amônio e solúvel em solução de ácido cítrico a 2% (relação 1:100), foram estabelecidos para se avaliarem os fertilizantes em condições de laboratório e de uma maneira rápida: os teores de nutrientes assim obtidos significam, aproximadamente, aquilo que é prontamente, ou a curto prazo, aproveitável pelas plantas.

Concentração dos nutrientes: uma das características preponderantes, relativa à qualidade dos fertilizantes, é a concentração de nutrientes nele contidos.

Os fertilizantes com alta concentração de nutrientes apresentam vantagens econômicas quanto ao armazenamento, transporte e distribuição, apesar desses produtos, exigirem tecnologia sofisticada e onerosa para sua produção e serem, em geral, destituídos de nutrientes secundários e micronutrientes. Por outro lado, não deve ser rejeitada a idéia do uso racional de fertilizantes de baixa concentração, assim como dos fertilizantes naturais, que apresentam vantagens econômicas do ponto de vista tecnológico. Aliás, atualmente, a conceituação da política de pesquisa e desenvolvimento de fertilizantes adota duas linhas de produção: fertilizantes de alta concentração e fertilizantes naturais, estes últimos destinados principalmente ao uso nas regiões próximas das fontes de produção.

Compostos nocivos aos vegetais: os fertilizantes podem conter, em espécie e/ou quantidade, compostos que são nocivos aos vegetais.

Em espécie, são nocivos aos vegetais os seguintes compostos: biureto, que pode ser formado na fabricação da uréia; tiocianato, que pode estar presente no sulfato de amônio; perclorato, que pode acompanhar o salitre do Chile; e dicianodiamida, que pode se formar pela polimerização da cianamida, da calciocianamida. Em quantidade, o problema da presença de constituintes nocivos aos vegetais relaciona-se principalmente com os micronutrientes. Tais elementos são essenciais à vida das plantas em pequenas quantidades, mas, quando presentes em quantidades maiores, tornam-se tóxicos. É o importante, no caso, é que o intervalo entre as concentrações ótima e tóxica dos micronutrientes no solo é geralmente bastante estreito. Ainda sobre o assunto, cabe considerar a técnica da mistura de defensivos agrícolas (inseticidas, fungicidas, herbicidas, etc.) com os fertilizantes.

# Características de natureza físico-química

**Solubilidade:** a história do uso de adubos para aumentar as colheitas mostra que os primeiros produtos utilizados foram naturais e de origem orgânica (esterco, ossos, cinzas de plantas, restos de lã, etc.), insolúveis em água. Com o tempo, e principalmente com os conhecimentos adquiridos sobre a nutrição mineral das plantas, foi observado que produtos solúveis em água apresentavam melhor efeito e, sobre essa conceituação, instalou-se e desenvolveu-se toda a indústria de fertilizantes até os dias atuais. Assim, de uma maneira geral, a solubilidade em água, associada à concentração de nutrientes, são hoje as características mais importantes que definem a qualidade um fertilizante. Contudo, a situação atual dos fertilizantes, no que diz respeito à solubilidade, apresenta dois aspectos distintos:

Sabe-se que uma parte maior ou menor dos nutrientes adicionados ao solo não é aproveitada pelos vegetais devido a diversas causas, como perdas por lixiviação ou lavagem, insolubilização, volatilização, etc. Estima-se que o índice de aproveitamento do nitrogênio seja de 70 a 90%, dos fósforos seja de 5 a 20% e do potássio, de 50 a 70%. Um dos fatores que contribuem substancialmente para essas perdas é a pronta solubilização dos fertilizantes.

O outro aspecto da solubilidade dos fertilizantes origina-se da possibilidade de emprego de produtos não solúveis em água: a velocidade de dissolução desses materiais pode ser aumentada reduzindo-se as dimensões de suas partículas. É o caso dos termofosfatos, farinha de ossos, fosfatos naturais e outros.

