



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

Fertilidade do solo e Nutrição das plantas

*Texto de apoio para as Unidades Curriculares de Sistemas e Tecnologias
Agropecuárias e Noções Básicas de Agricultura*

(Para uso dos alunos)

José F. C. Barros

Évora 2020

Índice

1. Introdução	3
2. Composição das plantas	4
3. Fertilidade do solo e nutrição das plantas	5
4. Nutrientes essenciais às plantas	6
4.1. Tipos de nutrientes.....	7
5. Funções dos nutrientes nas plantas	7
5.1. Funções dos macronutrientes principais.....	7
5.2. Funções dos macronutrientes secundários.....	8
5.3. Funções dos micronutrientes.....	9
5.4. Absorção de nutrientes do solo pelas plantas.....	10
6. Fontes de nutrientes	11
6.1. Fração mineral do solo.....	11
6.2. Microrganismos em simbiose (fixação simbiótica)	11
6.3. Microrganismos em vida livre (fixação não simbiótica)	12
6.4. Fixação atmosférica.....	13
6.5. Fixação industrial.....	14
6.6. Fixação por combustíveis fósseis.....	15
6.7. Matéria orgânica fresca.....	15
6.8. Matéria orgânica do solo (húmus).....	16
6.9. Adubos.....	17
6.9.1. Adubos minerais.....	18
6.9.2. Adubos orgânicos.....	19
6.9.3. Adubos minero-orgânicos.....	20
7. Estado físico dos adubos	21
7.1. Adubos sólidos.....	21
7.2. Adubos líquidos.....	21
8. Deficiência de nutrientes nas plantas	23
9. Excesso de nutrientes nas plantas	27
10. Avaliação da fertilidade do solo e da nutrição das plantas	29
10.1. Análise química do solo.....	29
10.2. Análise foliar ou de tecidos vegetais.....	30
11. Relação entre nutrição mineral, fertilidade do solo e adubação	30
Bibliografia Consultada	32

1. Introdução

As plantas são organismos autotróficos, que vivem entre dois ambientes inteiramente inorgânicos, retirando CO₂ da atmosfera e, água e nutrientes minerais, do solo. O crescimento e o desenvolvimento das plantas dependem fundamentalmente de um fluxo contínuo de sais minerais, que são essenciais para o desempenho das principais funções metabólicas das células. Um vegetal não se desenvolve e não cresce normalmente se não obtiver um conjunto de minerais e outros elementos essenciais necessários. O suprimento e a absorção de elementos químicos requeridos para o crescimento e metabolismo, podem ser definidos como **nutrição** e os elementos químicos necessários a um organismo, denominam-se **nutrientes**. A absorção dos nutrientes da solução do solo dependerá das características químicas e físicas deste, tendo grande influência a disponibilidade dos íons e o pH, principalmente na faixa de 5,5 a 6,5. Todavia, as raízes das plantas, ao entrarem em contato com os nutrientes do solo não selecionam, qual ou quais destes, são absorvidos. Se estes estiverem em excesso ou em falta, transmitem essa informação sob a forma de sintomas, tais como: manchas nas suas folhas, plantas com pouco vigor ou murchas, presença de pragas e/ou doenças, entre outros. Dentro da categoria de nutrientes necessários para as plantas, alguns são mais necessários que outros, sendo por isso fundamental, que estejam presentes em maiores quantidades, para que as plantas os possam aproveitar. Por essa razão, devemos ter em conta, que há fatores importantes que temos de considerar, como por exemplo, o tipo de solo que utilizamos e as necessidades nutricionais das plantas durante o seu período de crescimento e desenvolvimento, para que dessa forma, seja mais fácil o fornecimento de nutrientes que as plantas precisem, evitando assim, problemas futuros.

2. Composição das plantas

As plantas são compostas por 70 a 95 % de água e o restante é matéria seca. Na matéria seca, observa-se que mais de 90% é formada somente, por três elementos não minerais: o carbono (C), o hidrogênio (H) e o oxigênio (O). Na verdade, estes três elementos são os principais constituintes do material vegetal. O restante, corresponde aos minerais. A vegetação obtém o carbono a partir do ar, captando o dióxido de carbono através das folhas e obtém o oxigênio e hidrogênio da água, através das raízes. Além destes 3 elementos, existem mais 13 elementos minerais considerados essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas e que estas, obtêm a partir do solo pelas raízes. Apesar de constituírem apenas 4 a 6% da biomassa seca total, estes elementos minerais, além de serem componentes das moléculas essenciais, fazem parte de estruturas, como membranas e estão envolvidos na ativação enzimática, controle osmótico, transporte de elétrons, sistema tampão do protoplasma e controle de permeabilidade.

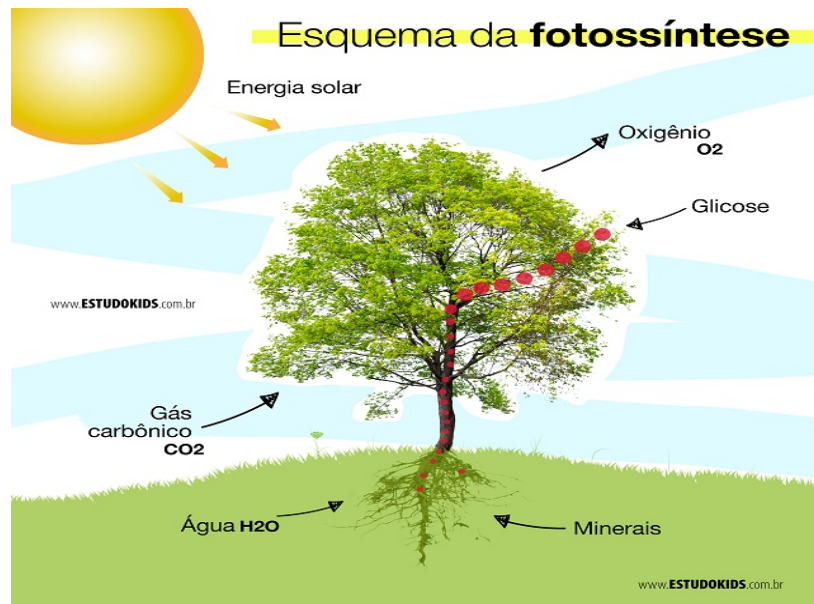


Fig. 1. Esquema da fotossíntese
(Fonte: Estudokids.com.br)

3. Fertilidade do solo e nutrição das plantas

Pode definir-se *Fertilidade do Solo*, como a capacidade deste em fornecer às plantas os nutrientes assimiláveis essenciais e a água, na quantidade e proporções adequadas ao seu crescimento e desenvolvimento, na ausência de substâncias tóxicas, que os possam inibir (FAO). 60% da produtividade agrícola depende da fertilidade do solo.

