

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO “LATO SENSU”  
(ESPECIALIZAÇÃO) A DISTÂNCIA**

***PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS***

***NUTRIÇÃO MINERAL E DIAGNOSE DO ESTADO  
NUTRICIONAL DAS HORTALIÇAS***

**VALDEMAR FAQUIN  
ALEX TEIXEIRA ANDRADE**

**UFLA - Universidade Federal de Lavras  
FAEPE - Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão  
Lavras - MG**

**Parceria**

Universidade Federal de Lavras - **UFLA**  
Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão – **FAEPE**

**Reitor**

Antônio Nazareno Guimarães Mendes

**Vice-Reitor**

Ricardo Pereira Reis

**Diretor da Editora**

Marco Antônio Rezende Alvarenga

**Pró-Reitor de Pós-Graduação**

Luiz Edson Mota de Oliveira

**Pró-Reitor Adjunto de Pós-Graduação “Lato Sensu”**

Marcelo Silva de Oliveira

**Coordenador do Curso**

Marco Antônio Rezende Alvarenga

**Presidente do Conselho Deliberativo da FAEPE**

Edson Ampélio Pozza

**Editoração**

Centro de Editoração/FAEPE

**Impressão**

Gráfica Universitária/UFLA

**Ficha Catalográfica preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Faquin, Valdemar  
Nutrição Mineral e Diagnóstico do Estado Nutricional das Hortaliças/  
Valdemar Faquin, Alex Teixeira Andrade. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004.

88 p.: il. - Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a  
Distância: Produção de Hortaliças.

**Bibliografia**

1. Hortaliça. 2. Macronutriente. 3. Micronutriente. 4. Qualidade. 5.  
Diagnóstico. I. Andrade, A.T. II. Universidade Federal de Lavras. III.  
Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão. IV. Título.

CDD - 581.1335

- 581.13

- 635

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, por qualquer  
meio ou forma, sem a prévia autorização.

### **1.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS PLANTAS**

De maneira geral, uma planta apresenta mais de 90% do seu peso em água. A eliminação da água por secagem em estufa permite a obtenção da matéria seca da planta. Fazendo-se uma análise química da matéria seca, observa-se que mais de 90% é composta por C, O e H e o restante, pelos minerais. São três os meios donde as plantas tiram os elementos químicos para formação de sua matéria seca:

- ar – C (CO<sub>2</sub>)
- água - H e O
- solo - elementos minerais, aqui simbolizados como M.

Embora o solo seja o meio que contribui em menor quantidade, os elementos químicos que formam os vegetais, de maneira geral, é aquele que mais limita o crescimento das plantas. Entretanto, é o meio mais facilmente modificado pelo homem, tanto no aspecto físico (aração, gradagem, subsolagem, drenagem) quanto no químico (calagem e adubação).

Portanto, para uma planta crescer e produzir adequadamente, a mesma deve ter no meio e nos tecidos, todos os elementos essenciais (nutrientes) em quantidades e proporções adequadas.

Assim, o estudo da Nutrição Mineral das Plantas é importante, porque os humanos comem plantas ou plantas transformadas (carne, ovos, leite, derivados) e, ainda, tira delas energia (carvão, combustível), fibras, madeira, resinas, medicamentos, celulose, corantes, etc. Portanto, somente alimentando adequadamente a planta é possível alimentar os humanos.

### **1.2. OS ELEMENTOS ESSENCIAIS**

A simples presença de um elemento químico nos tecidos da planta, não significa que o mesmo é essencial. Um elemento é considerado essencial quando satisfaz os critérios diretos e, ou, indireto de essencialidade. O *direto* - quando o elemento é componente de

---

algum composto ou participa de alguma reação crucial ao metabolismo. Por exemplo, o N participa da composição dos aminoácidos e, conseqüentemente, das proteínas; o Mg da clorofila; o P dos compostos ricos em energia (ATP), do DNA, RNA. Todos os elementos considerados essenciais atendem o critério direto, à exceção do B. O *indireto* - trata-se basicamente de um guia metodológico, composto por três passos:

1. na ausência do elemento a planta não completa seu ciclo de vida;
2. o elemento não pode ser substituído por nenhum outro;
3. o elemento deve ter um efeito direto na vida da planta e não corrigir uma condição desfavorável do meio. Todos os elementos essenciais atendem o critério indireto, inclusive o B.

Além do C, O e H (orgânicos), as plantas necessitam de outros elementos minerais essenciais, sendo esses divididos por aspectos puramente quantitativos em dois grupos:

- macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S.
- micronutrientes: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn.

O cobalto é considerado essencial às leguminosas que dependem da fixação biológica do N<sub>2</sub> atmosférico e a essencialidade do silício e do níquel também têm sido propostas.

Alguns termos têm sido incorretamente usados para designar os nutrientes: não se deve usar os termos “macroelementos” ou “elementos maiores” como sinônimos de macronutrientes; da mesma forma “microelementos”, “oligoelementos”, “elementos menores”, “elementos traços” para micronutrientes.

---

## ABSORÇÃO IÔNICA, TRANSPORTE E REDISTRIBUIÇÃO

---

### 2.1. ABSORÇÃO IÔNICA RADICULAR

#### 2.1.1. Introdução

Como já discutido, a planta obtém os seus nutrientes minerais do solo, e ela o faz através da absorção pelas raízes. Portanto, é importante conhecer os mecanismos envolvidos e os fatores que afetam o processo.

Algumas definições são necessárias, evitando-se o uso de termos indevidamente:

- *absorção*: processo pelo qual o elemento M passa do meio (solo, solução nutritiva) para uma parte qualquer da planta (parede, citoplasma, vacúolo).
- *assimilação*: é a incorporação do nutriente em compostos orgânicos no metabolismo vegetal.
- *transporte ou translocação*: é a transferência do elemento de um órgão de absorção para outro qualquer da planta (p. ex. da raiz para a parte aérea).
- *redistribuição*: é a transferência do elemento de um órgão de acúmulo para outro qualquer (p. ex. da folha para o fruto; da folha velha para a nova).

Para que o nutriente seja absorvido, a primeira condição que deve ser satisfeita é o contato do elemento com a superfície das raízes. Há três mecanismos pelos quais o contato acontece:

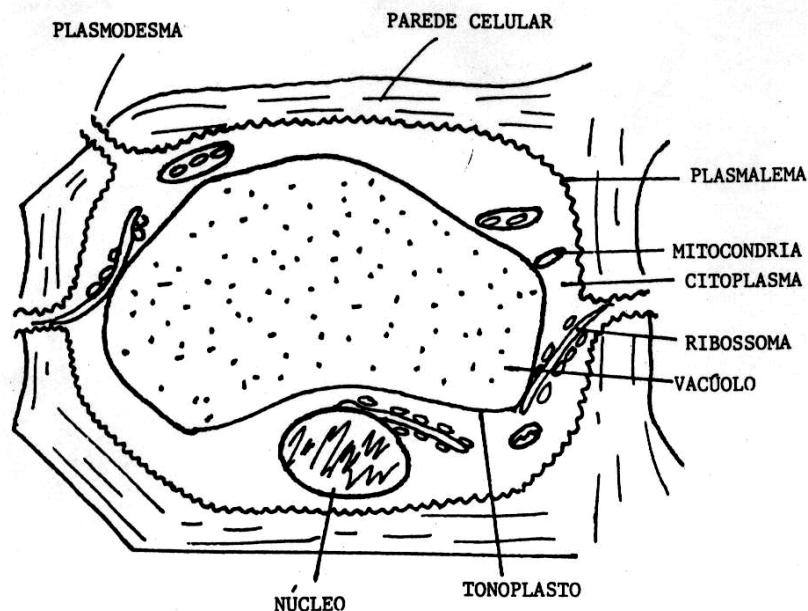
- *intercepção radicular*: é o encontro casual da raiz crescendo e o M no solo - sua contribuição é muito pequena;
  - *fluxo de massa*: é o movimento do M em uma fase aquosa móvel (solução do solo), devido a absorção de água pelas raízes. Por esse processo os nutrientes são transportados no solo a maiores distâncias e é importante para o N, Ca, Mg, S e alguns micronutrientes;
  - *difusão*: consiste no movimento do íon em uma fase aquosa estacionária, devido a um gradiente de concentração, promovido pela própria absorção pela raiz. O movimento ocorre a curtas distâncias e é importante para o P (principalmente) e o K e alguns micronutrientes.
-

Pensou-se durante muito tempo que os elementos contidos na solução do solo fossem absorvidos pelas raízes por simples difusão, caminhando a favor de um gradiente de concentração, indo de um local de maior (a solução externa) para outra de menor (o suco celular) concentração. Entretanto, as análises químicas mostraram que a concentração celular dos elementos, de maneira geral, é muito maior que a do meio. Portanto, dúvidas ainda permanecem de como a planta regula a absorção; como os íons vencem a barreira das membranas celulares e, como o processo ocorre contra o gradiente de concentração.

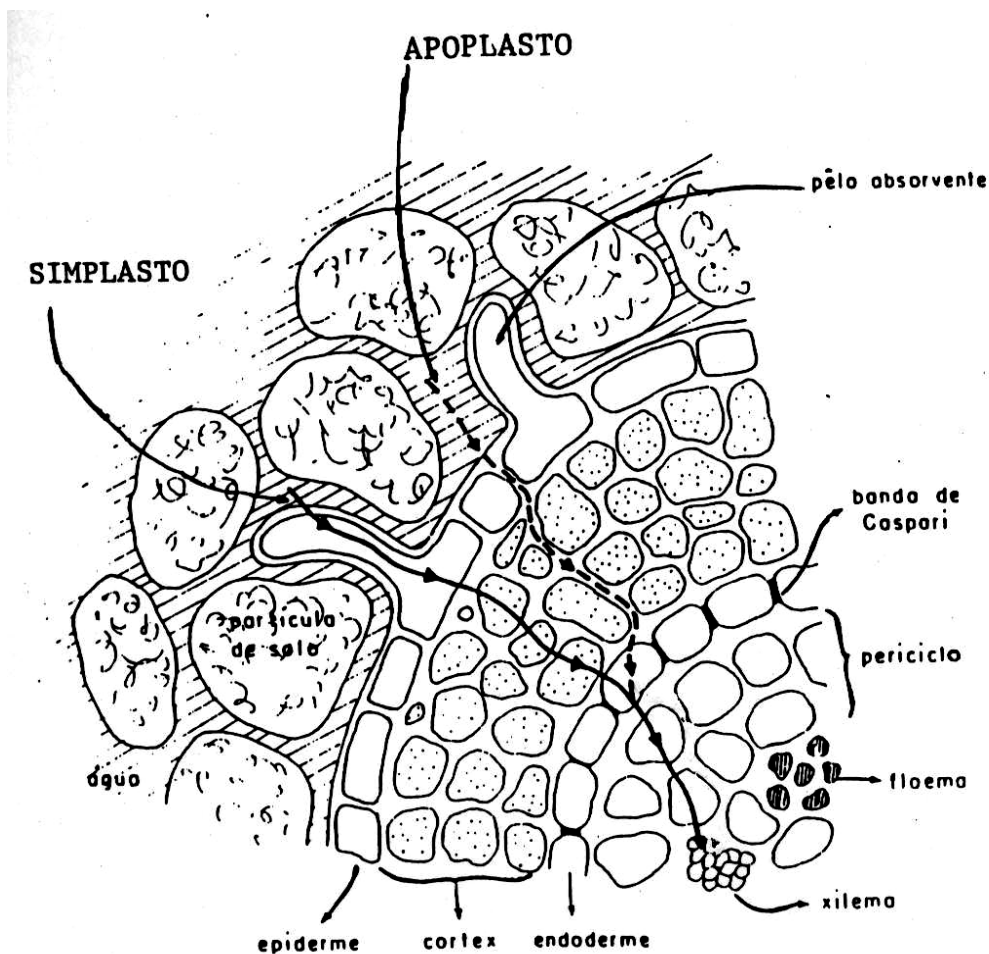
### 2.1.2. Mecanismos de absorção

Dois são os mecanismos pelos quais o M presente na solução do solo é absorvido. O primeiro, denominado de *processo passivo*, corresponde à ocupação do apoplasto radicular (parede celular, espaços intercelulares e superfície externa da plasmalema). As características desse processo são: rápido/reversível, favor do gradiente de concentração e não exige gasto de energia. O segundo, o *processo ativo*, trata-se da ocupação do simplasto radicular, e para tanto, o M deve atravessar a barreira das membranas celulares, a plasmalema para atingir o citoplasma e o tonoplasto para ocupar o vacúolo. Suas características são: lento/irreversível; contra o gradiente de concentração e exige o gasto de energia (ATP).

A Figura 1, mostra os principais componentes da célula radicular e a Figura 2, as vias apoplástica (passiva) e simplástica (ativa) pelas quais o M da solução é absorvido, movimentando-se radialmente até atingir os vasos do xilema, por onde serão transportados para a parte aérea pela corrente transpiratória.



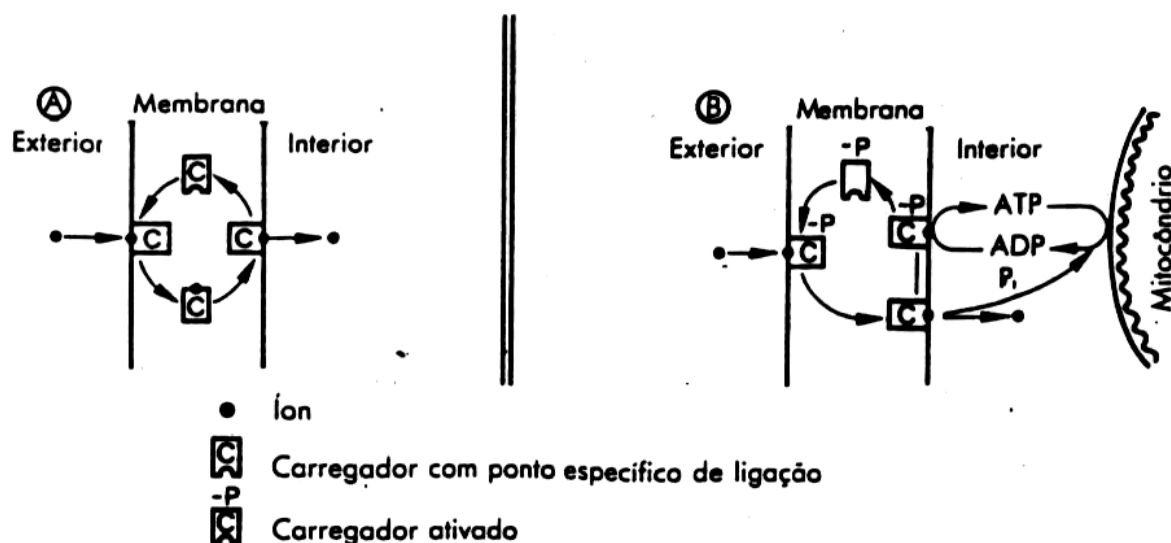
**FIGURA 1.** Representação esquemática dos componentes da célula vegetal.



**FIGURA 2.** Corte transversal de raiz primária e vias de absorção radicular.

A membrana celular, certamente, pela sua própria composição de natureza lipídica (fosfolipídeos, proteínas, carboidratos), é que controla todo o processo de absorção iônica, tornando-se uma barreira para a entrada livre e impedindo a saída dos elementos absorvidos.

O mecanismo (ou mecanismos) para a absorção ativa, metabólica, ainda não está totalmente esclarecido. Admite-se que os elementos não atravessem a membrana isoladamente, e sim, associados a um composto denominado “carregador” e existe uma exigência de energia (ATP). A Figura 3 ilustra a operação do “carregador” no processo da absorção ativa.



**FIGURA 3.** Modelo de um carregador de membrana transportador de íons (A), associado ao gasto de energia (fosforilação oxidativa) e ao transporte iônico (B).

Mais recentemente, a absorção ativa tem sido associada à atividade de ATPases presentes nas membranas celulares (bomba iônica). Essas enzimas, pela hidrólise do ATP e liberação de energia para a ativação do “carregador de cátions”, criaria um gradiente de potencial eletroquímico entre as faces externa e interna da membrana, possibilitando a absorção de cátions e ânions. O componente químico seria representado pela variação de pH e o componente elétrico pela variação do potencial elétrico entre as faces da membrana. Para o reestabelecimento do equilíbrio químico e elétrico, um ânion (externo) seria trocado por  $\text{OH}^-$  (interno), por um carregador de ânions. A Figura 4 esquematiza a hipótese da bomba iônica.

O cálcio tem um papel fundamental na manutenção da estrutura e no funcionamento das membranas celulares. Esse efeito é atribuído às pontes que o  $\text{Ca}^{2+}$  forma entre os radicais aniônicos dos componentes da membrana - fosfato dos fosfolipídeos e carboxílicos das proteínas. Portanto, a manutenção de um nível adequado de cálcio no meio é necessário, para garantir entre outras coisas, a absorção adequada de nutrientes.



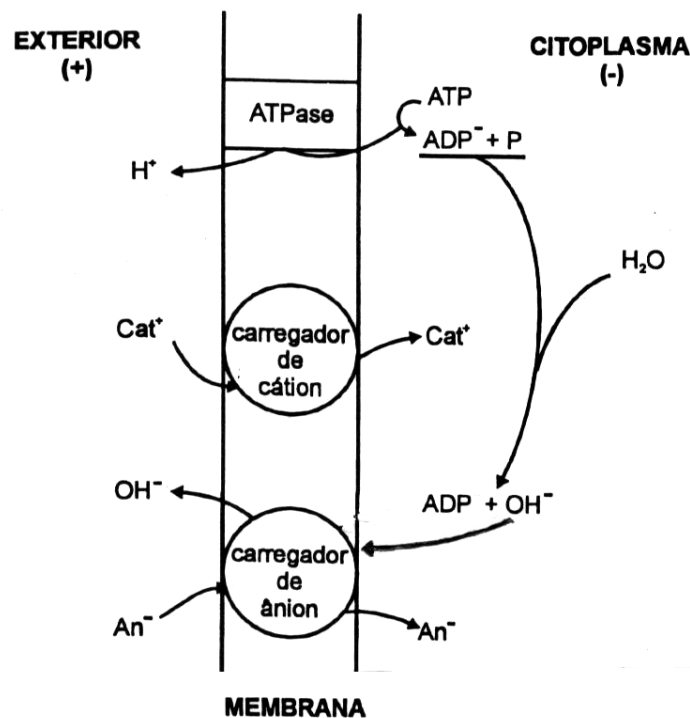


FIGURA 4. Modelo de operação da bomba protônica acoplada à absorção.

### 2.1.3. Fatores que afetam a absorção radicular

Diversos fatores, *externos* (do meio) e *internos* (da planta), afetam o processo de absorção radicular.

Dentre os *externos*, citam-se:

- disponibilidade* - a primeira condição para que um nutriente seja absorvido, é que o mesmo esteja na forma disponível e em contato com a superfície da raiz. Portanto, os fatores que afetam a disponibilidade, afetam também, a absorção, citando-se como exemplos: o teor total do elemento no solo, pH, aeração, umidade, presença de outros íons.
- aeração* - o  $O_2$  é necessário para a respiração das raízes, fonte de energia (ATP) para a absorção ativa e atividade microbiológica;
- temperatura* - a faixa de temperatura favorável está entre 20 e 35°C. Temperaturas extremas, abaixo de 10°C e acima de 45°C, reduzem a absorção, devido afetar, principalmente, a respiração;
- interação entre os íons* - como a solução do solo apresenta uma série de elementos químicos, a presença de um pode alterar a absorção de outro por inibição (redução) ou sinergismo (favorecimento). Portanto, a manutenção de um equilíbrio dos nutrientes no solo é fundamental para a nutrição adequada da planta;

- e) *pH* - o pH do solo é o fator que mais afeta a disponibilidade dos nutrientes no solo. A faixa de pH mais adequada para a maioria das culturas está entre 5,5 e 6,5. Esse aspecto mostra a importância da calagem dos solos ácidos;
- f) *umidade* - a água é o veículo para o contato dos nutrientes do solo com as raízes por fluxo de massa e difusão, atividade microbológica e muitos outros processos;
- g) *micorrizas* - termo que define a associação de fungos do solo e raízes das plantas formando uma simbiose. Os benefícios para a nutrição da planta são o aumento da superfície radicular e do volume de solo explorado, aumentando com isso, a absorção de nutrientes (principalmente o P) e água.

Dentre outros, citam-se como *fatores internos* (da planta) que afetam a absorção iônica:

- a) *potencialidade genética* - as plantas variam geneticamente na capacidade de absorção iônica;
- b) *intensidade transpiratória* - atua aumentando o fluxo de massa dos nutrientes no solo em direção às raízes e no transporte desses para a parte aérea;
- c) *morfologia das raízes* - sistema radicular mais desenvolvido, raízes finas, bem distribuídas, apresentam maior área absorviva e exploram melhor o volume do solo.

## 2.2. ABSORÇÃO IÔNICA FOLIAR

### 2.2.1. Introdução

Embora no habitat terrestre, as folhas tenham se especializado como órgãos de síntese da planta, as mesmas não perderam a habilidade de absorver água e íons, característica que possuíam no seu habitat de origem, os oceanos. É essa capacidade das folhas em absorver água e nutrientes, constitui-se na base para a aplicação foliar de nutrientes pela prática da adubação foliar, bem como de outros produtos como herbicidas, hormônios, desfolhantes, etc.

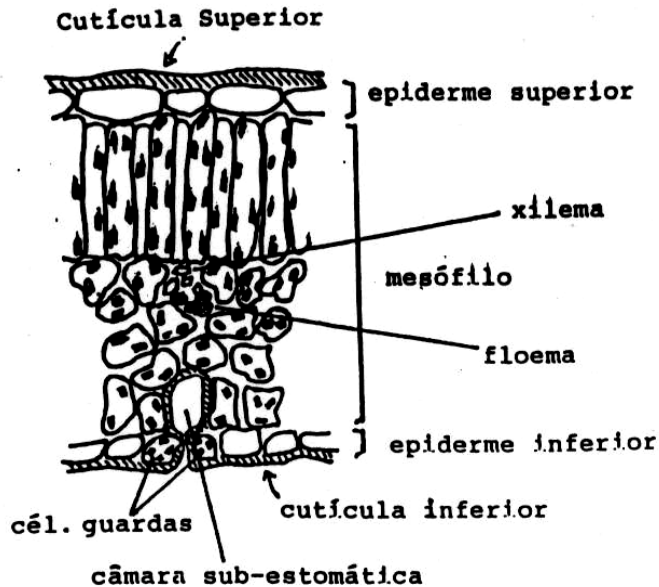
O principal objetivo de se estudar a absorção foliar está no uso eficiente da adubação foliar. Hoje, a adubação foliar é bastante utilizada em diferentes culturas e tem como interesse prático, dentre outros, corrigir deficiências eventuais dentro do ciclo da planta, fornecimento de micronutrientes, aumentar a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes, aproveitamento de outras operações.