**Higroscopicidade:** é a tendência que os materiais apresentam de absorver umidade do ar atmosférico. Para cada fertilizantes simples, ou mistura, há um máximo de umidade relativa do ambiente (umidade relativa crítica) a que o produto pode ser exposto sem absorver umidade. As umidades relativas críticas de vários fertilizantes simples, e suas misturas.

Deve-se notar que o produto resultante da mistura de dois fertilizantes simples apresenta menor umidade relativa crítica, isto é, maior higroscopicidade.

Numerosos são os inconvenientes de um fertilizante úmido ou que apresente forte tendência para tal: queda no teor de nutrientes, dificuldade de manuseio e de distribuição, diminuição da resistência das partículas, aderência nos condicionadores, além da umidade ser a principal responsável pelo empedramento dos fertilizantes, o que será visto a seguir.

**Empedramento:** é a cimentação das partículas do fertilizante formando uma massa de dimensões muito maiores que a das partículas originais. Resulta da recristalização do material dissolvido na superfície das partículas umidecidas, o que ocorre através da perda da umidade absorvida, quando diminui a umidade relativa do ar ou a temperatura se eleva.

Diversos são os fatores que influem no empedramento: natureza do material, higroscopicidade, pressão (devida ao empilhamento), tempo de armazenamento, tamanho e forma das partículas. Vários, também, são os métodos que podem ser empregados para prevenir ou minimizar o empedramento: granulação, revestimento dos grânulos com material anti-empedrante, secagem do produto, etc. Um fertilizante empedrado acarreta dificuldades na sua distribuição mecânica e na uniformidade das adubações.

**Quadro 1. Índice salino de diversos fertilizantes, determinado em relação ao nitrato de sódio tomado como índice 100.**

<b>Fertilizantes</b>	<b>Índice salino</b>
Nitrato de sódio	100
Nitrato de amônio	105
Sulfato de amônio	69
Fosfato monoamônico	30
Fosfato diamônico	34
Nitrocálcio	61
Uréia	75
Amônia anidra	47
Superfosfato simples	8
Superfosfato triplo	10
Cloreto de potássio	116
Sulfato de potássio	46
Sulfato de potássio e magnésio	43

Índice salino: é o aumento da pressão osmótica da solução do solo provocada pela salinidade do adubo (Quadro 1). Osmose é o caminha-mento de solvente (água) através de membranas semi-permeáveis, no sentido da solução de menor pressão osmótica para a de maior pressão osmótica. Assim, se a pressão osmótica da solução do solo tornar-se superior à da solução celular das raízes, tem-se o caminhamento da água da célula para o solo, com o conseqüente murchamento e, normalmente, a morte da planta. As plantas novas são as que mais sentem os efeitos da salinidade.

# A EFICIÊNCIA DAS ADUBAÇÕES

O sucesso de uma adubação depende de uma série de fatores, direta e indiretamente ligados a essa prática.

## **Fatores diretos**

Qualidade dos fertilizantes: conforme visto no capítulo anterior, são numerosas as características apresentadas pelos fertilizantes que têm relação com a sua qualidade. Algumas características são de âmbito geral, isto é, dizem respeito à qualidade de qualquer produto, como, por exemplo, consistência dos grânulos, segregação, fluidez, higroscopicidade, empedramento

Outras, porém, dependem da situação agrícola em que o produto vai ser utilizado, como por exemplo, estado físico, número, forma química e concentração de nutrientes e solubilidade.

Assim, não se podem definir as características-padrão de qualidade. As melhores características de qualidade devem ser eleitas em função das condições em que o produto vai ser usado, eleição essa que deve ser feita através de um criterioso estudo técnico. O engenheiro agrônomo deve estar capacitado para isso.

**Solo:** as características físicas, químicas, físico-químicas e orgânicas do solo influem de maneira decisiva na eficiência dos adubos.

As características físicas como textura, estrutura e porosidade são fatores determinantes para o armazenamento, mobilidade e, principalmente, perdas de fertilizantes adicionados pelas adubações, perdas essas que podem ser por lixiviação ou lavagem dos nutrientes, ou erosão.