O estudo da *Nutrição das Plantas* estabelece, quais são os elementos essenciais para o ciclo de vida das plantas, como são absorvidos, translocados e acumulados, as suas funções, exigências e os distúrbios que causam, quando em quantidades deficientes ou excessivas. A planta não escolhe o que absorve e por essa razão, podemos encontrar na sua composição nutrientes (N, K, P, Ca, Mg, etc.), não nutrientes e até mesmo, alguns elementos químicos tóxicos. Assim, o termo *fertilidade* está associado ao solo e a *nutrição*, por sua vez, diz respeito à planta. As duas coisas estão intimamente ligadas e uma boa fertilidade do solo conduzirá a uma boa nutrição das plantas, pois o primeiro e principal sinal de como está a fertilidade do solo, é através da planta. A cultura, dará sempre sinais de como está o solo. É como se fosse uma pessoa, ou seja, se ela se alimenta corretamente estará com aspeto saudável, caso contrário, manifestações visíveis, mostram que ela não se encontra bem. Portanto, a fertilidade do solo é a base para uma boa nutrição das plantas. É impossível ter uma cultura bem nutrida com um solo pouco fértil, mas é possível ter um solo fértil e uma planta com deficiências de nutrientes, ficando este facto, a dever-se a diversos fatores: *i*) quando existe algum elemento tóxico no solo; *ii*) solo compactado (compactação característica do próprio solo, ou provocada); *iii*) doenças e pragas do solo, que afetam o crescimento das raízes; *iv*) presença de nematoides no solo; *v*) deficiência hídrica, o que conduz a uma redução da absorção dos nutrientes; *vi*) deficiente crescimento inicial da planta, originando raízes mal formadas. A interação do solo com as plantas envolve fenómenos físicos, químicos e biológicos, todos interligados e direta ou indiretamente dependentes entre si.

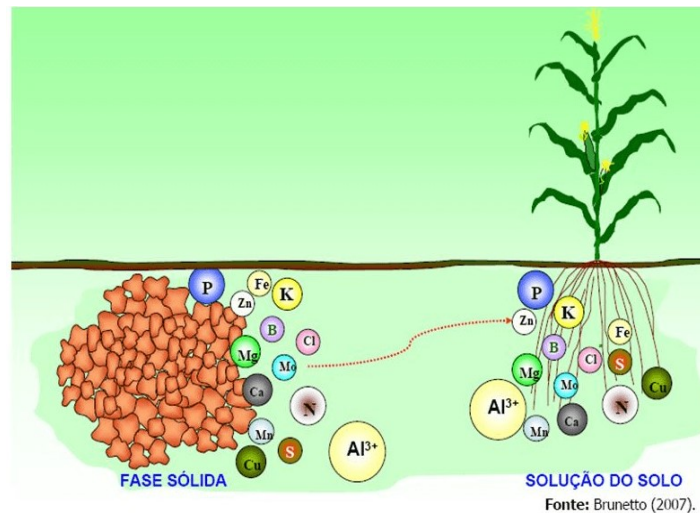


Fig. 2. Nutrientes na solução do solo
(Fonte: Brunetto, em Fertilidade do Solo)

4. Nutrientes essenciais às plantas

Os nutrientes são importantes, porque desempenham funções imprescindíveis no metabolismo das plantas, seja como substrato (composto orgânico) ou em sistemas enzimáticos. De uma forma geral, tais funções podem ser classificadas como: *i*) estruturais (fazem parte da estrutura de um qualquer composto orgânico vital para a planta); *ii*) constituintes de enzimas (fazem parte de uma estrutura específica, grupo prostético/ativo de enzimas); *iii*) ativadores enzimáticos (não fazem parte da estrutura). É de salientar, que os nutrientes não só ativam, como também inibem sistemas enzimáticos, afetando a velocidade de muitas reações no metabolismo da planta.

O crescimento e o desenvolvimento das plantas dependem, além de outros fatores, como luz, água e dióxido de carbono, de um fluxo contínuo de sais minerais a partir da solução do solo, que é de onde a raiz retira ou absorve estes sais minerais ou nutrientes.

Os minerais, embora requeridos em pequenas quantidades, são fundamentais para o desempenho das principais funções metabólicas da célula. O efeito benéfico da adição de elementos minerais no crescimento das plantas, foi idealizado pela primeira vez pelo químico alemão *Justus von Liebig*, que ficou conhecida como “*Lei dos Mínimos*” e que compõe as bases da Nutrição Mineral. Este cientista descobriu, que o crescimento das

plantas é limitado pelo nutriente na planta, que estiver presente em menor quantidade relativa e que este elemento, limita a sua produtividade.

4. 1. Tipos de nutrientes

Os elementos minerais são classificados em dois grupos: os *macronutrientes* e os *micronutrientes*. Os macronutrientes podem ser subdivididos em *primários* ou *principais* e *secundários*, sendo os primários, absorvidos pelas plantas em maiores quantidades, que os secundários. Os micronutrientes, são os elementos minerais absorvidos em menores quantidades. Existem também, *elementos não essenciais*, mas benéficos para as plantas. Esta divisão, não significa que um nutriente seja mais importante do que outro, apenas que eles são necessários em quantidades e concentrações diferentes.

Macronutrientes primários ou principais: Azoto (N), Fósforo (P) e Potássio (K).

Macronutrientes secundários: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S).

Micronutrientes: Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo) e Zinco (Zn).

Elementos não essenciais: Sódio (Na), Silício (Si) e Cobalto (Co).