### 2.2.2. Aspectos anatômicos, vias e mecanismos

A Figura 5 ilustra a anatomia foliar, onde se observa que tanto a superfície superior quanto a inferior, são revestidas externamente por uma camada cerosa, hidrorrepelente, a cutícula - que apresenta na sua composição a cutina, pectina, hemicelulose, ácidos graxos e ceras. A cutícula apresenta-se mais espessa na face adaxial da folha. Na

---

abaxial, além da cutícula ser mais fina, há a presença dos estômatos, também revestidos internamente pela cutícula, que aumentam sobremaneira a superfície para a absorção.



**FIGURA 5. Aspectos da anatomia foliar: corte transversal da lâmina.**

Assim, a cutícula constitui-se na primeira barreira à penetração dos nutrientes aplicados às folhas, para atingir o apoplasto e o simplasto foliar e serem transportados pelo floema para outros órgãos.

Aceita-se que a absorção foliar de nutrientes, tal como acontece na radicular, se processa em duas etapas: *passiva* - consiste na ocupação do apoplasto foliar, após o nutriente atravessar a cutícula; *ativa* - seria a ocupação do simplasto foliar, após o M vencer as membranas plasmáticas. Para isso, o processo exige energia metabólica (ATP), originados da respiração e da fotossíntese. A participação de "carregadores" no processo também é aceita.

Contrariamente ao que ocorre nas raízes, o elemento absorvido pelas folhas pode atingir o floema tanto pelo apoplasto quanto pelo simplasto foliar. O transporte do nutriente a longa distância para outros órgãos, quando ocorre, tem lugar pelo floema, o processo exigindo energia.

### 2.2.3. Velocidade de absorção e mobilidade (transporte) dos nutrientes no floema

A velocidade da absorção foliar varia de nutriente para nutriente e, também, de espécie para espécie, principalmente devido à característica da cutícula, que varia grandemente de planta para planta.

A mobilidade, ou seja, o transporte dos nutrientes das folhas para outros órgãos pelo floema, também varia de elemento para elemento, indo de altamente móveis até imóveis (Tabela 1). Assim, a eficiência da aplicação foliar de nutrientes imóveis tal como o B e o Ca é bastante baixa, exigindo aplicações freqüentes.

**TABELA 1. Mobilidade comparada dos nutrientes aplicados nas folhas. Em cada grupo os elementos aparecem em ordem decrescente.**

Altamente Móveis	Móveis	Parcialmente Imóveis	Imóveis
Nitrogênio	Fósforo	Zinco	Boro
Potássio	Cloro	Cobre	Cálcio
Sódio	Enxofre	Manganês	
	Magnésio	Ferro	
		Molibdênio	

#### 2.2.4. Fatores que afetam a absorção foliar

A absorção foliar é influenciada por *fatores externos* (do meio) e *internos* (da planta), que afetam, portanto, a eficiência da adubação foliar.

Dentre os *externos* enumeram-se:

- *molhamento da superfície foliar* - para que o nutriente seja absorvido a folha deve ser molhada pela solução e isso depende da tensão superficial da gota e da natureza da cutícula, a qual apresenta características hidrorrepelentes. Os “espalhantes adesivos” rompem essa tensão superficial permitindo o molhamento da superfície, reduzem a evaporação da gota e facilitam a penetração da solução na câmara subestomática, favorecendo a absorção;
- *temperatura e umidade relativa do ar* - temperatura amena e umidade do ar elevada favorecem a absorção foliar, devido uma menor evaporação da água da solução, mantendo a cutícula hidratada e, também, pela abertura dos estômatos, via importante de absorção foliar dos nutrientes. Na prática, portanto, as condições mais favoráveis seriam pela manhã e final da tarde;
- *composição da solução* - é comum adicionar uréia às soluções de aplicação foliar, admitindo-se que a mesma têm a propriedade de quebrar ligações entre os componentes da cutícula, aumentando a absorção de todos os componentes da solução. Mas, deve-se ter bastante cuidado no seu uso, pois a uréia é rapidamente absorvida pelas folhas, podendo provocar a toxidez na planta devido altas concentrações de amônia (NH<sub>3</sub>). Outro fator ligado à composição da solução é a interação entre os íons - inibição e sinergismo. A presença de cobre ou boro na solução, reduz a absorção de Zn em torno de 50%. A uréia e o KCl apresentam um efeito sinérgico na absorção de outros nutrientes na solução;
- *luz* - a presença de luz promove a abertura dos estômatos e a síntese de energia (ATP) pela fotossíntese, favorecendo a absorção foliar.

Alguns *fatores internos* que afetam a absorção foliar são citados:

- *face da folha* - a página inferior (abaxial) da folha apresenta cutícula mais fina e predominância de estômatos, portanto, maior absorção foliar que a superior (adaxial). Portanto, a distribuição uniforme da solução, atingindo também a face abaxial das folhas, é recomendada na prática da adubação foliar;
- *idade da folha* - a absorção de nutrientes da solução é maior nas folhas novas do que nas velhas, devido a presença de cutículas mais finas e maior atividade metabólica.

### 2.3. TRANSPORTE E REDISTRIBUIÇÃO

O *transporte* ou *translocação*, já foi definido como a transferência do M do órgão de absorção (raiz, folha) para outro qualquer. No caso da absorção radicular, para que o M possa atingir a parte aérea, o mesmo deve sofrer o transporte radial e o transporte a longa distância. No transporte radial, o M percorre o caminho desde as células da epiderme da raiz até os vasos no cilindro central e o faz por duas vias: apoplasto e o simplasto radicular (Figura 2).

O transporte a longa distância, que corresponde ao caminhamento do M da raiz para a parte aérea, é feito predominantemente pelo xilema, embora alguns elementos, como o potássio, também o faça pelo floema.

O transporte dos nutrientes absorvidos pelas folhas, como visto em 2.2.3, é feito via floema.

A *redistribuição*, foi definida como a transferência do M de um órgão de acúmulo ou de função para outro qualquer. Assim, os nutrientes armazenados nas folhas durante os estádios de crescimento, podem sair delas (depende do nutriente) antes da senescência ou abscisão, ou sob condições de deficiência, sendo redistribuídos para outros órgãos - folhas mais novas, órgãos de reserva, regiões em crescimento e frutos. Essa redistribuição (remobilização) dos elementos difere entre os nutrientes e reflete na localização dos sintomas visuais de deficiência nutricional nas plantas. Sintomas localizados nas folhas mais velhas corresponde uma alta taxa de remobilização do nutriente, enquanto que nas folhas mais novas e meristemas apicais, refletem uma pequena redistribuição. A Tabela 2 sumariza essas características.

**TABELA 2. Redistribuição dos nutrientes e os órgãos onde os sintomas de deficiência ocorrem primeiro.**

Nutrientes	Redistribuição	Sintomas visuais de deficiência ocorre:
N, P, K e Mg	móveis	folhas velhas
S, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo	pouco móveis	folhas novas
B e Ca	imóveis	folhas novas e meristemas

## EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS E FUNÇÕES DOS NUTRIENTES

---

### 3.1. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS

A expressão *exigências nutricionais*, refere-se às quantidades de macro e micronutrientes que a planta tira do solo, do adubo e do ar (no caso da fixação biológica do N), para atender suas necessidades, crescer e produzir adequadamente. A *exportação de nutrientes*, refere-se às quantidades de nutrientes presentes no produto colhido, que são retiradas da área de cultivo.

A quantidade de nutrientes exigida pelas culturas é função dos seus teores no material vegetal e do total de matéria seca produzida. Como a concentração (teor) e a produção variam muito, as exigências minerais de diferentes espécies também o fazem. É o que mostram as Tabelas 3 e 4 para a extração e Tabelas 5 e 6 para exportação dos macro e micronutrientes pelas principais hortaliças.

A extração pelas plantas dos nutrientes do solo, não se faz nas mesmas quantidades durante seus vários estádios de crescimento. Tanto nas culturas anuais quanto nas perenes nos seus estádios produtivos, a curva de extração de nutrientes em função do tempo, é uma sigmoide, tal como ocorre com a produção de matéria seca. Quando a planta é nova, a absorção de nutrientes é pequena; segue-se um período de acumulação logarítmica; num período final há uma fase de estabilização. Há, em geral, uma perfeita sobreposição das curvas da produção de matéria seca com a acumulação dos nutrientes (Figuras 6 e 7).

De modo geral, as exigências nutricionais das hortaliças obedecem a seguinte ordem decrescente:

- Macronutrientes:  $K > N > Ca > Mg > P = S$
- Micronutrientes:  $Fe > Mn > Zn > B > Cu > Mo$

Digno de destaque, é a maior exigência das hortaliças em K do que N.

O conhecimento das extrações e exportações de nutrientes pelas culturas, permitem preparar balanços nutricionais e redirecionar as recomendações de adubação. As adubações não devem apenas repor os nutrientes exportados pela colheita mas, também,

---

suprir as quantidades necessárias para a formação de outros órgãos vegetais não retirados da área e as perdas por lixiviação, fixação e outros processos.

**TABELA 3. Extração de macronutrientes por tonelada de produtos frescos colhidos de algumas hortaliças.**

Hortaliça	Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	S
		-----g t <sup>-1</sup> -----					
Abobrinha	Caserta	1115	308	1763	148	160	69
Agrião	-	3003	594	4204	1864	374	509
Alface	Gigante	1936	267	2532	664	193	136
	Great Lakes	1172	208	1493	275	76	89
	White Boston	1865	196	2491	538	88	140
Alho	Lavínia	7350	1083	4697	1312	214	1925
Batata <sup>1</sup>	-	2000	125	2500	75	75	75
Berinjela	Flórida Markert	1200	196	1510	79	123	128
	Long Purple	1806	297	2350	77	188	180
	Santa Genebra	2186	352	2222	113	207	198
Beterraba	-	2031	530	3850	183	287	169
Brócolos	Ramoso	3540	715	3231	1240	261	498
Cebola	Monte Alegre	2735	475	2745	170	179	576
	Roxa do Trairú	2611	270	2547	161	182	652
Cenoura	Nantes	2077	383	3687	510	220	175
	IAC-3815	1568	199	3150	346	160	134
Chuchu	-	1092	276	1265	143	93	79
Couve	Manteiga	4653	524	4060	2761	363	680
Couve-flor	Santa Elisa	2918	331	2152	308	143	430
	IAC-2524	2710	550	1482	288	117	318
Ervilha	Perpectah	5503	694	3638	1708	344	381
	Torta de flor roxa	4711	686	6494	662	324	328
Espinafre	-	1879	181	1484	116	129	269
Feijão-vagem	Manteiga	2268	405	2066	475	281	168
Jiló	I-3741	2288	430	2855	242	214	190
Mandioquinha	Salsa	2097	770	5290	256	186	291
Melancia	Yamato Soto	1525	216	1106	100	112	121
Melão	Amarelo Pará	1946	538	2346	136	282	200
Moranga	Exposição	1307	214	3420	112	112	157
	Coroa	1734	296	3186	141	167	193
Morango	Monte Alegre	1166	280	1505	230	137	80
	Campinas	952	304	1312	163	102	61
Nabo	-	924	266	1984	175	108	217
Pepino	Verde Paulistano	1140	277	1680	240	138	128
	Aodai	1047	248	1212	290	120	89
	Palomar	698	178	1068	200	95	-
	Marketer	916	314	1098	190	98	-
Pimentão	Ikeda	1570	297	2146	79	86	181
Quiabo	Campinas	2175	460	2812	337	437	176
Rabanete	-	1190	283	2025	180	125	224
Tomate	Ângela	1426	155	1733	62	38	305

Fonte: Adaptado de Furlani et al. (1978); <sup>1</sup>Adaptado de Malavolta (1976).

**TABELA 4. Extração de micronutrientes por tonelada de produtos frescos colhidos de algumas hortaliças.**

Hortaliça	Cultivar	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
		-----mg t <sup>-1</sup> -----					
Abobrinha	Caserta	853	526	3900	1755	1,2	2262
Agrião	-	1716	586	19500	3354	149,0	7332
Alface	Gigante	1218	395	38850	6468	4,0	4872
	Great Lakes	648	375	5535	3537	0,5	2970
	White Boston	1134	248	34482	5502	3,0	4578
Alho	Lavínia	5795	824	71065	6405	82,3	10370
Batata <sup>1</sup>	Achat	1536	1280	50720	2400	-	2080
	Mantiqueira	1568	1040	9760	1520	-	2560
Berinjela	Flórida Markert	957	435	5278	1771	1,1	1099
	Long Purple	1242	587	9019	1687	0,7	1554
	Santa Genebra	1322	606	8069	2090	1,4	2130
Beterraba	-	2210	1086	20313	1220	14,6	3111
Brócolos	Ramoso	1817	1090	13351	5293	44,0	4187
Cebola	Monte Alegre	1504	1147	6956	6486	0,9	4700
	Roxa de Trairú	749	942	7383	9095	1,1	5992
Cenoura	Nantes	2706	502	14068	5544	5,3	2992
	IAC-3815	1984	429	12864	9600	3,2	2432
Chuchu	-	713	446	4650	744	14,0	806
Couve	Manteiga	3630	374	33000	10770	130,0	3190
Couve-flor	Santa Elisa	3600	413	6825	2550	3,0	2850
	IAC-2524	1040	241	3250	1430	8,0	3380
Ervilha	Perfectah	1995	1667	22165	3441	91,4	7059
	Torta de flor roxa	1620	1390	18090	3645	226,8	5805
Espinafre	-	903	585	10664	3655	15	1591
Feijão-vagem	Manteiga	2016	706	6336	3960	48,2	3744
Jiló	I-3741	1581	828	6417	3534	5,6	2139
Mandioquinha	Salsa	2370	1375	30756	6524	2,3	4194
Melancia	Yamato Soto	1401	438	2781	1049	7,0	1661
Melão	Amarelo Pará	1396	895	8545	1779	11,3	3101
Moranga	Exposição	990	277	4158	2310	5,9	1716
	Coroa	1230	642	6600	3960	7,9	2640
Morango	Monte Alegre	1080	151	6048	6120	14,4	1224
	Campinas	204	150	7548	8364	10,9	1156
Nabo	-	1190	280	2240	1120	6,6	1470
Pepino	Verde paulistano	576	291	6624	960	4,8	1888
	Aodai	406	165	3538	1015	4,3	1276
	Palomar	375	320	3025	850	4,2	1500
	Marketer	364	227	7532	1680	4,5	1652
Pimentão	Ikeda	504	775	3888	2376	2,9	936
Quiabo	Campinas	1820	701	6734	6916	23,4	4500
Rabanete	-	684	163	4218	380	1,1	1406
Tomate	Ângela	384	264	3964	528	1,0	864

Fonte: Adaptado de Furlani et al. (1978); <sup>1</sup> Adaptado de Paula et al. (1986).



**TABELA 5. Exportação de macronutrientes por produtos frescos colhidos de algumas hortaliças.**

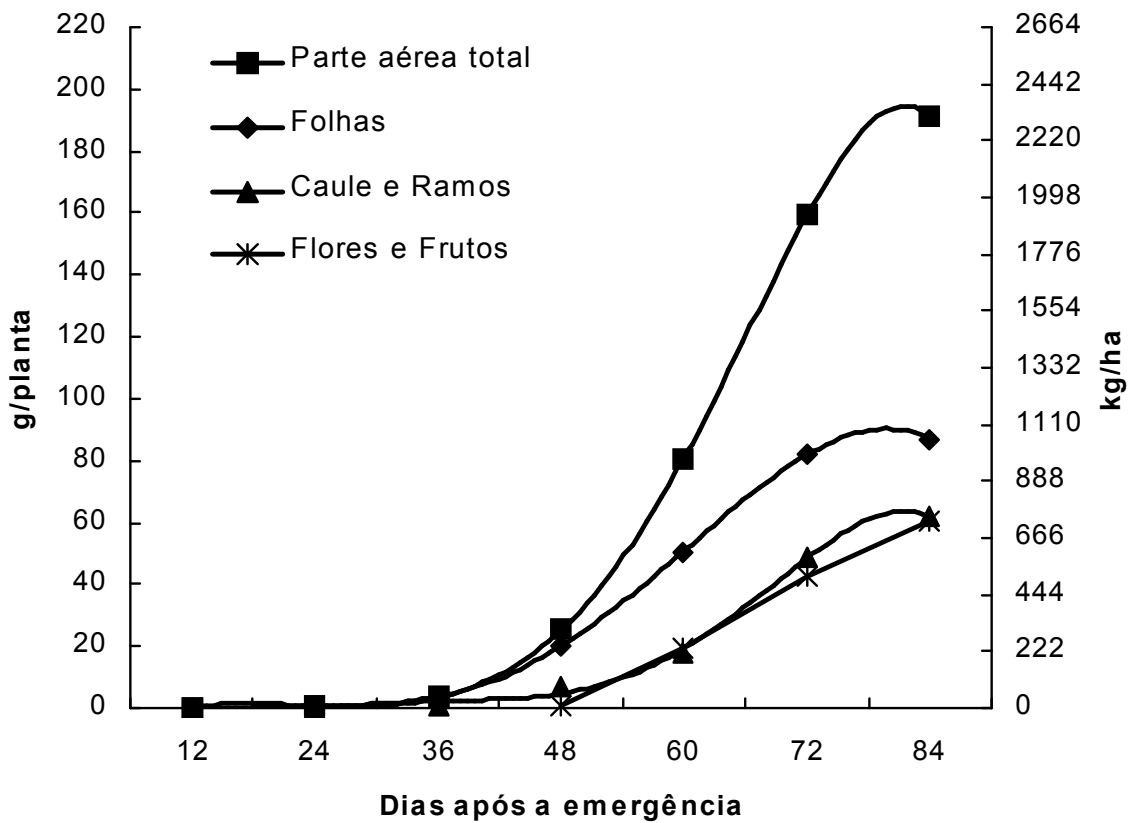
Hortaliça	Produtividade <sup>1</sup> t ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Abobrinha	15	16,7	4,6	26,4	2,2	2,4	1,0
Alface <sup>3</sup>	25 <sup>4</sup>	41,4	5,6	54,3	12,3	3,0	3,0
Alho	6	44,1	6,5	28,2	7,9	1,3	11,6
Batata <sup>2</sup>	40	80,0	5,0	100,0	3,0	3,0	3,0
Berinjela <sup>3</sup>	60	103,8	16,9	121,6	5,4	10,4	10,1
Beterraba	20	40,6	10,6	77,0	3,7	5,7	3,4
Brócolos	20 <sup>4</sup>	70,8	14,3	64,6	24,8	5,2	10,0
Cebola <sup>3</sup>	15	40,1	5,6	39,7	2,5	2,7	9,2
Cenoura	30	54,7	8,7	102,6	12,8	5,7	4,6
Chuchu	50	54,6	13,8	63,2	7,2	4,6	4,0
Couve-flor <sup>3</sup>	12	35,0	4,0	25,8	3,7	1,7	5,2
Ervilha (vagem) <sup>3</sup>	10	51,1	6,9	50,7	11,8	3,3	3,5
Feijão-vagem	40	90,7	16,2	82,6	19,0	11,2	6,7
Jiló	20	45,8	8,6	57,1	4,8	4,3	3,8
Mandioquinha	15	31,4	11,6	79,4	3,8	2,8	4,4
Melancia	40	61,0	8,6	44,2	4,0	4,5	4,8
Melão	25	48,6	13,4	58,6	3,4	7,1	5,0
Moranga <sup>3</sup>	15	22,8	3,8	49,5	1,9	2,1	2,6
Morango <sup>3</sup>	35	37,1	10,2	49,3	6,9	4,2	2,5
Nabo	50	46,2	13,3	99,2	8,8	5,4	10,8
Pepino <sup>3</sup>	45	42,8	11,4	57,0	10,4	5,1	4,9
Pimentão	35	55,0	10,4	75	2,8	3,0	6,3
Quiabo	50	108,8	23,0	140,6	16,8	21,8	8,8
Rabanete	25	29,8	7,1	50,6	4,5	3,1	5,6
Tomate	100	142,6	15,5	173,3	6,2	3,8	30,5

<sup>1</sup>Produtividade média da citada por Fahl et al. (1998); <sup>2</sup>Malavolta (1976); <sup>3</sup>A exportação refere-se ao valor médio entre as cultivares da Tabela 3; <sup>4</sup>Raij et al. (1996).

