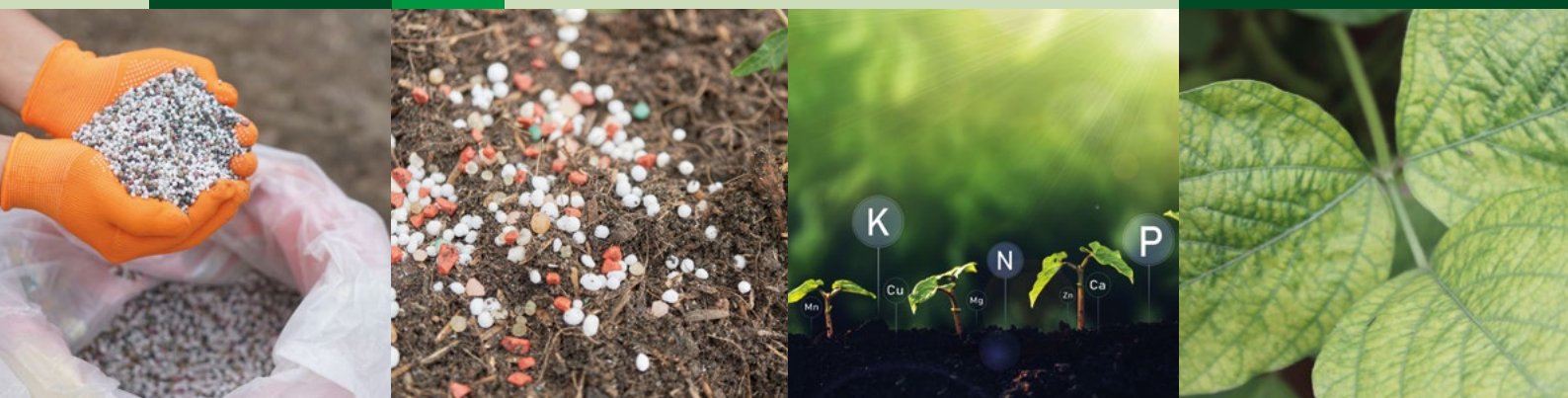


NUTRIENTES E TEORES DE REFERÊNCIA



SISTEMA FAEP



SENAR - ADMINISTRAÇÃO REGIONAL DO ESTADO DO PARANÁ

CONSELHO ADMINISTRATIVO

Presidente: Ágide Meneguette

Membros Titulares

Rosanne Curi Zarattini
Nelson Costa
Darci Piana
Alexandre Leal dos Santos

Membros Suplentes

Livaldo Gemin
Robson Mafioletti
Ari Faria Bittencourt
Ivone Francisca de Souza

CONSELHO FISCAL

Membros Titulares

Sebastião Olímpio Santaroza
Paulo José Buso Júnior
Carlos Alberto Gabiatto

Membros Suplentes

Ana Thereza da Costa Ribeiro
Aristeu Sakamoto
Aparecido Callegari

CARLA FERNANDA FERREIRA

NUTRIENTES E TEORES DE REFERÊNCIA

**CURITIBA
SENAR-AR/PR
2026**

Depósito legal na CENAGRI, conforme Portaria Interministerial nº 164, datada de 22 de julho de 1994, junto à Biblioteca Nacional e ao SENAR-AR/PR.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, por qualquer meio, sem a autorização do editor.

Autora: Carla Fernanda Ferreira

Coordenação técnica: Guilherme Stalchmidt Schulze

Coordenação metodológica: Leandro Aparecido do Prado

Coordenação gráfica: Carlos Manoel Machado Guimarães Filho

Diagramação: Sincronia Design Gráfico Ltda.

Normalização e revisão final: CEDITEC – SENAR AR/PR

Catálogo no Centro de Editoração, Documentação e
Informação Técnica do SENAR-AR/PR

F383	Ferreira, Carla Fernanda
	Nutrientes e teores de referência [livro eletrônico] / Carla Fernanda Ferreira. — Curitiba : SENAR AR/PR, 2026. 6144 KB; PDF.
	ISBN 978-85-7565-289-3
	1. Plantas - Nutrição. 2. Plantas e solo. 3. Solos e nutrição de plantas. 4. Solos - Análise. 5. Adubos e ferti- lizantes. 6. Bioinsumos. I. Título.
	CDD: 631.8

Bibliotecária responsável: Luzia Glinski Kintopp - CRB/9-1535

IMPRESSO NO BRASIL – DISTRIBUIÇÃO GRATUITA



APRESENTAÇÃO

O Sistema FAEP é composto pela Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP), o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do Paraná (SENAR-PR) e os sindicatos rurais.

O campo de atuação da FAEP é na defesa e representação dos milhares de produtores rurais do Paraná. A entidade busca soluções para as questões relacionadas aos interesses econômicos, sociais e ambientais dos agricultores e pecuaristas paranaenses. Além disso, a FAEP é responsável pela orientação dos sindicatos rurais e representação do setor no âmbito estadual.

O SENAR-PR promove a oferta contínua da qualificação dos produtores rurais nas mais diversas atividades ligadas ao setor rural. Todos os treinamentos de Formação Profissional Rural (FSR) e Promoção Social (PS), nas modalidades presencial e *online*, são gratuitos e com certificado.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
1. ESSENCIALIDADE DOS NUTRIENTES	9
1.1 CLASSIFICAÇÃO DOS NUTRIENTES ESSENCIAIS	12
1.1.1 Macronutrientes	14
1.1.2 Micronutrientes	16
2. SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA E TOXICIDADE	19
2.1 SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA E TOXICIDADE DE NITROGÊNIO	20
2.2 SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA E TOXICIDADE DE FÓSFORO	21
2.3 SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA E TOXICIDADE DE POTÁSSIO	22
2.4 SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE	23
3. ABSORÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELAS PLANTAS	27
3.1 ABSORÇÃO DE NUTRIENTES	27
3.2 EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES	29
4. VALORES DE REFERÊNCIA DOS ELEMENTOS DA ANÁLISE DE SOLO	31
4.1 EXEMPLO PRÁTICO	31
4.2 AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE E DOS PARÂMETROS QUÍMICOS	34
4.3 CRITÉRIOS AVALIADOS	35
5. PARÂMETROS QUÍMICOS	37
5.1 ACIDEZ DO SOLO	37
5.2 CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIOS (CTC) E SATURAÇÃO DAS BASES TROCÁVEIS (V%)	39
5.3 MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO NO SOLO	40
5.4 MICRONUTRIENTES NO SOLO	41
6. CORRETIVOS E CONDICIONADORES DE SOLO	43
7. RELAÇÕES DE EQUILÍBRIO	45
8. COMPOSIÇÃO DOS FERTILIZANTES	49
8.1 CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS REQUERIDOS	50
8.1.1 Fertilizantes nitrogenados	50
8.1.2 Fertilizantes fosfatados	53
8.1.3 Fertilizantes potássicos	54
8.2 NATUREZA QUÍMICA DOS FERTILIZANTES COMERCIAIS	55
8.2.1 Classificação dos fertilizantes comerciais	55

8.3	FORMULAÇÕES NPK	56
8.3.1	Método da relação básica entre os nutrientes	57
8.3.2	Método por tentativa	57
8.3.3	Método do divisor máximo	58
8.3.4	Composição do formulado NPK.....	58
8.4	EFICIÊNCIA NAS FORMAS DE ADUBAÇÃO	59
9.	INOCULANTES	63
10.	CONCEITO DE BIOINSUMOS.....	67
	GLOSSÁRIO.....	71
	REFERÊNCIAS	73

INTRODUÇÃO

A produtividade agrícola depende do equilíbrio nutricional das plantas e da correta disponibilidade dos nutrientes no solo. Quando a planta recebe os nutrientes essenciais na quantidade adequada, seu crescimento e desenvolvimento ocorrem de forma mais eficiente. Por isso, compreender quais nutrientes são indispensáveis e qual é a função de cada um é o primeiro passo para um bom manejo da adubação. A falta ou o desequilíbrio desses nutrientes prejudica processos importantes da planta, como a fotossíntese e a produção de flores e frutos, resultando em redução da produtividade.

Os fertilizantes desempenham papel importante na reposição dos nutrientes exportados pelas colheitas e na manutenção da fertilidade do solo ao longo do tempo. O uso criterioso desses insumos, aliado ao conhecimento sobre as exigências nutricionais das espécies cultivadas e à interpretação correta dos resultados das análises de solo, é fundamental para garantir a eficiência da adubação e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Assim, a integração entre o conhecimento da essencialidade dos nutrientes, a interpretação técnica das análises de solo e o manejo racional dos fertilizantes constitui um alicerce indispensável para alcançar elevados índices de produtividade e eficiência no uso dos recursos. Esses aspectos estão diretamente relacionados ao desempenho das culturas modernas e formam a base conceitual necessária para compreender as expectativas relacionadas ao aumento dos índices produtivos das culturas comerciais.

Você já refletiu sobre a importância da análise de solo e sobre o papel fundamental que ela desempenha na produção agrícola? É capaz de compreender como os resultados de uma análise auxiliam na identificação das deficiências e potencialidades dos solos brasileiros? Consegue perceber a relação entre os nutrientes presentes no solo, o desenvolvimento das plantas e o manejo adequado da fertilização nas propriedades rurais, identificando os sintomas de deficiência nas plantas?

Este material didático apresenta um estudo sobre os resultados de análise de solo, abordando desde os conceitos básicos até a comparação com os valores de referência utilizados na recomendação de adubação e calagem. Além disso, nele são discutidos os principais elementos essenciais ao crescimento das plantas, suas funções fisiológicas e as formas de diagnóstico de deficiências nutricionais.

Também são explorados os fertilizantes mais utilizados na agricultura e informações necessárias para garantir o uso eficiente dos nutrientes e evitar impactos ambientais. O conteúdo fornece subsídios técnicos para o manejo racional da fertilidade do solo, promovendo o equilíbrio nutricional e a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

1. ESSENCIALIDADE DOS NUTRIENTES

A nutrição mineral das plantas é um dos pilares para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade vegetal. Dentre os diversos elementos químicos presentes no solo, apenas alguns são considerados essenciais para que as plantas completem seu ciclo de vida e desempenhem suas funções fisiológicas de forma adequada.



PARA SABER MAIS

Essencialidade de nutrientes para as plantas é o conceito que define quais elementos químicos são indispensáveis para que a planta complete seu ciclo de vida, ou seja, germinar, crescer, florescer e produzir sementes viáveis.

A determinação da essencialidade dos nutrientes tem por base alguns critérios que permitem distinguir os elementos essenciais daqueles que exercem apenas efeitos benéficos ou tóxicos em determinadas concentrações. Ou seja, para um elemento ser considerado um nutriente essencial para as plantas, precisa atender a três critérios de essencialidade:

- **1º critério:** quando sua ausência impede que a planta complete o ciclo de vida, mesmo que todos os outros nutrientes estejam disponíveis. Isso significa que a planta não consegue crescer, florescer ou produzir sementes normalmente sem aquele elemento.
- **2º critério:** o elemento não pode ser substituído por outro por conta da função que ele exerce na planta. Isso porque cada nutriente exerce papéis específicos nas reações metabólicas e estruturais das plantas, sendo insubstituível. Por exemplo, o magnésio (Mg) é componente central da molécula de clorofila e não pode ser substituído por outro elemento nessa função.
- **3º critério:** participação direta do elemento no metabolismo da planta, seja compondo moléculas orgânicas essenciais, como proteínas, clorofila e ácidos nucleicos, seja atuando como cofator em reações enzimáticas. Assim, o nutriente precisa ter papel fisiológico comprovado na planta, e não apenas influenciar o ambiente externo ou o crescimento de forma indireta.

Além desses critérios clássicos, abordagens mais recentes consideram a função benéfica de alguns elementos não essenciais, como o silício (Si) e o sódio (Na), que embora não sejam indispensáveis para todas as espécies vegetais, contribuem significativamente para a resistência a estresses bióticos e abióticos.

Para definir esses critérios, são realizados estudos em que as plantas são cultivadas em um material sem nutrientes e recebem soluções nutritivas com a falta de determinados elementos. Desse modo, observa-se o surgimento de sintomas de deficiência nas plantas e avalia-se seu desenvolvimento. Esse tipo de experimento ajuda a identificar como a falta de cada nutriente afeta a cultura, conforme Figura 1.

Figura 1 – Cultivo de rúcula (*Eruca sativa*) em substrato inerte de nutrientes (A) e formulação de solução nutritiva na qual é possível omitir um único elemento para identificar o sintoma de deficiência (B).



Fonte – Ferreira, 2015.

O desenvolvimento das plantas em substrato inerte é fundamental para o sucesso na determinação dos sintomas de deficiência, sendo mais utilizada a areia lavada. Por essa razão, discute-se a essencialidade do elemento silício, uma vez que a areia e a maioria dos substratos utilizados apresentam esse elemento na composição, dificultando avaliar o desenvolvimento de plantas em sua ausência.

O aumento da produtividade das culturas está relacionado ao uso de tecnologias, como híbridos, variedades ou cultivares com alto potencial produtivo. Esses materiais, em geral, exigem maior cuidado no manejo, mas apresentam melhor aproveitamento dos nutrientes absorvidos, maior eficiência no uso dos fertilizantes, melhor controle de plantas daninhas, avanços no manejo das lavouras e possibilidade de trabalhar com maior população de plantas.

No entanto, todo esse potencial produtivo só é alcançado quando as condições do ambiente são adequadas ao desenvolvimento das plantas. Isso inclui solos bem corrigidos quanto à fertilidade e à acidez. Além disso, o manejo correto do solo favorece o crescimento das raízes, permitindo melhor absorção dos nutrientes aplicados e maior resposta das culturas às adubações.

As explorações agrícolas utilizam os solos como um recurso de sustentação para o desenvolvimento radicular e captação de água e nutrientes, devendo ser manejado corretamente para evitar as perdas desses elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas. Nesse sentido, a forma como o solo é manejado, associada a outras técnicas de conservação de solo, água e nutrientes, atua em conjunto com os três passos para a correta interpretação da análise de solo. Ou seja, de nada adianta fazer uma correta coleta de solos e enviar as amostras a um laboratório especializado, mas não efetuar a correta interpretação dos dados ou o manejo adequado dos fertilizantes ou do solo.