5. Funções dos nutrientes nas plantas

5. 1. Funções dos macronutrientes principais

Azoto ou nitrogênio (N) – É essencial para a formação das proteínas, as quais são indispensáveis à vida das plantas e animais e faz parte de compostos do metabolismo, como a clorofila e os alcalóides. É também, parte de muitas enzimas e vitaminas e, atua em todas as fases (crescimento, floração e frutificação). O azoto é absorvido nas suas formas iônicas, NO_3^- e NH_4^+ (níttrica e amoniacal, respetivamente).

Fósforo (P) – Atua a nível da respiração e da produção de energia, atuando também, na divisão celular, aumentando-a. Faz parte de substâncias de reserva, como o amido e os albuminoides. Facilita a floração, aumenta a frutificação e antecipa a maturação, intensificando a resistência das plantas, às doenças. Contribui para o crescimento do sistema radicular e é um fator de quantidade e de qualidade nas culturas. O fósforo encontra-se no solo sob a forma de fosfatos e, é absorvido, através do ião ortofosfato primário (H_2PO_4^-) e do ião ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}).

Potássio (K) - Com este nutriente, as plantas elaboram os açúcares e o amido. É indispensável para a formação e o amadurecimento dos frutos, aumenta a rigidez dos tecidos e a resistência das plantas às pragas e doenças, favorecendo o crescimento do sistema radicular. A forma iónica absorvida pelas plantas é K^+ .

5. 2. Funções dos macronutrientes secundários

Cálcio (Ca) - Contribui para o fortalecimento de todos os órgãos das plantas, principalmente raízes e folhas, é um componente da parede celular vegetal, sendo necessário para a manutenção da estrutura e ativação da amilase. Também é importante na manutenção do equilíbrio entre alcalinidade e acidez do meio e da seiva das plantas. A forma iónica absorvida pelas plantas é Ca^{2+} .

Magnésio (Mg) - É parte integrante da molécula da clorofila e, por isso, está diretamente ligado ao metabolismo energético das plantas. A forma iónica absorvida pelas plantas é Mg^{2+} . A absorção do ião Mg^{2+} pode ser afetada negativamente, pela presença de outros catiões, tais como: K^+ , NH_4^+ e Ca^{++} .

Enxofre (S) - Encontra-se na sua maior parte, na composição das proteínas associadas ao azoto. Participa na formação de alguns aminoácidos essenciais ao metabolismo energético, intervém na síntese de compostos orgânicos, em especial vitaminas e enzimas, sendo um nutriente muito pouco móvel ou mesmo, imóvel. A forma iónica absorvida pelas plantas é SO_4^{2-} .

5. 3. Funções dos micronutrientes

Boro (B) - É particularmente importante na multiplicação das células. É de extraordinária importância na germinação do grão de pólen, na formação das flores, frutos e raízes, no movimento da seiva e na absorção dos catiões. O boro é um elemento que apresenta uma fraca mobilidade na planta, admitindo-se, que é transportado unicamente no xilema, já que é praticamente imóvel no floema. A forma absorvida pelas plantas é H_3BO_3 .

Cloro (Cl) - A sua função está relacionada com a fotossíntese, participando na fotólise da água. A forma iônica absorvida pelas plantas é o Cl^- .

Cobre (Cu) - É ativador de várias enzimas dentro da planta. É essencial para as plantas, em processos de oxidação e redução. A forma iônica absorvida pelas plantas é Cu^{2+} .

Ferro (Fe) - É essencial para a formação da clorofila, absorção do azoto e diversos processos enzimáticos. A forma iônica absorvida pelas plantas é Fe^{2+} .

Manganês (Mn) - Tal como o ferro, também é necessário para a formação da clorofila, para a redução de nitratos e para a respiração. Em alguns processos metabólicos, atua como catalisador. Participa na formação do ácido ascórbico (Vitamina C). A forma iônica absorvida pelas plantas é Mn^{2+} .

Molibdênio (Mo) - Participa na bioquímica da absorção e no transporte e fixação de azoto. A forma iônica absorvida pelas plantas é o ião molibdato MoO_4^{2-} .

Zinco (Zn) - Atua no crescimento das plantas pela sua participação na formação do ácido indolacético (AIA).

5. 4. Absorção de nutrientes do solo pelas plantas

Do ponto de vista da exigência nutricional, admite-se que a extração dos nutrientes do solo não ocorre de forma constante ao longo do ciclo da planta. A extração segue o crescimento da planta, sendo caracterizada por uma fase inicial de baixo crescimento e absorção, passando para um crescimento e uma absorção mais acelerados e posterior estabilização, durante a fase reprodutiva. Entretanto, no final da última fase, a acumulação de certos nutrientes, como o potássio e o azoto, pode estabilizar, ou até, sofrer diminuição na acumulação, devido às perdas de folhas senescentes e também, perdas dos nutrientes da própria folha. Este padrão de absorção de nutrientes ocorre tanto em culturas perenes ou vivazes, como em anuais e, a rapidez de absorção dos nutrientes pelas plantas, está associada com a idade, atividade de crescimento e com os tecidos das plantas. As plantas jovens absorvem mais rapidamente os nutrientes do que as plantas adultas.

Quando se aplica um fertilizante, como o por exemplo o cloreto de potássio, o íon K^+ tem carga positiva (catião) e fica adsorvido na superfície das partículas de argila, principalmente das ilites, que são minerais pouco expansíveis, sendo libertado lentamente para a raiz, através da solução do solo e desta, para a planta. Os catiões, também se movimentam da solução do solo para a superfície das partículas de argila e de húmus, chamando-se a isto, "catiões trocáveis". Os principais catiões trocáveis são: hidrogênio (H^+), cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg^{++}), potássio (K^+), sódio (Na^+) e amónia (NH_4^+). Os íões K^+ e NH_4^+ são rapidamente absorvidos, mas os íões Ca^{++} e Mg^{++} são absorvidos muito lentamente.