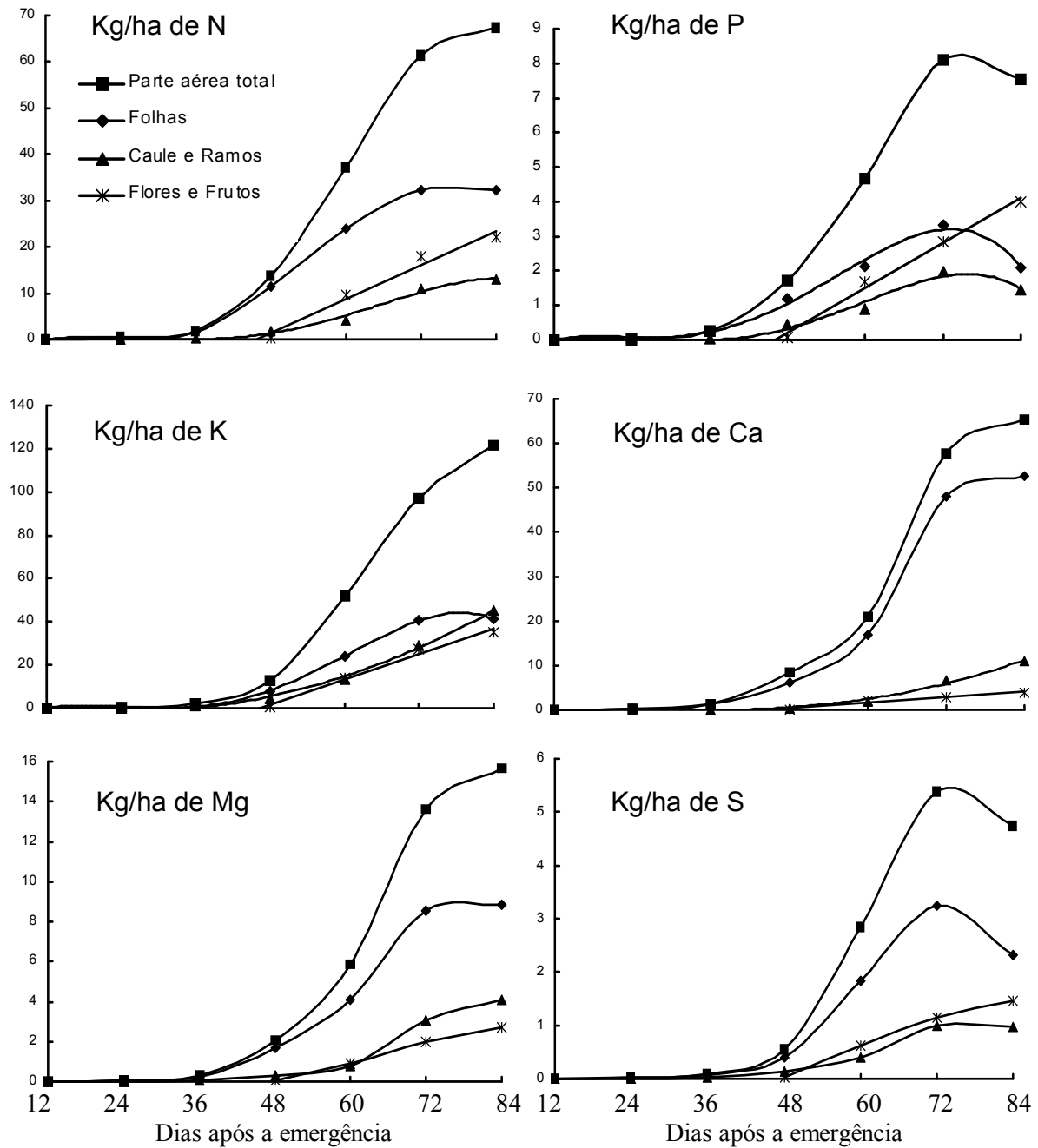
**TABELA 6. Exportação de micronutrientes por produtos frescos colhidos de algumas hortaliças.**

Hortaliça	Produtividade <sup>1</sup> t ha <sup>-1</sup>	-----g ha <sup>-1</sup> -----					
		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Abobrinha	15	13	8	59	26	0,02	34
Alface	25 <sup>4</sup>	25	9	657	129	0,06	103
Alho	6	35	5	426	38	0,49	62
Batata <sup>3</sup>	40	62	46	1210	78	-	93
Berinjela <sup>2</sup>	60	70	33	447	111	0,06	96
Beterraba	20	44	22	406	24	0,29	62
Brócolos	20 <sup>4</sup>	36	22	267	106	0,90	84
Cebola	15	17	16	108	117	0,02	80
Cenoura	30	70	14	404	227	0,13	81
Chuchu	50	36	22	233	37	0,70	40
Couve-flor <sup>2</sup>	12	28	4	61	24	0,07	37
Ervilha (vagem) <sup>2</sup>	10	10	15	201	35	1,59	64
Feijão-vagem	40	40	14	127	79	0,96	75
Jiló	20	95	17	128	71	0,11	43
Mandioquinha	15	36	21	461	98	0,03	63
Melancia	40	56	18	111	42	0,28	66
Melão	25	35	22	214	44	0,28	78
Moranga <sup>2</sup>	15	15	7	81	47	0,09	33
Morango <sup>2</sup>	35	24	6	289	308	0,50	51
Nabo	50	60	14	112	56	0,33	74
Pepino <sup>2</sup>	45	19	11	233	51	0,20	71
Pimentão	35	18	27	136	83	0,10	33
Quiabo	50	36	14	135	138	0,48	9
Rabanete	25	17	4	105	10	0,03	35
Tomate	100	62	46	1210	78	-	93

<sup>1</sup>Produtividade média da citada por Fahl et al. (1998); <sup>2</sup>A exportação refere-se ao valor médio entre as cultivares da Tabela 4; <sup>3</sup>Adaptado de Paula et al. (1986); <sup>4</sup>Rajj et al. (1996).



**FIGURA 6.** Acúmulo de matéria seca pelas partes e total durante o ciclo de plantas de pepino, var. Aodai (Solis, 1982).



**FIGURA 7.** Acúmulo de macronutrientes pelas partes e total durante o ciclo de plantas de pepino, var. Aodai (Solis, 1982).

### 3.2. FUNÇÕES DOS NUTRIENTES

O C, H e O, que compõem a maior parte da matéria seca vegetal são ditos “orgânicos” e não são objetos desse estudo. Portanto, serão abordados bem resumidamente:

- *Carbono (C)*: componente básico da molécula dos carboidratos (açúcares, celulose), lipídeos (óleos, gorduras), proteínas, hormônios, pigmentos, ácidos nucleicos (DNA, RNA). O C é obtido da atmosfera com CO<sub>2</sub>;
- *Oxigênio (O)*: ocorre nos componentes citados para o C, sendo obtido com CO<sub>2</sub> ou O<sub>2</sub> da atmosfera, e da água (H<sub>2</sub>O);
- *Hidrogênio (H)*: também presente nos compostos citados, sendo o principal agente redutor metabólico (CO<sub>2</sub> na fotossíntese, fixação do N<sub>2</sub>, redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, etc.) e vem da água (H<sub>2</sub>O).

Os macro e micronutrientes, denominados de “nutrientes minerais”, objetos desse estudo, desempenham funções específicas na vida da planta. Essas funções podem ser classificadas em três grandes grupos:

- a) *Estrutural*: o elemento é componente da molécula de um ou mais compostos orgânicos. Ex.: N - aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos; P - fosfolipídeos, ácidos nucleicos; Mg - clorofila.
- b) *Constituinte de enzimas*: é, também, função estrutural. São geralmente metais que fazem parte de grupos prostético de enzimas e essenciais às suas atividades. Ex.: Fe, Cu, Mn, Mo, Zn e Ni.
- c) *Atividades enzimáticas*: não faz parte de grupo prostético, é dissociável da fração proteica da enzima, mas essencial à sua atividade.

Para entender melhor as funções exercidas pelos nutrientes nos grupos (b) e (c), é importante recordar o significado do termo “cofatores”: são componentes adicionais de enzimas e divididos em grupo prostético, coenzima e ativador metálico. O “grupo prostético” é um cofator ligado firmemente à proteína enzimática. Ex.: grupo heme-porfirina de Fe - é o grupo prostético da catalase, peroxidase, citocromos. A “coenzima” é uma molécula orgânica pequena que facilmente dissocia-se da proteína enzimática, como exemplos o NAD e o NADP. Os “ativadores metálicos” são cátions mono e divalentes como o K<sup>+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, que podem estar frouxa ou firmemente ligados à proteína enzimática. Como exemplos, o Mg<sup>2+</sup> para fosfatases, quinases, o Mn<sup>2+</sup> para quinases, peptidases.

A seguir, será descrito de maneira sintética, as formas de absorção, transporte, redistribuição e as principais funções que os macro e micronutrientes desempenham na vida vegetal, dentre elas as hortaliças.

---

### 3.2.1. Macronutrientes

#### 3.2.1.1. Nitrogênio

- Aspectos gerais

De maneira geral, o N é o nutriente mineral mais exigido pelas plantas sendo, em grande parte das hortaliças, superado apenas pelo K. A atmosfera é a fonte natural de N para a biosfera. Mas, na atmosfera, o nitrogênio está na forma gasosa ( $N_2$ ), havendo necessidade de sua transformação para formas combinadas, N- $NH_4^+$  (amônio) e N- $NO_3^-$  (nitrato), para ser aproveitado pelas plantas. Os principais processos para essa transformação são a fixação biológica, fixação industrial e fixação atmosférica. Essa última, apresenta menor importância. A fixação industrial trata-se da produção dos adubos nitrogenados industrialmente, a partir da quebra da molécula do dinitrogênio gasoso ( $N_2$ ) e produção da amônia ( $NH_3$ ), composto chave para a obtenção de todos os fertilizantes nitrogenados.

A fixação biológica do nitrogênio (FBN) consiste na conversão do  $N_2$  atmosférico para formas combinadas pela ação de microrganismos. A FBN é um processo mediado por um complexo enzimático denominado de Nitrogenase (Nase) que tem na sua estrutura o Mo, Fe e S. Outros nutrientes envolvidos no processo são o P, Ca, Mg e possivelmente o Cu.

Três são os grupos fixadores de  $N_2$ : sistemas livres, associações menos íntimas e o simbiótico. O simbiótico de maior interesse agrícola é constituído pela associação entre bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* e plantas da família das leguminosas como a soja, feijão, amendoim e muitas outras. A leguminosa fornece carboidratos para a bactéria e esta, fixando o  $N_2$  para formas combinadas ( $NH_3$ ), é incorporado em alfa-ceto-ácidos formando aminoácidos e amidas, que são metabolizados pela planta.

- Nitrogênio na planta

A absorção do N pelas plantas se dá em diferentes formas:  $N_2$  - leguminosas pela FBN; uréia e na forma mineral -  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$  (principalmente). O transporte do N das raízes para a parte aérea é feito pelo xilema como aminoácidos ou  $NO_3^-$ . A redistribuição do N nas plantas é fácil via floema. Consequentemente, plantas deficientes em N mostram os sintomas nas folhas velhas.

*Funções do nitrogênio* - Cerca de 90% do N total da planta está na forma orgânica e é assim que desempenha as suas funções como componente estrutural de macromoléculas e constituintes de enzimas. Os aminoácidos livres dão origem: a outros aminoácidos e às proteínas e às enzimas e coenzimas; são precursores de hormônios vegetais - triptofano do AIA e metionina do etileno. Os núcleos porfirínicos formam a clorofila e os citocromos. As bases nitrogenadas são componentes dos nucleotídeos e esses dos ácidos nucleicos – DNA, RNA, ATP e coenzimas como o NAD e NADP.

---

Como o N é absorvido predominantemente na sua forma oxidada,  $\text{NO}_3^-$  (+5) e nos compostos orgânicos aparece na forma reduzida (-3), portanto, para ser assimilado, o nitrato absorvido deve ser previamente reduzido a amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). Esse processo é conhecido como redução assimilatória do nitrato e ocorre em dois estágios: o primeiro ocorre no citoplasma onde o  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$  (nitrito) e a reação é mediada pela Redutase do Nitrato (que contém Mo e Fe); o segundo estágio ocorre nos cloroplastos onde o  $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$  e a reação é catalisada pela Redutase do Nitrito.

O acúmulo de nitrato em plantas alimentícias (hortaliças) e forrageiras é indesejável, pois quando ingerido, o nitrato pode ser reduzido a nitrito, entrar na corrente sanguínea e inativar a hemoglobina ou formar nitrosaminas, que são cancerígenas e mutagênicas. Esse assunto será discutido com detalhes no Capítulo 4, item 4.2.3.

Uma vez reduzido, o  $\text{NH}_4^+$  vai entrar no metabolismo gerando principalmente aminoácidos, através de duas vias:

1. via GDH - desidrogenase glutâmica e,
2. via GS/GOGAT - sintetase de glutamina/sintase de glutamato.

O glutamato formado nessas vias sofre ação de enzimas chamadas aminotransferase ou transaminases, que transferem o grupo amino ( $-\text{NH}_2$ ) do glutamato para o grupo cetônico de um alfa-ceto-ácido, formando outros aminoácidos.

A síntese de proteínas ocorre nos ribossomos e exige: t-RNA-transferidor, mRNA-mensageiro, ATP, GTP,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e os 20-21 aminoácidos. De acordo com o código genético do DNA, diferentes proteínas são sintetizadas.

Os *sintomas de deficiência* de N nas plantas se manifestam como uma clorose (= amarelecimento) que começa nas folhas velhas, permanecendo, inicialmente, as novas verdes em consequência da fácil redistribuição.

### 3.2.1.2. Fósforo

#### ▪ Aspectos gerais

O fósforo é, dos macronutrientes, um dos menos exigidos pelas plantas, mas, trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Isto é devido à forte interação que o elemento apresenta com os componentes minerais do solo, processo denominado de "fixação". É, certamente, o nutriente que mais limita o crescimento das plantas nos solos das regiões tropicais.

#### ▪ Fósforo na planta

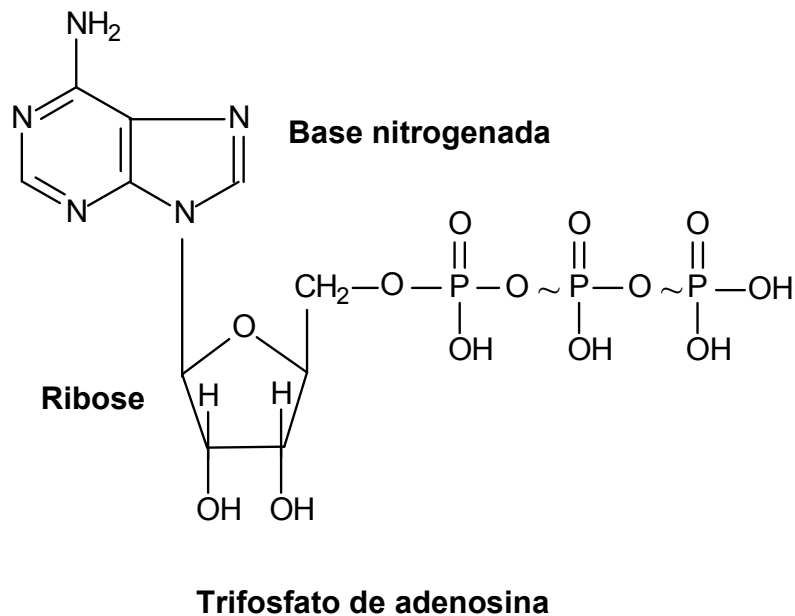
A *absorção* do P pelas plantas se dá na forma de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , predominante na faixa de pH do solo de 4 a 7. Como no solo o P se movimenta por difusão, a curtas distâncias, as micorrizas apresentam um papel relevante na sua absorção, aumentando a superfície absorvente e o volume de solo explorado pelo sistema radicular das plantas. O *transporte* para a parte aérea se dá via xilema na forma de fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), como fosforil-colina ou ésteres de carboidrato. A *redistribuição* do P na planta é bastante fácil via floema, como

---

P-inorgânico (Pi) ou fosforil-colina. Dada à essa fácil redistribuição, os sintomas de deficiência manifestam-se inicialmente nas folhas mais velhas.

*Formas e funções do fósforo na planta:* boa parte do P total da planta aparece na forma inorgânica (Pi =  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) e em menor quantidade como pirofosfato (P-P). Uma menor proporção aparece como P orgânico. O Pi no citoplasma tem uma função regulatória da atividade de várias enzimas; o mesmo ocorre em algumas organelas celulares como nos cloroplastos e mitocôndrias. As formas orgânicas de P na planta são compostos nos quais o ortofosfato é esterificado a hidroxilas de açúcares e álcoois, como exemplos, a frutose-6-fosfato, glicose-6-fosfato e fosfogliceraldeído. Nos fosfolipídeos, componentes importantes da estrutura das membranas celulares, o fosfato encontra-se ligado aos compostos orgânicos por ligações diéster.

O mais importante composto no qual o grupo fosfato serve para armazenar energia e depois transferi-la para a promoção de processos endergônicos é o trifosfato de adenosina - o ATP (Figura 8).



**FIGURA 8. Estrutura do ATP (trifosfato de adenosina).**

A energia armazenada nas ligações entre os grupos fosfato do ATP(~), se torna disponível quando ocorre a hidrólise de um ou dois radicais fosfatos terminais. Essa energia é utilizada em muitos processos endergônicos do metabolismo, como exemplo a absorção iônica ativa, síntese de amido, gorduras e proteínas, trabalho mecânico, entre muitos outros.

Como o P é componente dos nucleotídeos, o mesmo é componente, também, dos ácidos nucléicos, o DNA e o RNA.



Os fitatos são importantes compostos de reserva de P nas sementes, sendo usados como fontes de fósforo para síntese de fosfolipídeos das membranas celulares e dos ácidos nucleicos, no processo de germinação.

Os *sintomas de deficiência* de P nas plantas refletem em um menor crescimento; folhas velhas amareladas, pouco brilho, cor verde-escuro e, em algumas espécies pode ocorrer uma tonalidade arroxeada.

### 3.2.1.3. Potássio

#### ▪ Aspectos gerais

O K é, de maneira geral, o nutriente mais exigido pelas hortaliças (Tabela 3), mas não se encontra nos solos em teores tão limitantes quanto o fósforo.

#### ▪ O potássio na planta

O potássio do solo é *absorvido* na forma de  $K^+$  e altas concentrações de Ca e Mg reduzem sua absorção. É *transportado* via xilema como  $K^+$  e facilmente *redistribuído* dentro da planta e, como consequência, os sintomas de carência ocorrem nas folhas mais velhas.

*Funções do potássio* - O K não faz parte de nenhum composto orgânico, portanto, não desempenha função estrutural. As principais funções do K na vida da planta são:

- *ativação enzimática*: mais de 50 enzimas do metabolismo vegetal são ativadas pelo K e participam de diversos processos como a síntese de amido, de proteínas, absorção iônica ativa (ATPases), dentre muitas outras. Plantas deficientes em K apresentam acúmulo de carboidratos solúveis, decréscimo do nível de amido e acúmulo de compostos nitrogenados solúveis, como os aminoácidos;
- *osmorregulação*: a nutrição potássica também está ligada à regulação do potencial osmótico das células das plantas. A alongação celular das células meristemáticas, a abertura e fechamento dos estômatos dependem de um ótimo turgor celular e para isso o K é indispensável;
- *fotossíntese e transporte de carboidrato*: tem sido atribuído ao K um efeito direto sobre a taxa de assimilação do  $CO_2$ , pelo controle da abertura e fechamento dos estômatos, melhor difusividade do  $CO_2$  nas células do mesófilo e estímulo da atividade da ribulose bifosfato carboxilase (RuBP). O potássio também favorece o carregamento e descarregamento do floema em fotossintatos e outros compostos como proteínas e compostos nitrogenados.

Os *sintomas de deficiência* de K nas plantas, devido sua fácil redistribuição, ocorre primeiro nas folhas velhas, como uma clorose seguida de necrose nas pontas e margens das folhas.

---

#### 3.2.1.4. Cálcio

##### ▪ Cálcio na planta

A *absorção* do cálcio do solo pelas plantas se dá na forma de  $\text{Ca}^{2+}$  e altos teores de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , diminuem sua absorção. O cálcio é *transportado* unidirecionalmente no xilema, das raízes para a parte aérea. A sua *redistribuição* é muito pequena e como consequência, os sintomas de deficiência aparecem nas folhas novas e nos meristemas. Outra consequência da imobilidade do cálcio: a planta necessita de um suprimento constante pelo meio, o que é feito mais eficientemente quando aplicado via solo.

*Funções do cálcio*: o cálcio é um importante componente da parede celular devido integrar a lamela média, com a formação dos pectatos de cálcio. O cálcio apresenta um papel essencial na manutenção da estrutura e funcionamento das membranas celulares, como já discutido anteriormente. O cálcio também é requerido para a alongação e multiplicação celular e isso se reflete drasticamente no crescimento radicular.

Como o cálcio inibe a atividade de várias enzimas, a sua concentração no citoplasma e cloroplastos é baixa. O Ca citoplasmático participa da forma ativa da coenzima calmodulina, que é exigida para a atividade de uma série de enzimas, como fosfolipase e alfa-amilase.

O Ca também é indispensável na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico, bem como na FBN.

Os *sintomas de deficiência* de cálcio se expressam nos pontos de crescimento da parte aérea e da raiz e em frutos em desenvolvimento. Apresentam-se como deformações nas folhas novas, morte das gemas apicais e extremidades das raízes. Algumas espécies mostram os sintomas nos frutos primeiro que nas folhas, como a podridão apical no tomate, pimentão, melancia, “bitter pit” na maçã, entre outros.

#### 3.2.1.5. Magnésio

##### ▪ Magnésio na planta

A *absorção* desse nutriente se dá na forma de  $\text{Mg}^{2+}$  e altas concentrações de  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{++}$  reduzem o processo. O *transporte* se dá via xilema na mesma forma em que foi absorvido -  $\text{Mg}^{2+}$ . O Mg é bastante móvel no floema, portanto, sua *redistribuição* é fácil e os sintomas de deficiência ocorrem nas folhas velhas.

*Funções do magnésio* - a função mais bem conhecida do Mg é a de compor a molécula da clorofila e corresponde a 2,7% do peso da mesma, representando cerca de 15 a 20% do Mg total das folhas das plantas. O Mg apresenta uma função metabólica bastante importante, como ativador enzimático. Nesse caso, o Mg atua como “cofator” de enzimas fosforilativas, formando uma ponte entre o pirofosfato do ATP ou ADP e a enzima. O substrato para as ATPases é o Mg-ATP. A síntese de ATP pelo processo da fosforilação ( $\text{ADP} + \text{Pi} \rightleftharpoons \text{ATP}$ ) tem um especial requerimento de Mg para a ligação entre o ADP e a enzima. Isso explica a sua alta concentração nos cloroplastos e mitocôndrias.

---

O Mg também é importante na síntese protéica, estabilizando as partículas dos ribossomos e ativando enzimas do próprio processo.

Assim, o Mg participa de uma série de processos vitais à planta, que requerem e fornecem energia como a fotossíntese, respiração, síntese de macromoléculas - carboidratos, proteínas, lipídeos - e absorção iônica.

Em condições de carência, os *sintomas de deficiência* de Mg se manifestam nas folhas velhas, como uma clorose internerval.

#### 3.2.1.6. Enxofre

##### ▪ Enxofre na planta

A *absorção* de enxofre do solo pelas raízes se dá na forma de  $\text{SO}_4^{2-}$ . O S elementar usado como defensivo pode, também, ser absorvido pelas folhas. O sulfato é *transportado* pelo xilema das raízes para a parte aérea e o movimento no sentido contrário, a *redistribuição*, é muito pequena. Por isso os sintomas de deficiência se manifestam nas folhas novas.

*Funções do enxofre* - tal como ocorre com o nitrato, o sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) absorvido pelas plantas, para exercer sua principal função nas plantas, de componente de compostos orgânicos, deve ser previamente reduzido. O processo dessa redução não é ainda bem conhecido.