PARA SABER MAIS

Um exemplo prático é a observação do sintoma de deficiência de nutrientes mais comum, a chamada clorose, que nada mais é do que a perda da clorofila, o pigmento que garante a coloração verde das folhas, tornando as folhas mais amareladas. O excesso de calagem promove o aumento do pH do solo, o que reduz a disponibilidade de manganês (Mn) e ocasiona o amarelecimento das folhas. Isso não significa que o Mn do solo desapareceu, mas que o aumento do pH o tornou indisponível para as plantas absorverem.

1.1 CLASSIFICAÇÃO DOS NUTRIENTES ESSENCIAIS

Com base nesses princípios, os elementos essenciais são classificados em **macronutrientes** (como N, P, K, Ca, Mg e S) e **micronutrientes** (como Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl e Ni), de acordo com as quantidades requeridas pelas plantas. A compreensão dos critérios de essencialidade é, portanto, fundamental para o manejo adequado da adubação e da fertilidade do solo, visando garantir o equilíbrio nutricional e a sustentabilidade da produção agrícola.



PARA SABER MAIS

Um exemplo prático dos critérios de essencialidade é o uso dos micronutrientes cobalto e molibdênio no tratamento de sementes. O cobalto é considerado um elemento benéfico, pois ajuda no desenvolvimento das plantas, mas a cultura consegue completar seu ciclo mesmo na ausência desse nutriente, já que suas funções podem ser parcialmente supridas pelo molibdênio. Por outro lado, o molibdênio é um nutriente indispensável, não podendo ser substituído por outro elemento. Sua ausência compromete o desenvolvimento da planta, o que confirma que ele é um nutriente essencial.

Seguindo a mesma lógica do cobalto, outros elementos também participam dos processos da planta, estimulam o crescimento dela e podem aumentar sua produtividade. Entre eles estão o selênio, o sódio, o silício e o próprio cobalto, que são conhecidos como elementos benéficos. Embora não sejam considerados essenciais, eles contribuem para o bom desenvolvimento das culturas.

A quantidade e a necessidade de cada nutriente variam conforme a cultura, o estágio de desenvolvimento da planta, as condições climáticas ao longo do ciclo, a idade do tecido vegetal e a parte da planta avaliada. Além disso, a composição do solo e a disponibilidade de nutrientes influenciam diretamente a exigência nutricional das plantas.

A possibilidade de controlar a disponibilidade e absorção desses elementos pelas plantas permite um melhor aproveitamento de áreas cultivadas, efeito notável nas fertilizações e correções do solo, além das melhorias na disponibilidade dos elementos por meio dos sistemas de manejo do solo, da irrigação e da solução nutritiva, uma mistura de água com sais minerais dissolvidos que fornece todos os nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, como é o caso da hidroponia (Figura 2).

Figura 2 – Deficiência de potássio nas folhas (A) e nas sépalas (B) em função do manejo incorreto da solução nutritiva no cultivo de morango (*Fragaria ananassa*).



Fonte – Ferreira, 2023.

Embora as plantas produzam o próprio alimento por meio da fotossíntese, utilizando água, gás carbônico e a energia do sol, elas dependem de nutrientes do solo para que esse processo funcione corretamente e para a formação de substâncias essenciais, como clorofila, enzimas, carboidratos e proteínas. Quando esses nutrientes estão em falta, a planta não se desenvolve bem e não consegue expressar todo o seu potencial produtivo.

? VOCÊ SABIA?

De todos os elementos químicos presentes na natureza, em um total de 118, muitos fazem parte da nutrição mineral de plantas, mas apenas 16 são considerados essenciais e com funções vitais para elas. Esses elementos podem ser divididos em macronutrientes e micronutrientes, de acordo com sua concentração absorvida pelas plantas e existente no tecido vegetal.

1.1.1 Macronutrientes

Os macronutrientes têm suas concentrações expressas em g kg^{-1} , que corresponde à relação de gramas por quilogramas, sendo eles: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S); alguns pesquisadores adicionam a essa lista o silício (Si).

Os elementos presentes no solo exercem funções específicas no desenvolvimento das plantas. Enquanto muitos são essenciais ou benéficos, outros podem prejudicar o crescimento e a produtividade, como é o caso do alumínio em níveis tóxicos. A presença ou o excesso desses elementos interfere diretamente no desempenho das culturas e nos resultados produtivos da lavoura.

As discussões quanto às funções metabólicas e seus efeitos sobre o rendimento das culturas comerciais são apresentadas no Quadro 1, para os principais macroelementos: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

Quadro 1 – Macronutrientes essenciais à nutrição mineral de plantas, suas principais funções metabólicas e seu efeito sobre o rendimento das culturas comerciais.

Nutriente essencial	Função metabólica nos tecidos vegetais	Efeitos sobre o rendimento e a produtividade nas culturas comerciais
Nitrogênio	Componente formador de aminoácidos e proteínas; participa das moléculas produtoras de energia para a fotossíntese; responsável pela elongação celular e pelo crescimento vegetativo.	Sua deficiência deixa as plantas com baixa estatura; níveis de proteínas baixos, acarretando grãos e frutos com menor peso; amarelecimento devido às perdas de clorofila e, conseqüentemente, menor produção. Seu excesso promove crescimento exagerado e conseqüentemente, acamamento.
Fósforo	Participa das moléculas produtoras de energia para a fotossíntese (ATP); responsável pela transferência de energia e informações genéticas; essencial ao crescimento radicular.	Sua deficiência afeta a germinação de plantas, reduzindo o vigor e o <i>stand</i> inicial; plantas deficientes acumulam açúcar e ficam arroxeadas. Seu excesso causa atrofia do sistema radicular.
Potássio	Regulador da pressão osmótica; controla o fechamento e a abertura dos estômatos; atua na ativação enzimática; tem importante papel na fotossíntese, na formação de frutos e na resistência da planta a climas desfavoráveis e doenças.	A incidência de doenças aumenta com a deficiência de potássio; as plantas ficam acamadas e a necrose reduz a área fotossintética, ocasionando baixa produtividade. Já o excesso não causa distúrbios às plantas, mas inibe a absorção de outros elementos.
Cálcio	Principal constituinte da parede celular, dando resistência e sustentação para o vegetal; é importante na elongação celular, no crescimento do tubo polínico e na germinação do pólen.	Plantas deficientes em cálcio apresentam grãos chochos e frutos apodrecidos, perdendo seu valor comercial; flores abortam e, conseqüentemente, reduzem a produção; raízes ficam menores e até morrem.

Nutriente essencial	Função metabólica nos tecidos vegetais	Efeitos sobre o rendimento e a produtividade nas culturas comerciais
Magnésio	Principal elemento constituinte da clorofila, importante para a fotossíntese; participa dos processos respiratórios e auxilia na absorção de outros elementos.	Sua deficiência leva à redução do número de folhas e a um volume de raízes baixo. Além disso, ocorre a queda dos botões florais, impedindo a formação dos frutos.
Enxofre	Participa da transferência de elétrons, importante para a produção de energia durante a fotossíntese; é essencial ao processo de fixação do N ₂ pelas leguminosas noduladas.	Sua deficiência não causa danos severos às produções agrícolas, uma vez que raramente ocorre deficiência desse elemento. Em contrapartida, seu excesso inibe a taxa fotossintética, provocando a deficiência de ferro.

Fonte – Ferreira, 2025.

A deficiência ou o excesso (toxicidade) desses nutrientes resulta em alterações morfológicas e fisiológicas visíveis, conhecidas como sintomas nutricionais, cuja localização nos tecidos vegetais está relacionada à mobilidade do nutriente dentro da planta. Assim, compreender onde esses sintomas surgem é fundamental para um diagnóstico nutricional preciso e para o manejo adequado da fertilidade do solo e da adubação.

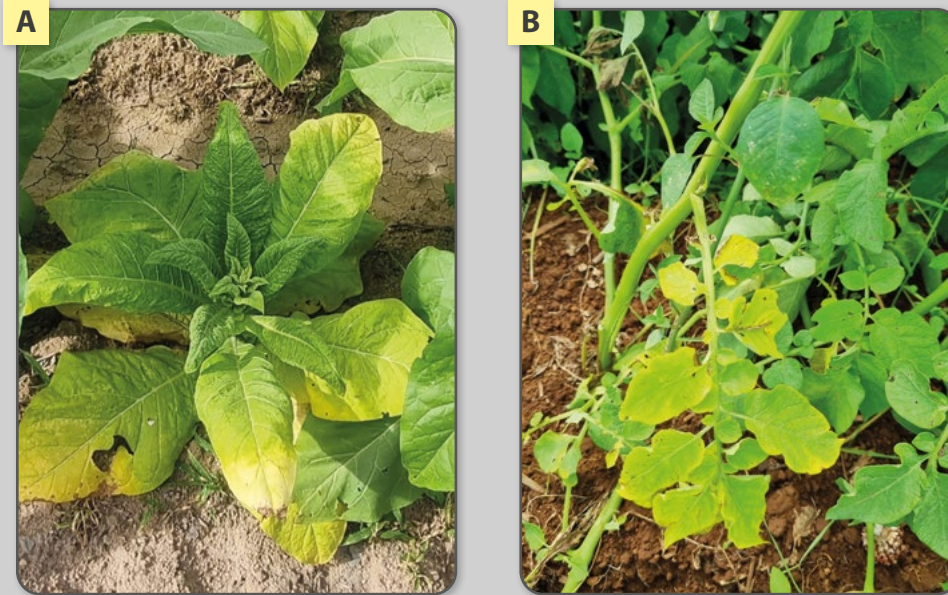
Os macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são considerados móveis no floema (tecido da planta que transporta o alimento produzido nas folhas para o restante do vegetal, responsável pela redistribuição do açúcar nas plantas), ou seja, podem ser redistribuídos das folhas mais velhas para as mais novas quando há deficiência no solo. Dessa forma, os sintomas de falta desses elementos aparecem primeiramente nas folhas mais velhas.

Para entender esse conceito é preciso compreender o que é a mobilidade dos elementos nutrientes nas plantas. Trata-se da capacidade de um nutriente ser redistribuído dentro da planta, saindo de um órgão mais velho e indo para uma parte mais nova que está crescendo. Para entender esse conceito, precisamos compreender que a planta contém dois vasos que conduzem os elementos químicos:

- **Xilema:** transporta água e sais minerais absorvidos pelas raízes em um fluxo ascendente, na direção das raízes para as folhas.
- **Floema:** transporta açúcares e outras substâncias orgânicas produzidas na fotossíntese. O fluxo pode ser de cima para baixo ou de baixo para cima, conforme a necessidade.

Portanto, para entender a mobilidade de um nutriente na planta é importante saber que sua redistribuição acontece pelo floema. Como estratégia de sobrevivência, os nutrientes que são móveis dentro da planta são transportados das folhas mais velhas, que irão secar e cair, para as folhas mais novas, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Deficiência nutricional de macronutrientes em folhas mais velhas de tabaco (A) e batata (B).



Fonte – Ferreira, 2025.

1.1.2 Micronutrientes

Os micronutrientes têm suas concentrações expressas em mg kg^{-1} , ou seja, sua relação é de miligramas por quilograma, uma grande diferença em relação aos macronutrientes. São eles: ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), molibdênio (Mo), boro (B) e cloro (Cl). As funções metabólicas e seus efeitos sobre o rendimento das culturas comerciais serão apresentadas no Quadro 2, para os principais micronutrientes.

Quadro 2 – Micronutrientes essenciais à nutrição mineral de plantas, suas principais funções metabólicas e seu efeito sobre o rendimento das culturas comerciais.

Nutriente essencial	Função metabólica nos tecidos vegetais	Efeitos sobre o rendimento e a produtividade nas culturas comerciais
Ferro	Atua nos processos metabólicos energéticos; participa do processo de fixação do N ₂ pelas leguminosas noduladas.	Sua deficiência leva à redução no desenvolvimento de raízes.
Cobre	Essencial ao balanço de nutrientes; importante nos processos de fotossíntese e respiração.	Sua deficiência leva à redução na resistência a doenças e à absorção de fósforo.
Zinco	Atua na permeabilidade de membranas; estabiliza os componentes celulares; está relacionado ao metabolismo de carboidratos e proteínas e associado à maturação precoce.	Na sua deficiência ocorre atraso no ciclo biológico e na maturação de frutos e grãos, bem como redução no tamanho de folhas e ramos.
Manganês	Atua na síntese de clorofila; participa do metabolismo energético.	Sua deficiência acarreta redução na taxa fotossintética e perdas na produtividade.
Molibdênio	Atua na fixação biológica de N ₂ atmosférico em plantas noduladas; está associado aos processos de ativação de enzimas que estimulam as transformações do nitrogênio.	Em sua deficiência, as plantas apresentam estatura reduzida, menor número de flores e, conseqüentemente, menor número de vagens e frutos.
Boro	Importante na retenção floral; atua no metabolismo de carboidratos, proteínas e ácidos nucleicos.	Em sua deficiência, o número de flores é reduzido, a taxa de crescimento fica mais lenta e as sementes reduzem sua carga genética, ocasionando a perda de informações importantes para a manutenção da produtividade.
Cloro	Participa dos processos fotossintéticos e estimula algumas enzimas.	Plantas deficientes em cloro não apresentam sintomas claros nem perdas em rendimento produtivo. Apesar da rara deficiência pode apresentar murcha, clorose e redução no crescimento radicular.

Fonte – Ferreira, 2025.

Algumas deficiências de micronutrientes são pouco observadas, como é o caso do cloro. Trata-se de um nutriente essencial, portanto, na sua ausência a planta não completa seu ciclo de vida. Entretanto, é um elemento exigido em baixas quantidades e raramente é deficiente na natureza, uma vez que está amplamente disponível na água da chuva, de irrigação ou na umidade presente no solo.

De modo geral, os micronutrientes ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B) são pouco móveis no floema. Por essa razão, suas deficiências se manifestam inicialmente nas folhas jovens e nas regiões de crescimento ativo, onde o suprimento via redistribuição interna é limitado.

Entretanto, é muito comum observar sintomas relacionados a níveis inadequados de micronutrientes no crescimento reduzido do sistema radicular (Figura 4), principalmente em função da inibição da absorção de outros nutrientes.

Figura 4 – Crescimento radicular reduzido em milho em função da baixa disponibilidade de ferro em solos mais siltosos.



Fonte – Ferreira, 2025.

2. SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA E TOXICIDADE

A falta ou o excesso de nutrientes nas plantas provoca sintomas específicos nas folhas e em outros tecidos, porém esses sinais nem sempre são fáceis de identificar, pois podem ser confundidos com doenças ou ataque de pragas. Como esses sintomas estão relacionados à disponibilidade de nutrientes no solo e às condições climáticas, especialmente à oferta de água, geralmente aparecem em áreas pontuais da lavoura. Isso difere da ação de pragas e doenças, que tendem a se espalhar com mais rapidez e atingir grandes áreas.

Outro ponto importante é a mobilidade dos nutrientes dentro da planta. Nutrientes móveis conseguem se deslocar dos tecidos mais velhos para os mais novos. Por isso, quando há deficiência desses elementos, os sintomas aparecem primeiro nas folhas mais velhas. Entre os nutrientes móveis estão o nitrogênio, o fósforo, o potássio, o magnésio, o cloro e o molibdênio, sendo a maioria macronutrientes. Já os nutrientes com pouca mobilidade permanecem onde foram absorvidos, fazendo com que os sintomas de deficiência apareçam nas folhas mais jovens. É o caso do cálcio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, na maioria micronutrientes.



PARA SABER MAIS

O uso intensivo de fertilizantes é uma prática comum entre produtores que buscam aumentar a produtividade das lavouras. No entanto, o fornecimento excessivo de nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) pode gerar efeitos negativos no solo, nas plantas e no ambiente.

De que forma o uso exagerado de fertilizantes pode levar à toxicidade desses nutrientes, afetar o crescimento das plantas e contribuir para a degradação ambiental e a perda de eficiência produtiva ao longo do tempo? Será que todos os produtores têm consciência de que a toxicidade é ocasionada pela fertilização em doses exageradas?

Entre os nutrientes mais exigidos pelas plantas, o nitrogênio, o fósforo e o potássio apresentam sintomas de deficiência diferentes entre si. Mesmo assim, em todos os casos, os primeiros sinais costumam aparecer nas folhas mais velhas e resultam em redução do crescimento e da produtividade das culturas.

2.1 SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA E TOXICIDADE DE NITROGÊNIO

O nitrogênio é um nutriente exigido em grandes quantidades pelas plantas, principalmente pelas gramíneas. Seu manejo deve ser feito com cuidado, pois tanto sua falta quanto seu excesso podem causar problemas e reduzir a produtividade.

Quando há deficiência de nitrogênio, um dos principais sintomas é a clorose, marcada pela perda da coloração das folhas, que de verde intenso passam a ficar amareladas. Isso ocorre porque a clorofila, pigmento verde presente nas células das folhas, é responsável pela principal fonte de energia química. É a clorofila que transforma a energia luminosa do sol em açúcar. Sem clorofila a planta não consegue fazer a fotossíntese. Esse sintoma aparece, em geral, primeiro nas folhas mais velhas, conforme Figura 5.

Figura 5 – Sintoma de deficiência de nitrogênio em milho caracterizado pelo amarelecimento com início na ponteira, espalhando-se pela nervura central.



Fonte – Ferreira, 2025.

Quando há deficiência de nitrogênio, as plantas apresentam menor crescimento, ficando mais baixas. Como resposta, ocorre maior desenvolvimento das raízes, que passam a explorar melhor o solo em busca desse nutriente. O nitrogênio pode ser absorvido pelas plantas de diferentes formas, mas em todos os casos a presença de água no solo é fundamental para que ocorra a absorção e o transporte do nutriente pelas raízes.

A toxidez pelo elemento nitrogênio, por sua vez, é responsável por perdas na produtividade e no rendimento de grãos em culturas comerciais. Seu excesso promove a alongação das células, com paredes celulares mais finas e mais suscetíveis a doenças, e os grãos e frutos apresentam baixa qualidade. Em gramíneas, pode apresentar perfilhamento (Figura 6), e o crescimento excessivo causa acamamento, dificultando os processos de colheita e intensificando as perdas na lavoura.

Figura 6 – Planta de milho apresentando emissão excessiva de perfilhos basais, característica associada ao excesso de nitrogênio, podendo resultar em plantas duplas e maior competição interna por assimilados.



Fonte – Ferreira, 2023.

Culturas como milho e trigo exigem grandes quantidades de nitrogênio. Muitas vezes, apenas a aplicação de fertilizantes não é suficiente para suprir toda a necessidade das plantas. Por isso, é importante considerar as condições climáticas e as características do solo.

Solos mais arenosos, com rápida infiltração de água, tendem a perder umidade com facilidade, o que dificulta o aproveitamento do nitrogênio pelas raízes e pode reduzir a eficiência da adubação.

2.2 SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA E TOXICIDADE DE FÓSFORO

O fósforo (P) é o segundo nutriente exigido em maior quantidade pelas plantas. Dentro da planta, ele se movimenta com facilidade, mas no solo apresenta pouca mobilidade. Sua absorção ocorre principalmente pela diferença de concentração no solo, o que torna a adubação fosfatada no sulco de plantio mais eficiente, pois aproxima o nutriente das raízes.

Quando falta fósforo, as plantas apresentam coloração avermelhada nas folhas mais velhas, conforme Figura 7. Esse nutriente é fundamental nos estágios iniciais de desenvolvimento, especialmente na germinação. Sua deficiência pode causar germinação desuniforme, sementes menores, menor número de sementes e redução na produtividade das culturas.

Figura 7 – Sintoma de deficiência de fósforo em milho caracterizado pelo amarelecimento com início na ponteira, espalhando-se pela nervura central.



Fonte – Ferreira, 2025.

Algumas alterações ocorrem quando as plantas são submetidas a condições de estresse, ocasionando o desbalanço metabólico, que ocasiona acúmulo de elementos nos tecidos vegetais, principalmente de fósforo. Portanto, o acúmulo de fósforo nos tecidos está muito mais relacionado às condições de estresse do que ao excesso de absorção desse elemento.



VOCÊ SABIA?

Os sintomas de toxidez por fósforo nas plantas são raros. Isso ocorre porque, na maioria dos solos, os teores desse nutriente são naturalmente baixos. Além disso, o fósforo reage com os minerais de argila do solo, ficando retido e menos disponível para a absorção pelas raízes, o que reduz o risco de excesso para as plantas.

2.3 SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA E TOXICIDADE DE POTÁSSIO

Apesar de o potássio estar presente em grande quantidade nos solos, a deficiência desse nutriente é relativamente comum nas lavouras. Seus principais sintomas são a queima ou necrose nas bordas das folhas, ocasionando a mortalidade do tecido, caracterizada por uma mancha inicialmente seca de coloração amarronzada e vai progredindo até a total desfolha, conforme Figura 8, sendo muitas vezes confundidos com manchas causadas por doenças.

A falta de potássio reduz o crescimento das plantas e a área fotossintética, além de deixá-las mais sensíveis a doenças e a condições climáticas adversas. Isso ocorre porque o potássio é responsável pela regulação da água nas células e pelo controle da abertura e fechamento dos estômatos, que são os poros presentes nas folhas responsáveis pelas trocas de gases como oxigênio e gás carbônico.

**PARA SABER MAIS**

Os estômatos são essenciais porque controlam a respiração, a fotossíntese e o equilíbrio de água da planta. Eles funcionam como válvulas microscópicas que abrem e fecham conforme a necessidade. São os estômatos que permitem a entrada de CO_2 , necessário para a fotossíntese, e liberam O_2 , produzido durante a fotossíntese. Sem estômatos, a planta não conseguiria captar o carbono do ar.

Figura 8 – Sintoma de deficiência de potássio em tomateiro caracterizado pela necrose das ponteiros.



Fonte – Ferreira, 2024.

O elemento tem como característica a absorção na forma iônica monovalente de K^+ . Essa forma é extremamente fácil de ser absorvida pelos tecidos vegetais, tanto na presença de água como de nitrogênio quanto pelo gradiente de concentração, como o fósforo. Devido a essas características, o potássio apresenta absorção de luxo, o que significa que a planta, mesmo não necessitando desse elemento, continua absorvendo-o sem nenhum dano ou consequência para o desenvolvimento dela.

2.4 SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE

A deficiência de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) pode comprometer significativamente o desenvolvimento das plantas, afetando desde o crescimento das raízes até a produtividade final das culturas. Cada um desses nutrientes exerce funções específicas no conjunto de reações que permitem a planta crescer, respirar e produzir energia e, quando em falta, manifesta sintomas característicos que podem ser observados em folhas, caules e frutos.

Como o cálcio (Ca) é pouco móvel dentro da planta, os sintomas de sua deficiência aparecem primeiro nas partes mais novas, onde as folhas se tornam deformadas, com bordas retorcidas e necrosadas, podendo apresentar manchas cloróticas (amareladas) que evoluem para necrose (morte do tecido). A deficiência de cálcio também pode causar a podridão apical dos frutos.

O magnésio (Mg), diferentemente do cálcio, é um nutriente móvel, e seus sintomas de deficiência surgem primeiro nas folhas mais velhas. O sintoma típico é a clorose internerval, em que as áreas entre as nervuras ficam amareladas, enquanto as nervuras permanecem verdes. Com o avanço da deficiência, surgem manchas avermelhadas ou necrosadas e as folhas podem secar parcialmente.

O enxofre (S) é outro macronutriente pouco móvel na planta, o que faz com que seus sintomas apareçam inicialmente nas folhas novas. A principal manifestação é a clorose generalizada, com as folhas assumindo coloração verde-clara a amarelada, sem a distinção nítida entre nervuras e tecido foliar. Em casos severos, o crescimento das plantas fica bastante reduzido, os caules se tornam finos e as folhas ficam pequenas e rígidas.

Figura 9 – Sintoma de deficiência de magnésio em soja (A) e de enxofre em milho (B) caracterizado pela necrose das ponteiros.



Fonte – Ferreira, 2023.

A compreensão dos sintomas de deficiência e toxicidade nutricional evidencia como o desequilíbrio de elementos minerais afeta diretamente os processos fisiológicos das plantas, refletindo-se em alterações visuais, redução do crescimento e queda na produtividade.

No entanto, a manifestação desses sintomas é apenas a consequência final de processos que se iniciam muito antes, no sistema radicular e nos mecanismos de transporte interno. Assim, para entender de forma mais completa a nutrição vegetal, torna-se essencial avançar para o estudo de como os nutrientes são absorvidos do ambiente e posteriormente distribuídos pelos vasos condutores, conectando as causas fisiológicas às respostas observadas na planta, desde a absorção dos nutrientes até a sua exportação para as sementes.

3. ABSORÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELAS PLANTAS

A concentração de nutrientes nas plantas é uma importante ferramenta para monitorar as safras. Quando utilizada junto a um plano de aplicação de nutrientes, esse manejo aumenta a precisão da adubação do solo e das plantas. Além disso, em um sistema de agricultura sustentável, o equilíbrio entre a entrada e a saída de nutrientes é fundamental para definir os custos de produção e manter níveis adequados de fertilidade do solo ao longo do tempo.

Os níveis de fertilidade do solo também influenciam a absorção de nutrientes. Essas alterações nas concentrações podem estar relacionadas à interferência de um nutriente na absorção de outro elemento ou na disponibilidade excessiva do elemento no solo.

Outra contribuição da diagnose nutricional para o manejo da lavoura está relacionada à definição da população de plantas e à forma como elas serão distribuídas na área. Ajustar corretamente o número de plantas por hectare e o espaçamento entre elas, considerando a disponibilidade de nutrientes no solo e outros fatores, como as condições físicas do solo, possíveis camadas que dificultam o crescimento das raízes e o tipo de arquitetura da planta, ajuda a melhorar o aproveitamento dos nutrientes. Esses aspectos ainda são pouco estudados, mas têm grande potencial para aumentar a eficiência da produção.

3.1 ABSORÇÃO DE NUTRIENTES

A eficiência na absorção de nutrientes varia entre cultivares e está relacionada às diferenças no formato e no desenvolvimento do sistema radicular, além de características do próprio mecanismo de absorção da planta. Esses mecanismos envolvem o transporte dos íons do solo para dentro das raízes e permitem avaliar, de forma comparável, como diferentes espécies e cultivares aproveitam os nutrientes em diferentes condições de solo.

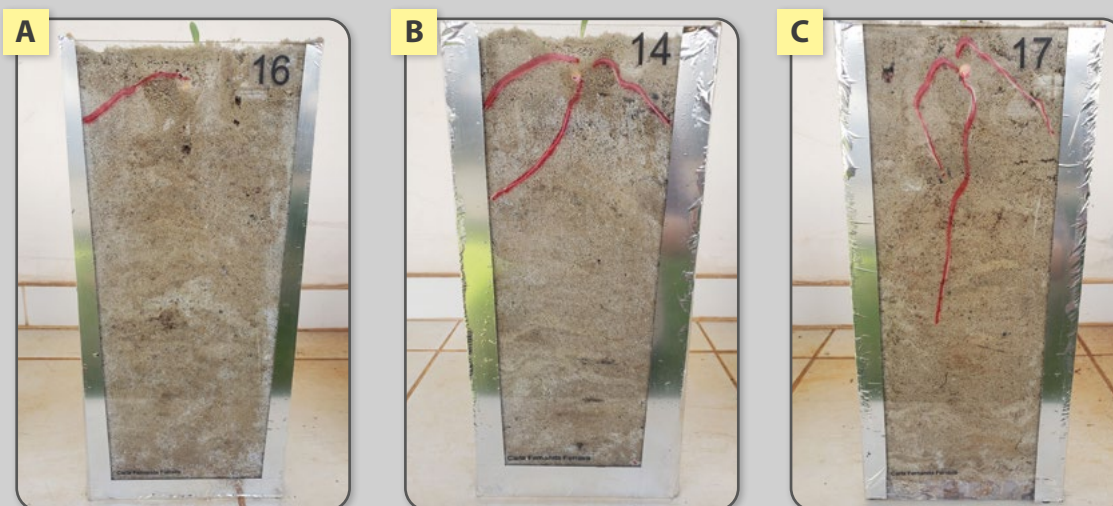
Entre os principais fatores estão a velocidade máxima de absorção, a afinidade dos transportadores, que indica a facilidade com que proteínas da raiz levam os nutrientes para dentro da planta, e a concentração mínima do nutriente no solo necessária para que a absorção ocorra de forma eficiente. Esses fatores variam conforme o tipo de nutriente, a espécie vegetal e o material genético da planta.