6. Fontes de nutrientes

6. 1. Fração mineral do solo

O solo fornece diversos macro e micronutrientes, dependendo da rocha a partir da qual esse solo se formou. O fósforo mineral no solo está relacionado com rochas eruptivas e rochas sedimentares e o potássio é um elemento também, muito abundante nas rochas e no solo, podendo em solos bem nutridos, o seu teor total superar 1%. Grande parte desse potássio encontra-se em minerais, que contêm o elemento nas suas estruturas cristalinas. Os minerais primários portadores de potássio mais importantes encontrados em rochas ígneas, são os feldspatos e dois tipos de micas (moscovite e biotite). O cálcio encontra-se no solo na forma de carbonatos, sulfatos e silicatos. Os solos calcários das regiões áridas, são os que possuem o cálcio em maior quantidade.

A fração mineral, como areia e rochas, constitui a maioria dos solos, a qual se divide para dar origem a outras frações minerais, chamadas de limo e argila. O reservatório principal de nutrientes do solo para as plantas são a argila e o húmus. As partículas de argila são muito pequenas e possuem carga negativa. Os solos arenosos são deficientes em argila e húmus e as partículas de areia não possuem carga, o que facilita a perda dos nutrientes por lixiviação (perda através do perfil do solo).

6. 2. Microrganismos em simbiose (fixação simbiótica)

Fixação é o nome que se dá ao processo de transformação do N_2 em compostos azotados. As bactérias do género *Rhizobium* (Figura 3) fazem uma simbiose com as raízes das leguminosas formando nódulos (Figura 4), transformando o azoto atmosférico (N_2) em formas assimiláveis pelas plantas, ou seja, retiram o azoto da atmosfera e transformam-no em Nitratos (NO_3), Nitritos (NO_2) e amónia solúvel (NH_3), que são formas diretamente assimiláveis pelas plantas. Só as plantas leguminosas, têm a capacidade de criar uma simbiose entre as suas raízes e o *Rhizobium*.

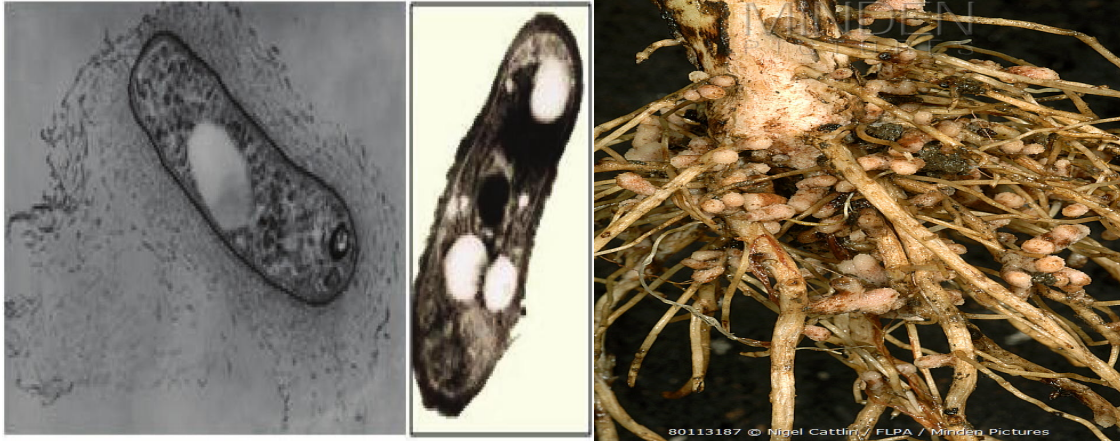


Fig. 3. Bactérias do género *Rhizobium*
(docplayer.br.com)

Fig. 4. Nódulos nas raízes
(MindenPictures)

6. 3. Microrganismos em vida livre (fixação não simbiótica)

As bactérias fixadoras de azoto não simbióticas mais importantes para a agricultura são a *Azotobacter* e a *Beijerinckia* (Figuras 5 e 6), largamente disseminadas na água e no solo e que, possuem uma vigorosa respiração. São aeróbias de *vida livre* e vivem principalmente nos solos, onde desempenham um importante papel no ciclo do azoto na natureza, captando azoto atmosférico (N_2), que é inacessível às plantas e libertando-o em forma de iões amónio no solo. Estas bactérias, obtêm a energia a partir da decomposição de resíduos vegetais.



Fig. 5 *Azotobacter*
(Wikipedia)

Fig. 6. *Beijerinckia*
(dojmt.gov)

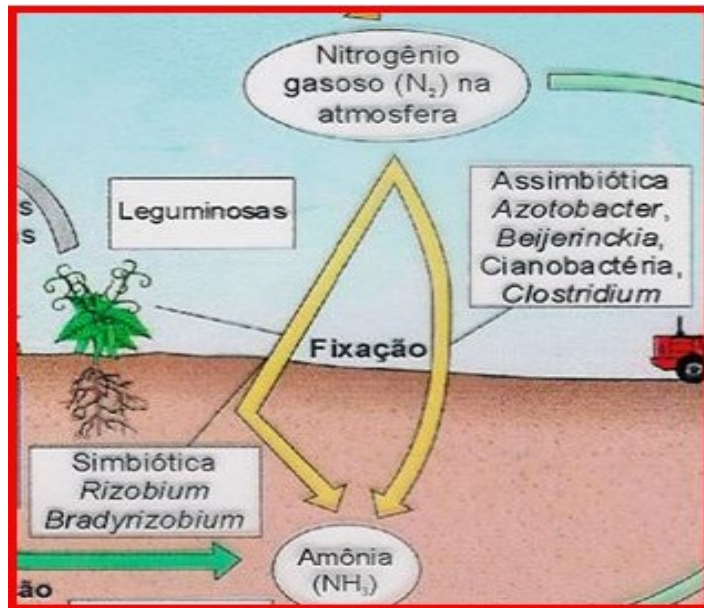


Fig. 7. Fixação do azoto atmosférico por bactérias em simbiose e em vida livre

6. 4. Fixação atmosférica

A fixação atmosférica ocorre através dos relâmpagos (Figura 8), cuja elevada energia separa as moléculas do azoto atmosférico N_2 e permite, que os seus átomos se liguem com moléculas de oxigênio existentes no ar, formando óxidos de azoto, que ao serem hidratados pelo vapor de água, transforma-se em nitratos, os quais são levados para a terra pelas chuvas ($N_2 + O_3 \rightarrow NO_3$), denominando-se estas, de chuvas ácidas.