A cisteína e metionina são os aminoácidos que contém S e, portanto, o elemento está presente em todas as proteínas. Nessas, uma função importante do S é a formação das ligações dissulfeto (S-S), que atuam na estabilidade da estrutura terciária das proteínas. Outro papel fundamental do S protéico é a participação do grupo sulfídrico (-SH) como grupo ativo de enzimas. Muitas enzimas como urease, coenzima A (CoASH), têm o grupo SH como grupo ativo. As ferredoxinas, que atuam nos processos fotossintéticos, FBN, etc., têm alta proporção de cisteína. Alguns compostos voláteis contendo S contribuem para o odor característico que se desprendem de alguns produtos como cebola, alho e mostarda.

Os *sintomas de deficiência* de S se caracterizam por uma clorose generalizada no limbo foliar das folhas novas.

### 3.2.2. Micronutrientes

#### 3.2.2.1. Boro

Nos solos das regiões tropicais, o B e o Zn são os micronutrientes que mais freqüentemente promovem deficiências nas culturas. As monocotiledôneas são menos exigentes em B que as dicotiledôneas, por isso, a deficiência em cereais é menos comum no campo.

---

- Boro na planta

A *absorção* do micronutriente se dá na forma de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ); sofre um *transporte* unidirecional no xilema; não é *redistribuído* devido sua imobilidade no floema; assim os sintomas de deficiência aparecem em folhas novas e meristemas. Outras conseqüências da imobilidade: a planta necessita de um suprimento constante pelo meio, o que é feito mais eficientemente quando aplicado via solo.

*Funções do boro* - o boro apresenta grande afinidade por compostos que apresentam pares de grupos cis-hidroxil (cis-diol), como os constituintes da hemicelulose da parede celular, dentre outros. A formação de complexos borato-açúcares, tornando essas moléculas menos polares, facilita o transporte de açúcares na planta. O B também está envolvido na síntese da base nitrogenada Uracila, sendo precursora da Uridina Difosfato-Glicose (UDPG), coenzima essencial para a síntese da sacarose. A uracila, também componente do RNA, afeta a síntese protéica e, conseqüentemente, a divisão celular.

O mais rápido efeito da deficiência de boro em plantas é a paralização do crescimento dos meristemas apicais, devido a uma menor alongação e divisão celular. As lesões necróticas, observadas nas folhas novas e meristemas de plantas deficientes em B têm sido atribuído ao acúmulo de fenóis, compostos fitotóxicos quando em níveis elevados. O B está, também, envolvido na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico, cuja carência leva a má ou não formação dos frutos.

Os *sintomas de deficiência* de B se caracterizam pela redução do tamanho e deformação das folhas novas e morte da gema apical. Como existe um limite estreito entre o teor adequado e o nível tóxico de B na planta, há possibilidade de toxidez pela aplicação de doses elevadas do micronutriente, principalmente em solos arenosos. Os *sintomas de toxidez* se manifestam como uma clorose malhada e posterior necrose nos bordos das folhas mais velhas, local de maior transpiração.

### 3.2.2.2. Cloro

- Cloro na planta

Não se tem notícia de deficiência de cloro em plantas sob condições de campo, podendo ocorrer toxidez em algumas espécies sensíveis.

O cloro é *absorvido* como  $Cl^-$ ; é assim *transportado* no xilema e sofre uma *redistribuição* que varia com a espécie.

*Funções do cloro*: o cloro participa da fotólise da água no fotossistema II do processo fitossintético vegetal, atuando junto com o Mn na evolução do  $O_2$  e influenciando na fotofosforilação (síntese de ATP), que depende do fluxo de elétrons. É atribuído ao cloro, também, uma função na regulação osmótica da planta, participando no controle da abertura e fechamento dos estômatos.

---

Os *sintomas de deficiência* de cloro têm sido descritos como murchamento, clorose, bronzeamento e deformação das folhas que tomam forma de taças, variando entre as plantas a ocorrência em folhas velhas ou novas.

#### 3.2.2.3. Cobre

##### ▪ Cobre na planta

A *absorção de cobre* pela planta se dá na forma de  $\text{Cu}^{2+}$ , podendo também, ser absorvido na forma de quelato. O *transporte* no xilema se dá na forma quelatizada com aminoácidos. O cobre é pouco *redistribuído* pelo floema, portanto, os sintomas de carência se manifestam nas folhas novas.

*Funções do cobre:* a principal função do cobre no metabolismo vegetal é como ativador ou componente de enzimas que participam de reações de oxi-redução, citando-se a plastociamina, oxidase do ácido ascórbico, complexo da oxidase do citocromo. Assim, o cobre participa de uma série de processos metabólicos nas plantas. Fotossíntese - o cobre é componente da plastociamina, que participa da cadeia de transporte de elétrons do Fotossistema I; o cobre participa da síntese da plastoquinona e é ativador da enzima RuBP-carboxilase. Fosforilação oxidativa - a citocromo oxidase, que contém Fe e Cu, atua no transporte terminal de elétrons na cadeia respiratória na mitocôndria. Proteção de radicais superóxido ( $\text{O}_2^-$ ) - o cobre e o Zn participam do grupo prostético da dismutase de superóxido (Cu-Zn-SOD), que protege as plantas do efeito deletério dos radicais superóxidos ( $\text{O}_2^-$ ).

Os *sintomas de deficiência* de cobre se manifestam em folhas novas, que tomam uma tonalidade verde-escuras, com aspecto flácido e tamanho desproporcionalmente grande. Em cereais as folhas tornam-se estreitas e retorcidas, com as pontas brancas.

#### 3.2.2.4. Ferro

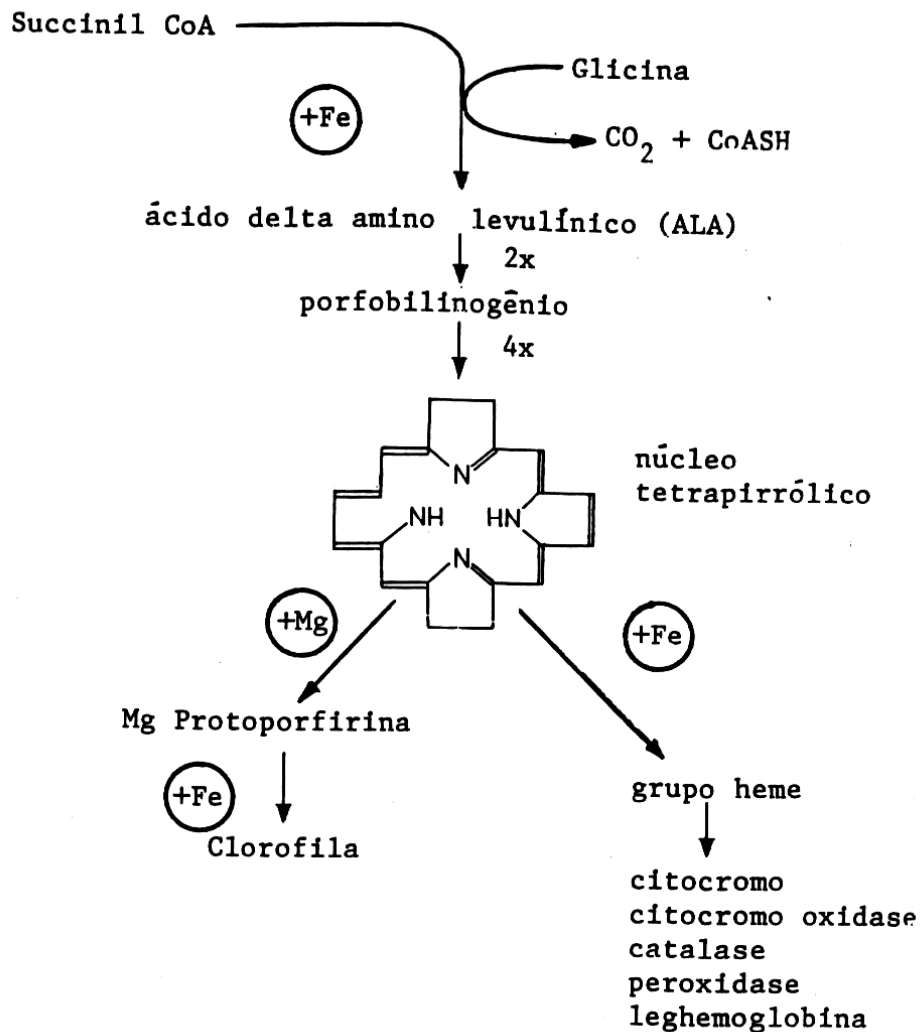
##### ▪ Ferro na planta

O ferro é *absorvido* pelas raízes na forma de  $\text{Fe}^{2+}$ . Como os solos das regiões tropicais, de maneira geral, são muito ricos em ferro, a sua deficiência é pouco comum, podendo ocorrer em condições de pH elevado (supercalagem), estiagem prolongada (oxidação), toxidez de Mn (em pH ácido). Altos níveis de P no meio podem, também, insolubilizar o Fe no solo, precipitá-lo nas raízes, no apoplasto e no xilema. O *transporte* do Fe se dá pelo xilema na forma de quelato do ácido cítrico. O Fe é pouco *redistribuído* na planta, portanto, os sintomas de deficiência manifestam-se nas folhas mais novas.

*Funções do ferro:* o Fe é componente de uma série de enzimas que participam de reações de oxi-redução no metabolismo. As hemo-proteínas são enzimas que apresentam o grupo heme (complexo Fe - porfirina) como grupo prostético, citando-se a catalase, peroxidase, citocromos (nos cloroplastos e na mitocôndria), leghemoglobina (FBN). O grupo de enzimas Fe - S - proteína, tem como exemplo a Ferredoxina, que participa na transferência de elétrons na fotossíntese, FBN, redução do nitrito e redução do sulfato.

---

No metabolismo do N, dois complexos enzimáticos contêm Fe: a Nitrogenase na FBN e a Redutase do Nitrato na redução do nitrato, fatos já discutidos. O Fe está também envolvido na síntese protéica e, também, da clorofila. A Figura 9 mostra esquematicamente a biossíntese da clorofila e de outras enzimas contendo o grupo heme.



**FIGURA 9.** Participação do ferro na biossíntese da clorofila e enzimas contendo o grupo heme.

Os *sintomas de deficiência* de Fe se manifestam nas folhas novas, as quais amarelecem, enquanto apenas as nervuras podem ficar verdes, formando um retículo fino (rede verde fina sobre o fundo amarelo).

### 3.2.2.5. Manganês

- Manganês na planta

A *absorção* do manganês pelas raízes se dá na forma de  $Mn^{2+}$ , sofrendo o *transporte* pelo xilema nessa mesma forma. Por ser pouco *redistribuído* na planta, os sintomas de deficiência se manifestam nas folhas novas.

*Funções do manganês*: tal como o Mg, o Mn atua como cofator de enzimas fosforilativas (fosfoquinases e fosfotransferases), formando uma ponte entre o ATP e as enzimas. Descarboxilases e desidrogenases do ciclo de Krebs são ativadas pelo Mn. A função mais conhecida do Mn é a sua participação, junto com o cloro, na quebra fotoquímica da água e na evolução do  $O_2$  na fotossíntese. Nesse caso, a sua deficiência acarreta diminuição da fotofosforilação, fixação do  $CO_2$ , redução do nitrito e do sulfato, cujo doador de elétrons é a ferredoxina. A síntese protéica também é influenciada pela nutrição em Mn devido a sua ativação da polimerase do RNA.

Os *sintomas de deficiência* de Mn ocorrem nas folhas novas, como uma clorose internerval, formando o reticulado grosso: além das nervuras, uma estreita faixa de tecido ao longo das mesmas permanecem verdes. Em solos ácidos, principalmente nas dicotiledôneas, é comum o aparecimento de *sintomas de toxidez* de Mn, que se manifesta inicialmente como deficiência de Fe induzida, e só posteriormente, como toxidez. Este, caracteriza-se por pontuações de cor marrom no limbo das folhas novas, que se tornam necróticas, cercadas por zonas cloróticas.

### 3.2.2.6. Molibdênio

- Molibdênio na planta

O Mo é o nutriente menos exigido pelas plantas. As crucíferas (repolho, couve flor) e as leguminosas são particularmente exigentes em Mo e necessitam sua aplicação. A *absorção* do molibdênio pelas raízes se dá na forma de  $MoO_4^{2-}$ . O *transporte* pelo xilema ocorre na forma iônica ou complexado à aminoácidos ou açúcares. O Mo é considerado moderadamente *redistribuído* na planta.

*Funções do molibdênio* - o molibdênio é componente de duas enzimas envolvidas no metabolismo do N, a Redutase do Nitrato e a Nitrogenase, cujas funções já foram discutidas. Plantas deficientes em Mo, devido a menor síntese da Redutase do Nitrato, podem acumular o  $NO_3^-$  e apresentar deficiência de N. A concentração de Mo nos nódulos radiculares das leguminosas é muito maior que nas suas folhas, devido a sua participação da Nitrogenase. Outras funções do Mo nas plantas tem sido relatadas, com envolvimento na síntese de ácido ascórbico (Vitamina C) e de açúcares.

A localização dos *sintomas de deficiência* de Mo varia com as espécies. As leguminosas podem mostrar clorose nas folhas velhas, semelhante à deficiência de N. Clorose molhada e manchas amarelo-esverdeadas em folhas velhas tem sido descrito. No gênero brássica, o “rabo de chicote”, onde cresce apenas a nervura principal, é o sintoma típico da deficiência de Mo.

---

### 3.2.2.7. Zinco

#### ▪ Zinco na planta

Ao lado do B, o Zn é o micronutriente que mais freqüentemente promove deficiência nas culturas. Sua *absorção* pelas raízes se dá na forma de  $Zn^{2+}$ . Adubações pesadas com P podem induzir a deficiência de Zn, por precipitação P-Zn no solo e na planta, inibição na absorção e pelo “efeito de diluição” do Zn no tecido, devido a resposta da planta em crescimento. O *transporte* do zinco no xilema se dá na forma iônica e sua *redistribuição* na planta é baixa, por isso os sintomas de deficiência se manifestam nas folhas novas.

*Funções do zinco*: o Zn está estreitamente envolvido no metabolismo nitrogenado e na síntese protéica da planta. Três são os mecanismos:

1. o Zn é componente da RNA polimerase, que leva à síntese do RNA;
2. o Zn é componente dos ribossomos, cuja deficiência leva à desintegração dos mesmos;
3. o Zn regula a atividade da RNase, que atua na desintegração do RNA.

Assim, em resumo, a deficiência de Zn reduz a síntese protéica. O Zn está envolvido, também, na síntese do ácido indolil acético (AIA), um hormônio de crescimento. Nesse caso, o Zn é requerido para a síntese do aminoácido triptofano, precursor da biossíntese do AIA. Como visto, o Zn e o Cu, participam do grupo prostético da dismutase de superóxido (Cu – Zn – SOD), que protege as plantas do efeito deletério de radicais superóxidos ( $O_2^-$ )

Dessa maneira, atribui-se a essas funções do Zn - participação na síntese protéica e na síntese do AIA - os sintomas de deficiência que as plantas apresentam, devido a uma menor divisão e alongação celular.

Os *sintomas de deficiência* de Zn se manifestam nas folhas novas, as quais se tornam pequenas, cloróticas e lanceoladas, os internódios se tornam curtos, há formação de “tufos” na ponta dos ramos das culturas perenes e plantas anuais se tornam anãs.

### 3.2.2.8. Cobalto

#### ▪ Cobalto nas plantas

A essencialidade do Co se restringe, por enquanto, às plantas superiores que dependem da FBN. É *absorvido* na forma de  $Co^{2+}$ ; *transportado* no xilema na forma iônica ou como quelato e parece ser pouco *redistribuído*.

*Funções do cobalto* - o Co é essencial à FBN por bactérias fixadoras de vida livre ou sistemas simbióticos. O Co constitui o grupo prostético da coenzima cobalamina (vitamina  $B_{12}$ ), necessária para síntese da leghemoglobina nos nódulos radiculares. A função da leghemoglobina é transportar o  $O_2$  para o metabolismo aeróbico do bacteróide, devido ao caráter anaeróbico da FBN. Parece que o Co tem ainda outras funções no bacteróide e em algumas plantas.

Os *sintomas de deficiência* de Co em leguminosas lembram a deficiência de nitrogênio, ou seja, clorose generalizada nas folhas velhas.

---



### 3.2.2.9. Níquel

- Níquel na planta

O níquel é *absorvido* do solo na forma de  $\text{Ni}^{2+}$  e *transportado* no xilema como quelato. Há evidências que o Ni seja móvel do floema.

*Funções do níquel* - estudos têm mostrado que o Ni é um metal componente da urease, que catalisa a decomposição hidrolítica da uréia em tecidos vegetais (e animais):  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$ . A enzima consiste em 6 subunidades com dois átomos de Ni em cada uma. Trabalhos com soja, mostraram que na ausência de Ni, a atividade da urease foi baixa, houve o aparecimento de necrose na ponta dos folíolos, com um acúmulo de uréia da ordem de  $25 \text{ g kg}^{-1}$ .

Os *sintomas de deficiência* de Ni tem sido obtidos em soja e cawpi, como lesões necróticas nas extremidades dos folíolos. Clorose nas folhas novas e necrose em meristemas de tomateiro também tem sido relatado. Os *sintomas de toxidez* de Ni pode ocorrer em solos com elevado teor do elemento como aqueles originados de serpentina. Dada a competição do  $\text{Ni}^{2+}$  com o  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  no processo de absorção, é comum observar inicialmente, deficiência desses micronutrientes como primeiro sintoma de toxidez de Ni; posteriormente aparece necrose nas margens das folhas.

---

#### 4.1. INTRODUÇÃO

A adubação pode ser definida como a adição ao meio de cultivo de elementos (nutrientes) que a planta necessita para viver, com a finalidade de obter colheitas compensadoras de produtos de boa qualidade nutritiva ou industrial, promovendo o mínimo de perturbação ao ambiente. A adubação, melhorando o estado nutricional das plantas, tende a melhorar a qualidade do produto obtido. Mas, na prática, objetiva-se, primordialmente, o aumento da produtividade, visando a obtenção de maiores lucros em determinado investimento agrícola.

A produtividade e qualidade são fatores controlados geneticamente, mas também, influenciados pelo meio: solo e clima. Infelizmente, por muitos e muitos anos, o melhoramento genético tem sido orientado para os interesses econômicos e industriais, tais como a produtividade, aparência, aceitabilidade, resistência a pragas e doenças, adaptabilidade a diferentes tipos de clima e de solos, que viessem ao encontro desses interesses, sem levar em consideração a composição e valor nutritivo dos alimentos. A preocupação de modificar geneticamente plantas e animais para melhoria do seu valor nutritivo é relativamente recente.

A definição da qualidade de um produto agrícola é bastante difícil e pode ser ao mesmo tempo objetiva e subjetiva. A qualidade dos produtos agrícolas sob o ponto de vista da nutrição mineral, deve ser analisada pelos seguintes aspectos principais: qualidade biológica ou substâncias nutricionais básicas (proteínas, carboidratos, gorduras, vitaminas, minerais, etc), aparência (tamanho, forma, cor, etc) e sabor. A influência da nutrição na qualidade depende da participação dos nutrientes em processos bioquímicos e fisiológicos da planta.

A Tabela 7 mostra a composição de alguns alimentos mais consumidos na alimentação do brasileiro, tanto de origem animal quanto vegetal. Observa-se que os vegetais (grãos, hortaliças, frutas) apresentam uma qualidade biológica bastante variada. E essa qualidade biológica bem como a aparência e o sabor, são bastante influenciadas pela nutrição mineral das plantas, como será discutido adiante.

---

<sup>1</sup> Com a colaboração do Doutorando do PPGSNP/UFLA, Alex Teixeira Andrade.

**TABELA 7. Composição biológica de alguns alimentos mais consumidos na alimentação do brasileiro (por 100 gramas comestíveis).**

ALIMENTO	Água (%)	Energia Kcal	Proteína (g)	Gordura (g)	Carboidrato(g)		Cinza (g)	Cálcio (mg)
					Total	Fibra		
Trigo (Far.80%)	12,0	365	12,0	1,3	74,1	0,5	0,65	24,0
Batata (Coz.c/ pele)	79,8	76	2,1	0,1	17,1	0,5	0,90	7,0
Arroz (Pol. Coz.)	72,6	109	2,0	0,1	24,2	0,1	1,10	10,0
Milho (Farinha)	12,0	368	7,8	2,6	76,8	0,7	0,80	6,0
Feijão (Coz.)	69,0	118	7,8	0,6	21,2	1,5	1,40	50,0
Soja (Far. Int.)	8,0	421	36,7	20,3	30,4	2,4	4,60	119,0
Cenoura (Coz.)	91,2	31	0,9	0,2	7,1	1,0	0,60	33,0
Abóbora (Verde coz.)	95,6	14	0,9	0,1	3,1	0,6	0,40	25,0
Alface (Crua)	94,0	18	1,3	0,3	3,5	0,7	0,90	68,0
Tomate (Cru Mad)	93,5	22	1,1	0,2	4,7	0,5	0,50	13,0
Repolho (Cru)	92,4	24	1,3	0,2	5,4	0,8	0,70	49,0
Couve flor (Coz)	92,8	22	3,3	0,2	4,1	1,0	0,60	21,0
Berinjela (Coz)	94,3	19	1,0	0,2	4,1	0,9	0,40	11,0
Laranja	88,3	45,0	0,7	0,2	10,4	0,1	0,4	11,0
Abacaxi	85,3	52,0	0,4	0,2	13,7	0,4	0,4	17,0
Abacate (Int.)	74,0	167,0	2,1	16,4	6,3	1,6	1,2	10,0
Pêssego (Cru)	89,1	38,0	0,6	0,1	9,7	0,6	0,5	9,0
Maçã (Crua)	84,4	58,0	0,2	0,6	14,5	1,0	0,3	7,0
Uva (Crua)	81,6	69,0	1,3	1,0	15,7	0,6	0,4	16,00
Banana (Mad.)	75,7	85,0	1,1	0,2	22,2	0,5	0,6	8,0
Carne Bovina (Coz)	60,0	219	27,4	11,3	0,0	0,0	1,30	12,0
Carne Suína(Coz)	42,1	410	20,9	35,6	0,0	0,0	1,30	9,0
Frango (Branca,Coz.)	63,8	166	31,6	3,4	0,0	0,0	1,20	11,0
Ovo (Galina Coz.)	73,7	163	12,9	11,5	0,9	0,0	1,0	54,0
Leite (Vaca, Past.)	87,4	65	3,5	3,5	4,9	0,0	0,7	118,0

Continua...

Continuação Tabela 7.