**PARA SABER MAIS**

Parâmetros cinéticos são números que mostram quão rápido e quão bem a planta consegue absorver um nutriente em diferentes concentrações. Eles identificam quanto uma planta absorve, a eficiência deste processo e o limite de concentração que ocorre.

O desenvolvimento de milho em vasos de vidro utilizando como substrato areia lavada demonstra esse padrão de crescimento. Em todos os casos, as sementes foram alocadas na parte central, mas o fertilizante foi alocado em posições diferentes, conforme Figura 10.

Figura 10 – Crescimento do sistema radicular em função da posição do fertilizante: posicionado a 5 cm ao lado da semente (A); a 5 cm abaixo da semente (B); a 10 cm abaixo da semente (C).



Fonte – Ferreira, 2023.

A capacidade de absorção de nutrientes depende, portanto, da interação entre as características fisiológicas e estruturais das raízes, sendo influenciada por fatores como comprimento, diâmetro e densidade radicular. Esses atributos determinam a extensão da superfície de contato com o solo e, conseqüentemente, a eficiência na captação de elementos essenciais ao metabolismo vegetal.

As raízes são os principais veículos para a absorção dos nutrientes. Em muitos casos, seu crescimento ocorre em busca dos elementos químicos, a chamada interceptação radicular, que indica o movimento de crescimento das raízes indo ao encontro dos elementos nutrientes disponíveis no solo. À medida que as raízes crescem, ocupando novos volumes do solo, entram em contato com os elementos nutrientes que estavam acondicionados nas partículas do solo para, posteriormente, serem absorvidos.

3.2 EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES

A exportação de nutrientes pelas plantas representa a remoção dos elementos minerais do solo por meio da colheita da parte produtiva, como grãos, frutos, folhas, raízes ou madeira, reduzindo a fertilidade e tornando essencial a reposição via adubação para manter o equilíbrio nutricional e a produtividade do solo. É, portanto, o processo em que os elementos minerais absorvidos do solo são retirados definitivamente do sistema produtivo. Esse fenômeno é de grande importância agrônômica, pois representa uma saída efetiva de nutrientes do solo, contribuindo, ao longo do tempo, para seu empobrecimento nutricional.

A quantidade de nutrientes exportada varia conforme a espécie cultivada, o rendimento obtido e a parte da planta removida. Culturas de alta produtividade, por exemplo, podem exportar grandes volumes de nutrientes, exigindo reposição adequada por meio da adubação para evitar desequilíbrios e perdas de fertilidade. Quando essa reposição não ocorre, o solo se torna gradualmente menos fértil, prejudicando o crescimento das plantas e comprometendo a sustentabilidade do sistema agrícola.

4. VALORES DE REFERÊNCIA DOS ELEMENTOS DA ANÁLISE DE SOLO

Compreender a importância da análise de solo e a interpretação correta dos elementos químicos é fundamental para garantir o manejo eficiente da fertilidade e o uso sustentável dos recursos naturais.

A análise de solo é uma ferramenta essencial da agricultura moderna, pois permite conhecer as condições químicas do solo, como o pH, a acidez, a capacidade de troca de cátions (CTC) e os teores de nutrientes, fornecendo informações seguras para o planejamento da calagem e da adubação.

Considere-se como exemplo uma propriedade agrícola produtora de soja e milho em rotação. Para a correta interpretação dos dados, será tomado como base o *Manual de adubação e calagem do Estado do Paraná* (Pauletti; Motta, 2019).

4.1 EXEMPLO PRÁTICO

A análise de solo deve ser realizada conforme coletas amostradas em cada unidade de produção agrícola. A coleta de solos é uma etapa fundamental e um dos processos mais críticos da análise de solos, por isso é imprescindível que seja realizada com o máximo de cuidado, pois os erros de amostragem não podem ser corrigidos pelos métodos analíticos laboratoriais.

ATENÇÃO

Para cada área amostrada, devem ser coletadas ao menos 8 (oito) amostras de solo até a profundidade de 0,20 m, posteriormente homogeneizadas, a fim de compor uma amostra composta, representativa de uma área homogênea perante os critérios morfológicos e as características de uso e manejo. Nas áreas em sistema de semeadura direta sobre a palha, a coleta das amostras realiza-se na entrelinha.

Após a coleta das amostras de solo, elas são encaminhadas para um laboratório especializado. Para cada amostra serão determinados os níveis de pH, utilizando o extrator CaCl_2 ; da acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$); de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}), utilizando o extrator KCl 1N; de potássio (K^+), sódio (Na^+) e fósforo (P), utilizando o Mehlich; e de carbono orgânico (C_{org}), utilizando o método Walkley e Black.

Após a determinação analítica desses elementos nas amostras de solo é possível identificar resultados que preestabelecem a interpretação da análise de solos, tais como a soma das bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC), o conteúdo de matéria orgânica (MO), a saturação das bases (V) e a saturação por alumínio tóxico (m Al).

Alguns processos são fundamentais para que a interpretação seja precisa. Primeiramente, deve-se efetuar a interpretação dos dados analíticos e compará-los com os valores de referência. O segundo passo é identificar os pontos críticos dos resultados e relacioná-los com a fertilidade ou a acidez do solo.

Uma simples análise dos valores de referência pode gerar erros, uma vez que os índices de fertilidade podem estar em valores adequados, porém indisponíveis no solo em função da elevada acidez. O terceiro passo é programar a aplicação de fertilizantes e corretivos de solo, condizentes com a necessidade da cultura e a escolha correta do fertilizante.

Neste exemplo prático, os resultados da análise de solo conforme esse padrão de amostragem estão descritos no Quadro 3.

Quadro 3 – Análise de rotina de solos coletados entre 0 e 0,20 m de profundidade na Fazenda-escola do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais, no município de Ponta Grossa, no estado do Paraná.

pH	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	P _{Melich}	C _{org}	MO	V	m	Argila
	----- cmol _c dm ⁻³ -----							Mgdm ⁻³	---- gdm ⁻³ ----	---- % ----			
4,5	7,1	0,46	1,89	1,02	0,16	3,70	10,14	4,50	17,36	29,93	30,29	13,20	56

Fonte – Pauletti; Motta, 2019.

A análise de solo fornece números, e a interpretação desses dados é fundamental para a tomada de decisões práticas, de modo a realizar um manejo eficiente, econômico e ambientalmente responsável, seja no ajuste da adubação, evitando tanto deficiências quanto o uso indiscriminado de fertilizantes, seja para reduzir os custos de produção. Uma boa interpretação permite ajustar a adubação apenas para o que a cultura precisa para expressar seu maior potencial produtivo.

Para os valores de referência utilizados para interpretação dos dados, consideram-se as escalas propostas por Pauletti e Motta (2019), em que MB significa muito baixo, B significa baixo, M significa médio, A significa alto, MA significa muito alto e CE significa condições a evitar, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 – Interpretação dos parâmetros químicos no solo para o estado do Paraná.

Classe de interpretação	pH	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	V	m	Corg
		----- cmol _c dm ⁻³ -----				---- % ----	- gdm ⁻³ -	
Muito baixo	< 4,0	< 0,3	< 0,5	< 0,2	< 5	< 20	< 5	< 4
Baixo	4,0 – 4,4	0,3 – 0,7	0,5 – 1,0	0,2 – 0,4	5 – 7	21 – 35	5 – 10	4 – 8
Médio	4,5 – 4,9	0,8 – 1,5	1,1 – 2,0	0,2 – 0,4	8 – 14	36 – 50	11 – 20	9 – 14
Alto	5,0 – 5,5	1,6 – 2,5	2,1 – 6,0	0,5 – 1,0	15 – 24	51 – 70	21 – 50	15 – 20
Muito alto	> 5,5	> 2,5	> 6,0	1,1 – 2,0	> 24	> 70	> 50	> 20
Condições a evitar	> 6,0	–	–	–	–	> 90	–	–

Fonte – Pauletti; Motta, 2019.


PARA SABER MAIS

Dados analíticos são os resultados obtidos no laboratório que mostram os teores de nutrientes, o pH e outras características do solo. Esses números indicam a situação atual da fertilidade da área analisada. Já valores de referência são faixas ou limites utilizados para interpretar esses resultados, classificando-os como baixos, médios ou altos. A comparação entre os dados analíticos e os valores de referência permite definir a necessidade de correção do solo e de adubação, orientando um manejo mais eficiente e econômico.

Para a interpretação dos níveis críticos do fósforo (P), consideram-se os teores do nível de argila, tais como < 250; entre 250 e 400 ou > 400 g kg⁻¹, e se utiliza a interpretação descrita no Quadro 5. Cabe ressaltar a importância de identificar o teor de argila da propriedade.

Quadro 5 – Interpretação para o fósforo disponível no solo (extraído por Mehlich⁻¹) para o estado do Paraná.

Classe de interpretação	P disponível (mg dm ⁻³)		
	Argila (g kg ⁻¹)		
	< 250	250 – 400	> 400
Muito baixo	< 6	< 4	< 3
Baixo	6 – 12	4 – 8	3 – 6
Médio	13 – 18	9 – 12	7 – 9
Alto	19 – 24	13 – 18	10 – 12
Muito alto	> 24	> 18	> 12
Condições a evitar	> 120	> 90	> 60

Fonte – Pauletti; Motta, 2019.


PARA SABER MAIS

Os níveis de argila no solo são fundamentais para a interpretação do fósforo, pois solos mais argilosos tendem a reter esse nutriente com maior intensidade, reduzindo sua disponibilidade às plantas e exigindo ajustes na recomendação de adubação fosfatada.

Para a interpretação dos níveis críticos do potássio (K) utiliza-se a interpretação descrita no Quadro 6.

Quadro 6 – Interpretação para potássio disponível no solo (extraído por Mehlich⁻¹) para o estado do Paraná.

Classe de interpretação	K disponível (cmol _c dm ⁻³)
Muito baixo	< 0,06
Baixo	0,06 – 0,12
Médio	0,13 – 0,21
Alto	0,22 – 0,45
Muito alto	> 0,45
Condições a evitar	–

Fonte – Pauletti; Motta, 2019.

Tomando por exemplo o pH do solo, o valor indicado na análise desse produtor foi de 4,5. Ao comparar com o Quadro 4, que traz os dados propostos pelo *Manual de adubação e calagem do Estado do Paraná*, verifica-se que 4,5 está na classe de interpretação médio. Ao realizar o mesmo processo de comparação em relação aos demais parâmetros, obtém-se no Quadro 7 a interpretação dos níveis críticos.

Quadro 7 – Interpretação dos níveis críticos em análises de solos realizadas na Fazenda-escola do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais, no município de Ponta Grossa, no estado do Paraná.

pH	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	P _{Melich}	C _{org}	MO	V	m
	----- cmol _c dm ⁻³ -----					Mgdm ⁻³	---- gdm ⁻³ ----	---- % ----		
M	B	M	M	M	M	MB	A	A	B	M

Legenda: MB – muito baixo; B – baixo; M – médio; A – alto; MA – muito alto; CE – condições a evitar.

Fonte – Ferreira, 2025.

4.2 AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE E DOS PARÂMETROS QUÍMICOS

Os resultados expostos no Quadro 7 revelam que os parâmetros químicos que determinam a acidez do solo, tais como o índice de pH, o teor de alumínio tóxico e a saturação por alumínio, encontram-se em condições fora das ideais para o desenvolvimento das culturas comerciais. Apesar de os níveis de alumínio tóxico permanecerem baixos, se comparados com os demais nutrientes do solo, eles indicam nível médio de saturação por alumínio (m%). Destaca-se, ainda, o nível médio de pH, devendo-se corrigir o solo de modo a elevá-lo para 5,5 a 6,5.

Os elementos cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) encontram-se equilibrados, havendo necessidade de reposição apenas do potássio em virtude de seu consumo pelas plantas, calculado com base na necessidade após a escolha de cultivo e manejo.

Em relação ao fósforo, um dos elementos mais requeridos na nutrição mineral de plantas, é necessária maior atenção para elevar seus níveis no solo, já que estão muito baixos. A garantia de elevação desse nível está condicionada à solubilidade do fertilizante aplicado, devendo este ser de excelente qualidade e aplicado no sulco de plantio para garantir maior aproveitamento pelas plantas. De igual forma ao potássio, deve ser calculada a necessidade de reposição após a escolha do cultivo e manejo.

4.3 CRITÉRIOS AVALIADOS

O primeiro ponto a ser observado na interpretação da análise de solo são as unidades de medida, que precisam estar atualizadas e corretas para que os resultados possam ser comparados com os valores de referência utilizados na região e pelos órgãos de pesquisa.

O segundo ponto é a análise conjunta dos resultados apresentados. É importante entender, por exemplo, qual nutriente está elevando ou reduzindo a soma de bases; o que está causando a acidez do solo, se é o pH baixo ou o alto teor de alumínio; e como a matéria orgânica se relaciona com a saturação por bases. Também é possível avaliar a relação entre as características químicas e físicas do solo, identificando limitações ao desenvolvimento das plantas.

Por fim, deve-se relacionar os resultados da análise de solo com o desempenho das culturas no campo, observando sintomas de deficiência ou excesso de nutrientes. Além disso, é fundamental guardar todas as análises realizadas na área, formando um histórico do solo, com registros das adubações e das aplicações de corretivos, incluindo as doses e os produtos utilizados.

5. PARÂMETROS QUÍMICOS

O solo é um sistema químico dinâmico e complexo que interfere na produtividade agrícola. Entender seus parâmetros químicos é necessário para seu manejo eficiente, pois tais parâmetros controlam a disponibilidade de nutrientes essenciais.

A composição química é determinada por fatores como material de origem, clima, atividade biológica e, crucialmente, práticas de manejo do solo. Indicadores como acidez do solo, capacidade de troca de cátions, saturação das bases, matéria orgânica, carbono no solo e concentração de micronutrientes são fatores fundamentais para realizar o diagnóstico de deficiências e excessos, permitindo intervenções estratégicas como a calagem e a adubação.