A forte radiação de UV na atmosfera superior gera também, óxidos de azoto, principalmente NO_2 , que formam uma solução muito diluída de HNO_3 na água da chuva, as quais são igualmente designadas, de chuvas ácidas. A fixação atmosférica contribui com 3 a 4 % de todo o azoto fixado.



Fig. 8. Relâmpagos (fixação atmosférica de azoto)
(Wannabescientists-sapo)

6. 5. Fixação industrial

Através de processos industriais (nomeadamente o processo de Haber-Bosch) é possível produzir amoníaco (NH_3) a partir de azoto (N_2) e hidrogénio (H_2). A fixação industrial é de grande importância agronómica, pela necessidade do uso de fertilizantes azotados para atender à necessidade deste macronutriente, pelas culturas. A produção de NH_3 aumentou de 1 milhão de toneladas/ano em 1950 para 110 milhões em 1992, a partir do processo de Haber-Bosch e 75 % da amónia produzida por este processo, é utilizada como fertilizante.



Fig. 9. Produção industrial
(Brasilecola.uol.com.br)

6. 6. Fixação por combustíveis fósseis

A poluição atmosférica é muito preocupante, por afetar grandemente a população mundial. Um desses poluentes é o dióxido de azoto (NO_2), gás muito comum, tóxico, com cheiro forte e coloração castanha em algumas situações. O azoto atmosférico (N_2) e o oxigênio molecular (O_2) reagem, formando o monóxido de azoto (NO), proveniente da queima de combustível no motor de carros ou em fornos industriais onde a temperatura é muito elevada. O NO oxidado na atmosfera pelo O_2 forma o dióxido de azoto (NO_2). O monóxido de azoto e o dióxido de azoto são dissolvidos na água das chuvas e depositados no solo.



Fig. 10. Emissão de combustível fóssil
(BBC)

6. 7. Matéria orgânica fresca

Designa-se por matéria orgânica fresca, o restolho das culturas, os restos de plantas que ficam no solo, as carcaças de animais, os dejetos dos animais, etc., em diferentes fases de decomposição, decomposição essa, realizada por fungos, bactérias, minhocas, etc. Esta matéria orgânica sofre dois processos: a humificação, que irá originar o **húmus** e a **mineralização**, que é um processo essencialmente biológico e o qual é responsável pelo fornecimento de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, como são os macronutrientes primários ou principais (azoto, fósforo e potássio), macronutrientes

secundários (cálcio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (cobre, zinco, manganês, etc.).



Fig. 11. Dejetos de animais
(Foto: Jose cunha-oliveira)

Fig. 12. Restolho de cereais
(Foto: Pixabay)

A maior ou menor mineralização e humificação da matéria orgânica fresca, está relacionada com a sua relação C/N. Quanto maior for esta relação nos resíduos, mais mineralização haverá e inversamente, quanto menor esta relação, mais os resíduos são humificados. Designa-se por **coeficiente isohúmico**, a percentagem de matéria orgânica fresca, que se transforma em húmus e **coeficiente de mineralização**, a percentagem de matéria orgânica fresca que se mineraliza, sendo: **coeficiente isohúmico + coeficiente de mineralização = 1 = 100%**.

6. 8. Matéria orgânica do solo (húmus)

A matéria orgânica é de importância vital para o solo e como está em constante decomposição, será necessário repô-la, com alguma frequência. Tal como referido anteriormente, ao decompor-se, a matéria orgânica fresca liberta nutrientes e formam-se outras substâncias orgânicas, entre as quais o húmus (Figuras 13 e 14) também, designado por matéria orgânica estável. O húmus é de fundamental importância para a estrutura do solo, ao funcionar como cimento na formação de agregados, principalmente agregados *argilo-húmicos*, que são os mais estáveis. O húmus tem também, uma grande capacidade de reter água, a qual será fornecida às plantas, sendo igualmente importante para a vida da fauna e flora do solo.



Fig. 13. Húmus
(Foto: La huerta de Iván)



Fig. 14. Húmus
(Foto: Thiago Tadeu Campos)

O húmus é um material de difícil decomposição, mas apesar da sua resistência particular a essa decomposição, ele pode experimentar mineralização, quando as condições forem favoráveis. A matéria orgânica do solo (húmus) mineraliza-se a uma taxa média anual, que varia de 1 a 3 %, dependendo da humidade, arejamento e temperatura do solo. Esta mineralização irá fornecer aproximadamente, 5% de azoto, 3 % de fósforo e vários micronutrientes.

6. 9. Adubos

Os adubos, são produtos químicos ou orgânicos, que visam fornecer nutrientes necessários às plantas, de modo a aumentar a sua produção. Apresentam elevados teores de nutrientes, sobretudo macronutrientes principais - azoto, fósforo e potássio e atuam sobre as culturas de forma essencialmente direta, permitindo uma maior absorção. Podem também, fornecer macronutrientes secundários - cálcio, magnésio e enxofre e micronutrientes, tais como: ferro, manganês, zinco, cobre, boro, molibdénio, cloro ou outros elementos benéficos. Podem ser aplicados à parte aérea das plantas (adubação foliar) ou ao solo.

6.9.1. Adubos minerais

Os adubos minerais, são obtidos industrialmente por processos químicos e podem conter apenas um, ou vários dos nutrientes, essenciais às plantas.

Adubos minerais elementares - têm um só macronutriente principal - azotados (N) (exemplos: ureia, nitroamoniacal 27 %, etc.), fosfatados (P) (exemplos: superfosfato a 18%, ou a 42%) e potássicos (K) (exemplos: cloreto de potássio 60 % ou sulfato de potássio).

Quando se refere, que um adubo tem por exemplo 27 % de azoto nitroamoniacal, significa que, em cada 100 kg de adubo, existem 27 unidades de azoto, estando metade na forma nítrica e metade na forma amoniacal (Figura15).



Fig. 15. Adubos elementares

Adubos minerais compostos – São adubos, que têm na sua constituição, mais do que um macronutriente principal, podendo ter dois e, neste caso, designam-se por binários (N-P; N-K; P-K) ou três e serão ternários (N-P-K).