ALIMENTOS	Fósforo (mg)	Ferro mg	Sódio (mg)	Potássio (mg)	Vit. A (UI)	Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Niacina (mg)	Vit. C (mg)
Trigo (Far.80%)	191,0	1,3	2,0	95,0	0,0	0,26	0,07	1,4	0,0
Batata (Coz.c/ pele)	53,0	0,6	3,0	407,0	t	0,09	0,04	1,5	16,0
Arroz (Pol. Coz.)	28,0	0,2	374,0	28,0	0,0	0,02	0,01	0,4	0,0
Milho (Farinha)	164,0	1,8	1,0	-	340	0,20	0,06	1,4	0,0
Feijão (Coz.)	148,0	2,7	7,0	416,0	0,0	0,14	0,07	0,7	0,0
Soja (Far. Int.)	558,0	8,4	1,0	1666,0	110,0	0,85	0,31	2,1	0,0
Cenoura (Coz.)	31,0	0,6	33,0	222,0	10500,0	0,05	0,05	0,5	6,0
Abóbora (Verde coz.)	55,0	0,4	1,0	141,0	390,0	0,05	0,08	0,8	10,0
Alface (Crua)	25,0	1,4	9,0	264,0	1900,00	0,05	0,08	0,4	18,0
Tomate (Cru Mad)	27,0	0,5	3,0	244,0	270,0	0,06	0,04	0,5	20,0
Repolho (Cru)	29,0	0,4	20,0	233,0	130,0	0,05	0,05	0,3	47,0
Couve flor (Coz)	42,0	0,7	9,0	206,0	60,0	0,09	0,08	0,6	55,0
Berinjela (Coz)	21,0	0,6	1,0	150,0	10,0	0,05	0,05	0,6	5,0
Laranja	17,0	0,2	1,0	200,0	200,0	0,09	0,03	0,4	50,0
Abacaxi	8,0	0,5	1,0	146,0	70,0	0,09	0,03	0,2	17,0
Abacate (Int.)	42,0	0,6	4,0	604,0	290,0	0,11	0,20	1,6	1,4
Pêssego (Cru)	19,0	0,5	1,0	202,0	1300,0	0,02	0,05	1,0	7,0
Maçã (Crua)	10,0	0,3	1,0	110,0	90,0	0,03	0,02	0,1	4,0
Uva (Crua)	12,0	0,4	3,0	158,0	100,0	0,05	0,03	0,3	4,0
Banana (Mad.)	26,0	0,7	1,0	370,0	190,0	0,05	0,06	0,7	10,0
Carne Bovina (Coz)	230,0	3,5	48,0	558,0	20,0	0,09	0,23	6,0	-
Carne Suína(Coz)	213,0	2,7	-	-	0,0	0,47	0,21	4,2	-
Frango (Branca,Coz.)	265,0	1,3	64,0	411,0	60,0	0,04	0,10	11,6	-
Ovo (Galina Coz.)	205,0	2,3	122,0	129,0	1180,0	0,09	0,28	0,1	0,0
Leite (Vaca, Past.)	93,0	T	50,0	144,0	140,0	0,03	0,17	0,1	1,0

Fonte: Composition of Foods (Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook nº 8).  
Washington, D.C., 1963 e Sgarbieri (1987).

As principais razões pelas quais o produtor é levado a tentar produzir produtos de melhor qualidade são citadas por Haag (1992): consumidor mais exigente; volume de oferta às vezes excessiva; processamento industrial e, atendimento às normas de qualidade exigida pelos países importadores.

Os *carboidratos* constituem a principal fonte de energia para os animais e humanos. De modo geral, os mesmos contribuem de 50 até 80% das calorias totais na alimentação. Os países em desenvolvimento consomem principalmente os carboidratos de amidos de raízes, tubérculos e cereais, enquanto que nos países industrializados se consome uma proporção maior de açúcares, particularmente sacarose e glicose. Os cereais são as principais fontes de carboidratos para a alimentação, embora outros produtos também apresentam quantidades variadas dos mesmos, principalmente as raízes e tubérculos.

As *vitaminas* são substâncias indispensáveis à vida animal e humana, em quantidades bastante reduzidas e devem ser providas ao organismo através da dieta, cuja ausência resulta em doenças carenciais. Muitas coenzimas – cuja definição foi dada no Capítulo 3, item 3.2. – contém uma vitamina como parte de sua estrutura; essa relação é sem dúvida responsável pelo papel essencial da vitamina. Destaca-se as seguintes vitaminas com funções de coenzimas: Niacina ou Nicotinamida, que participa do NAD<sup>+</sup> (nicotinamida – adenina – dinucleotídeo) e NADP<sup>+</sup> (nicotinamida – adenina – dinucleotídeo – fosfato). Riboflavina, constituinte do FAD (flavina – adenina – dinucleotídeo); Ácido lipoico; Biotina e Tiamina; todas com papéis indispensáveis dentro do metabolismo. As frutas e hortaliças constituem dois grupos importantíssimos de alimentos cuja função nutricional é, principalmente, a de fornecer vitaminas e minerais para o organismo que as ingere (Tabela 7). Algumas frutas e hortaliças são particularmente importantes como fontes de algumas vitaminas, a saber: vitamina C (couve-flor, brócolo, repolho, tomate, alface, laranja, goiaba, manga, morango,); vitamina A (cenoura, alface, moranga, abóbora, tomate, repolho, vagem, ervilha, manga, mamão, pêssego). A única outra fonte significativa de vitamina A, em termos de dieta normal, são os ovos. Os grãos de leguminosas apresentam elevadas concentrações de vitamina E, de tiamina e niacina.

O valor nutritivo das *proteínas* dos alimentos irá depender da quantidade e proporção dos aminoácidos considerados indispensáveis e da digestibilidade da proteína. Os alimentos de origem animal (carnes, peixe e derivados lácteos) e os de origem vegetal como os grãos e farinhas de leguminosas são particularmente ricos e as principais fontes de proteínas. De todas as proteínas dos alimentos de origem vegetal, as da soja são as que apresentam melhor composição de aminoácidos, assemelhando-se bastante às dos produtos animais. As proteínas dos principais cereais se apresentam deficientes, principalmente em lisina e em alguns casos (milho) em triptofano. As proteínas dos grãos de leguminosas são, em geral, ricas em lisina, porém, bastante deficientes em aminoácidos sulfurados (metionina, cisteína e cistina). As hortaliças, de maneira geral, apresentam baixo teor de proteínas. Mas, em termos de produtividade, certas hortaliças produzem mais proteínas por hectare que o trigo. A batata por exemplo, com uma

---

produtividade de 20 t ha<sup>-1</sup>, produz cerca de 420 kg ha<sup>-1</sup> de proteínas, enquanto o trigo, com produtividade de 2 t ha<sup>-1</sup>, proporciona apenas 240 kg ha<sup>-1</sup> de proteínas.

As  *gorduras*  são importantes na alimentação e apresentam um elevado potencial energético. Embora as principais fontes de gorduras na alimentação sejam de origem animal, os alimentos de origem vegetal também apresentam teores variados desses compostos. Destacam-se nesse grupo a soja e o abacate (Tabela 7). Por outro lado, as hortaliças são pobres em lipídeos.

Os  *minerais*  formam a cinza dos materiais biológicos após completa oxidação da matéria orgânica. Grande parte dos minerais que formam o corpo dos animais e humanos aparece no esqueleto. Uma menor quantidade aparece formando parte da estrutura de macromoléculas como as proteínas, fosfolipídeos, hemoglobina e muitas enzimas. Ainda outra parte aparece no interior das células na forma iônica, regulando o pH, a pressão osmótica e o equilíbrio eletrostático, bem como ativando enzimas. À exceção do boro, todos os elementos minerais essenciais às plantas, também o são aos animais e humanos. Sgarbieri (1987) cita que os minerais conhecidos como essenciais ao organismo são divididos em macronutrientes – nitrogênio, cálcio, fósforo, potássio, sódio, cloro, magnésio e enxofre; e micronutrientes – ferro, cobre, cobalto, manganês, zinco, iodo, flúor, molibdênio, selênio, cromo e silício – cada qual com funções específicas no organismo. As hortaliças e as frutas são importantes fontes de minerais na alimentação.

#### 4.2. EFEITO DOS NUTRIENTES NA QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS

Como discutido no item 3.2., os nutrientes desempenham funções estruturais (componente de compostos orgânicos), participam como constituintes e na ativação enzimática da planta. Portanto, os minerais estão envolvidos em todos os processos metabólicos (tanto catabólico quanto anabólico) das plantas, bem como, atuam na regulação osmótica do vegetal. Sendo assim, a nutrição mineral da planta está envolvida diretamente na sua produtividade e na qualidade do produto obtido. Como já destacado, à exceção do boro, todos os outros elementos essenciais às plantas, também o são aos animais e aos humanos.

A seguir, serão apresentados para algumas hortaliças, alguns exemplos que demonstram a relação entre a nutrição mineral e a qualidade dos produtos agrícolas, sem no entanto, pretender fazer aqui uma revisão exaustiva a respeito do assunto.

---

#### 4.2.1. Efeito sobre tubérculos, raízes e produtoras de açúcar

O potássio é um nutriente particularmente exigido pelas plantas produtoras de carboidratos, visto as suas funções no metabolismo, citando-se a sua participação no processo fotossintético, transporte dos carboidratos da fonte (folhas) para o reservatório (tubérculo, colmo, etc) e ativador da enzima sintetase do amido.

Na batata, o tamanho e o número de tubérculos determinam a produtividade, enquanto que o teor de matéria seca, peso específico, teores de açúcares redutores e de amido determinam a qualidade. Juntas, essas características irão determinar o rendimento industrial. A Tabela 8 mostra que aumentando a dose de adubo potássico, aumenta-se também, o teor de amido da batata. Considerando uma produção de 40 t ha<sup>-1</sup>, o aumento de 1% no teor de amido, significa 400 kg ha<sup>-1</sup> de amido adicionais. Além disso, a produtividade aumenta, reduzindo a taxa de tubérculos refugos de baixo valor comercial. Mas, de acordo com Mengel e Kirkby (2001) doses muito pesadas de K (> 800 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) podem reduzir o teor de carboidratos na batata, particularmente se a fonte utilizada for o KCl.

**TABELA 8. Efeito de doses de potássio no teor de amido em tubérculos de batata.**

kg ha <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O	% amido
0	14,0
80	14,3
120	14,9
160	15,0

Fonte: Gruner (1983), em Malavolta (1989).

A batata pode ser frita industrialmente para a produção de palitos, fatias (“chips”) e batata palha. Maior teor de matéria seca nos tubérculos da batata favorece a qualidade final do produto, devido a menor absorção de óleo e maior crocância das fatias fritas. Em tubérculos ricos em açúcares redutores, ocorrem reações desses açúcares com aminoácidos, o que leva ao escurecimento do produto após a fritura.

De acordo com Melo (1999), para a produção de “chips”, o teor mínimo desejável de matéria seca é de 20,5% e para os palitos franceses e batata palha, em torno de 19%; para fritura, o teor máximo tolerado de açúcares redutores é de 0,2%. Embora seja uma característica genética, o teor de matéria seca dos tubérculos de batata é influenciado por outros fatores, destacando-se a nutrição mineral. Doses excessivas de N ou cobertura em fases adiantadas do ciclo, promove o desenvolvimento vegetativo em detrimento da produção de tubérculos e do teor de matéria seca. O mesmo efeito é observado para o excesso de potássio que, diminuindo o potencial osmótico, aumenta a absorção de água, provocando diluição dos teores de matéria seca e de amido dos tubérculos. Como o teor de açúcares redutores diminui com a maturação dos tubérculos, fatores que levam ao retardamento da maturação da planta, contribuem, também, para a elevação dos seus

teores nos tubérculos. Reis Júnior e Fontes (1996) relatam que a adubação potássica é de grande importância na produção da batata, mas cuidados devem ser tomados para que o aumento da produtividade não esteja acompanhado de tubérculos de baixa qualidade. Esses autores obtiveram redução dos teores de matéria seca, amido e peso específico dos tubérculos com a adubação potássica. A ocorrência do coração ôco nos tubérculos também é comum com a adubação potássica.

As fontes de potássio também influenciam a qualidade da batata. O sulfato de potássio é a melhor fonte de K para a batata, pois o KCl – fonte mais usada – produz tubérculos com maior teor de água e menores teores de amido e matéria seca, com aumento na perda de peso no armazenamento (Zehler et al., 1996). Esses autores relatam que o cloreto, além de reduzir a síntese de amido em torno de 20% em relação ao sulfato, favorece a formação de amido insolúvel nas folhas e diminui a translocação de açúcares solúveis das folhas para os tubérculos; em consequência, menores teores de amido e matéria seca nos tubérculos.

A nutrição fosfatada influencia a qualidade da batata, principalmente quando se objetiva a produção de amido. Nesse caso, um alto grau de esterificação entre o fosfato e os grupos hidroxílicos do amido, confere ao produto uma maior viscosidade, de melhor qualidade (Mengel e Kirkby, 2001). Esses autores citam, também, que a nutrição fosfatada adequada, reduz a sensibilidade dos tubérculos aos danos mecânicos.

O cálcio, por participar da lamela média das paredes celulares, também afeta a qualidade da batata. Tem sido observado que os tubérculos de plantas deficientes em cálcio têm reduzida conservação, menor resistência aos danos mecânicos e à infecção por patógenos, resultado da epiderme menos eficiente como barreira protetora (Paiva et al., 1997).

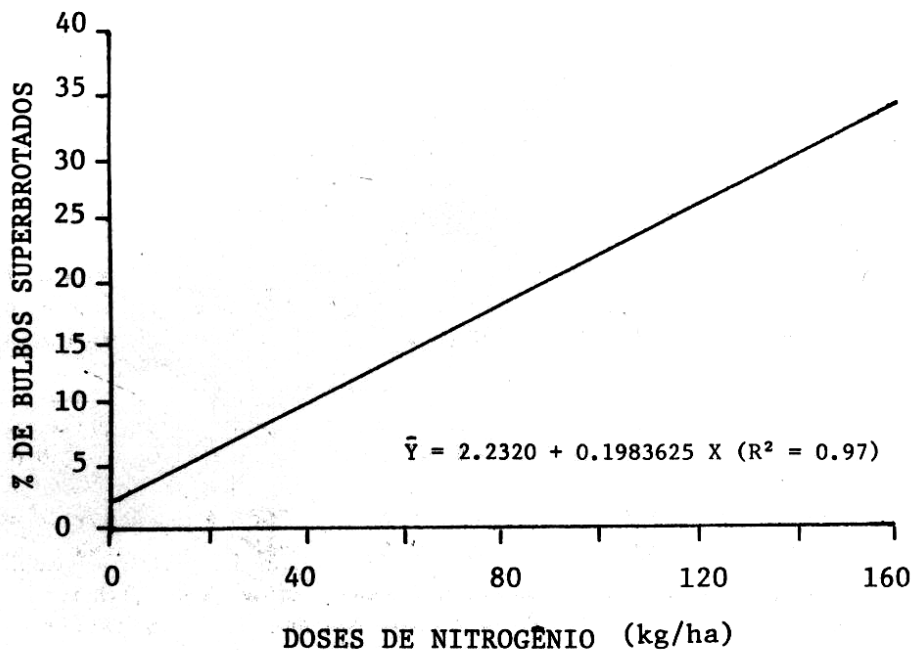
Alguns trabalhos têm mostrado que a nutrição adequada em boro reduz os teores de compostos fenólicos, a descoloração enzimática e aumento significativo de ácido ascórbico (vitamina C) em tubérculos de batata (Mesquita et al., 2003). Esses autores mostraram que a aplicação de boro afetou significativamente a produção e os teores de amido e de matéria seca nos tubérculos da cultura.

Outras tuberosas nas quais os carboidratos são os principais compostos de reserva, citando-se a batata-doce, mandioca, inhame, dentre outras, respondem similarmente à nutrição potássica (Mengel e Kirkby, 2001). Em mandioca, tem sido relatado que a adubação potássica, não aumenta somente o teor de amido nas raízes, mas também, diminui o do venenoso glicosídeo cianogênico. A qualidade do açúcar da beterraba-açucareira depende primariamente do teor de açúcar, mas é afetada também, pelas concentrações de compostos amínicos e de minerais como o K e o Na. Os compostos amínicos afetam a cristalização durante o processo de refinamento do açúcar. A nutrição potássica aumenta os teores de açúcar e diminui a concentração de compostos amínicos solúveis. Já, a alta disponibilidade de N nos meses precedentes à colheita apresenta um efeito contrário: reduz a concentração de açúcar e eleva a dos compostos amínicos.

---



Um outro exemplo da nutrição afetando a qualidade de hortaliças é o chamado superbrotamento (pseudoperfilhamento) do alho, que se caracteriza pela presença de brotações laterais do bulbo durante os estágios de crescimento, depreciando a qualidade comercial do produto e reduzindo a produtividade. Esta anormalidade tem sido atribuída à doses elevadas e manejo inadequado da adubação nitrogenada na cultura. A Figura 10 mostra que a percentagem de bulbos superbrotados aumenta linearmente com as doses de N aplicadas. Além da dose total de N, a época de aplicação também afeta o superbrotamento. Menor percentagem dessa anomalia é observada quando o N é aplicado totalmente no plantio, independente da dose. Ao ser parcelado, quanto maior a dose e mais tardia a aplicação de N, maior é a incidência do pseudoperfilhamento (Resende e Souza, 2001).



**FIGURA 10.** Efeito de doses de nitrogênio no superbrotamento de bulbos de alho (Resende, 1992).

A deficiência de boro também aumenta a taxa de chochamento do alho e reduz a sua capacidade de armazenamento. Alguns compostos voláteis contendo enxofre contribuem para o odor e sabor característico que se desprende de algumas hortaliças como o alho, a cebola, a mostarda, etc. O óleo de alho tem como principais componentes o alil-bissulfito e alil-propil-bissulfito, portanto, compostos contendo enxofre e que compõem a qualidade do produto.

#### 4.2.2. Efeito sobre as hortaliças de folhas e de frutos

Para as hortaliças de folhas e frutos, além da qualidade nutricional – que o consumidor não tem como avaliar – a aparência externa é de crucial importância para a comercialização e aceitabilidade do produto, e a nutrição mineral está bastante relacionada com essas características. Alguns exemplos dos mais comuns, tanto para a qualidade biológica quanto para a aparência dessas hortaliças, serão a seguir apresentados.

A “podridão apical” ou “fundo preto”, lesão que ocorre no fruto de tomate durante o período de crescimento e que hoje leva à grandes perdas de produção, é um dos problemas mais comuns nessa cultura. Hoje, sabe-se que esta anomalia trata-se de deficiência de cálcio no meio ou induzida por outros fatores. A imobilidade do Ca no floema, não permitindo sua redistribuição dentro da planta, faz com que ele se acumule nos tecidos mais velhos e, durante períodos de rápido crescimento – como ocorre com os frutos - os novos tecidos podem não receber um suprimento adequado de Ca, aparecendo a deficiência.

Mesmo sob elevada disponibilidade de Ca no solo, outros fatores como a umidade do solo, disponibilidade elevada de N, K, Mg e Na, uso de fontes de  $\text{N-NH}_4^+$  (amoniacal), cultivar, intensidade de transpiração, dentre outros, podem induzir a podridão apical.

O Ca disponível no solo entra em contato com as raízes das plantas através de uma fase aquosa móvel, processo denominado de fluxo de massa. Sob condições de déficit hídrico no solo, a quantidade de cálcio que chega às raízes por fluxo de massa é menor, reduzindo o total do nutriente absorvido. Nesse caso, na época de frutificação, haverá uma disputa entre as folhas – que transpiram mais - e os frutos, pelo pouco Ca absorvido, agravando o aparecimento da podridão apical. Fatores que intensificam a transpiração foliar, aumentam também, a incidência da podridão apical.

A adubação nitrogenada também afeta o aparecimento da podridão apical. Doses elevadas de N na forma nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ), estimulam um vigoroso crescimento vegetativo e, com isso, aumenta a demanda nutricional e desvia o dreno de cálcio dos frutos. Isso, quando os frutos estão na fase crítica de crescimento, 10 a 15 dias após a antese, explica a maior incidência da podridão apical. Já, o N na forma amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), apresenta grande capacidade competitiva com o Ca no processo de absorção., fato que justifica o aparecimento da anomalia. Assim, a adubação em cobertura com fontes de N na forma de  $\text{NH}_4^+$ , aumenta a incidência da lesão. Da mesma forma, os cátions  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , reduzem a absorção de Ca e favorecem o aparecimento da podridão apical no tomate. A Tabela 9 mostra a importância da quantidade e do equilíbrio nas adubações nitrogenada e potássica, no controle da anomalia em tomateiro variedade Santa Clara (Grupo Santa Cruz). Nesse trabalho, a maior produção foi obtida com doses variando de 200 a 400  $\text{kg ha}^{-1}$  de N e 300  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , onde o aparecimento da podridão apical foi nula ou bastante baixa.

---

**TABELA 9. Efeito de doses de nitrogênio e de potássio na incidência da podridão apical em frutos de tomate (% dos frutos com lesão).**

N (kg ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )			
	150	300	600	1200
100	0,0	0,0	0,0	12,0
200	0,0	0,0	0,0	13,6
400	4,7	6,8	13,1	17,4
800	11,3	10,7	24,7	35,6
DMS (Tukey 5%)		3,6		

Fonte: Silva et al. (1993).

Portanto, a adubação equilibrada, manutenção de teores de cálcio e níveis de umidade adequados no solo, escolha de cultivares menos susceptíveis à anomalia, são aspectos a serem sempre considerados na prevenção da ocorrência da podridão apical no tomate. Outra recomendação preventiva apresentada por Castellanne (1988), é a pulverização de uma fonte solúvel de Ca, de 7 em 7 dias, a partir do florescimento. Nessa prática, devido sua imobilidade no floema quando aplicado às folhas, é importante o Ca atingir os frutos, de preferência na região apical, onde se desenvolve a lesão.

Como visto na Tabela 7, as hortaliças são importantes fontes de vitaminas e sais minerais para a alimentação humana e a nutrição mineral afeta seus teores nos vegetais. Poucas são as informações encontradas na literatura a respeito do assunto. Mengel e Kirkby (2001) relatam que a concentração de caroteno em tomate e na cenoura aumenta com o suprimento de N e K; embora elevadas doses de N apresentem efeito inverso. Muller e Hippe (1987) verificaram que os efeitos dos nutrientes nos teores de vitaminas, podem apresentar intensidades bem distintas, dependendo da espécie. Em alface, ao se alterar o fornecimento de N de 0,75 para 1,5 g planta<sup>-1</sup>, houve um aumento de 62% no teor de vitamina C, enquanto que em espinafre europeu o incremento foi de apenas 15%. Já em couve-flor, no mesmo caso, constataram uma redução de 14% no teor dessa vitamina. Verificaram também, que o potássio estimulou a produção de vitamina C nas duas últimas espécies, ocorrendo o contrário com a alface.