5.1 ACIDEZ DO SOLO

A acidez do solo é um parâmetro indicado por meio de dois elementos presentes em solução do solo: o hidrogênio (H^+) e o alumínio (Al^{3+}). Os componentes da acidez são divididos em três tipos:

- **acidez ativa:** representada pela concentração de H^+ na solução do solo, determinando a solubilidade de minerais e compostos;
- **acidez trocável:** formada pelos íons H^+ e Al^{3+} adsorvidos nos coloides do solo, que são as partículas mais finas e quimicamente mais ativas do solo, responsáveis por reter e trocar nutrientes, e que podem ser substituídos por outros cátions;
- **acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$):** inclui a soma da acidez trocável e da não trocável, sendo medida com soluções específicas e indicando a reserva total de acidez do solo.

Em relação ao hidrogênio, avaliado por meio do pH do solo, a maioria dos solos apresenta aumento do pH conforme a profundidade da coleta. De modo geral, as camadas mais profundas são menos ácidas do que as da superfície. O pH do solo é um fator fundamental, pois influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes para a cultura, afetando o desempenho e a produtividade das lavouras.

O excesso de alumínio no solo causa toxicidade às plantas, prejudicando o crescimento das raízes (Figura 11), reduzindo a absorção de água e nutrientes e comprometendo o desenvolvimento e a produtividade das culturas, especialmente em solos ácidos.

Figura 11 – Crescimento do sistema radicular prejudicado pelo excesso de alumínio à medida que seu teor no solo aumenta.



Fonte – Ferreira, 2015.

Outro fator que indica a acidez do solo é a acidez potencial, representada pela soma de hidrogênio e alumínio. Esse parâmetro mostra a quantidade desses elementos no solo, tanto na forma trocável quanto na não trocável, e ajuda a avaliar o potencial de acidez da área.

Para reduzir os problemas causados pelo excesso de acidez, utiliza-se a calagem, que tem como objetivo neutralizar o alumínio presente no solo. Antes de definir o tipo de corretivo agrícola e a dose a ser aplicada, é fundamental realizar a análise química do solo. Com esses resultados, é possível fazer os cálculos corretos e garantir que a calagem traga efeitos positivos para o desenvolvimento das culturas.

Mas o que são o grau de acidez do solo e a capacidade de troca catiônica? O grau de acidez do solo é indicado pelo pH e mostra se o solo é ácido, neutro ou alcalino. Ele influencia a disponibilidade de nutrientes para as plantas, podendo limitar o aproveitamento dos adubos quando o solo está muito ácido. Já a capacidade de troca catiônica, conhecida como CTC, representa a capacidade do solo de reter e fornecer nutrientes como cálcio, magnésio e potássio. Solos com maior CTC conseguem armazenar mais nutrientes e disponibilizá-los de forma gradual, favorecendo a fertilidade e o desenvolvimento das culturas.

5.2 CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC) E SATURAÇÃO DAS BASES TROCÁVEIS (V%)

A capacidade de troca de cátions do solo (CTC) refere-se à proporção de cargas positivas que ocupam os complexos de troca de carga química com os minerais de argila.

Podemos verificar dois cálculos referentes à CTC do solo. No cálculo da CTC efetiva, consideram-se os valores da soma das bases trocáveis cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{+2}), potássio (K^+) e sódio (Na^+), quando presente, e somam-se a esse cálculo as cargas do alumínio (Al^{+3}), definida pela equação:

$$\text{CTC efetiva (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Al}^{3+}$$

em que:

- CTC efetiva: capacidade de troca de cátions ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
- Ca^{2+} : teores de cálcio no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
- Mg^{2+} : teores de magnésio no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
- K^+ : teores de potássio no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
- Na^+ : teores de sódio no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
- Al^{+3} : teores de alumínio no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)

Em contrapartida, no cálculo da CTC a pH 7,0 (T) são inseridas todas as cargas positivas que têm capacidade de troca no complexo coloidal do solo. Dessa forma, consideram-se os valores da soma das bases trocáveis cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{+2}), potássio (K^+) e sódio (Na^+), quando presente, e somam-se a esse cálculo as cargas de hidrogênio somadas às de alumínio ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$), definida pela equação:

$$\text{CTC pH7,0 ou Valor T (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Al}^{3+}$$

em que:

- CTC pH 7,0: capacidade de troca de cátions ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
- Ca^{2+} : teores de cálcio no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
- Mg^{2+} : teores de magnésio no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
- K^+ : teores de potássio no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
- Na^+ : teores de sódio no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
- $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$: somatório de hidrogênio e alumínio no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)



PARA SABER MAIS

A CTC efetiva mostra o que o solo realmente oferece no momento;

A CTC a pH 7,0 mostra o potencial máximo de troca que ele poderia oferecer após a correção da acidez.

Com base nos valores da capacidade de troca de cátions do solo, é possível verificar a porcentagem das cargas positivas ligadas aos nutrientes das plantas que ocupa o complexo de troca do solo. Esse complexo é formado por uma fase sólida (argilas e a matéria orgânica) e por uma fase líquida (solução do solo), pois é um conjunto de água e elementos químicos dissolvidos. Essa relação permite calcular a saturação por bases, conhecida como V%, que indica quanto do solo está ocupado por nutrientes como cálcio, magnésio e potássio em relação ao total de cargas presentes.

$$V(\%) = 100 \cdot \frac{\text{soma das bases}}{\text{CTC pH 7,0}}$$

em que:

Soma das bases: $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)

5.3 MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO NO SOLO

Nas análises de solo, os resultados podem apresentar os valores de matéria orgânica do solo ou de carbono orgânico. Para estimar a matéria orgânica, considera-se que, em média, os materiais orgânicos do solo contêm aproximadamente 58% de carbono. Esse valor é uma média, pois a quantidade de carbono varia conforme o tipo de resíduo vegetal, o estágio de decomposição e a cultura de origem.

Por isso, utiliza-se um fator de conversão obtido em laboratório. Ao dividir 100 pelo valor 58, obtém-se o fator 1,72, que é usado para converter o carbono orgânico em matéria orgânica do solo, conforme a equação:

$$\text{MOS}(\text{g dm}^{-3}) = \text{Corg} \cdot 1,72$$

em que:

- MOS: matéria orgânica do solo (g dm^{-3})
- Corg: carbono orgânico

Ao dividir o valor obtido na equação por 10, a unidade de medida avaliada poderá ser a porcentagem, facilitando as recomendações de adubação e fertilizações.

5.4 MICRONUTRIENTES NO SOLO

Os principais micronutrientes determinados em análise de solos são o zinco (Zn), o cobre (Cu), o ferro (Fe) e o manganês (Mn), chamados de micronutrientes catiônicos, e boro (B), molibdênio (Mo) e cloro (Cl), chamados de micronutrientes aniônicos.

Quadro 8 – Parâmetros para interpretação da disponibilidade de alguns micronutrientes no solo para o estado do Paraná.

Classe de interpretação	B	Cu	Mn	Zn
	(mg dm ⁻³)			
Muito baixo	< 0,10	< 0,20	< 5	< 0,4
Baixo	0,11 – 0,20	0,2 – 0,5	5 – 15	0,4 – 0,8
Médio	0,21 – 0,30	0,6 – 0,8	16 – 30	0,9 – 1,2
Alto	0,31 – 0,60	0,9 – 3,0	31 – 100	1,3 – 10,0
Muito alto	> 0,60	> 3,0	> 100	> 10,0
Condições a evitar	> 2,0	> 20	> 200	> 30,0

Fonte – Pauletti; Motta, 2019.

Algumas análises de solo apresentam, quando solicitada, a concentração dos micronutrientes. Essa determinação é extremamente importante para algumas culturas, como as frutícolas, cujo hábito perene exige mais cuidados quanto ao fornecimento desses elementos, embora os sintomas de deficiência e toxidez sejam observados em todas as culturas comerciais, incluindo produtoras de grãos, como o milho (Figura 12).

Figura 12 – Sintoma de deficiência de boro (B) em plantas de milho.



Fonte – Ferreira, 2025.

A análise e a interpretação dos parâmetros químicos do solo permitem compreender o estado de fertilidade, as limitações químicas e o equilíbrio entre acidez, disponibilidade de nutrientes e possíveis elementos tóxicos, fornecendo a base para um diagnóstico confiável da qualidade do solo.

No entanto, identificar essas condições é apenas o primeiro passo, pois a melhoria do ambiente radicular depende de intervenções capazes de corrigir desequilíbrios e criar condições mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas.

Nesse contexto, torna-se fundamental avançar para o estudo dos corretivos agrícolas, que atuam diretamente na modificação das propriedades químicas do solo, especialmente na neutralização da acidez e no fornecimento de nutrientes essenciais, conectando a avaliação do solo às práticas de manejo necessárias para sua recuperação e produtividade.

6. CORRETIVOS E CONDICIONADORES DE SOLO

Os corretivos agrícolas usados para controlar a acidez do solo são avaliados por suas características químicas e físicas. Essas propriedades indicam a eficiência do produto na correção do solo e influenciam diretamente seu valor comercial.

A eficiência dos calcários e de outros condicionantes do solo é avaliada pelo poder relativo de neutralização total (PRNT). Esse índice reúne dois fatores importantes: o poder de neutralização (PN), relacionado à composição química do produto, e a eficiência relativa (ER), que está ligada às características físicas do corretivo, como o tamanho das partículas e a velocidade de reação no solo.

Os parâmetros químicos indicam a capacidade do corretivo em neutralizar a acidez do solo, de acordo com os teores de óxido de cálcio (CaO) e de óxido de magnésio (MgO), o que é chamado de poder de neutralização (PN).

Essa capacidade é expressa em porcentagem e considera que 0,50 g de CaCO_3 são capazes de neutralizar 0,01 g de H^+ , adicionando ao solo 0,20 g de cálcio ao sistema. Com base na relação entre as massas molares dos óxidos de cálcio e magnésio presentes no carbonato, é possível definir a equação utilizada para determinar o PN dos corretivos agrícolas, conforme a equação:

$$\text{PN} = (\% \text{CaO} \cdot 1,79) + (\% \text{MgO} \cdot 2,48)$$

em que:

- PN: poder de neutralização
- %CaO: porcentagem de carbonato de cálcio
- %MgO: porcentagem de carbonato de magnésio

Os parâmetros físicos indicam a eficiência relativa (ER) do corretivo, que está relacionada ao tamanho das partículas. Como os condicionantes do solo têm baixa solubilidade em água, a velocidade de reação depende de fatores como acidez do solo, quantidade de bases trocáveis, umidade e temperatura.

Quanto menor o tamanho das partículas, maior é o contato do corretivo com o solo e mais rápida é sua reação. Por isso, a legislação brasileira classifica o calcário em frações granulométricas, definidas por peneiras, como as de 0,84 mm (ABNT nº 20) e 0,3 mm (ABNT nº 50). Com base nas porcentagens mínimas retidas ou passantes em cada peneira, é possível determinar a eficiência relativa do corretivo, conforme a equação:

$$ER = (0,2 \cdot \% \text{ Retido P20}) + (0,6 \cdot \% \text{ Retido P50}) + (\% \text{ Passa da P50})$$

em que:

- ER: eficiência relativa
- %Retido P20: porcentagem do material de calcário que fica retido na peneira 20
- %Retido P50: porcentagem do material de calcário que fica retido na peneira 50
- %Passa da P50: porcentagem do material de calcário que passa da peneira 50

Nessa fórmula, a contribuição das partículas maiores que passam pela peneira 10 (e retidas na peneira 20) é de 20%, e a das partículas entre as peneiras 20 e 50 é de 60%.

Por meio da determinação desses dois parâmetros, que combinam os aspectos químicos (PN) e físicos (ER), podemos definir o poder relativo de neutralização total do corretivo agrícola (PRNT), dado pela seguinte equação:

$$PRNT(\%) = 100 \cdot \frac{PN}{ER}$$

em que:

- PRNT: poder relativo de neutralização total (%)
- PN: poder de neutralização
- ER: eficiência relativa

O PRNT indica o quanto de corretivo irá reagir com o CaCO_3 , durante um período de dois anos. Quanto maior o PRNT do corretivo, maior será sua capacidade de corrigir a acidez do solo.

7. RELAÇÕES DE EQUILÍBRIO

O equilíbrio químico do solo e os processos relacionados à acidez destacam os componentes, as causas e os efeitos sobre a fertilidade e o desenvolvimento das plantas. O solo, além de sustentar fisicamente os vegetais, fornece a eles nutrientes, água e oxigênio, sendo sua composição química determinante para o crescimento vegetal.

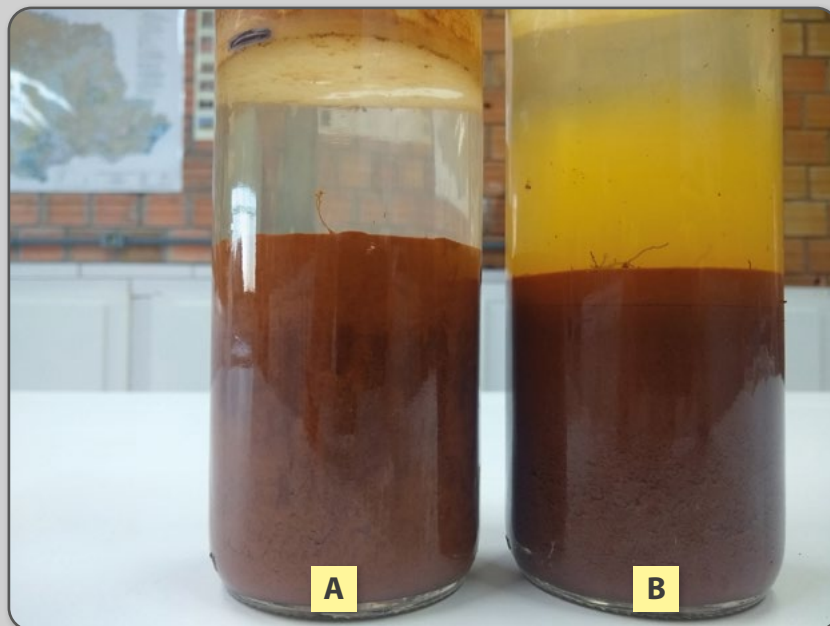
O equilíbrio entre a fase sólida (argilas e matéria orgânica) e a fase líquida (solução do solo) regula a disponibilidade de íons, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), nitrato (NO_3^-) e sulfato (SO_4^{2-}), regulados pelo grau de floculação e dispersão no solo (Figura 13).