Fig. 16. Adubos binários



Fig. 17. Adubos Ternários

6. 9. 2. Adubos orgânicos

Os adubos orgânicos são produtos naturais, provenientes de resíduos de plantas e/ou animais e que, contêm uma mistura variável de nutrientes essenciais às plantas. Exemplos de adubos orgânicos: farinha de peixe - com mais de 6% de azoto e 6% de fósforo, ossos moídos - com mais de 27% de fósforo, sangue seco e pulverizado - com mais de 10% de azoto, ou outros resíduos orgânicos, desde que satisfaçam os seguintes teores: matéria orgânica 50%, azoto 2%, fósforo 3% e total de azoto+fósforo+potássio, 6%.



Fig. 18. Adubos orgânicos

6. 9. 3. Adubos minero-orgânicos

Os adubos minero-orgânicos são obtidos por mistura de adubos minerais com adubos orgânicos ou corretivos orgânicos, como por exemplo: adubos obtidos a partir da mistura de adubos minerais e estrumes de aviário ou outros produtos com origem similar, desde que satisfaçam as seguintes condições: teor de matéria orgânica 25%, total de azoto+fósforo+potássio, 15% e qualquer destes macronutrientes, com teores superiores a 5%.



Fig. 19. Adubos minero-orgânicos

7. Estado físico dos adubos

7. 1. Adubos sólidos

Os adubos podem ser aplicados no estado sólido (granulado ou pó) e líquido. Gasosos, são os fertilizantes, que se apresentam no estado gasoso nas condições normais de pressão e temperatura. O único fertilizante gasoso é a amónia.



Granulado

Pó

Fig. 20. Adubos no estado sólido

7. 2. Adubos líquidos

Os adubos líquidos podem ser aplicados à parte aérea das plantas ou ao solo, através de fertirrega. A absorção é feita através da cutícula das folhas. Depois de absorvidos, os nutrientes são transportados para as diversas partes das plantas, onde são assimilados e utilizados em importantes funções biológicas.



Fig. 21. Adubos líquidos



Fig. 22. Adubação foliar
(Foto: Paulo Figueiras/Programa Rio Rural)

NUTRIENTE	TEMPO PARA ABSORÇÃO DE 50%	MOBILIDADE
Nitrogênio (Ureia)	0,5 a 2 horas	Muito Alta
Potássio	10 a 24 horas	Muito Alta
Cálcio	10 a 24 horas	Muito Baixa
Magnésio	10 a 24 horas	Muito Baixa
Manganês	1 a 2 dias	Moderada
Zinco	1 a 2 dias	Moderada
Cloro	1 a 4 dias	Alta
Fósforo	5 a 10 dias	Alta
Enxofre	5 a 10 dias	Alta
Ferro	10 a 20 dias	Baixa
Molibdênio	10 a 20 dias	Baixa

Fig. 23. Mobilidade dos nutrientes por via foliar

Os adubos líquidos apresentam diversas vantagens: São a forma mais fácil e eficiente de realizar a fertirrega; permitem, em cada momento, aplicar o equilíbrio mais adequado à fase de desenvolvimento da cultura (adubação por medida); não exigem qualquer preparação ou diluição prévia; podem ter o pH ajustado às necessidades; permitem total automatização do sistema e permitem poupar mão-de-obra.



Fig. 24. Fertirrega

8. Deficiência de nutrientes nas plantas

A deficiência de nutrientes nas plantas, pode ficar a dever-se a várias causas: poderá ocorrer carência, quando há uma suspensão total ou parcial da fertilização com os nutrientes necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas; poderão surgir deficiências, quando as raízes morrem e não conseguem absorver os nutrientes, dando origem neste caso, a todos os tipos de deficiências; quando as raízes são saudáveis, um desequilíbrio no pH ou na solução nutritiva do solo poderá também, conduzir à deficiência de nutrientes na planta; a competição na absorção entre os elementos, podendo um elemento em excesso bloquear a absorção de outro, conduzirá à carência desse nutriente.

Quando a planta tem falta de nutrientes em algum momento, apresenta sintomas de deficiências nutricionais e é visível uma redução do seu crescimento e da sua produtividade.



Sinais de Deficiência Nutritiva

Fig. 25. Sintomas de deficiência de nutrientes nas plantas (Pinterest)

A clorose, a necrose e a deformação das folhas jovens das plantas, podem ser um sintoma de deficiência de nutrientes. Caso haja deficiência em azoto, enxofre ou ferro, a clorose será uniforme e será internerval ou em manchas, se a deficiência for de magnésio, manganês ou zinco. A necrose pode ser observada nas extremidades (deficiência em potássio) ou internerval (deficiências em magnésio e/ou manganês). A deficiência em cálcio, boro e cobre, também se pode manifestar através de necroses nas folhas. As deformações nas folhas pode indicar deficiência de molibdênio, zinco e/ou boro.



Fig. 26. Clorose férrica nos citrinos
(*Syngenta*)



Fig. 27. Necrose das margens das folhas
(*Agronômica*)

Nutrientes, Funções e Sintomas de Deficiência		
Elemento	Funções	Deficiência
Macronutrientes		
N	Componente essencial de todas as proteínas; Promove a formação da clorofila.	Folhas amareladas, Crescimento lento; Folhas menores.
P	Essencial no ciclo de energia da célula; Formação de raízes e sementes, Auxilia na floração e Maturação dos frutos.	Folhas velhas com manchas pardas; gemas laterais dormentes; Atraso no florescimento.
K	Importante na produção de Carboidratos e fotossíntese; Vital na relação água-planta; Importante na produção de frutos;	Clorose e depois necrose das margens e pontas das folhas; Diminuição do crescimento vertical.
Ca (Cálcio)	Regula o transporte de outros Nutrientes; Ativa enzimas;	Manchas entre as nervuras da folha; Crescimento irregular das folhas;
S (Enxofre)	Componente de aminoácidos e vitaminas; Atua na formação dos cloroplastos;	Clorose nas folhas novas; Folhas pequenas e enroladas na margem;
Mg (Magnésio)	É o componente central da molécula da clorofila;	Clorose nas folhas velhas; Folhas de coloração alaranjada.