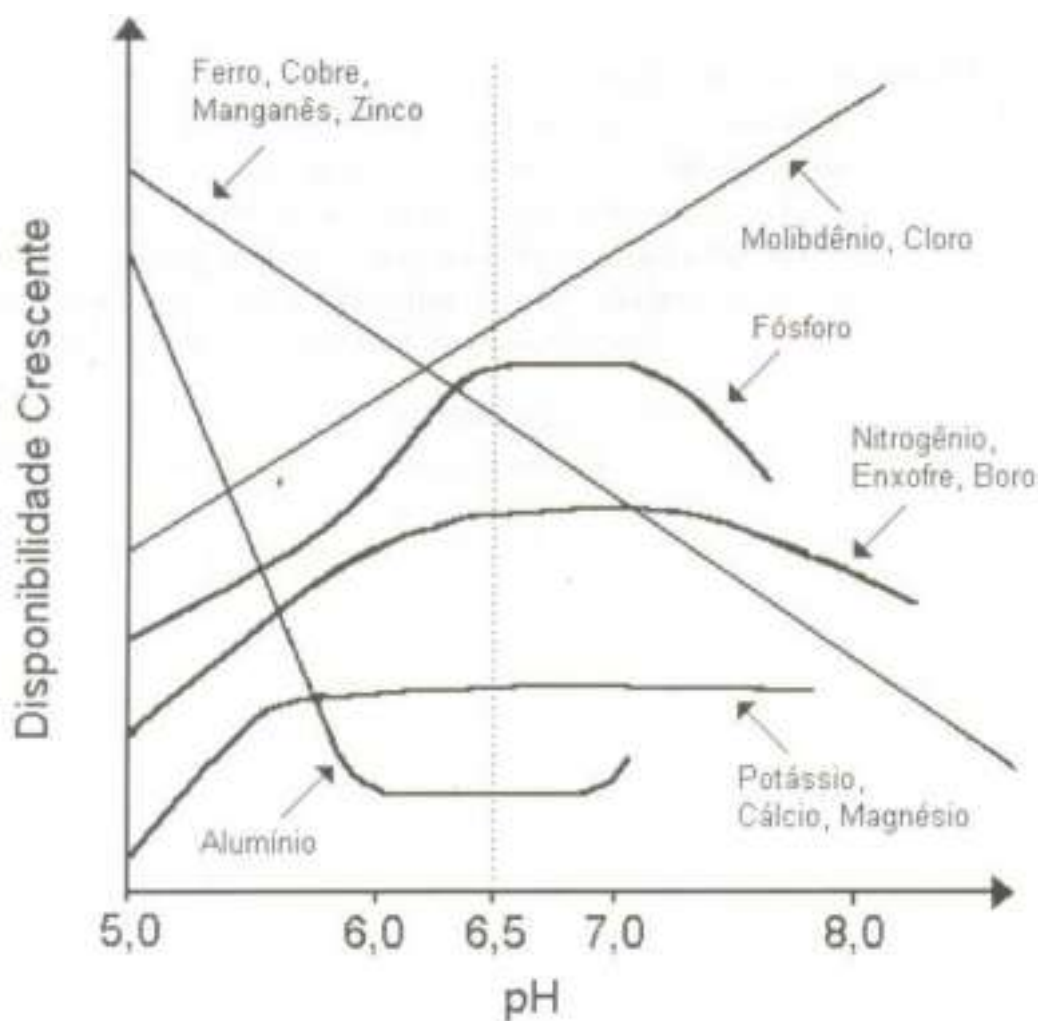
As características químicas estão relacionadas com a natureza dos minerais do solo e a disponibilidade de nutrientes presentes no solo, subsidiando esse fundamental para a recomendação da dose de adubação, assim como as transformações a que os nutrientes adicionados ao solo estarão sujeitos.