Aspectos das hortaliças relacionadas ao tamanho, cor, forma, flavor e sabor são, também, importantes fatores de qualidade. As moléculas que conferem o sabor e o aroma, frequentemente, são produzidos durante a maturação. Deficiência de K promove uma maturação retardada e desuniforme do tomate, cujos frutos maduros permanecem com uma coloração verde-amarelada na base. Os locais do fruto onde o sintoma aparece, são duros e insípidos, tornando-os de baixa qualidade.

Grangeiro (2003) cita diversos trabalhos recentes, destacando o efeito da nutrição potássica na qualidade de algumas hortaliças. Em tomateiro, a adubação potássica incrementou o sabor e maturação, acidez, firmeza do fruto, teores de vitamina C e matéria seca, além de promover uma maturação mais uniforme dos frutos. Em melão, a aplicação

de K proporcionou maiores peso e comprimento dos frutos, crescimento na resistência da polpa e aumento no teor de açúcar; aumentos na espessura e resistência da casca e de sólidos solúveis foi observado para melancia. Em pimentão, Mannetti (2001) mostrou que o aumento nas doses de N na fertirrigação elevou os teores de sólidos solúveis e pectina e reduziu os de ácido cítrico, enquanto que o K promoveu uma redução nos teores desses compostos nos frutos de pimentão.

O *tipburn*, sintoma caracterizado pela queima dos bordos de folhas novas da alface, é uma desordem fisiológica causada pela deficiência de cálcio. O dano ocorre em fases mais próximas à colheita e pode trazer grandes prejuízos ao produtor, com depreciação do produto. Normalmente o *tipburn* ocorre nas épocas mais quentes do ano, mesmo sob condições de suprimento adequado de cálcio. Com a temperatura elevada, as folhas externas da alface transpiram intensamente, drenando através da corrente transpiratória via xilema, o cálcio absorvido pelas raízes, em detrimento das folhas novas. O miolo da alface, onde estão presentes as folhas mais novas, é um ambiente protegido dos ventos e praticamente saturado por vapor, principalmente na alface do tipo americana, não havendo, portanto, transpiração significativa por essas folhas. Como já discutido nos Capítulos 2 e 3, o cálcio sendo imóvel na planta, não se redistribui das folhas velhas para as novas, aparecendo nessas últimas os sintomas de deficiência.

A deficiência de B promovendo o lóculo aberto no tomate e o coração preto no repolho, também são bastante conhecidos.

Principalmente para as hortaliças de folhas e frutos, as características visuais são de extrema importância na comercialização dos produtos. Na Tabela 10 são apresentadas algumas características visuais desejáveis no comércio de São Paulo (Cooperativa Agrícola de Cotia, citado por Haag, 1992).

**TABELA 10. Características mais desejáveis para alguns produtos no comércio em São Paulo.**

Espécies	Diâmetro	Comprimento	Peso (g)	Coloração
	-----	cm		
Alface	15,0 – 17,0	10	400	verde-clara
Beringela	7 – 8	14 – 16	200 – 250	roxo-escura
Cenoura	3 – 3,5	16-20	100 – 150	Vermelha
Couve-flor	22 – 25	20	3.000	Branca
Pepino	4,5 – 5	20 – 23	350 – 400	Verde
Pimentão	6 – 7	12 – 14	180 – 200	Verde
Jiló	5	5	8	Verde

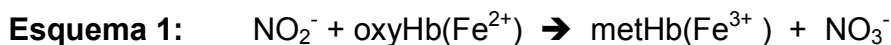
Fonte: Haag (1992).

#### 4.2.3. Acúmulo de nitrato em hortaliças e saúde humana

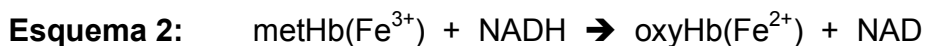
Como visto no Capítulo 3 (Tabela 3), o nitrogênio e o potássio são os nutrientes mais exigidos pelas culturas, exigindo aplicações de doses elevadas nas adubações. E

isso, particularmente com relação ao N, tem trazido preocupações sob dois aspectos: primeiro pela contaminação de águas subterrâneas e dos mananciais e, segundo, pela elevação dos teores de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) nos alimentos, principalmente naqueles de consumo *in natura* como as hortaliças e frutas.

As hortaliças folhosas, dentre elas a alface, espinafre, repolho, tendem a acumular o nitrato nos seus tecidos. A toxidez do nitrato em humanos, por si é baixa, mas de 5 a 10% do  $\text{NO}_3^-$  ingerido na alimentação é convertido a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) na saliva bucal ou por redução gastro-intestinal (Boink e Speijers, 2001). O nitrito, entrando na corrente sanguínea oxida o ferro ( $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ) da hemoglobina, produzindo a metahemoglobina:



Esta forma de hemoglobina é inativa e incapaz de transportar o  $\text{O}_2$  para a respiração normal das células dos tecidos, causando a chamada metahemoglobinemia (Wright e Davison, 1964), e as células sofrem por anoxia. Leifert et al. (1999) destacam que em pessoas adultas, esse processo é reversível devido a ação da enzima Redutase da Metahemoglobina (RM) e com a participação do agente redutor NADH (Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo):



Já, crianças lactantes até três meses de idade, que nessa fase são deficientes na enzima RM e do cofator NADH, podem chegar à morte por asfixia, processo denominado de “síndrome do bebê azul”.

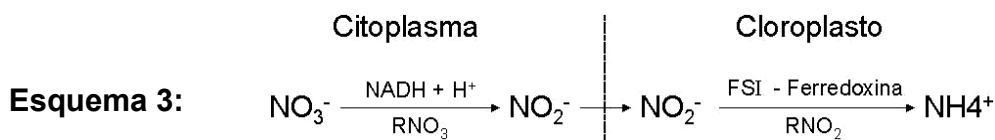
O nitrito pode, também, combinar com aminas formando nitrosaminas, as quais são mutagênicas e cancerígenas (Maynard et al., 1976). De acordo com Leifert et al. (1999), em sua recente revisão sobre o “efeito do nitrato sobre a saúde humana”, é pouco evidente a formação de altos níveis de nitrosaminas a partir de nitrito e aminas no sistema gastro-intestinal de humanos. Mengel e Kirkby (2001) comentam que se há síntese de nitrosaminas a partir do nitrito no trato digestivo de humanos, a quantidade produzida é extremamente baixa, na ordem de 1:20.000. Leifert et al. (1999) citam que os resultados de estudos epidemiológicos para estabelecer a relação entre a ingestão de nitrato e câncer gastro-intestinal são conflitantes e contraditórios. Alguns trabalhos sugerem essa hipótese, outros relatam que não há nenhum risco e outros afirmam que o consumo de vegetais com alto teor de nitrato reduzem a possibilidade de ocorrência de câncer gástrico. Esses autores relatam ainda, resultados de pesquisas comparando a morte por câncer gástrico de grupos de pessoas vegetarianas e não vegetarianas. Os vegetarianos ingerem cerca de 135 a 185 mg de nitrato por pessoa por dia e os não vegetarianos, de duas a três vezes menos, em torno de 61 mg por dia. Mas, o número de morte por câncer gástrico é menor no grupo de vegetarianos em cerca de 20 a 40%. Lembrem, também, que os vegetais e frutos são fontes de ácido ascórbico, um conhecido agente redutor inibidor da formação de nitrosaminas.

---

Um outro efeito do nitrito na saúde humana é a diminuição da pressão sanguínea, devido sua conhecida propriedade vaso-dilatador (Boink e Speijers, 2001). Esses autores sugerem que nessas condições (pressão baixa), a hipertrofia (aumento do tamanho das células) observada na glândula supra-renal, é uma resposta fisiológica do organismo à queda da pressão e não devido a um efeito tóxico do nitrito. Citam, também, que a atribuição de um papel importante do nitrito na indução de tumores cancerígenos é um equívoco.

Na União Européia (UE) o máximo teor permitido de nitrato em espinafre é de 2.500 a 3.000 mg kg<sup>-1</sup> de produto fresco; em alface de 3.500 a 4.500 mg kg<sup>-1</sup> de peso fresco e no espinafre congelado de 2.000 mg kg<sup>-1</sup> de produto processado (Boink e Speijers, 2001). De acordo com a FAO, para os humanos, o Índice de Máxima Ingestão Diária Admissível para o nitrato e nitrito é de 5 mg kg<sup>-1</sup> e de 0,2 mg kg<sup>-1</sup> de peso corporal, respectivamente.

Para ser metabolizado pela planta, ou seja, incorporado a compostos orgânicos formando aminoácidos, proteínas e outros compostos nitrogenados, o nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) absorvido pelas raízes deve ser necessariamente reduzido para amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Esta redução, na maioria das plantas ocorre nas folhas e em duas etapas: a primeira no citoplasma, onde o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> passa para NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, e é mediada pela enzima Redutase do Nitrato (RNO<sub>3</sub>); a segunda nos cloroplastos, onde o NO<sub>2</sub><sup>-</sup> passa para NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, mediada pela Redutase do Nitrito (RNO<sub>2</sub>). No primeiro estágio, o agente redutor é o NADH, originado na respiração, e no segundo estágio, nos cloroplastos, o agente redutor é a Ferredoxina, cujos elétrons são originados no Fotossistema I (FSI) da fase clara da fotossíntese:



Assim, o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> absorvido pelas raízes, reduzido a NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, é incorporado a compostos orgânicos, formando os diversos compostos nitrogenados da planta.

Diversos são os fatores que afetam a redução e o conseqüente acúmulo de nitrato nas plantas, citando-se os genéticos e os ambientais. Dentro dos ambientais, o suprimento de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> às plantas e a intensidade luminosa são os mais importantes.

O sistema de cultivo pode, também, afetar o teor de nitrato nas hortaliças. Encontram-se na literatura muitos trabalhos comparando sistemas de produção de alface (convencional, orgânico e hidropônico) no acúmulo de nitrato na cultura. Recentemente, Miyazawa e colaboradores (Miyazawa et al., 2000; Miyazawa et al., 2001) fizeram um levantamento dos teores de nitrato em folhas de alface produzidas nos três sistemas de produção citados, cujas amostras foram coletadas de produtores da região de Londrina-PR. Os resultados publicados pelos autores mostraram que, mais de 70% das amostras da alface hidropônica apresentaram teores de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> entre 6.000 a 12.000 mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca (MS) de folhas e apenas 3% tinham teores inferiores a 3.000 mg kg<sup>-1</sup> de MS. No sistema orgânico, apenas 25% das amostras apresentaram teores superiores a 3.000

mg kg<sup>-1</sup> de MS; o sistema convencional, apresentou resultados intermediários, com 42% das amostras entre 3.000 e 6.000 mg kg<sup>-1</sup> de MS.

Baseando-se nesses resultados, muitas notas alarmantes foram publicadas em algumas revistas impressas e eletrônicas, enaltecendo o risco de se consumir produtos obtidos em hidroponia, visto seu alto acúmulo de nitrato. Cita-se como exemplo, Boletim Pecuário, nº 306 de 11/10/2001, com o título: “Pesquisa demonstra o perigo no consumo de hidropônicos” ; ICEPA ([www.icepa.com.br/observatorio/noticias1001/no1110b.htm](http://www.icepa.com.br/observatorio/noticias1001/no1110b.htm)), com o título: “O consumo de hidropônicos é perigoso para a saúde” ; HortiCiência (Site da Sociedade de Olericultura do Brasil: [www.horticiencia.com.br/news2.asp?id=276](http://www.horticiencia.com.br/news2.asp?id=276) de 18/10/2001), com o título “Pesquisa demonstra perigo no consumo de hidropônicos” e Darolt, M. R. ([www.jornaldeagroecologia.com.br/textos/agroeco\\_190401.pdf](http://www.jornaldeagroecologia.com.br/textos/agroeco_190401.pdf)), com o título: “A qualidade nutricional do alimento orgânico é superior ao convencional?”

Mas, a interpretação dos resultados publicados por Miyazawa e colaboradores foi um grande equívoco, visto que a unidade de concentração de nitrato nas folhas de alface foi expressa na base seca e não na matéria fresca (MF) das folhas, como é estabelecido nos padrões internacionais, como citado para a União Européia. Assim, considerando que as folhas de alface apresentam 4% de matéria seca (Furlani et al., 1978; Fernandes et al., 2002), os reais teores de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na matéria fresca do trabalho de Miyazawa foram multiplicados por 25 vezes, quando foram expressos em matéria seca. E esse fato não foi observado e nem citado em nenhuma das notas alarmantes, publicadas por autores certamente leigos no assunto. Dessa maneira, os valores máximos de 12.000 mg kg<sup>-1</sup> de nitrato na matéria seca da alface hidropônica, citados no trabalho de Miyazawa, na realidade, correspondem à 480 mg kg<sup>-1</sup> de nitrato na matéria fresca, muito abaixo dos limites de 3.500 a 4.500 mg kg<sup>-1</sup> de matéria fresca estabelecidos pela UE. Nesse caso, para se atingir o Índice de Máxima Ingestão Diária Admissível, o consumidor de 70 kg deve comer mais de três cabeças de alface por dia e não apenas de 4 a 9 folhas, como erradamente citado em algumas das referidas notas.

Comprovação desse equívoco encontra-se no trabalho de Beninni et al. (2002), que compararam os teores de nitrato em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional, cujas amostras também foram obtidas em Londrina-PR. Observa-se que os resultados foram adequadamente expressos com base na matéria fresca de folhas (Tabela 11) e que os teores de nitrato em ambos os sistemas foram bem abaixo do padrão estabelecido pela legislação européia. Vários trabalhos recentes realizados no Brasil confirmam esses resultados, citando-se Mondin (1996) e Fernandes et al. (2002).

**TABELA 11. Teores de nitrato em alface cultivada em sistemas convencional e hidropônico.**

Sistema de cultivo	Nº de amostras	Teores de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> de Mat.Fresca)			
		Média	Máxima	Mínimo	Padrão
Convencional	30	939	1910	26	4500
Hidropônico	32	1588	2568	471	4500

Fonte: Adaptado de Beninni et al. (2002).

Em hidroponia, as soluções usadas são ricas em nitrato, na forma prontamente disponível e em condições favoráveis à absorção pelas raízes. Assim, os teores de nitrato nos produtos hidropônicos tendem a ser superiores aos observados nas plantas cultivadas em outros sistemas (Tabela 11), embora, Mondin (1996) tenha observado o contrário trabalhando com diversas cultivares de alface.

Uma forma para se tentar reduzir a absorção e o acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  pela alface hidropônica, seria a sua substituição pela forma amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ). Mas, o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) em concentração acima de 15% do N total da solução, reduz a produção e a qualidade visual da alface, como mostrado por Faquin et al. (1994) (Tabela 12).

A intensidade luminosa parece ser, dentre os fatores ambientais, o de influência mais marcante no acúmulo de nitrato em plantas. O acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  que ocorre quando as plantas são submetidas à baixa intensidade luminosa é bem documentado (Wright e Davison, 1964; Maynard et al., 1976). A explicação para esse acúmulo, que ocorre na ausência de luz ou baixa intensidade luminosa, é que nessas condições, não haveria nos cloroplastos, um fluxo de elétrons via ferredoxina suficiente para a redutase do nitrito ( $\text{RNO}_2$ ) reduzir o  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NH}_4^+$ , com o conseqüente acúmulo de  $\text{NO}_2^-$  (ver esquema 3). Esse acúmulo de  $\text{NO}_2^-$  (em baixas concentrações, pois é fitotóxico), promove uma inibição na atividade da redutase do nitrato ( $\text{RNO}_3$ ) no citoplasma, acumulando assim, o  $\text{NO}_3^-$  absorvido.

Desta maneira, em plantas cultivadas no solo, em vasos ou em “floating” com solução nutritiva e em hidroponia com circulação constante (dia e noite), ocorre um acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  durante a noite e redução do seu teor durante o dia. Foi o que mostraram Faquin et al. (1994), em alface cultivar Elisa, cultivada em vasos com solução n° 2 de Hoagland e Arnon (1939) diluída a 3/5 (Tabela 12). Observa-se que no tratamento onde todo o N da solução foi fornecido na forma de nitrato, o seu teor na matéria fresca das folhas das plantas colhidas às 16:00 h foi 40% menor em relação àquelas colhidas às 6:00 h. Desses resultados, conclui-se que para a alface cultivada no solo ou em solução nutritiva de circulação constante, uma forma prática de se reduzir os teores de  $\text{NO}_3^-$  na alface comercializada, seria realizar a colheita das plantas no final da tarde.

**TABELA 12. Efeito das relações  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  na solução nutritiva e do horário de colheita sobre o peso fresco da parte aérea e teores de nitrato na matéria fresca de folhas de alface.**

Relação $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$	Horário de Colheita			
	6:00h	16:00h	6:00h	16:00h
	Mat. Fresca ( $\text{g planta}^{-1}$ )		Teor de $\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ MF)	
100:00	300 a A	302 a A	1108 a A	680 a B
85:15	248 a A	250 a A	1032 a A	548 ab B
70:30	128 b A	123 b A	444 b A	256 c B
55:45	100 b A	98 b A	340 b A	312 bc A
40:60	115 b A	100 b A	328 b A	276 c A

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na mesma linha, para cada variável, não diferem entre si (Tukey 5%).

Fonte: Adaptado de Faquin et al. (1994).



Já nos sistemas hidropônicos de cultivos comerciais da alface (NFT), a circulação da solução nutritiva pelos canais de cultivo é efetuada apenas durante o dia (das 6:00 às 18:00 horas, por exemplo), e de maneira intermitente com intervalos de 15 minutos. À noite, a circulação por 15 minutos é usada apenas a intervalos de 3 a 4 horas. Assim, a quantidade de  $\text{NO}_3^-$  absorvida durante a noite é bastante pequena, não se esperando, nesse caso, um acúmulo significativo de nitrato nas plantas colhidas pela manhã em relação àquelas colhidas a tarde.

Esse fato foi confirmado por Faquin et al. (1996), que analisaram (de acordo com Cataldo et al., 1975) os teores de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) em folhas de alface cultivar Verônica, colhida aos 30 dias após o transplante (ponto comercial). A solução nutritiva utilizada foi a proposta por Furlani (1995), condutividade elétrica mantida entre 2,0 a 2,5  $\text{mS cm}^{-1}$  e pH de 5,5 a 6,5, monitorados diariamente. Durante o dia (das 6:00 às 18:00 h), houve circulação intermitente da solução com intervalos de 15 minutos e à noite, circulação por 15 minutos às 22:00 e 2:00 h. Os resultados obtidos foram os seguintes (média de 5 repetições):

- colheita às 6:00 h = 406,2  $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  em folhas frescas
- colheita às 16:00h = 436,9  $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  em folhas frescas

Concomitantemente, os mesmos autores analisaram os teores de  $\text{NO}_3^-$  em folhas de alface cultivar Regina, no ponto de comercialização, cultivada em solo sob estufa. A fertilização foi a seguinte: no canteiro – 150g  $\text{m}^{-2}$  de 4-14-8 e 5 litros  $\text{m}^{-2}$  de esterco de curral curtido; duas coberturas nitrogenadas com sulfato de amônio, totalizando 30mg  $\text{m}^{-2}$  de N. Os resultados foram (média de 5 repetições):

- colheita às 6:00 h = 459,9  $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  em folhas frescas
- colheita às 16:00 h = 370,6  $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  em folhas frescas

Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

- no período noturno não houve acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  na alface hidropônica, mas sim, uma diminuição no seu teor em torno de 7%;
- para a alface cultivada no solo sob estufa, na ausência de luz, houve um aumento do teor de  $\text{NO}_3^-$  em torno de 20%;
- considerando o acúmulo de  $\text{NO}_3^-$ , a colheita da alface hidropônica pode ser realizada a qualquer hora do dia;
- tanto para alface hidropônica quanto para a cultivada no solo sob estufa, os teores de  $\text{NO}_3^-$  estiveram, nas condições analisadas, bem abaixo dos limites máximos admitidos na Europa para essa hortaliça, não comprometendo, portanto, sua qualidade.

### 4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação foi de definida no início do item 4.1. Introdução, desse Capítulo. Assim, qualquer que seja a cultura, quaisquer que sejam as condições de solo e de clima, na

---

prática da adubação procura-se responder às perguntas (Malavolta, 1987): (1) o que?; (2) quanto?; (3) quando?; (4) como?; (5) pagará?; (6) efeito na qualidade do produto?; e, (7) efeito na qualidade do ambiente?

De maneira geral, a grande prioridade nos programas de pesquisas no Brasil, tem sido dada ao aumento da produtividade das culturas, visando atingir um volume de produção capaz de atender a demanda interna e criar excedentes para gerar divisas através das exportações e proporcionar lucros ao agricultor. Ou seja, os programas de pesquisas tem sido propostos com objetivos voltados para responder às cinco perguntas iniciais. Portanto, pesquisas visando responder às duas últimas perguntas – efeitos na qualidade do produto e do meio ambiente – têm sido relegadas à segundo plano. Apesar da importância da adubação das culturas quanto aos seus efeitos na produtividade, poucos estudos tem sido realizados sobre sua influência na qualidade do produto.

Sabe-se que o fator mais importante e maior para o aumento da produtividade é, certamente, o uso racional de corretivos agrícolas e fertilizantes, que associados a outros fatores de produção como sementes melhoradas, irrigação, controle de pragas e doenças, práticas culturais, criam condições favoráveis para atingir-se o objetivo final.

A estrutura da produção agropecuária no Brasil é tal que os produtos energéticos e, ou, exportáveis, são produzidos pelas grandes propriedades agrícolas com características empresariais, tais como elevado capital de giro, maior acesso ao crédito e aos insumos modernos, dentre eles os corretivos e fertilizantes. Esses fatos, associados ao grande interesse governamental na produção de energia renovável (álcool) e promover a exportação de produtos da agricultura e da agroindústria, produzem uma defasagem muito grande entre o setor da agricultura e da pecuária responsável pela produção de alimentos para o mercado interno e a agricultura empresarial voltada para os produtos de exportação

Dados oficiais evidenciam uma elevada participação de pequenos produtores na produção de alimentos tais como o arroz, feijão, milho, mandioca e hortaliças, que são a base da alimentação do brasileiro. Como a adubação e a nutrição mineral estão intimamente envolvidas com a qualidade interna e externa dos produtos agrícolas, certamente, os pequenos agricultores, que praticam uma agricultura de subsistência e de baixos insumos, produzem (e a população consome) produtos também de baixa qualidade nutricional e de baixa competitividade comercial, num mundo consumidor cada vez mais exigente.