Fig. 28. Macronutrientes, funções e sintomas de deficiência
(Flores-Cultura Mix)

Uma fertilização adequada, pode minimizar os sintomas de deficiências nutricionais nas plantas, devendo por isso, merecer a máxima atenção por parte dos agricultores, os quais deverão garantir, que as culturas recebam os nutrientes necessários ao seu crescimento e desenvolvimento. Em culturas anuais como o milho, o trigo, a cevada, etc., a deficiência em nutrientes, pode reduzir significativamente a produção total de matéria seca, incluindo a produção de grão e, conseqüentemente, o rendimento obtido pelos agricultores. Por outro lado, as plantas com deficiência de nutrientes, podem apresentar menor tolerância a pragas e doenças, aumentando a suscetibilidade a estas. Assim, é imperativo que tanto os agricultores, como os profissionais com ligação ao setor agrícola tenham em consideração a concentração de nutrientes no solo e na planta,

garantindo que as fertilizações nas culturas sejam feitas de modo adequado, para evitar a deficiência de nutrientes.

9. Excesso de nutrientes nas plantas

O crescimento adequado das plantas requer um ato de equilíbrio de cerca de 16 macronutrientes e micronutrientes diferentes. Se uma planta recebe qualquer um desses nutrientes em excesso, poderá ter problemas de toxicidade. O excesso de nutrientes pode conduzir a um nível de toxicidade, que é tão prejudicial para as plantas, quanto a deficiência em nutrientes. A toxicidade pode ser evitada, diminuindo a aplicação de nutrientes. Os principais sintomas do excesso de nutrientes, verificam-se nas folhas velhas e maduras, através de pontes de necrose (excesso de manganês e/ou boro) ou mesmo necrose, nas suas extremidades (excesso de borro e/ou aplicação de sais). No entanto, diferentes tipos de plantas apresentam sintomas de queimaduras por excesso de nutrientes diferentes, dependendo de qual nutriente ou combinação de nutrientes causou o problema. Normalmente, uma planta com excesso de nutrientes desenvolverá manchas castanhas ou mortas ao longo das pontas das folhas. O excesso de acumulação de nutrientes, nem sempre aparece como queimaduras nas folhas. Demasiado azoto, pode fazer com que a planta pareça temporariamente exuberante e cheia de folhagem, enquanto os seus frutos caem prematuramente e as raízes murcham, conduzindo à morte da planta.



Fig. 29. Excesso de nutrientes
(Foto: GroHo)

Tabela 1. Sintomas de excesso de nutrientes

Nutriente	Excesso
Azoto	As folhas ganham um tom verde escuro e a floração é retardada. Pode influenciar o sabor final dos frutos.
Fósforo	São raros e não são de reear, a sua presença acelera a maturação e aumenta a estabilidade dos caules.
Potássio	São raros, mas podem interferir com a absorção de Magnésio.
Cálcio	Pode interferir com a absorção de Magnésio e de Potássio, pode reagir com o Enxofre e o Fósforo e criar compostos insolúveis.
Magnésio	São raros.
Enxofre	Folhas mais pequenas do que o normal e podem cair.
Cobre	As folhas ganham um tom bronze, com pontos necróticos.
Ferro	Elemento tóxico em excesso, o crescimento é parado, as raízes ganham uma cor escura e morrem.
Manganês	Crescimento reduzido, saúde débil e pontos necróticos nas folhas.
Zinco	Em excesso, é como um veneno para as plantas e começa por bloquear a absorção de ferro, podendo causar a morte da planta.
Boro	Amarelecimento da ponta das folhas seguido de necrose, as folhas caem
Molibdénio	Descoloração das folhas e, com grandes concentrações, as folhas podem ficar cor de laranja.

O excesso de nutrientes pode ser revertido e o crescimento de novas folhas não ser afetado. Aumentar a frequência de regas e a quantidade de água em cada rega, poderá ser um caminho para eliminar o excesso de nutrientes em culturas de regadio. Reduzir a quantidade de fertilizantes aplicados nas culturas, será outro caminho a seguir. Para evitar a queima das plantas devido a excesso de nutrientes, o agricultor deverá ter a noção da quantidade de nutrientes que a sua cultura precisa e saber o que está no solo, ou na água. Diferentes culturas e a mesma cultura em fases de desenvolvimento diferentes, têm necessidades nutricionais também diferentes.

Por isso, fazer análises de nutrientes ao solo antes de instalar qualquer cultura, será sempre uma boa opção. A **análise do solo** é a melhor maneira para avaliar a fertilidade do mesmo, porque fornece informações necessárias para corrigi-lo. Ter conhecimento sobre a composição do solo é um passo muito importante para fazer uma adubação correta nas culturas. Para saber especificamente acerca da nutrição das plantas, também é importante a **análise foliar** destas. Se na análise foliar o resultado for de deficiência de nutrientes, é um indicativo que a fertilidade do solo não está bem, ou seja, uma análise complementa a outra.

10. Avaliação da fertilidade do solo e da nutrição das plantas

10. 1. Análise química do solo

A análise do solo é uma técnica simples, para avaliar diretamente a fertilidade de um solo, proporcionando resultados bastante credíveis. A análise química ao solo deverá ser feita algum tempo antes da instalação da cultura, porque é a partir dela, que o agricultor irá basear a sua adubação nos diferentes nutrientes, bem como a necessidade ou não, de fazer calagens e aplicações de gesso, sendo necessário um tempo adequado para a correção do solo. A metodologia utilizada para determinar a concentração de um mesmo nutriente pode ser diferente de um país para outro, ou mesmo, de uma região para outra, dentro do mesmo país. Assim, a análise da fertilidade de um solo pode dar resultados diferentes para um mesmo nutriente, o que por vezes, pode gerar confusão na interpretação da análise de solos. Assim, é importante ter sempre a ajuda de um profissional, o qual esteja capacitado na interpretação da análise de fertilidade do solo.

O conhecimento sobre a fertilidade de um solo é de extrema importância, por várias razões: **i)** a aplicação correta de fertilizantes minerais garante as quantidades adequadas exigidas pelas culturas e a reposição no solo; **ii)** na ausência dessa aplicação e/ou reposição, a cultura irá procurar os nutrientes na reserva do solo, o que poderá conduzir ao esgotamento dos mesmos; **iii)** poderá haver redução do teor de matéria orgânica no solo, a qual é muito importante na retenção da água e no fornecimento de nutrientes; **iv)** se não se aplicassem fertilizantes haveria uma degradação da área semeada ou plantada, com conseqüente deficiência na oferta de alimentos.