As características físico-químicas dizem respeito, principalmente, à capacidade de troca ou retenção de cátions e ao pH. A primeira reflete a capacidade de armazenamento de nutrientes catiônicos pelo solo, além da qual esses nutrientes ficam mais sujeitos à lixiviação.

O pH, que é um índice que indica o grau de acidez do solo, é de extrema importância, porque determina a disponibilidade dos nutrientes contidos no solo ou a ele adicionados (Figura 2) e também a assimilação dos nutrientes pelas plantas (Quadros 2 e 3). Considerando-se que a maioria dos solos brasileiros apresentam acidez média a alta, a sua correção, ou seja, a calagem, é um fator decisivo na eficiência das adubações, conforme mostram os dados do Quadro 4. Adubar o solo ácido é desperdiçar fertilizante.

As características orgânicas são de inestimável valor, uma vez que melhoram as características físico-químicas e biológicas principalmente e, com isso, possibilitam um desempenho muito melhor dos fertilizantes minerais.

O conhecimento de todas essas características de um determinado solo é obtido através da análise física e química.



**Figura 2. Efeito do pH na disponibilidade dos nutrientes e do alumínio no solo (Malavolta, 1979).**

**Quadro 2. Estimativa de variação porcentual na assimilação dos principais nutrientes pelas plantas, em função do pH do solo (PNFCA, 1974; EMBRAPA, 1980).**

Elementos	PH					
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Nitrogênio	20	50	75	100	100	100
Fósforo	30	32	40	50	100	100
Potássio	30	35	70	90	100	100
Enxofre	40	80	100	100	100	100
Cálcio	20	40	50	67	83	100
Magnésio	20	40	50	70	80	100
<b>Médias</b>	26,7	46,2	64,2	79,5	93,8	100

**Quadro 3. Produção relativa de algumas culturas, no Brasil, em função do pH (produção máxima obtida = 100) (Malavolta, 1983).**

Cultura	PH				
	4,7	5,0	5,7	6,8	7,5
Milho	34	73	83	100	85
Trigo	68	76	89	100	99
Aveia	77	93	99	98	100
Centeio	0	23	80	95	100
Alfafa	2	9	42	100	100
Trevo doce	0	2	49	89	100
Trevo vermelho	12	21	53	98	100
Soja	65	79	80	100	93
<b>Médias</b>	32,3	47,0	71,9	97,5	97,1

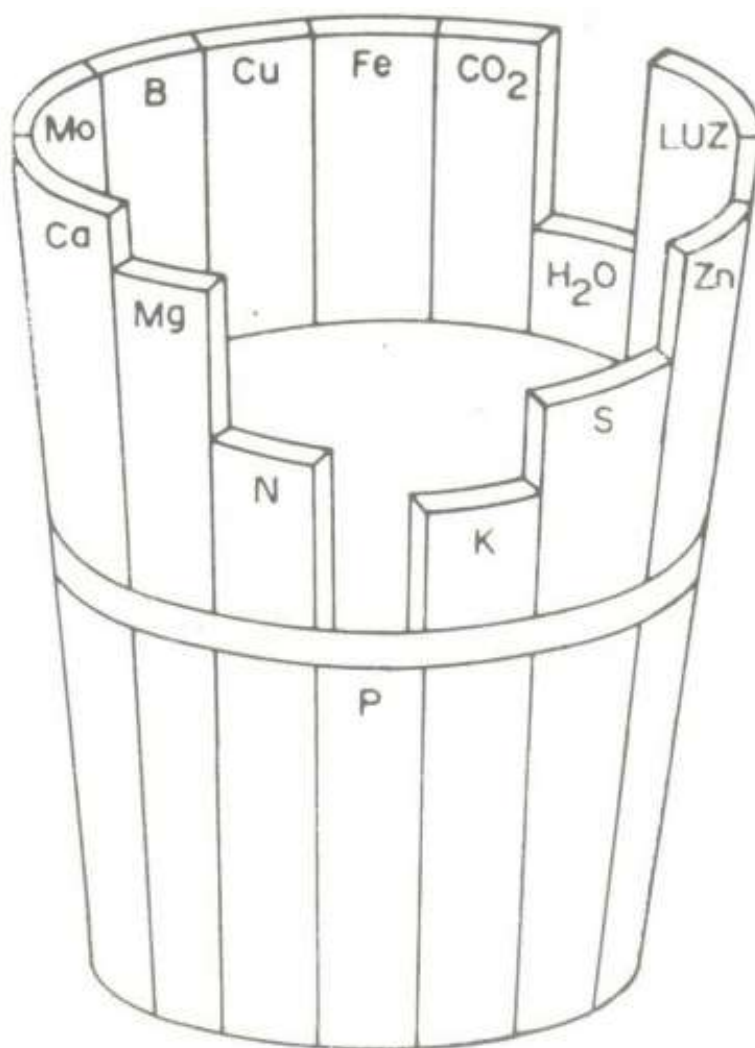
**Quadro 4. Ganhos de produtividade devido à calagem (Malavolta, 1986).**