Por todos estes aspectos, é importante que a influência da adubação na qualidade dos produtos agrícolas, seja avaliada dentro de um programa sistemático de pesquisa planejado, envolvendo esforços das diversas áreas do conhecimento como nutricionistas, melhoristas e especialistas em nutrição mineral, inclusive acompanhado de uma avaliação econômica, de tal forma que as iniciativas não dependam apenas da dedicação de pesquisadores isolados.

---

## DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DE HORTALIÇAS

---

### 5.1. INTRODUÇÃO

O solo (ou substrato, ou solução nutritiva) é o meio do qual as plantas, através da absorção radicular, obtém os elementos minerais essenciais. Quando o meio não tem e, ou, não fornece as quantidades adequadas dos nutrientes, o que tem sido avaliado pela análise química do solo, as plantas não terão as suas exigências nutricionais atendidas. Haverá, portanto, redução do crescimento e da produção das culturas devido a deficiência nutricional.

Assim, a avaliação do estado nutricional das plantas objetiva identificar os nutrientes que estariam limitando o crescimento e a produção das culturas. A técnica, nos seus diversos métodos, consiste basicamente, em se comparar uma planta, uma população de plantas ou uma amostra dessa população com um padrão da cultura em questão. O padrão seria uma planta “normal”, sem nenhuma limitação do ponto de vista nutricional e capaz de altas produções.

Os padrões nutricionais podem ser obtidos experimentalmente em cultivos sob condições controladas ou a campo e, também, em plantios comerciais, considerando-se a produtividade. De acordo com Malavolta et al. (1997), pode-se considerar como “padrão” culturas que apresentem uma produtividade de pelo menos três vezes a média nacional. Tais plantas, certamente, devem ter nos seus tecidos, todos os nutrientes em quantidades e proporções adequadas, não mostrando sintomas visíveis de carência.

Para um adequado monitoramento da fertilidade do solo e da nutrição vegetal, recomenda-se conciliar os métodos da análise de solo e da diagnose do estado nutricional das plantas, sendo os últimos, considerados complementares e nunca substitutivos ao primeiro.

### 5.2. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

Existem diversos métodos de avaliar o estado nutricional das plantas, sendo os principais a diagnose visual e a diagnose foliar, embora existam outros como os testes de

---

tecidos, análise da seiva, testes bioquímicos, teor de clorofila. Pela importância e aplicação prática, os dois primeiros serão aqui relatados com maiores detalhes.

### 5.2.1. Diagnóstico visual

A diagnóstico visual consiste em se comparar visualmente o aspecto (coloração, tamanho, forma) da amostra (planta, ramos, folhas) com o padrão. Na maioria das vezes o órgão de comparação é a folha, pois é aquele que melhor reflete o estado nutricional da planta. Como nas folhas ocorrem os principais processos metabólicos do vegetal, as mesmas são os órgãos da planta mais sensíveis às variações nutricionais.

Se houver falta ou excesso de um nutriente, isto se manifestará em sintomas visíveis, os quais são típicos para um determinado elemento. O motivo pelo qual o sintoma é típico do elemento, deve-se ao fato de que um dado nutriente exerce sempre as mesmas funções em qualquer espécie de planta. Esse é o princípio em que se baseia o método.

Deve-se ressaltar, que o sintoma visual de deficiência ou toxidez, é o último passo de uma série de problemas metabólicos, irreversíveis, e que quando aparecem, de maneira geral, a produção já foi comprometida. Pode haver situações em que o crescimento e a produção são limitadas, sem que a sintomatologia típica se manifeste. Trata-se então da chamada “fome ou toxidez oculta”, e ocorre quando a carência ou excesso são mais leves.

A seqüência de anormalidades ou passos que conduzem aos sintomas visíveis da deficiência ou do excesso de um dado elemento pode ser resumida (Malavolta et al., 1997):

Falta ou excesso  $\Rightarrow$  (1º) *alteração molecular*  $\Rightarrow$  (2º) *lesão subcelular*  $\Rightarrow$  (3º) *alteração celular*  $\Rightarrow$  (4º) *modificação no tecido*  $\Rightarrow$  (5º) *manifestação visível* = sintoma típico do elemento.

Exemplos:

a) *Deficiência de zinco*: manifesta-se nas plantas como encurtamento dos internódios, folhas novas pequenas, etc. Considerando suas funções nas plantas, a seqüência de eventos que leva a esses sintomas pode ser resumida:

- Zn  $\Rightarrow$  (1º) *alteração molecular*: < AIA, > hidrólise de proteínas  $\Rightarrow$  (2º) *lesão subcelular*: paredes celulares rígidas, < proteína  $\Rightarrow$  (3º) *alteração celular*: células menores e em menor número  $\Rightarrow$  (4º) *modificação no tecido*: órgãos menores  $\Rightarrow$  (5º) *manifestação visível*: internódios curtos, folhas novas pequenas.

b) *Toxidez por alumínio*: os primeiros sintomas aparecem nas raízes, as quais tornam-se curtas, grossas, pouco ramificadas e quebradiças. Considerando os efeitos da fitotoxidez de alumínio, esses sintomas podem ser conseqüência do seguinte:

+ Al  $\Rightarrow$  (1º) *alteração molecular*: formação de pectatos errados, < absorção de P, Ca, K e Mg, < fosforilação  $\Rightarrow$  (2º) *lesão subcelular*: paredes celulares rígidas, < divisão celular  $\Rightarrow$  (3º) *alteração celular*: células menores e com 2 núcleos e em menor

número  $\Rightarrow$  (4º) *modificação no tecido*: órgãos menores  $\Rightarrow$  (5º) *manifestação visível*: raízes curtas, grossas e pouco ramificadas.

#### 5.2.1.1. Indicações práticas

Os sintomas de origem nutricional, na prática, podem se confundir com outros gerados por fatores não nutricionais, o que dificulta o diagnóstico. Fatores bióticos e abióticos podem induzir sintomas parecidos com os nutricionais, citando-se pragas, doenças, climáticos (sol, ventos frios, seca), físicos do solo (compactação, afloramento de rocha, alagamento), toxidez por produtos químicos (herbicidas, adubos foliares, defensivos). Portanto, na prática da diagnose visual deve-se sempre considerar algumas indicações, que permitem minimizar a possibilidade de enganos no diagnóstico:

- a) *Generalização do sintoma* - se o sintoma visual for de origem nutricional, o mesmo aparece generalizado em todas as plantas da gleba, não o fazendo em uma ou outra planta ou em reboleira. Por exemplo, é comum em lavouras de café bem nutridas, se observar algumas plantas com crescimento reduzido, folhas amareladas, distribuídas aleatoriamente na plantação, cujo agente causal é a incidência de nematóides ou a existência de “pião torto” nas mudas. O aparecimento de reboleiras, de maneira geral, tem sua origem em manchas de afloramento de rochas no terreno (solos rasos), acúmulo de água em depressões do solo (encharcamento), ataque de pragas ou doenças.
  - b) *Características do sintoma* - os sintomas de origem nutricional apresentam duas características obrigatórias, que podem ou não serem apresentadas pelos de origem não nutricional:
    - *simetria* - os sintomas de origem nutricional ocorrem de maneira simétrica na folha e entre folhas do mesmo par ou próximas no ramo, e aparecem independente da face de exposição da planta. Lesões simétricas em pares de folhas novas provocadas por ventos frios, insolação, toxidez por herbicida, ocorrem somente na face da planta exposta ao agente causal. Nesse caso, a outra face da planta estaria normal.
    - *gradiente* - refere-se às diferenças de coloração entre folhas velhas e novas do ramo, devido à redistribuição dos nutrientes na planta. A Tabela 2 (Capítulo 2), mostra que se o nutriente for móvel, em condições de carência a planta promove sua remobilização das folhas velhas para as novas ou frutos, e os sintomas se manifestam nas folhas velhas. O contrário ocorre com os nutrientes pouco móveis e imóveis, para os quais os sintomas ocorrem nas folhas novas. Alguns nutrientes promovem sintomas muito parecidos entre si e o gradiente é uma importante ferramenta para um diagnóstico mais seguro. Por exemplo: N e S - clorose (amarelecimento) generalizada no limbo foliar; Mg e Mn - clorose internerval; K e Ca - clorose e posterior necrose nos bordos das folhas. De cada exemplo, os primeiros, por serem móveis, os sintomas ocorrem em folhas velhas
-

e os segundos, por serem pouco móveis ou imóveis (caso do Ca), os sintomas ocorrem nas folhas novas.

#### 5.2.1.2. Descrição dos sintomas visuais

Como já relatado, o sintoma de deficiência nutricional é típico para um determinado elemento e que as folhas, de modo geral, são os órgãos que refletem melhor o estado nutricional da planta. A Tabela 13 mostra uma chave geral de sintomas de deficiência e de toxidez que as plantas manifestam. É importante destacar que os sintomas podem apresentar variações de uma para outra espécie e, em algumas, pode se manifestar em outro órgão que não a folha, como a podridão apical no fruto do tomateiro e de outras hortaliças, por deficiência de cálcio.

**TABELA 13. Chave geral para identificação dos sintomas de deficiências (-) e excessos (+).**

Sintoma	Causa mais provável
<b>Folhas ou órgãos mais velhos</b>	
1. Clorose em geral uniforme (dicotiledôneas)	- N
2. Cor verde azulada com ou sem amarelecimento das margens; arroxamento	- P
3. Clorose e depois necrose das pontas e margens; clorose internerval nas folhas novas (monocotiledôneas)	- K
4. Clorose internerval seguida ou não da cor vermelho-roxa	- Mg
5. Murchamento (ou não), clorose e bronzeamento	- Cl
6. Clorose uniforme, com ou sem estrangulamento do limbo e manchas pardas internavais; encurvamento (ou não) do limbo	- Mo
7. Cor verde azulada com ou sem amarelecimento das margens	+ Al
8. Pontuações pequenas e pardas perto das nervuras; coalescência, encarquilhamento e clorose; internódios curtos	+ Mn
9. Clorose mosqueada perto da margem, manchas secas perto das margens e na ponta	+ B
10. Manchas aquosas e depois negras no limbo entre as nervuras	+ Cu
11. Ver nitrogênio	- Co
<b>Folhas ou órgãos mais novos</b>	
1. Murchamento das folhas, colapso do pecíolo; clorose marginal; manchas nos frutos, morte das gemas	- Ca
2. Clorose geralmente uniforme	- S
3. Folhas menores e deformadas; morte da gema; encurtamento de internódios; superbrotamento de ramos; suberização de nervuras; fendas na casca	- B
4. Murchamento, cor verde azulada, deformação do limbo; encurvamento dos ramos; deformação das folhas; exsudação de goma (ramos e frutos)	- Cu
5. Clorose, nervuras em reticulado verde e fino	- Fe
6. Clorose, nervuras em reticulado verde e grosso, tamanho normal	- Mn
7. Lanceoladas (dicotiledôneas), clorose internerval, internódio curto; morte de gemas ou região de crescimento	- Zn
8. Necrose nas pontas	- Ni

Fonte: Malavolta et al. (1997).

A descrição dos sintomas de deficiência e toxidez mais comuns em algumas espécies olerícolas é apresentada na Tabela 14.

**TABELA 14. Descrição dos sintomas de deficiência (-) e toxidez (+) mais frequentes em algumas hortaliças.**

Hortaliça	Sintoma	Nutriente
Alface	Folhas novas com pontas queimadas.	- Ca
	Cabeças menores.	- Cu
Alho	Chochamento dos bulbos.	- B
Batata	Clorose, senescência precoce e queda das folhas velhas	- N
	Folhas velhas com folíolos enrugados, verde escuro e curvados para cima	- P
	Clorose e necrose nos bordos das folhas velhas	- K
	Folhas velhas amareladas entre as nervuras	- Mg
	Folíolos novos grossos e enrolados; morte de brotos laterais; tubérculos menores e coração negro	- B
	Folhas novas pequenas, eretas e margens curvadas para cima	- Zn
	Manchas marrons ou pretas no caule, pecíolo e ao longo das nervuras da página inferior das folhas	+ Mn
Brócolo	Escurecimento dos botões.	- B
Cenoura	Cavidades escuras nas raízes.	- Ca
Couve-flor e Repolho	Face abaxial das folhas velhas arroxeadas	- N
	Folhas velhas com curvamento dos bordos para cima, clorose nos bordos, clorose e necrose nos tecidos adjacentes à nervura principal.	- K
	Folhas novas com pintas claras, necrose nos bordos, morte da gema apical.	- Ca
	Escurecimento em manchas da “cabeça”; cavidades negras no interior do caule.	- B
	Estrangulamento do limbo.	- Mo
	Folhas novas pequenas e nervuras arroxeadas	- Zn
Melão	Folhas novas mais amarelas e encurvadas	- Mo
Tomateiro	Podridão estilar (fundo preto).	- Ca
	Enegrecimento interno (coração negro).	- Ca
	Amarelecimento entre as nervuras das folhas baixas.	- Mg
	Lesões negras e rachaduras dos frutos.	- B
	Frutos inchados.	+ N

### 5.2.1.3. Limitações da diagnose visual

A diagnose visual é um método bastante usado e o seu conhecimento é muito importante na atividade profissional do técnico em agropecuária. Mas, a mesma apresenta algumas limitações listadas a seguir:

- o uso do método é possível apenas quando os sintomas de deficiência ou toxidez se manifestam visualmente; nesse estágio, em geral, é inevitável a perda de produção;

- o método é qualitativo - permite o diagnóstico do nutriente limitante, mas não estabelece doses para sua correção;
- exige bastante experiência do técnico, com a cultura em questão;
- não permite o diagnóstico da “fome ou toxidez oculta”;
- não permite o diagnóstico de deficiências múltiplas, devido ao mascaramento dos sintomas típicos;
- confusão de sintomas de origem nutricional e não nutricional.

## 5.2.2. Diagnose foliar

### 5.2.2.1. Introdução

A análise química do solo, certamente, é a principal ferramenta para o diagnóstico da fertilidade do solo e estabelecimento da necessidade de correção e adubação das culturas. Mas, o solo é um meio complexo, heterogêneo e nele ocorrem inúmeras reações químicas, físico-químicas e microbiológicas, que influenciam a disponibilidade e o aproveitamento pelas plantas dos nutrientes aplicados com os fertilizantes. Os tecidos das plantas, por sua vez, mostram o seu estado nutricional num dado momento, de modo que a análise dos tecidos aliada à análise do solo permite um diagnóstico mais eficiente do estado nutricional da cultura e das necessidades de alterações no programa de adubação. A análise de tecidos torna-se mais importante ainda, no caso do N e dos micronutrientes, para os quais a análise do solo não está bem consolidada.

A diagnose foliar é um método em que se analisam os teores dos nutrientes em determinadas folhas, em períodos definidos da vida da planta, e os compara com padrões nutricionais da literatura. Como já foi dito, na folha ocorrem os principais processos metabólicos, portanto, é o órgão que melhor representa o estado nutricional da planta.

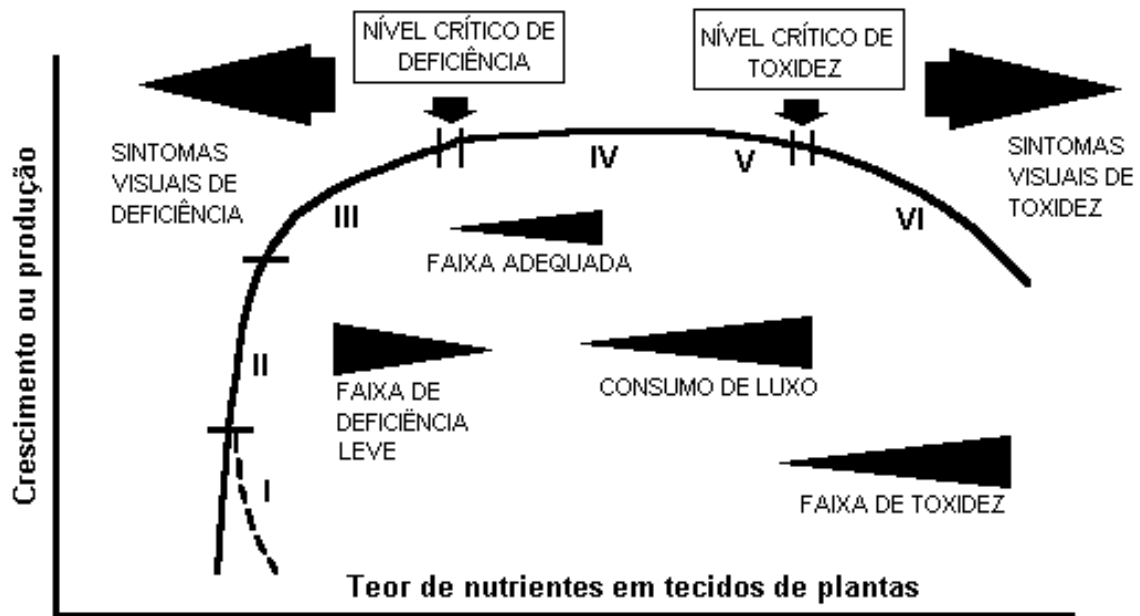
O uso da diagnose foliar baseia-se nas premissas de que existem, dentro de limites, relações diretas entre:

- a) dose de adubo e produção;
- b) dose de adubo e teor foliar e,
- c) teor foliar e produção.

O entendimento da premissa c, ou seja, da relação entre o teor foliar e o crescimento ou produção da planta, é essencial para a interpretação dos resultados da análise foliar. A Figura 11, é uma representação geral típica de todas as situações que podem ocorrer. Visto que tanto o teor foliar quanto a produção são função da fertilidade do solo ou da dose do adubo, para melhor entendimento da relação expressa na Figura 11, será usada a Figura 12, que relaciona a dose do adubo e a produção da cultura. Resumidamente, caminhando na Figura 12 da esquerda para a direita tem-se os seguintes segmentos:

---

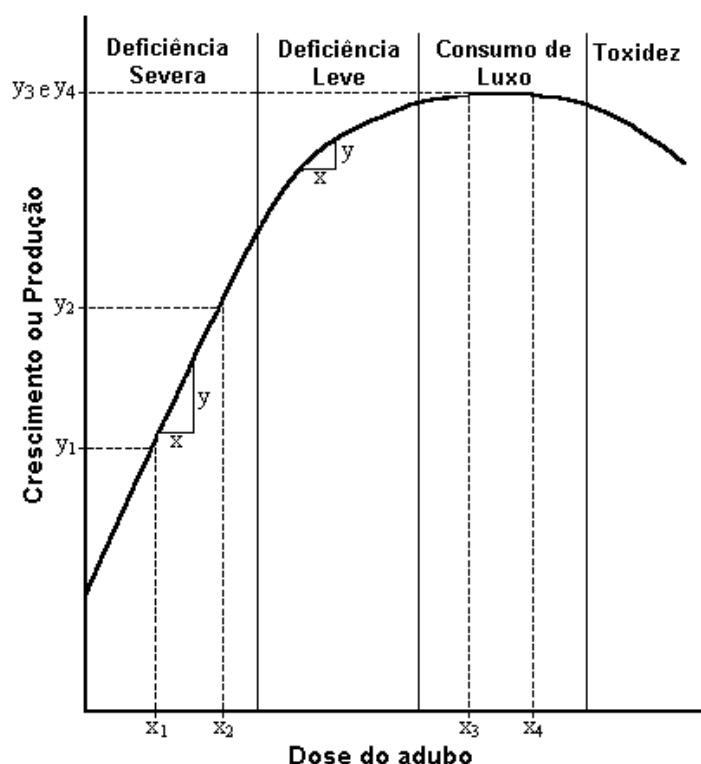




**FIGURA 11.** Representação geral típica da relação entre o teor foliar e o crescimento ou produção das plantas (os segmentos representam: I e II – deficiência severa; III – deficiência leve; IV e V – consumo de luxo e VI - toxidez) (adaptado de Marschner, 1995).

**I e II) Curva em “C”** - corresponde a uma faixa da relação onde há pequena variação do teor foliar (eixo do x) e grande variação no crescimento ou produção (eixo do y) (Figura 11). Isto ocorre em solos (ou substratos) muito deficientes no elemento que recebem doses (ainda insuficientes) do nutriente. Esse fato é ilustrado na Figura 12, na faixa de “deficiência severa” do nutriente do solo. Nessa condição, observa-se que a dose  $x$  do adubo, promove uma grande resposta ( $y$ ) em crescimento. Assim, embora haja absorção pela planta, do nutriente aplicado pelo adubo, o crescimento proporcionalmente maior não permite o aumento no teor foliar do elemento, podendo, inclusive, ocorrer diluição (Figura 11). Nessas faixas (I e II), de maneira geral, ocorrem sintomas visuais de deficiência. Na prática, pode-se encontrar duas lavouras (da mesma espécie) com teores foliares semelhantes e crescimento significativamente diferentes, uma maior outra menor (Figura 11). Explica-se esse fato com o uso da Figura 12: a dose  $x_2$  do adubo possibilita maior produção ( $y_2$ ) em relação à dose  $x_1$  e produção  $y_1$ ; mas o teor foliar praticamente não varia devido à grande resposta em produção de massa nessa faixa de “deficiência severa” do nutriente no solo.

**III) Zona de deficiência leve** - nesse segmento ocorre relações diretas entre o teor foliar e o crescimento (ou produção) da planta (Figura 11). Essa relação é observada em solos (ou substratos) com deficiência leve do nutriente. Nessa condição (Figura 12), observa-se que a mesma dose  $x$  do adubo, agora promove menores rendimentos ( $y$ ) pela planta. Assim, na faixa III, ocorre um aumento proporcional entre o teor foliar do nutriente aplicado e a produção (Figura 11).



**FIGURA 12.** Relação entre a dose de adubo e crescimento ou produção das culturas (lei dos rendimentos decrescentes).  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  e  $x_4$  – doses do adubo aplicadas e  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$  e  $y_4$  – crescimento ou produção correspondentes à essas doses, respectivamente.