PARA SABER MAIS

O **grau de floculação** representa o percentual de partículas finas do solo (como as argilas) que estão unidas em agregados estáveis, favorecendo a porosidade e a infiltração de água. Já o **grau de dispersão** indica a proporção dessas partículas que se encontram separadas ou dispersas na solução do solo, o que pode levar à compactação, à redução da permeabilidade e à erosão superficial.

Figura 13 – Amostras de solo floculado (A) e disperso (B) indicam o estado de agregação das partículas, influenciando diretamente a estrutura, a aeração, a infiltração de água e a disponibilidade de nutrientes para as plantas.



Fonte – Ferreira, 2022.

Nos solos tropicais brasileiros, predomina a alta acidez e a presença de alumínio trocável (Al^{3+}), fatores que limitam a produtividade agrícola devido à toxidez e à baixa fertilidade natural. A acidez do solo é expressa pelo pH, que indica a concentração de íons H^+ em solução, sendo que valores baixos representam maior acidez.

A acidez aumenta com a remoção de bases como cálcio, magnésio e potássio por lixiviação, processo responsável pela grande perda de nutrientes carregados através da percolação da água no solo, abrindo espaço para a ocupação dos sítios de troca por H^+ e Al^{3+} . O alumínio sofre hidrólise, a reação química responsável pela quebra de qualquer molécula, incluindo o alumínio e outras, liberando ainda mais íons H^+ e intensificando a acidez. Além disso, grupos ácidos da matéria orgânica e dos argilominerais participam ativamente dessas reações, influenciando a carga e a capacidade de troca do solo.

Os fertilizantes minerais também afetam o pH. O superfosfato triplo tende a acidificar o solo, liberando H^+ , enquanto o fosfato diamônio (DAP) inicialmente reduz a acidez por consumir íons H^+ .

O pH influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes, pois cada elemento tem uma faixa ideal de absorção; em pH muito baixo, nutrientes essenciais se tornam menos disponíveis, e elementos tóxicos, como o alumínio, tornam-se mais solúveis.

Para corrigir a acidez, utilizam-se corretivos agrícolas, principalmente o calcário ($CaCO_3$) e o gesso agrícola ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) (Figura 14).

Figura 14 – Aplicação superficial de gesso agrícola em área de produção de eucalipto (A) e resíduos do material na superfície após 12 meses da aplicação (B).



Fonte – Ferreira, 2016.

**PARA SABER MAIS**

O calcário atua neutralizando H^+ e Al^{3+} , elevando o pH e fornecendo cálcio e magnésio. Já o gesso, além de fornecer cálcio e enxofre, melhora as condições químicas em camadas mais profundas, auxiliando na redução da toxidez do alumínio e no desenvolvimento radicular.

A aplicação adequada desses corretivos depende da interpretação da análise de solo, considerando doses, profundidade e tempo de reação. O manejo correto melhora o pH, diminui o alumínio trocável, aumenta a disponibilidade de nutrientes e promove maior crescimento e produtividade das culturas, como observado em experimentos com soja, milho e eucalipto em sistemas de plantio direto.

O entendimento do equilíbrio químico e das reações de acidez do solo é essencial para o manejo racional da fertilidade. A calagem e a gessagem são práticas fundamentais para restaurar o equilíbrio químico, reduzir a acidez e aumentar a eficiência dos fertilizantes.

8. COMPOSIÇÃO DOS FERTILIZANTES

Fertilizantes agrícolas são produtos utilizados para fornecer os nutrientes necessários à nutrição das plantas, podendo ser aplicados de forma isolada ou combinada, conforme a necessidade da cultura, para favorecer o crescimento e o desenvolvimento das lavouras.

Esses produtos podem ser classificados conforme sua origem. Os fertilizantes de origem inorgânica, também chamados de minerais ou industriais, são os mais utilizados na agricultura. Já os de origem orgânica incluem esterco (Figura 15), restos de plantas e alguns resíduos industriais. Atualmente, o uso de fertilizantes é indispensável para alcançar altos níveis de produtividade nas cultivares modernas.

Figura 15 – Bacia de captação de dejetos líquidos de gado leiteiro confinado; após o tempo de compostagem, o material será destinado para fertilização do solo.



Fonte – Ferreira, 2020.

São avaliados diversos aspectos quanto à concentração dos nutrientes que os fertilizantes fornecem. Para isso, somente a concentração não é suficiente para definir a qualidade dos fertilizantes. É necessário observar fatores como a solubilidade do produto em água, a compatibilidade entre fertilizantes no caso de mistura de grânulos, a granulometria, a concentração dos elementos e possíveis efeitos nocivos, como a salinidade dos fertilizantes.

8.1 CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS REQUERIDOS

A concentração dos nutrientes presentes nos fertilizantes pode variar bastante. Nos fertilizantes orgânicos, a quantidade de nutrientes é geralmente baixa, o que exige aplicações em maiores doses para atender às necessidades das plantas, conforme Figura 16. Por esse motivo, os fertilizantes inorgânicos se destacam, pois apresentam maiores concentrações dos nutrientes requeridos e melhor solubilidade em água quando comparados aos fertilizantes orgânicos, facilitando sua absorção pelas plantas.

Figura 16 – Alta concentração na aplicação de dejetos sólidos de ovinos em produção de brócolis em função da baixa concentração de nutrientes.



Fonte – Ferreira, 2024.

8.1.1 Fertilizantes nitrogenados

No caso dos fertilizantes nitrogenados, existem fontes amídicas (NH_2), amoniacais (NH_4) e nítricas (NO_3). Os principais fertilizantes que fornecem nitrogênio são nitrato de amônio (33% de N na composição), nitrato de sódio (16% de N), nitrato de cálcio (15% de N) ou potássio (13% de N), sulfato de amônio (21% de N), MAP (11% de N) e DAP (18% de N), Urea (taxas variáveis) e amônia anidra (82% de N).

Mas, sem dúvida, o fertilizante nitrogenado mais utilizado é a ureia. Ela tem o maior teor de N comparado ao dos outros adubos sólidos, com 45% de N na composição, reduzindo seu custo com transporte e aplicação. Além disso, apresenta baixa corrosividade, alta solubilidade e é prontamente absorvida pelas plantas.

A principal desvantagem da ureia é a perda de nitrogênio para o ar na forma de amônia, principalmente quando o fertilizante é aplicado na superfície do solo e não é incorporado. Isso ocorre porque a ureia se transforma rapidamente no solo, em um processo chamado hidrólise, favorecendo a liberação do nitrogênio para a atmosfera. Para reduzir essas perdas, existem ureias tratadas com polímeros ou inibidores da enzima urease, que retardam essa transformação e aumentam o aproveitamento do nitrogênio pelas plantas.

Outro problema associado ao uso inadequado da ureia é a fitotoxicidade, ou seja, o dano às plantas causado pelo excesso de adubação nitrogenada, especialmente em aplicações em cobertura. Nesses casos, podem surgir sintomas como clorose, caracterizada pelo amarelamento das folhas.

Figura 17 – Fitotoxicidade em plantas de milho ocasionada pelo excesso de ureia em cobertura.



Fonte – Ferreira, 2025.

As perdas de fertilizantes nitrogenados podem ocorrer por lixiviação, quando o nutriente é carregado pela água no solo, principalmente em aplicações no sulco de plantio, ou por volatilização, que é a perda para o ar na forma de gás, mais comum nas aplicações a lanço em cobertura.

No caso das aplicações a lanço, o uso de fertilizantes com polímeros ou tecnologias de proteção pode ajudar a reduzir as perdas, pois diminui a ação do calor e da umidade sobre o produto. No entanto, é importante que o produtor avalie o custo-benefício dessa tecnologia, já que o impacto das perdas é mais relevante quando a adubação está bem ajustada e quando as perdas são elevadas.

Além das perdas, o excesso de nitrogênio pode causar crescimento vegetativo excessivo, com plantas mais altas e folhas maiores. Esse desenvolvimento exagerado deixa as lavouras mais suscetíveis ao ataque de pragas e doenças, além de aumentar o risco de acamamento (Figura 18).

Figura 18 – Azevém acamado pelo excesso de nitrogênio.



Fonte – Ferreira, 2025.

8.1.2 Fertilizantes fosfatados

Os principais fertilizantes fosfatados são o superfosfato simples (com 18% de P_2O_5 na constituição), o superfosfato triplo (41% de P_2O_5), o fosfato monoamônio (MAP) (48% de P_2O_5), o fosfato diamônico (DAP) (45% de P_2O_5), o fosfato natural reativo (20% de P_2O_5), o termofosfato magnésiano (17% de P_2O_5) e os fosfatos naturais (com concentração variável).

Os fertilizantes fosfatados são mais estáveis no solo quando comparados aos nitrogenados. As perdas por lixiviação são pouco frequentes, pois o fósforo tem baixa mobilidade no solo. Isso não significa que não ocorram perdas desse nutriente. O fósforo interage fortemente com os minerais de argila, ficando retido no solo e menos disponível para as plantas, o que pode causar deficiência nas culturas.

Outro tipo de perda ocorre por meio da erosão do solo, principalmente quando há carreamento de partículas de argila, conforme Figura 19. Como o fósforo fica ligado a essas partículas, ele é levado junto nos processos erosivos, podendo contaminar águas superficiais e lençóis freáticos.

Figura 19 – Erosão em sulcos onde a água da chuva formou depressões do terreno e linhas de escoamento superficial (A) e evidências de escoamento de material argiloso (B).



Fonte – Ferreira, 2019.

8.1.3 Fertilizantes potássicos

O cloreto de potássio (KCl) é o fertilizante potássico mais utilizado no mundo, simplesmente por ser o mais barato. O KCl é obtido de jazidas naturais e apresenta colorações que variam de vermelho a branco. Sua principal desvantagem é que se trata de um fertilizante com elevado índice salino, que pode prejudicar a germinação. Outras fontes fertilizadoras de potássio são o sulfato de potássio (50% de K₂O) e o nitrato de potássio (44% de K₂O).



PARA SABER MAIS

O efeito salino no solo, relacionado ao uso de fertilizantes potássicos, é o aumento da concentração de sais na solução do solo, o que pode dificultar a absorção de água pelas plantas, uma vez que se trata de fertilizantes muito solúveis, como o cloreto de potássio (KCl). Nesses casos, as plantas podem ter mais dificuldade de absorver a água, ocorrendo o estresse hídrico mesmo em condições de solo úmido.

O excesso de cloreto de potássio (KCl) no solo pode provocar sérios desequilíbrios nutricionais, pois o potássio em excesso compete com outros cátions essenciais, como cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺), dificultando sua absorção pelas plantas. Além disso, o íon cloreto (Cl⁻), em concentrações elevadas, pode causar toxicidade, afetando a atividade enzimática, a fotossíntese e o equilíbrio osmótico das células vegetais (Figura 20). Esses efeitos resultam em crescimento reduzido, folhas com sintomas de queima nas bordas e menor produtividade, especialmente em culturas mais sensíveis ao cloro.

Figura 20 – Tecido em anasarca ocasionado pelo excesso de potássio associado à deficiência de cálcio, tornando a planta mais suscetível a bactérias como a *Xanthomonas*.



Fonte – Ferreira, 2020.

**PARA SABER MAIS**

Nas plantas, o termo “anasarca” pode ser usado por analogia para descrever tecidos com excesso de água acumulada nos espaços intercelulares, resultando em aspecto inchado, translúcido e flácido. Essa condição geralmente ocorre em situações de deficiência de cálcio, importante para a resistência do tecido e o excesso de potássio.

8.2 NATUREZA QUÍMICA DOS FERTILIZANTES COMERCIAIS

Fertilizantes minerais são formulados químicos que fornecem os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, proporcionam maior rendimento e produtividade nas culturas com exploração comercial. São essenciais aos sistemas de produções agrícolas, principalmente quando se utilizam sementes ou mudas com material genético com alta produtividade, pois são mais exigentes em nutrientes ao longo de seu desenvolvimento.

8.2.1 Classificação dos fertilizantes comerciais

Os fertilizantes comerciais podem ser classificados como simples, mistos ou complexos. A diferença entre eles está relacionada à quantidade de elementos em sua composição ou à mistura de dois ou mais fertilizantes simples. Essa mistura pode ser resultante de natureza física, no caso de fertilizantes minerais mistos, ou de reações de natureza química entre seus componentes, no caso de fertilizantes minerais complexos:

- **Simplex:** contêm apenas um nutriente principal (N, P ou K). Exemplos: ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio.
- **Mistos (ou compostos):** resultam da mistura física de dois ou mais fertilizantes simples. Exemplo: mistura de ureia + superfosfato + KCl.
- **Complexos:** obtidos por reação química entre matérias-primas que fornecem dois ou mais nutrientes. Exemplo: MAP (fosfato monoamônico – N e P), DAP (fosfato diamônico – N e P).

Existem alguns princípios básicos para a formulação dos fertilizantes, porém essas misturas devem ser compatíveis. Isso significa que em algumas misturas não haverá reação entre seus componentes, como é o caso da ureia misturada ao cloreto de potássio; são as chamadas misturas compatíveis.

A Figura 21 apresenta a compatibilidade entre fertilizantes e corretivos para formulação de adubos formulados mistos.

Figura 21 – Compatibilidade entre fertilizantes e corretivos para formulação de adubos formulados mistos.

Adubos Orgânicos	
C	Nitrato de Sódio
C C	Nitrato de Potássio
C C C	Nitrocálcio
C C C C	Nitrato de Amônio
C C C C C	Sulfato de Amônio
C C C I I C	Uréia
C C C C C C C	Farinha dos Ossos
C C C C C C C C	Fosfatos Naturais
C C C C C C C CI C C	Superfosfato Simples
C C C C C C C CI C C C	Superfosfato Triplo
C C C C C C C C C C C C	MAP
C C C C C C C C C C CI CI C	DAP
I C CI I I I I I I I I I I	Escórias
I C CI I I I I I I I I I I C	Termofosfato
C C C C C C C C C C C C C C CI CI	Cloreto de Potássio
C C C C C C C C C C C C C C CI CI C	Sulfato de Potássio
C C C C C C C C C C C C C C I I C C	Sulfato de Potássio e Magnésio
I C CI I I I I I I I I I I C C CI CI I	Cal Virgem, Hidratada, Calcários Calcinados
I C CI I I I I I I I I I I C C CI CI C C	Calcários

C COMPATÍVEIS: podem ser misturados

CI COMPATIBILIDADE LIMITADA: devem ser misturados pouco antes da aplicação

I INCOMPATÍVEIS: não podem ser misturados

Fonte – Silva; Lopes, 2012.