**Aumento de produtividade devido à calagem(\*)**

Cultura	Esta	Kg/ha	%
(*) Em relação ao tratamento sem calagem e com adubo.			
Arroz	GO	850	68
Batata	SP	14.000	233
Feijao	PR	400	50
Milho	GO	2.400	104
Soja	MG	1.100	183
Trigo	RS	300	17
Algodão	GO	2.500	500
Cacau	BA	250	23
Café	MG	720	55
Cana (2 safras)	SP	53.000	36

Recomendação equilibrada, qualitativa e quantitativa: na prática da adubação é amplamente conhecida a famosa “lei do mínimo” de Liebig, isto é, a produção fica limitada pelo nutriente que se encontra em menor disponibilidade.

Essa lei pode ser entendida representando-a por um recipiente de bordas irregulares na altura (Figura 3): a capacidade do recipiente fica limitada à menor altura da borda.



*Figura 3. Representação da “lei do mínimo” de Liebig.*

Portanto, a recomendação da adubação deve contemplar as espécies de nutrientes necessárias e a sua quantidade. Quanto à quantidade ou dose deve-se considerar uma outra lei, a “lei dos acréscimos decrescentes”, e também o aspecto econômico: as adubações não devem visar à produtividade máxima, mas à produtividade que proporcione o maior lucro, isto é, a produtividade máxima econômica.

**Época de aplicação:** produtos de baixa solubilidade devem ser aplicados com antecedência para que tenham oportunidade de se dissolverem.

Produtos solúveis deveriam ser aplicados nas fases de sua maior exigência pela cultura, uma vez que, no solo, podem ficar sujeitos a perdas. É óbvia a dificuldade desse procedimento: porém, algumas práticas como a do parcelamento, principalmente dos nitrogenados, é um fator importante na eficiência.

**Forma de aplicação ou localização:** os adubos de baixa solubilidade devem ser aplicados em área total e bem incorporados ao solo, a fim de que os fatores solubilizantes possam melhor agir. Os adubos solúveis devem ser aplicados mais localizados, próximos às raízes, para diminuir as perdas.

**Uniformidade da distribuição:** a dose de adubo recomendada deve ser distribuída uniformemente por toda a área, observada a forma de aplicação indicada. Isso depende da qualidade dos equipamentos aplicadores, da sua regulagem e operacionalidade corretas, mas depende também de alguns aspectos de qualidade do fertilizante, como segregação, higroscopicidade, empedramento e fluidez.

## Fatores indiretos

Dentre os fatores indiretos, dos quais depende o sucesso das adubações, estariam todos aqueles que influem na produção agrícola:

**Umidade do solo:** as plantas só absorvem os nutrientes que estão na solução do solo. Portanto, a presença de água é fundamental, quer proveniente de chuvas ou de irrigação. Em solo seco a eficiência dos fertilizantes é altamente prejudicada. Por outro lado, o excesso de água também é maléfico, porque acentua a perda por lixiviação.