10. 2. Análise foliar ou de tecidos vegetais

Através da observação das plantas, muitas vezes, é possível detetar problemas nutricionais. Contudo, quando esses problemas são detetados, eles já estão num estágio muito avançado, ficando desse modo, mais difíceis de reverter. Assim, quando houver suspeitas de problemas de nutrição, deve fazer-se imediatamente uma análise foliar.

A análise foliar é uma análise química da planta onde é possível, com amostras de folhas e em laboratório, conseguir identificar os problemas nutricionais. Através desta análise, obtêm-se os teores de macro e micronutrientes na planta e desse modo, avaliar o seu estado nutricional, ou seja, qual ou quais os nutrientes, que estão em défice e os que estão em excesso. Esta análise, representa um auxílio muito importante para qualquer recomendação de calagem, adubação, avaliação dos níveis mínimos adequados de nutrientes ou do excesso dos mesmos, os quais provocarão toxicidade nas plantas.

11. Relação entre nutrição mineral, fertilidade do solo e adubação

Pode definir-se adubação, como o fornecimento de nutrientes necessários às plantas para sobreviverem, tendo a finalidade de se obterem produções compensadoras de produtos de boa qualidade, com o mínimo distúrbio no ambiente. Sempre que a quantidade de nutrientes fornecidos pelo solo às plantas for inferior à sua exigência, ou seja, quando a fase sólida (matéria orgânica + minerais) não consegue transferir para a solução do solo quantidades adequadas de um nutriente qualquer, é necessária a sua aplicação mediante o emprego de fertilizantes que contenham o elemento em falta e esta, pode dar-se através da aplicação ao solo ou pela aplicação específica do elemento, via foliar (adubação líquida).

Para que as relações sejam estabelecidas de forma perfeita, de modo a obter-se a máxima produção potencial das culturas com a mínima interferência ambiental, será necessário estabelecer determinadas avaliações tendo como base, as análises e/ou de carências e os aspetos relacionados com o rendimento e a qualidade dos produtos obtidos, ou seja: *i*) determinação dos nutrientes limitantes; *ii*) determinação das quantidades de nutrientes, necessárias; *iii*) épocas de aplicação; *iv*) localização; *v*) rentabilidade; *vi*) efeito na qualidade dos produtos obtidos; *vii*) efeito no ambiente.

Do ponto de vista económico, a fertilização (adubação) e a correção da acidez (calagem) são os meios mais rápidos e baratos para a obtenção de produções elevadas de alimentos, fibras e energia. Contudo, as plantas cultivadas, tipicamente utilizam menos de metade dos nutrientes aplicados. O restante pode ser lixiviado para os lençóis subterrâneos de água, como por exemplo o azoto e também o potássio, fixar-se ao solo de que é exemplo o fósforo, ou contribuir para a poluição do ar. O azoto é um nutriente muito solúvel, perdendo-se facilmente por lixiviação, sendo essas perdas, função da precipitação ou da quantidade de água aplicada na rega. As perdas de azoto estão igualmente relacionadas com a fórmula química em que ele é aplicado. Em solos com complexo de troca, a carga efetiva deste, é negativa e conseqüentemente, quando o azoto é aplicado na forma de nitrato (NO_3^-) as perdas serão maiores do que se for aplicado na forma amídica $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ou na forma amoniacal NH_4^+ . A fórmula amídica passa rapidamente à fórmula amoniacal. Por sua vez, o fósforo é pouco solúvel e é absorvido através do ião ortofosfato primário (H_2PO_4^-) e do ião ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}). Assim, este macronutriente fica retido facilmente no solo e principalmente nos iões alumínio (Al^{3+}), nos iões ferro (Fe^{2+} ; Fe^{3+}) e nos iões manganês (Mn^{2+}), quando o pH do solo é ácido. Quando o pH é alcalino, o fósforo liga-se aos iões Cálcio (Ca^{2+}), formando fosfatos bicálcicos e tricálcicos, que são pouco solúveis e, desse modo, o fósforo fica indisponível para as plantas. Chama-se a este processo, a **retrogradação** do fósforo. O potássio é um nutriente, que também se perde por lixiviação, embora não tanto como o azoto e parte, fica adsorvido nos minerais de argila, principalmente na superfície das ilites.

Deste modo, será de grande importância aumentar a eficiência de absorção e de utilização de nutrientes, reduzindo os custos de produção para o agricultor e contribuindo para evitar prejuízos ao meio ambiente.

Bibliografia consultada

ADP-Fertilizantes. <https://www.adp-fertilizantes.pt/pt/agricultura/produtos/categorias/foliares/>

ARNON, D.I.; STOUT, P.R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*, Waterbury, V. 14, n. 2, p. 371–375, 1939.

Costa, J.B. 1973. Caracterização e constituição do solo, 2ª edição. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa

Bruna, J. 2018. Identifique como está a fertilidade do solo e nutrição de plantas da sua área. *Lavoura 1*; Brasil.

Giracca, E.M.N e Nunes, J.L.S. Agrolink – Fertilizantes – Micronutrientes https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/micronutrientes_361450.html

Hubel Verde-Agronomia em campo. <https://www.hubel.pt/pt/hv/products/adubos-liquidos/>

Moreira, R. 2018. Deficiência de nutrientes nas plantas: sabe quais são os principais sintomas? *Agricultura e Mar Atual*.

Nunes, J.L.S. 2015. A verdade sobre a nutrição das plantas. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento Económico, Produção e Agricultura Familiar (SEMAGRO) Governo do Estado, Mato Grosso do Sul.

Nunes, J.L.S. 2016. Nutrientes. Agrolinkfito. <https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/busca-direta-produto>

Pavinato, P.S., Rosolem, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 32 (3) <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>.

PAVINATO, P.S. Dinâmica do fósforo no solo em função do manejo e da presença de resíduos em superfície. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2007. 145p. (Tese de Doutorado).