No caso de misturas semicompatíveis, os fertilizantes simples podem ser misturados, entretanto sua aplicação no solo deve ser imediata devido às reações que podem ocorrer ao longo do tempo. Existem ainda as misturas incompatíveis, que limitam a eficiência dos fertilizantes, como é o caso da ureia misturada ao termofosfato. Outros exemplos são o cálcio misturado a fertilizantes sulfatados, ureia e nitrato de amônio e a mistura entre os fertilizantes nitrato de cálcio, cloreto de potássio, fosfatos monoamônio (MAP) e diamônio (DAP).

Os fertilizantes minerais geralmente são comercializados em forma granulada ou em mistura de grânulos, mas existem fórmulas comercializadas em pó, líquidas e fertilizantes em gás. Essas formas físicas de comercialização apresentam distintas formas de incorporação no solo, podendo ser aplicadas em cobertura ou pulverização foliar.

8.3 FORMULAÇÕES NPK

Um exemplo de fertilizantes minerais mistos são os adubos formulados NPK, que apresentam três elementos básicos na formulação: nitrogênio, fósforo e potássio. A sigla NPK representa os três principais macronutrientes essenciais às plantas: nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O). Cada um desses elementos exerce papel fundamental no crescimento e desenvolvimento vegetal, e o equilíbrio entre eles é decisivo para que as culturas expressem seu potencial produtivo.

O ponto de partida para a determinação da fórmula NPK adequada é a análise de solo. Com base nos resultados dessa análise, o técnico ou engenheiro agrônomo identifica as quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio que devem ser aplicadas, conforme as exigências da cultura e as condições do solo. Essas doses, normalmente expressas em quilos por hectare, formam uma relação proporcional chamada de relação básica entre nutrientes, simplificada na forma NPK, permitindo representar de modo prático a proporção dos nutrientes em uma formulação de fertilizante.

Os princípios básicos para formulação e mistura de fertilizantes e o cálculo correto das proporções é essencial para que o produto final atenda tanto às necessidades nutricionais das plantas quanto às normas legais vigentes. No Brasil, a legislação determina que o somatório das porcentagens de N, P_2O_5 e K_2O nas misturas comerciais deve estar entre 24% e 54%. Isso significa que, ao formular um adubo, a soma dos teores de cada nutriente não pode ser inferior a 24% nem superior a 54%.

Para exemplificar esse processo, pode-se imaginar uma recomendação técnica que indique a necessidade de 15 kg de nitrogênio, 75 kg de fósforo e 30 kg de potássio por hectare. Para determinar a proporção entre eles, existem métodos matemáticos que seguem a recomendação da legislação quanto à garantia mínima.

8.3.1 Método da relação básica entre os nutrientes

Para aplicação desse método, basta dividir todos os valores pelo menor número e, na sequência, multiplicar o resultado pelo maior. Nesse caso, uma recomendação de 15 kg de nitrogênio, 75 kg de fósforo e 30 kg de potássio por hectare, o menor valor é 15. Assim, tem-se a relação 1:5:2. Em seguida, multiplicando-se todos os valores pelo maior fator, nesse caso 5, obtém-se 5-25-10. A soma total de 40% está dentro do intervalo permitido pela legislação, mostrando que essa fórmula é adequada.

No entanto, nem sempre os resultados obtidos de forma direta respeitam o intervalo legal. Em alguns casos, a soma das porcentagens pode ser inferior ou superior ao limite. Assim, indica-se outro método.

8.3.2 Método por tentativa

Esse método consiste em testar diferentes divisores até que o somatório dos nutrientes se enquadre entre 24% e 54%. Por exemplo, para uma recomendação de 50 kg de nitrogênio, 90 kg de fósforo e 40 kg de potássio, o método da relação básica entre os nutrientes resulta na soma de 10,06%, valor abaixo do permitido. Assim, pode-se aplicar o método por tentativa, dividindo por um número arbitrário, como 5, obtendo 10-18-8. O somatório é 36, o que está dentro do intervalo legal, indicando que essa é uma formulação aceitável.

Esse método é útil especialmente quando os valores não formam uma proporção exata, permitindo ajustes até se alcançar uma combinação adequada. Em outra situação, para uma necessidade de 20 kg de nitrogênio, 80 kg de fósforo e 40 kg de potássio, a primeira tentativa, dividindo por 10, gera 2-8-4, com soma de 14, inferior ao mínimo. Ao dobrar os valores, obtém-se 4-16-8, com soma 28, que se encontra dentro da faixa correta. Da mesma forma, para 40 kg de nitrogênio, 130 kg de fósforo e 40 kg de potássio, a primeira tentativa (4-13-4) resulta em soma 21, e ao dobrar (8-26-8), obtém-se 42, valor legalmente aceito.

8.3.3 Método do divisor máximo

Outra opção de cálculo é o método do divisor máximo. Por meio dele, soma-se a necessidade total dos três nutrientes e divide-se o resultado pelo valor máximo permitido pela legislação, que é 54. O fator obtido é, então, utilizado para dividir os valores individuais de N, P₂O₅ e K₂O, resultando na proporção final.

Por exemplo, se uma cultura requer 20 kg de nitrogênio, 80 kg de fósforo e 40 kg de potássio, a soma é 140. Dividindo 140 por 54, obtemos 2,59. Dividindo cada nutriente por esse fator, temos aproximadamente 8-30-15, cuja soma é 53, valor dentro do limite.

Outro caso, com 30 kg de N, 110 kg de P₂O₅ e 70 kg de K₂O, resulta em uma soma de 210; dividindo por 54, o fator é 3,88. Aplicando o mesmo raciocínio, obtém-se 8-28-18, com soma 54, ou seja, exatamente no limite máximo permitido. Por fim, em uma situação de 80 kg de N, 130 kg de P₂O₅ e 60 kg de K₂O, a soma de 270 dividida por 54 gera fator 5, e o resultado é 16-26-12, que também está de acordo com a legislação.

8.3.4 Composição do formulado NPK

Depois de determinar a proporção NPK desejada, o passo seguinte é calcular a quantidade de fertilizantes simples que devem ser misturados para compor a fórmula. Esse cálculo pode ser feito utilizando a seguinte equação:

$$W = \frac{(A \cdot B)}{C}$$

em que:

- W: quantidade do fertilizante a ser utilizada (em kg)
- A: quantidade total da mistura a preparar (em kg)

- B: porcentagem do nutriente na mistura
- C: porcentagem do nutriente no fertilizante simples

Aplicando a fórmula para preparar 100 kg de uma mistura 5-30-8, usando ureia (45% N), superfosfato triplo (44% P_2O_5) e cloreto de potássio (60% K_2O), tem-se:

- para o nitrogênio, $(100 \times 5) \div 45 = 11,11$ kg de ureia
- para o fósforo, $(100 \times 30) \div 44 = 68,18$ kg de superfosfato triplo
- para o potássio, $(100 \times 8) \div 60 = 13,33$ kg de cloreto de potássio

Somando todas as quantidades, obtém-se 92,62 kg. A diferença até 100 kg (7,38 kg) é completada com material inerte, chamado de enchimento. Esse material tem a função de completar o volume da formulação e facilitar a homogeneização da mistura, devendo apresentar granulometria semelhante à dos demais componentes, além de baixa reatividade química, para não interferir na estabilidade e no desempenho do produto final.

Esses cálculos demonstram como é possível transformar as recomendações técnicas de adubação em formulações práticas e equilibradas de fertilizantes. Cada método, seja a relação básica, seja o método por tentativa, seja o divisor máximo, permite ajustar as proporções de NPK para que a mistura final esteja dentro dos parâmetros legais e técnicos.

Esse conhecimento possibilita elaborar misturas adequadas, otimizando o uso dos nutrientes, reduzindo custos e evitando desperdícios. Além disso, garante que as plantas recebam o equilíbrio nutricional necessário para alcançar altas produtividades, respeitando as exigências ambientais e legais.

8.4 EFICIÊNCIA NAS FORMAS DE ADUBAÇÃO

O uso de fertilizantes minerais, orgânicos ou de resíduos com potencial fertilizante está diretamente relacionado à quantidade de nutrientes fornecida e à sua solubilidade, ou seja, à facilidade e à velocidade com que esses nutrientes ficam disponíveis para as plantas.

No entanto, o aproveitamento do nutriente aplicado não depende apenas do tipo de fertilizante. Ele também está relacionado às condições climáticas no momento da aplicação e nos períodos seguintes, além das características físicas e químicas do solo.

As variações nos teores de nutrientes nas plantas refletem a disponibilidade desses elementos no solo, a capacidade de absorção de cada cultura, as condições climáticas ao longo do ciclo e o nível de tecnologia adotado, como o uso de diferentes híbridos, variedades ou cultivares.

Todos esses fatores influenciam diretamente o crescimento e a produtividade das plantas, conforme Figura 22. Quando os nutrientes estão em equilíbrio e em níveis adequados na planta, as condições de solo e ambiente são mais favoráveis ao bom desenvolvimento das culturas.

Figura 22 – Comparativo entre parcelas que receberam adubação, com crescimento normal e expressivo (parte de baixo da imagem), e parcelas que não receberam adubação, apresentando baixo desenvolvimento em tamanho e número de folhas, na cultura da acelga (parte de cima).



Fonte – Ferreira, 2019.

Entre as condições do solo, as características físicas das camadas superficiais influenciam diretamente o desenvolvimento das raízes e a produtividade das culturas. A adubação localizada pode concentrar nutrientes em um pequeno volume de solo, facilitando o acesso das plantas aos elementos necessários e favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular.

Por outro lado, quando essa concentração é excessiva, pode ocorrer aumento da salinidade no local da aplicação. Isso dificulta o crescimento das raízes nessa região e reduz o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas, comprometendo o desenvolvimento da cultura.

O manejo correto do solo é um fator primordial à retenção e ao fornecimento de nutrientes para as culturas. As tomadas de decisões quanto ao manejo do solo devem levar em consideração todas as características relacionadas à retenção dos nutrientes, como a textura do solo, a declividade e o tamanho de rampa e a profundidade do solo. O manejo incorreto, principalmente com textura arenosa, declividade acentuada e manejo do maquinário agrícola no sentido da declividade, conforme a Figura 23, acarreta perdas de nutrientes e sedimentos.

Figura 23 – Manejo do solo em preparo convencional no sentido da declividade acelerando os processos erosivos.

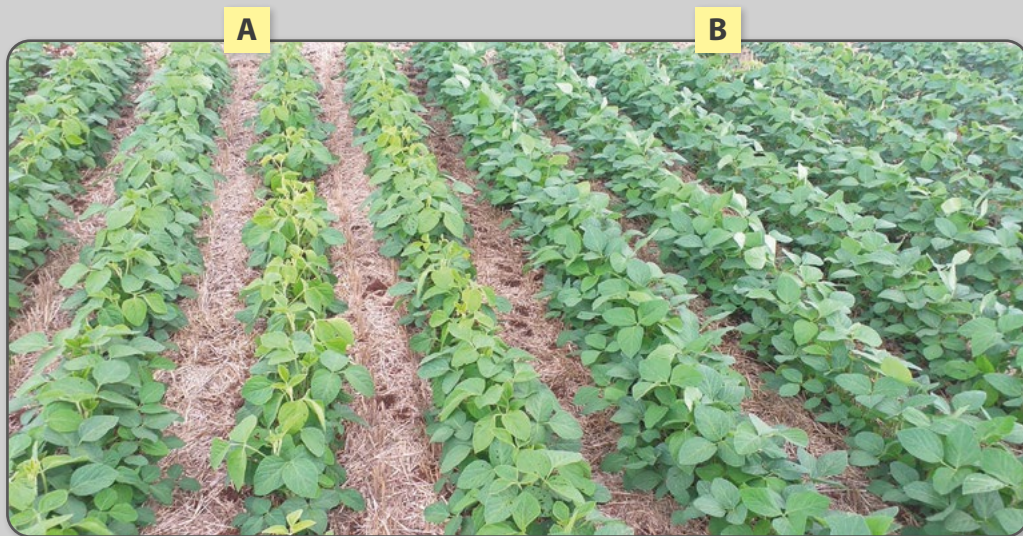


Fonte – Ferreira, 2024.

9. INOCULANTES

Os inoculantes agrícolas surgem como uma alternativa importante e sustentável. Esses produtos são feitos com microrganismos vivos, como bactérias e fungos, que ajudam as plantas a crescer melhor. Eles vivem em contato direto com as raízes e trazem vários benefícios, como fornecer nutrientes, melhorar o solo e diminuir a necessidade de adubos químicos (Figura 24).

Figura 24 – Sintomas de clorose em plantas que não receberam inoculação (A) comparadas com plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium* no tratamento de sementes (B).



Fonte – Ferreira, 2024.

Os inoculantes agrícolas são considerados uma tecnologia sustentável porque, além de aumentarem a produtividade, ajudam a reduzir custos e a poluição ambiental. Eles podem ser aplicados nas sementes, no solo ou diretamente nas plantas, e os microrganismos presentes neles criam uma relação benéfica com as raízes.

Uma das principais funções desses microrganismos é a fixação biológica do nitrogênio, processo natural que transforma o nitrogênio do ar, que as plantas não conseguem absorver, em uma forma que elas podem aproveitar. Isso substitui parte dos fertilizantes químicos e contribui para uma produção mais equilibrada e econômica.

O nitrogênio é um nutriente essencial para o crescimento das plantas, e a capacidade de fixá-lo naturalmente é uma das maiores vantagens dos inoculantes. Além disso, eles também ajudam a melhorar a absorção de fósforo e potássio, estimulam o crescimento das raízes e podem proteger as plantas contra doenças. Assim, os inoculantes não apenas fornecem nutrientes, mas também fortalecem as plantas, deixando-as mais resistentes e produtivas.

Existem vários tipos de inoculantes agrícolas, dependendo da função e do tipo de microrganismo utilizado. Os mais conhecidos são os fixadores de nitrogênio, que contêm bactérias como *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. Essas bactérias formam pequenas estruturas chamadas nódulos nas raízes de plantas leguminosas, como a soja e o feijão, e é dentro desses nódulos que ocorre a fixação do nitrogênio (Figura 25).