**Planta:** as diferentes espécies de plantas respondem diferentemente ao efeito dos fertilizantes. Mas dentro de uma mesma espécie há variedades com maior capacidade de aproveitamento dos fertilizantes, sendo portanto mais responsivas ao efeito dos adubos e, conseqüentemente, mais produtivas.

**Outros:** a eficiência dos fertilizantes está também sujeita a uma série de outros fatores indiretos, como preparo adequado do solo, espaçamento, combate às ervas daninhas, pragas e moléstias, fatores esses que dificultam ou impedem a plenitude da ação dos fertilizantes e, conseqüentemente, o seu aproveitamento pelas plantas.

# PERDAS DE NUTRIENTES

Os nutrientes adicionados ao solo pelos adubos podem sofrer perdas. O conhecimento das causas das perdas é importante, pois evitando-as ou minimizando-as pode-se melhorar a eficiência dos adubos.

As principais possibilidades de perdas de nutrientes no solo são:

## **Erosão**

É o desagregamento e arraste de solo provocado principalmente pela água. Estima-se que o Brasil perde, por erosão laminar (água que corre sobre a superfície do solo), cerca de 500 milhões de toneladas de terra anualmente. Portanto, no estabelecimento de uma cultura é imprescindível um planejamento técnico de conservação do solo.

## **Lixiviação ou percolação**

É a perda de nutrientes pela lavagem do solo no sentido vertical. A esse tipo de perda estão sujeitos os fertilizantes solúveis e principalmente os ânions (íons negativos) que não são ou são fracamente adsorvidos no solo como  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , etc.

## **Volatilização de nitrogênio**

É a perda de nitrogênio na forma de compostos gasosos, e ocorre em diversas situações.

Uma delas é a volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) gasosa.

Observa-se que, em meio alcalino, essas reações deslocam-se no sentido de produzir  $\text{NH}_3$  (gasoso) e, em meio ácido, deslocam-se no sentido de produzir  $\text{NH}_4^+$ , não volátil. A principal ocorrência da volatilização de amônia é com a uréia, que se decompõe segundo a equação.



Para que o  $\text{NH}_3$  não se desprenda para a atmosfera, há a necessidade de meio ácido no solo, transformando-a no cátion  $\text{NH}_4^+$ , não volátil. Esta é a razão pela qual a uréia deve ser incorporada ao solo ácido. Em solos alcalinos a perda ocorre mesmo incorporando-se a uréia.

Perdas por volatilização de amônia ocorrem também com nitrogenados amoniacais ( $\text{NH}_4^+$ ) quando aplicados em solos alcalinos.

Outra situação de perda de nitrogênio gasoso é o processo de desnitrificação, que ocorre em condições de falta de oxigênio (arroz inundado, por exemplo): nitrato é reduzido microbiologicamente a  $\text{N}_2\text{O}$  ou  $\text{N}_2$ , gasosos.

## Fixação

É a passagem de formas solúveis de nutrientes para formas insolúveis, isto é, não disponíveis às plantas. Ocorre principalmente com o fósforo e tem como causa diversos fatores, sendo um dos mais importantes a presença de alumínio e ferro, que formam, com o fósforo, fosfatos de alumínio e de ferro altamente insolúveis. Estima-se que apenas 5% a 20% do fósforo solúvel adicionado ao solo como adubo seja aproveitado pela cultura que o recebeu e que 95% a 80% dele seja fixado.

Uma das práticas mais fáceis e econômicas de minimizar a fixação de fósforo é a calagem, que insolubiliza o alumínio e o ferro diminuindo sua ação fixadora sobre o fósforo. É por isso que a calagem aumenta a disponibilidade de fósforo do solo. A fixação não deve ser encarada como uma perda total, uma vez que parte do fósforo fixado pode voltar a ser disponível. Esse retorno, porém, é quantitativamente muitíssimo inferior ao que é fixado, o que caracteriza a fixação como uma perda.



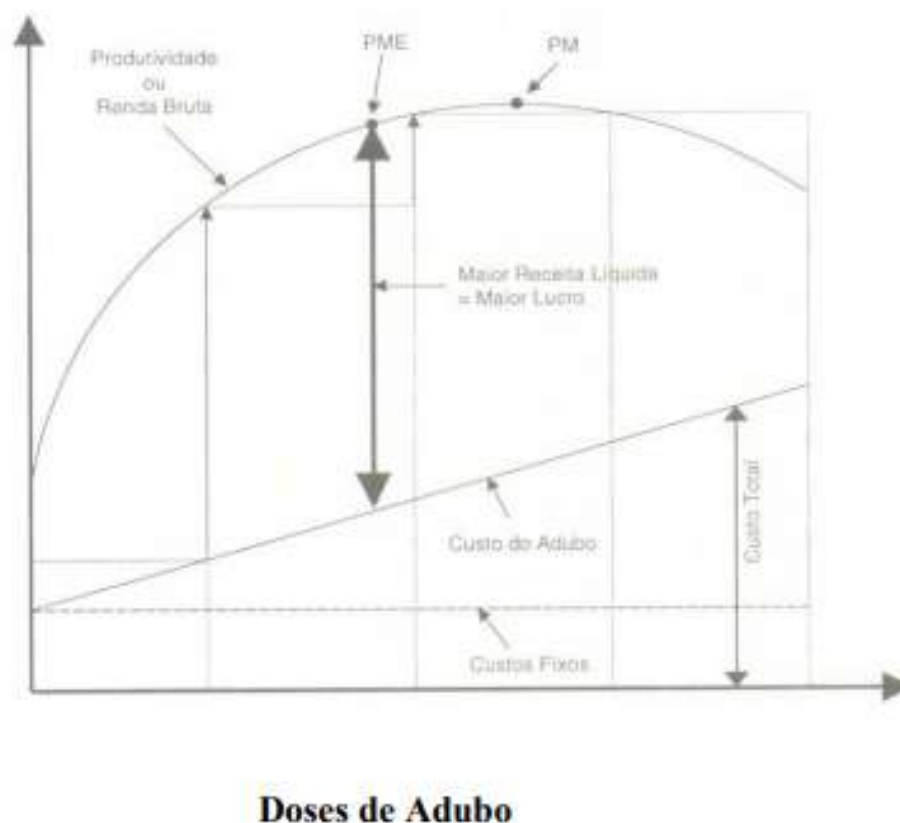
**PRODUTIVIDADE  
MÁXIMA E  
PRODUTIVIDADE  
MÁXIMA  
ECONÔMICA**

O agricultor não usa insumos com o objetivo apenas de aumentar sua produtividade (produção por unidade de área). O agricultor usa e deve usar insumos a fim de aumentar o seu lucro, ou seja, a relação benefício/custo. Para isso, o que interessa não é a busca da Produtividade Máxima (PM) mas a Produtividade Máxima Econômica (PME), isto é, o nível de produtividade que proporciona o maior lucro. Basicamente, a PME se fundamenta na redução dos custos e no aumento da produtividade.

Não resta dúvida de que é um assunto complexo, dado o grande número de variáveis envolvidas nesse jogo. Porém, dentro do tema deste boletim, devem-se esclarecer dois aspectos da participação dos adubos na PME:

A contribuição dos adubos no aumento da produtividade das culturas é da ordem de 30% a 50%, enquanto os demais fatores de produção (variedades melhoradas, sementes selecionadas, práticas culturais, controle de pragas e doenças, etc.) conjuntamente contribuem com os 50% a 70% restantes;

Nas adubações, não se deve esquecer a “lei dos acréscimos decrescentes”, isto é, as respostas de produtividade às doses crescentes de adubos não são lineares, conforme mostra a Figura 4.