Figura 25 – Sistema radicular de soja e formação de nódulos simbióticos.



Fonte – Ferreira, 2024.

Há também inoculantes promotores de crescimento, que contêm bactérias como *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis*. Elas produzem substâncias que estimulam o crescimento das raízes e ajudam as plantas a aproveitar melhor a água e os nutrientes.

Outro tipo importante são os inoculantes solubilizadores de fósforo e potássio, que tornam esses nutrientes mais disponíveis no solo. Já os inoculantes com fungos micorrízicos aumentam a área de absorção das raízes, ajudando as plantas a resistir melhor à seca e a doenças. Existem ainda os inoculantes multifuncionais, que combinam diferentes microrganismos para gerar vários benefícios ao mesmo tempo.

O uso dos inoculantes traz muitas vantagens econômicas e ambientais. Do ponto de vista econômico, eles reduzem a necessidade de fertilizantes químicos, que são caros e muitas vezes poluentes. Com menos gastos em adubos e aumento na produtividade, o agricultor consegue melhores resultados com menor investimento. Do ponto de vista ambiental, o uso de inoculantes ajuda a diminuir a emissão de gases de efeito estufa, já que reduz a produção e o uso de fertilizantes à base de nitrogênio, cuja fabricação exige muita energia e libera gases poluentes. Além disso, os inoculantes contribuem para melhorar a estrutura e a vida do solo, tornando-o mais fértil e equilibrado.

Outro ponto positivo é que os inoculantes são de fácil aplicação e têm baixo custo. Na maioria das vezes, são misturados às sementes antes do plantio, o que facilita o uso tanto em pequenas quanto em grandes propriedades. Por isso, o uso desses produtos tem crescido bastante em todo o Brasil, especialmente nas lavouras de soja, milho e feijão.

Mesmo com todos esses benefícios, o uso de inoculantes ainda enfrenta alguns desafios. Um problema é que os microrganismos são sensíveis a fatores como temperatura e umidade. Se o produto for mal armazenado ou aplicado em condições inadequadas, pode perder a eficiência. Também é importante garantir que o produto seja de boa qualidade, já que nem todos os inoculantes disponíveis no mercado têm a mesma eficácia.

O avanço da pesquisa e o aumento do conhecimento técnico entre os agricultores são fundamentais para que o uso dos inoculantes continue crescendo. Assim, eles se consolidarão como uma ferramenta indispensável para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável, produtiva e responsável, capaz de alimentar o mundo sem destruir os recursos naturais.

10. CONCEITO DE BIOINSUMOS

Bioinsumos são produtos de origem biológica utilizados na agricultura para substituir ou complementar os insumos químicos tradicionais, como fertilizantes e defensivos agrícolas. Eles são desenvolvidos com base em microrganismos como bactérias e fungos ou em substâncias naturais extraídas de plantas e outros organismos vivos.

O principal objetivo dos bioinsumos é promover uma agricultura mais sustentável, capaz de manter a produtividade das lavouras enquanto preserva os recursos naturais e minimiza os impactos ambientais. Diante das mudanças climáticas e da degradação dos solos, o uso desses produtos surge como alternativa eficaz para assegurar a segurança alimentar e contribuir para a saúde do planeta.

Historicamente, o uso de materiais de origem biológica na agricultura não é uma prática recente. Desde as civilizações mais antigas, os agricultores recorriam a métodos naturais, como a compostagem, o emprego de esterco e a rotação de culturas, para melhorar a fertilidade do solo e controlar pragas. Com o avanço do tempo, especialmente após a Revolução Verde, a agricultura passou a depender intensamente de insumos químicos para alcançar elevados níveis de produtividade. No entanto, essa dependência resultou em graves impactos ambientais, como a contaminação de solos e recursos hídricos, a redução da biodiversidade e o surgimento de pragas resistentes aos pesticidas.

O desenvolvimento e a adoção de bioinsumos são uma resposta moderna e científica a esses desafios, integrando tecnologia, biologia e sustentabilidade em prol de uma agricultura mais equilibrada. Os bioinsumos atuam de diferentes formas na agricultura, podendo ser classificados em quatro principais grupos: biofertilizantes, biodefensivos, bioestimulantes e inoculantes microbiológicos.

Os biofertilizantes contêm microrganismos benéficos capazes de melhorar a disponibilidade de nutrientes no solo, tornando-os acessíveis às plantas. Bactérias dos gêneros *Rhizobium*, *Azospirillum* e *Bacillus*, por exemplo, ajudam na fixação biológica do nitrogênio e na solubilização do fósforo, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos. Esse tipo de bioinsumo contribui para a saúde do solo e diminui o custo de produção, além de evitar a poluição provocada pelo uso excessivo de adubos minerais.

Os biodefensivos, também conhecidos como biopesticidas, têm a função de controlar pragas e doenças de forma natural. Eles são produzidos com base em microrganismos que atacam os agentes causadores de danos às plantas sem afetar outras espécies. Um exemplo muito conhecido é o *Bacillus thuringiensis*, uma bactéria utilizada para o controle de lagartas e outros insetos. Outro exemplo é o

fungo *Trichoderma* spp., usado para combater doenças de solo. Os bio defensivos se destacam por serem seletivos, isto é, agem apenas sobre o alvo desejado, preservando os insetos polinizadores e os inimigos naturais das pragas. Além disso, não deixam resíduos tóxicos nos alimentos, o que melhora a qualidade e a segurança alimentar.

Já os bioestimulantes são substâncias ou microrganismos que estimulam o crescimento das plantas (Figura 26), aumentando sua resistência a condições de estresse, como seca, frio ou salinidade.

Figura 26 – Exemplos de raízes com: ausência de bioestimulantes (A); uso de bioestimulantes à base de aminoácidos (B); de extrato de algas (C); e substâncias húmicas (D) para promover o crescimento radicular.



Fonte – Ferreira, 2024.

Os bioestimulantes podem conter extratos de algas, aminoácidos, vitaminas e hormônios vegetais naturais. Esses produtos ajudam a fortalecer o sistema radicular, melhorar a absorção de nutrientes e aumentar a produtividade das lavouras.

Já os inoculantes microbiológicos são produtos que contêm microrganismos benéficos que vivem em simbiose com as raízes das plantas, promovendo a fixação de nitrogênio e melhorando o desenvolvimento vegetal. O uso de inoculantes é bastante comum em culturas como soja, feijão e ervilha, que dependem desse processo para se desenvolver de maneira saudável.

O uso de bioinsumos oferece uma série de vantagens ambientais, econômicas e sociais. Do ponto de vista ambiental, eles reduzem a contaminação dos solos e das águas, promovem o equilíbrio ecológico e ajudam a conservar a biodiversidade. Ao melhorar a estrutura do solo e aumentar sua capacidade de retenção de água, os bioinsumos contribuem para a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas.

No aspecto econômico, o uso desses produtos pode diminuir os custos de produção, uma vez que reduzem a necessidade de fertilizantes e defensivos químicos importados. Muitos bioinsumos podem ser produzidos localmente, utilizando recursos naturais disponíveis na propriedade ou tecnologias comerciais para produção *on farm*, o que aumenta a autonomia dos agricultores e gera renda nas comunidades rurais.

Além disso, a adoção de bioinsumos tem reflexos diretos na qualidade dos alimentos. Ao substituir produtos químicos por outros, naturais, os alimentos produzidos tornam-se mais saudáveis, com menos resíduos tóxicos e maior valor agregado. Isso é um diferencial importante tanto no mercado interno quanto nas exportações, já que o consumidor moderno está cada vez mais atento à procedência e à sustentabilidade do que consome.

GLOSSÁRIO

Absorção de luxo: ocorre quando a planta absorve um nutriente em quantidade maior do que o necessário para seu crescimento, sem aumento proporcional de produtividade. É comum com potássio e pode causar desequilíbrios nutricionais.

Acidez ativa: é medida diretamente na solução do solo e representada pelo pH. Indica a concentração de H^+ livre no solo naquele momento.

Acidez do solo: condição em que o solo apresenta excesso de íons H^+ e/ou Al^{3+} , reduzindo o pH e podendo limitar o desenvolvimento das plantas.

Acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$): corresponde à acidez que pode ser liberada do solo para a solução, incluindo H^+ e Al^{3+} ligados aos coloides. É usada para calcular a necessidade de calagem e estimar a CTC a pH 7,0.

Acidez trocável: refere-se principalmente ao Al^{3+} e ao H^+ adsorvidos nos coloides do solo, que podem ser liberados para a solução do solo por troca iônica. Está relacionada ao alumínio tóxico em solos ácidos.

Alumínio trocável (Al^{3+}): forma de alumínio presente na CTC do solo que pode ser tóxica às raízes em solos ácidos.

Análise de solo: avaliação laboratorial que determina os teores de nutrientes e características químicas do solo para orientar a adubação e a calagem.

Bases trocáveis: cátions básicos retidos nos coloides do solo: cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+).

Calagem: prática de aplicação de corretivos (calcário) para elevar o pH do solo, reduzir a acidez e fornecer Ca e Mg.

Capacidade de troca de cátions (CTC): quantidade máxima de cátions que o solo consegue reter e trocar. Indica o potencial de retenção de nutrientes.

CTC a pH 7,0 (CTC total): capacidade total de retenção de cátions quando o solo está em pH neutro.

CTC efetiva (T): capacidade de troca real nas condições atuais de pH do solo.

Coloides do solo: partículas muito finas de argila e matéria orgânica responsáveis pela retenção de água e nutrientes.

Condutividade elétrica (CE): medida indireta da salinidade do solo; indica a concentração de sais na solução do solo.

Disponibilidade de nutrientes: fração do nutriente presente no solo que está acessível para absorção pelas raízes.

Eficiência relativa (ER): refere-se à reatividade do corretivo, determinada principalmente pelo tamanho das partículas. Quanto mais fino o material, maior é a superfície de contato com o solo e mais rápida é sua reação. A ER expressa a porcentagem do corretivo que reage em um período padrão (geralmente três meses).

Fósforo disponível (P): quantidade de fósforo em forma absorvível pelas plantas, geralmente medida por extratores químicos.

Macronutrientes: elementos exigidos em maiores quantidades, como N, P, K, Ca, Mg e S.

Matéria orgânica do solo (MO): resíduos vegetais e animais em decomposição que melhoram a fertilidade, a CTC e a estrutura do solo.

Micronutrientes: elementos exigidos em pequenas quantidades, como Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl e Ni.

pH do solo: medida da acidez ou alcalinidade do solo, que influencia a disponibilidade de nutrientes.

Poder de neutralização (PN): indica a capacidade química de um corretivo de acidez em neutralizar o solo, comparando-o ao carbonato de cálcio puro (CaCO_3), que tem $\text{PN} = 100\%$. Está relacionado ao teor de compostos neutralizantes presentes no material, como carbonatos, óxidos e hidróxidos de cálcio e magnésio.

Poder relativo de neutralização total (PRNT): índice que expressa a eficiência de um corretivo da acidez (calcário) em neutralizar o solo. Leva em conta a reatividade (tamanho das partículas) e o teor de CaCO_3 equivalente do material. Quanto maior o PRNT, mais rápido e eficiente é o corretivo.

Poder tampão do solo: capacidade do solo de resistir a mudanças bruscas de pH.

Saturação por alumínio (m%): percentual da CTC efetiva ocupado por Al^{3+} . Valores altos indicam risco de toxicidade.

Saturação por bases (V%): percentual da CTC ocupado por cátions básicos (Ca, Mg, K e Na). Indica o nível de fertilidade do solo.

Sódio trocável (Na^+): cátion que, em excesso, pode causar problemas de sodicidade e dispersão de argilas.

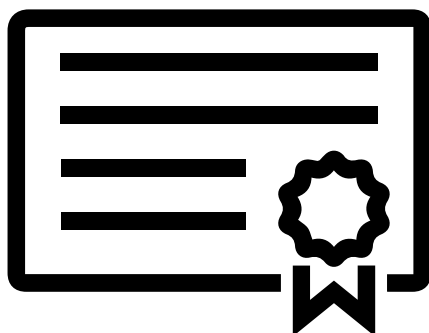
Soma de bases (SB): soma dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ presentes no solo.

Textura do solo: proporção de areia, silte e argila, influenciando retenção de água e nutrientes.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa Nacional de Bioinsumos**. Brasília, DF: MAPA, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos>. Acesso em: 4 nov. 2025.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de conservação do solo e da água**. Brasília, DF: Embrapa, 2020.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2023.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Status of the world's soil resources (SWSR)**. Rome: FAO, 2015.
- FERREIRA, E.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. **Manual de análises de bioinsumos para uso agrícola: inoculantes**. Brasília, DF: Embrapa, 2024. 164 p. ISBN 978-65-5467-029-6.
- IAPAR-EMATER – Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. **Solos do Estado do Paraná: caracterização e potencialidades de uso agrícola**. Londrina: IDR-Paraná, 2021.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.
- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.
- PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. (coord.). **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: SBCE/NEPAR, 2019.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SILVA, D. R. G.; LOPES, A. S. **Princípios básicos para formulação e mistura de fertilizantes**. Lavras: Editora UFLA, 2012, 46p.

CERTIFICADO DO CURSO



O certificado de conclusão é emitido, no mínimo, 30 dias após encerramento do curso, tempo necessário para o instrutor realizar a análise de desempenho de cada aluno, para que, posteriormente, a área de certificação do Sistema FAEP/SENAR-PR realize a emissão.

Você pode acompanhar a emissão de seu certificado em nosso site ***sistemmafaep.org.br***, na seção Cursos SENAR-PR > Certificados ou no QRCode ao lado.



Consulte o catálogo de curso e a agenda de datas no sindicato rural mais próximo de você, em nosso site ***sistemmafaep.org.br***, na seção Cursos ou no QRCode abaixo.



***Esperamos encontrar você novamente
nos cursos do SENAR-PR.***

SISTEMA FAEP



Rua Marechal Deodoro, 450 - 16º andar
Fone: (41) 2106-0401
80010-010 - Curitiba - Paraná
e-mail: senarpr@senarpr.org.br
www.sistemafaep.org.br



Facebook
Sistema Faep



Twitter
SistemaFAEP



Youtube
Sistema Faep



Instagram
[sistema.faep](https://www.instagram.com/sistema.faep)



LinkedIn
[sistema-faep](https://www.linkedin.com/company/sistema-faep)



Flickr
SistemaFAEP