**Figura 4.** *Relação entre a eficiência das adubações e a Produtividade Máxima Econômica (PME) PM = Produtividade Máxima.*

Portanto, os adubos, ou melhor, a eficiência das adubações, tem uma significativa participação na obtenção da PME, uma vez que a eficiência de uma adubação é, nada mais, nada menos, do que se obterem maiores acréscimos de produtividade por unidade de quantidade de adubo empregada.

Os fertilizantes participam de maneira significativa na obtenção da Produtividade Máxima Econômica de qualquer cultura. Os adubos e as adubações oferecem muitas condições de manejo para se ajustarem às diferentes situações agrícolas e serem mais eficientes, isto é, proporcionarem maiores acréscimos de produtividade por unidade de quantidade de adubo usada. Para isso, é indispensável conhecer e aplicar corretamente a tecnologia agrícola disponível relativa aos adubos e às adubações.

## **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

ALCARDE, J. C. Desaproveitamento de fertilizantes pela agricultura brasileira. Rio Claro, SP, EMBRACAL – Empresa Brasileira de Calcário Ltda., 1982. 4 p.

ALCARDE, J. C. & LOPES, A.S. Calagem e eficiência dos fertilizantes minerais. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Simpósio sobre “Sistema de Produção”. Campinas, SP, 1987.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO, Serviço de Fiscalização e Fomento da Produção Vegetal, da Diretoria Federal de Agricultura em Minas Gerais. Legislação – Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes destinados à agricultura. 1997. 104 p.

CDE – CONSELHO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola. Brasília, DF, 1974. 55 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Projeto “Racionalização do uso de insumos”. Sub-projeto “Pesquisa em racionalização de fertilizantes e corretivos na agricultura”. Brasília, DF, 1980. 78 p.

EPSTEIN, E. Nutrição Mineral das Plantas. São Paulo, SP, Editora da Universidade de São Paulo, 1975. 341 p.

JOHNSON, R. R. Qual o limite de produtividade das culturas? Informações Agronômicas nº 20. Piracicaba, SP, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982.

LOPES, A. S. Solos sob “Cerrado”- Características, Propriedades e Manejo. Piracicaba, SP, Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 162 p.

CDE – CONSELHO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola. Brasília, DF, 1974. 55 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Projeto “Racionalização do uso de insumos”. Sub-projeto “Pesquisa em racionalização de fertilizantes e corretivos na agricultura”. Brasília, DF, 1980. 78 p.

EPSTEIN, E. Nutrição Mineral das Plantas. São Paulo, SP, Editora da Universidade de São Paulo, 1975. 341 p.

JOHNSON, R. R. Qual o limite de produtividade das culturas? Informações Agronômicas nº 20. Piracicaba, SP, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982.

LOPES, A. S. Solos sob “Cerrado”- Características, Propriedades e Manejo. Piracicaba, SP, Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 162 p.

MALAVOLTA, E. ABC da Adubação. 4a edição. São Paulo SP, Editora Agronomia Ceres, 1979. 255 p.

MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola: Adubos e Adubações, 3a edição. São Paulo SP, Editora Agronômica Ceres, 1981.

MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas, In: Seminário sobre corretivos agrícolas. Campinas, SP, Fundação Cargill, 1983. Cap. I, p. 3-64.

MALAVOLTA, E. O impacto de novas tecnologias no setor de fertilizantes. In: Seminário sobre Fertilizantes – Situação Atual e Perspectivas. São Paulo, SP, Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1986. 46 p.

RAIJ, B. Van Avaliação de Fertilidade do Solo. Piracicaba, SP, Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. 142 p.

RAIJ, B. Van; ROSAND, P. C. & LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. In: Adubação Fosfatada no Brasil. Brasília, DF, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1982. p.9-28.

TISDALE, S. L. & NELSON, W. L. Soil Fertility and Fertilizers. 3rd edition. New York, MacMillan Publishing Co., Inc., 1975. 694 p.

WAGNER, R. E. Produtividade Agrícola: o desafio da pesquisa em produções máximas. Informações Agronômicas, nº 16. Piracicaba, SP, Instituto da Potassa e Fosfato, 1981.