**IV e V) Zona de consumo de luxo** - corresponde a uma faixa da relação onde há uma grande variação no teor foliar (eixo do x) e pequena variação no crescimento ou produção (eixo do y) (Figura 11). Esse fato é observado em solos não deficientes do nutriente que recebem doses do elemento, mas sem nenhuma resposta em crescimento (Figura 12, consumo de luxo). Nesse caso, a planta absorve o nutriente aplicado mas não responde em crescimento, ocorrendo aumento da sua concentração (teor) nos tecidos da planta. Na prática, pode-se encontrar duas lavouras (da mesma espécie) com teores foliares significativamente diferentes e produções iguais (Figura 11). Esse fato também é ilustrado na Figura 12, na faixa de “consumo de luxo”, onde se observa que as doses  $x_3$  (menor) e  $x_4$  (maior), embora diferentes, promovem produções semelhantes ( $y_3$  e  $y_4$ ). Como a planta absorve mais o nutriente aplicado na maior dose ( $x_4$ ), o seu teor foliar será mais elevado, mas com a mesma produção obtida com a dose menor ( $x_3$ ). Os dois extremos da faixa de consumo de luxo são denominados de níveis críticos inferior ou de deficiência e superior ou de toxidez (Figura 11):

- *nível crítico inferior ou de deficiência* - é o teor (ou estreita faixa de teores) do nutriente na folha abaixo do qual a produção (ou crescimento) é reduzido e acima não é econômica.

- *nível crítico superior ou de toxidez* - é o teor (ou faixa de teores) acima do qual a produção é reduzida devido à toxidez.

**VI) Zona de toxidez ou desequilíbrio** - nesse segmento ocorre uma relação inversa entre o teor foliar (eixo do x) e o crescimento (eixo do y) da planta (Figura 11). Essa relação é observada em solos (ou substrato) com excesso do nutriente e que recebe doses do mesmo (Figura 12); a planta o absorve, aumenta o teor no tecido mas decresce o crescimento por causa da sua toxidez ou deficiência induzida de outro nutriente, devido ao desequilíbrio. Nessa faixa, normalmente ocorrem sintomas visuais de toxidez.

A curva completa apresentada na Figura 11, nem sempre é obtida na prática. Geralmente se conseguem apenas segmentos da mesma. Entretanto, em solos onde há grande limitação da disponibilidade de determinado nutriente, trabalhando-se com uma faixa de doses bastante ampla do mesmo, é possível observar esse tipo de resposta da produção ou crescimento, em função do teor foliar.

#### 5.2.2.2. Amostragem, preparo da amostra e análise química

Três são as etapas a serem cumpridas no uso da diagnose foliar: a *primeira*, refere-se à normatização da amostragem, preparo das amostras e análise química do material vegetal; a *segunda*, à obtenção dos padrões de referência comparativos; a *terceira* à interpretação dos resultados obtidos.

- Amostragem

A amostragem é a fase mais crítica do método e aquela que apresenta maior possibilidade de erro. Portanto, a sua execução deve ser cercada de muitos cuidados e seguir rigorosamente a padronização da literatura para a cultura em questão.

Como visto na Tabela 2 (Capítulo 2), a redistribuição (mobilidade) varia entre os nutrientes na planta. Assim, os teores adequados (níveis críticos) também podem variar com a idade da folha e da planta, em função dessa redistribuição. Por exemplo, com o aumento da idade da folha, há uma tendência dos teores dos nutrientes móveis diminuírem devido à migração para outros órgãos; ao contrário, para os imóveis e pouco móveis, a tendência é de aumento nos seus teores devido ao acúmulo. E esse aspecto leva a algumas implicações que devem ser consideradas na amostragem:

- a) O teor foliar adequado (nível crítico) em uma época pode não ser o mesmo em outra;
- b) Há, portanto, necessidade de padronização da amostragem considerando-se a idade da folha e da planta.

Assim, devido à interferência de diversos fatores sobre a composição da folha, a amostragem deve ser obtida de talhões homogêneos, em época adequada, retirando-se folhas de posições e idade definidas da planta e em número suficiente. Só assim, é que a mesma vai representar o estado nutricional da população e poder ser comparada com os padrões nutricionais existentes na literatura.

De maneira geral, a folha coletada é a “recém-madura” e entende-se como tal, aquela que completou o crescimento e ainda não entrou em senescência. Pode-se encontrar,

---

também, recomendações específicas para algumas culturas em se coletar toda a parte aérea (aipo) ou o pecíolo de folhas recém-maduras (berinjela).

A Tabela 15 mostra as recomendações padronizadas de amostragem para a diagnose foliar das principais hortaliças.

**TABELA 15. Recomendações de amostragem para diagnose foliar das principais hortaliças, raízes e tubérculos.**

Cultura	Época	Tipo de folha	Nº folhas
Abóbora	início da frutificação	9ª a partir da ponta	15
Agrião	meio do ciclo	folhas compostas do topo das plantas	25
Aipo	70 dias após trasplante	toda parte aérea	20
Alcachofra	180 dias após brotação	recém-madura	15
Alface	metade a 2/3 do ciclo	recém-madura	15
Alho	início da bulbificação	recém-madura, porção não branca	15
Aspargo	meio do ciclo	recém-madura	15
Batata	amontoa, 30 dias após plantio	3ª a partir da ponta	30
Batata-doce	60 dias após plantio	recém-madura	15
Berinjela	florescimento	pecíolo da folha recém-madura	15
Beterraba	meio do ciclo	recém-madura	20
Brócolos	formação de cabeça	recém-madura	15
Cebola	metade do ciclo	folha mais alta	20
Cenoura	metade a 2/3 do ciclo	recém-madura	20
Chicória	formação da 8ª folha	folha mais velha	15
Couve	meio do ciclo	recém-madura	15
Couve-flor	formação da cabeça	recém-madura	15
Ervilha	pleno florescimento	folha inteira recém-madura	50
Espinafre	30 a 50 dias	folha inteira recém-madura	20
Jiló	florescimento	recém-madura	15
Mandioca	3-4 meses do plantio	folíolos da folha recém-madura	30
Melancia	metade a 2/3 do ciclo	5ª a partir da ponta, fora o tufo apical	15
Melão	metade a 2/3 do ciclo	5ª a partir da ponta, fora o tufo apical	15
Morango	início do florescimento	3ª ou 4ª folha, recém-madura	30
Nabo	início engrossamento das raízes	recém-madura	20
Pepino	início do florescimento	5ª a partir da ponta, fora o tufo apical	20
Pimenta	florescimento/ metade do ciclo	recém-madura	25
Pimentão	florescimento/ metade do ciclo	recém-madura	25
Quiabo	início da frutificação (40-50 dias)	recém-madura	25
Rabanete	meio do ciclo	recém-madura	30
Repolho	formação da cabeça	recém-madura	15
Salsa	meio do ciclo	parte aérea	15
Tomate	1º fruto maduro	4ª a partir da ponta	25
Vagem	florescimento/ início frutificação	4ª a partir da ponta	30

Fonte: Adaptado de Silva (1999).

No campo, a prática da amostragem deve obedecer, também, a outros aspectos relevantes:

- na área homogênea, coletar as amostras caminhando em zigue-zague, observando sempre a padronização relativa à época e folha adequadas.
- evitar as plantas próximas de estradas e carreadores e aquelas com sinais de ataque de pragas e, ou, doenças.
- não misturar folhas de variedades diferentes.
- no caso de culturas enxertadas não misturar folhas de plantas que tenham copa ou porta-enxerto diferentes.
- não misturar folhas de idades diferentes.
- não amostrar quando em semanas antecedentes, aplicaram-se adubação no solo, adubação foliar, defensivos ou após períodos intensos de chuva.

Um outro aspecto interessante de se ressaltar, é que às vezes é necessário fazer a amostragem fora da época padronizada. Essa situação ocorre com frequência no campo, quando aparecem lavouras ou plantas menos desenvolvidas e, ou, com sintomas de anormalidade. Nesse caso, não se pode usar os valores ou padrões da literatura para se interpretar os resultados. Nessa situação, recomenda-se a criação de um padrão comparativo temporário, para aquela cultura e época em questão. Para tanto, deve-se colher amostras de folhas de uma lavoura próxima (ou mesmo plantas dentro da própria lavoura problema), da mesma espécie e de preferência de mesma variedade e idade, que visualmente apresente aspecto “normal”. Os resultados das análises das folhas das plantas “normais” constituem-se num padrão para a comparação com aqueles das plantas “anormais”. A variação no teor de um ou mais nutrientes entre as duas amostras, é uma indicação de um possível problema nutricional.

Essa técnica é, também, uma boa alternativa para o diagnóstico do estado nutricional de algumas espécies, para as quais ainda não foram estabelecidos seus padrões.

- Preparo da amostra

Após a obtenção da amostra no campo, a fase seguinte, também crítica e deve ser realizada com o maior cuidado possível, é o seu preparo, acondicionamento e remessa para o laboratório. Todo o sucesso da análise química laboratorial, depende, em grande parte, do procedimento de coleta do material e do tempo decorrido entre a coleta e a chegada. Recomenda-se que esse tempo seja o mais breve para que os processos de respiração e de decomposição não venham comprometer os resultados da análise. O ideal seria que a amostra chegasse ao laboratório no mesmo dia da coleta, acondicionada em saco plástico para transporte a baixa temperatura ou em sacos de papel.

Se o tempo entre a coleta e chegada no laboratório for superior a 24h, as amostras devem ser acondicionadas em sacos plásticos e colocadas em geladeira.

---

Toda amostra coletada deve ser identificada, com as informações contidas na sugestão seguinte, que deverá acompanhá-la até o laboratório:

- Sugestão de identificação da amostra

1. Identificação

Número:

Proprietário:

Propriedade:

Endereço:

Responsável pela remessa:

2. Descrição da amostra

Cultura:

Variedade:

Idade:

Data da amostragem:

Data da última pulverização:

Produto:

3. Nutrientes a analisar:

4. Recomendações desejadas:

Para a execução das análises, deve-se escolher laboratórios idôneos, que participam de programas de controle de qualidade. No Brasil, existem programas de controle de qualidade de laboratórios, coordenados por órgãos oficiais, os quais divulgam anualmente aqueles com padrões desejáveis de qualidade. Normalmente, os laboratórios credenciados, emitem seus resultados analíticos acompanhados de um selo de qualidade.

No laboratório, depois de registradas e identificadas, as amostras passarão por quatro operações antes de serem analisadas quimicamente: descontaminação, secagem, moagem e armazenamento.

A *descontaminação* é feita através da lavagem das folhas, objetivando a remoção de poeira, resíduo de adubos foliares e de defensivos, que certamente influenciarão os resultados.

Para amostras obtidas de lavouras que não foram pulverizadas, as folhas deverão ser lavadas em água corrente e posteriormente em água deionizada. Após a remoção do excesso de água em papel toalha, as amostras deverão ser condicionadas em sacos de papel identificados e levados para secar em estufa. No caso de amostras que foram obtidas de lavouras que receberam pulverização, a descontaminação deve ser mais cuidadosa. Para tal, após a lavagem com água corrente, as folhas devem ser lavadas rapidamente com uma solução de detergente neutro diluído a 0,1% (1 ml de detergente em 1 L de água destilada) com auxílio de um pedaço de algodão; em seguida enxaguadas diversas vezes em água deionizada.

---

Quando não houver possibilidade do envio das amostras ao laboratório rapidamente ou quando o encaminhamento será realizado via correio, a descontaminação seguida de uma pré-secagem deverá ser procedida no próprio local de coleta. Para a descontaminação, recomenda-se a lavagem das folhas usando-se os mesmos procedimentos descritos para o laboratório. A água destilada pode ser adquirida no comércio ou em postos de combustíveis. Na impossibilidade de sua aquisição, usar água filtrada. Após a lavagem, a amostra deverá passar por uma pré-secagem, expondo-se as folhas ao sol ou em forno doméstico regulado a uma temperatura branda (60-70° C). Para o encaminhamento ao laboratório, as amostras deverão ser acondicionadas em sacos de papel identificados.

No laboratório, as amostras lavadas serão imediatamente submetidas à *secagem* em estufas com circulação forçada de ar, com temperatura variando de 65-70° C, até peso constante (aproximadamente 72h). A secagem é necessária para a retirada da água dos tecidos, interrompendo-se, assim, a respiração e as atividades enzimáticas e microbiológicas responsáveis pelo processo de decomposição do material.

A *moagem* da amostra seca é feita, geralmente, em moinhos de facas de aço inoxidável, tipo Willey, passando em peneira de 1 mm de malha (20 mesh). A limpeza do moinho entre uma amostra e outra é necessária para evitar contaminação.

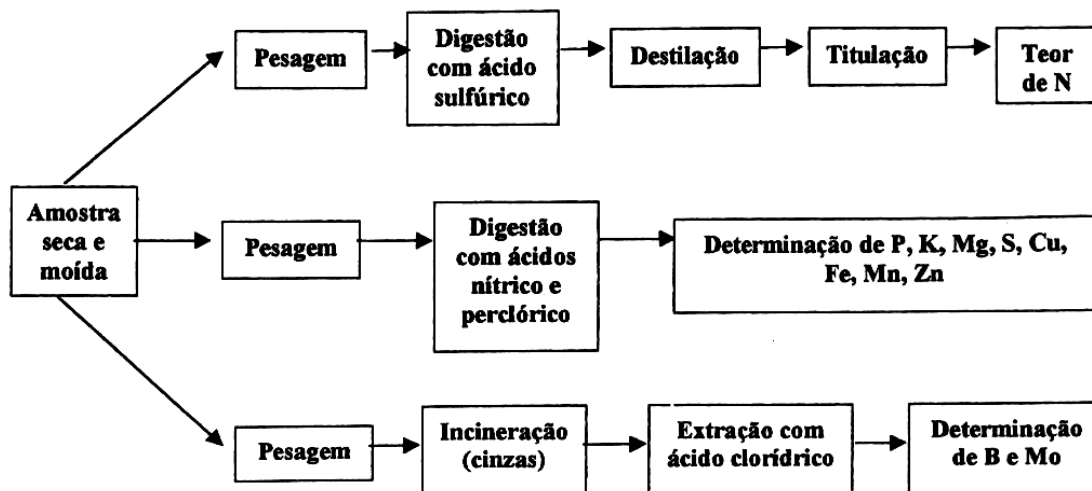
O *armazenamento* das amostras moídas, de maneira geral, é feito em frascos de vidros providos de tampa plástica. Dessa maneira, a amostra pode ser armazenada por longo período de tempo se mantida a baixa temperatura (4° C), protegida da luz e de umidade.

- Análise química do material vegetal

A análise química dos tecidos vegetais da amostra seca, refere-se às operações efetuadas no laboratório e compreende a mineralização ou destruição da matéria orgânica e quantificação dos elementos químicos que a compõem. A Figura 13 resume os passos que a amostra percorre no laboratório para essas determinações analíticas. A descrição detalhada das metodologias utilizadas na análise química não é objetivo desse trabalho e podem ser encontradas em diversas literaturas, citando-se algumas (Sarruge e Haag, 1974; Bataglia et al., 1983; Mills e Jones Jr., 1996; Malavolta et al., 1997; Silva, 1999).

É importante destacar que a pesagem das sub-amostras recomendadas na metodologia para as análises químicas, deve ser precedida de uma ressecagem e cuidadosa homogeneização da amostra. Isso é necessário para a eliminação da umidade eventualmente adquirida pela amostra durante o armazenamento e, também, para uniformização das partículas finas e grossas, principalmente quando as plantas possuem materiais fibrosos e não fibrosos.

---



**FIGURA 13.** Passos para a determinação analítica dos nutrientes em laboratório.

#### 5.2.2.3. Padrões de referências

Como já descrito na introdução geral desse capítulo, o padrão seria uma planta “normal” do ponto de vista nutricional e capaz de altas produções, obtido experimentalmente em condições controladas ou a campo e, também, em plantios comerciais. A obtenção e estabelecimento de padrões é uma atribuição da pesquisa, e a literatura específica apresenta padrões nutricionais para as principais culturas brasileiras. No item seguinte, exemplos de padrões serão apresentados para diversas espécies de hortaliças.

Também como ressaltado no item amostragem, na falta de padrões para uma determinada espécie ou haver a necessidade de diagnóstico fora da época padronizada de amostragem, podem ser criados padrões temporários para uma situação particular, empregando-se a análise de plantas com aspecto normal e que estejam produzindo bem.

Destaca-se, também, que o estabelecimento de padrões locais ou regionais para determinadas culturas de interesse, por institutos e órgãos de pesquisa, de assistência técnica e universidades, tem sido cada vez mais freqüente. A importância do estabelecimento desses padrões regionais será discutida com mais detalhes no ítem seguinte.

#### 5.2.2.4. Interpretação dos resultados da análise

##### ▪ Aspectos gerais

Os teores (ou concentração) dos nutrientes no tecido vegetal são sempre expressos na forma elementar: N, P, K, Fe, Zn, etc. As unidades usadas nos padrões e nos resultados analíticos para expressar os teores eram até recentemente, % para os macronutrientes (N, P,



K, Ca, Mg e S) e ppm para os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn). Atualmente, essas unidades foram substituídas por outras do Sistema Internacional: % por  $\text{g kg}^{-1}$  ou  $\text{dag kg}^{-1}$  de matéria seca (MS) e ppm por  $\text{mg kg}^{-1}$  de MS.

Como os padrões nutricionais de literaturas mais antigas e alguns laboratórios ainda expressam seus resultados analíticos usando as unidades anteriores, torna-se importante para comparações o conhecimento das relações entre elas:  $\text{g kg}^{-1}$  ( $= \% \times 10$  ou  $\text{dag kg}^{-1} \times 10$ ) e  $\text{dag kg}^{-1}$  ( $= \%$ );  $\text{mg kg}^{-1}$  ( $= \text{ppm}$ ).

Também não se deve confundir os termos “teor” e “conteúdo” de nutrientes. O teor refere-se à concentração, (por exemplo, %,  $\text{g kg}^{-1}$ ,  $\text{mg kg}^{-1}$ ), enquanto que o conteúdo refere-se à quantidade do elemento em um órgão, parte aérea, raízes, toda a planta (por exemplo,  $\text{g planta}^{-1}$ ,  $\text{mg planta}^{-1}$ ).

A interpretação da análise química dos tecidos da amostra é feita, basicamente, comparando-se os resultados emitidos pelo laboratório com os valores estabelecidos nos padrões da literatura. Na interpretação, é importante lembrar, que uma série de fatores do clima, do solo, da cultura, práticas culturais, pragas, doenças, dentre outros, influenciam a composição mineral dos tecidos vegetais. Assim, o teor de um nutriente dentro da planta é um valor integral de todos os fatores que interagiram para afetá-lo. Portanto, é fundamental na interpretação, que o técnico use toda sua experiência e conhecimento desses fatores local e regionalmente, visto que os padrões podem ter sido estabelecidos em condições bem diferentes daquela onde a amostra foi obtida. Novos dados obtidos em uma região específica, podem ser de grande valia para um ajuste dos padrões e levar a uma interpretação mais segura dos resultados.

Para os diversos métodos de interpretação, a diagnose foliar tem servido basicamente para o acompanhamento dos resultados da adubação (recomendada com base na análise química do solo), sendo nesse caso, uma interpretação apenas qualitativa. Principalmente em culturas perenes e em hortaliças, onde a adubação é aplicada parceladamente (Raij et al., 1996; Fahl et al., 1998; Ribeiro et al., 1999), a interpretação da análise foliar pode dar informações importantes para um ajuste no plano de adubação, estabelecido pela análise do solo. Nesse caso, a interpretação seria quantitativa. Mas, são poucas as informações sobre as quantidades de adubos que devem ser aumentadas, no caso da diagnose foliar indicar alguma deficiência, ou diminuídas, no caso de se detectar algum excesso.

Recomendações de doses de fertilizantes baseadas nos resultados da diagnose foliar são encontradas apenas para nitrogênio (para o qual não se faz análise de solo) em algumas culturas perenes, como é o caso do café e citros no estado de São Paulo (Raij et al., 1996) e para o café no estado de Minas Gerais (Guimarães et al., 1999).

Dessa maneira, o uso da diagnose foliar tanto para o acompanhamento dos resultados de adubação (qualitativo) quanto para recomendação ou ajuste no plano de adubação (quantitativo), pode representar grande economia de adubo e ganhos na produção.

---

- Métodos de interpretação

Há diversos métodos de se interpretar os resultados de análises foliares, dentre os quais os mais utilizados para a comparação são os níveis críticos e as faixas de suficiência. Existem outros como os fertigramas, DRIS, desvio percentual do ótimo, que também serão descritos.

- a) *Níveis críticos e faixas de suficiência*

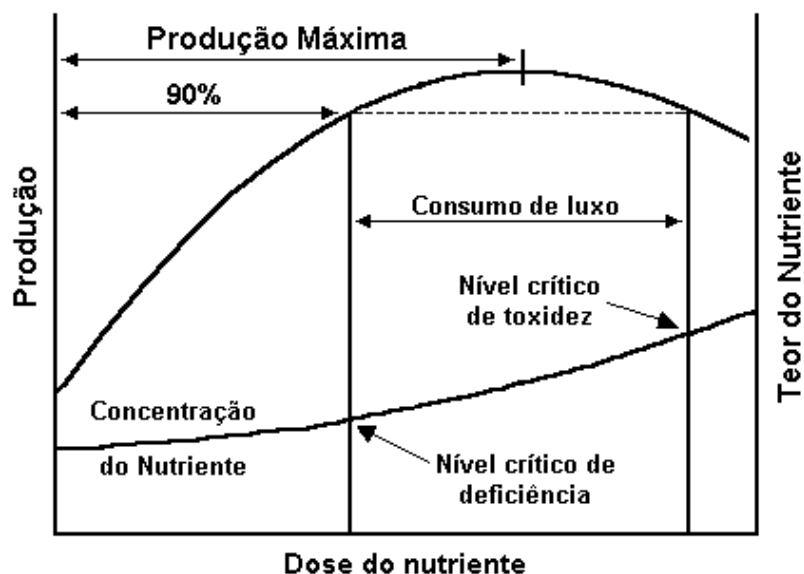
Nível crítico foi definido na introdução da diagnose foliar como “o teor (ou faixa de teores) do nutriente na folha abaixo do qual a produção (ou crescimento) é reduzida e acima não é econômica” (Figura 11). Na pesquisa, de maneira geral, o nível crítico tem sido estabelecido como o teor do nutriente na folha associado à 90 ou 95% da produção máxima da cultura, em resposta à doses crescentes de dado nutriente (Ulrich e Hills, 1967; Bouma, 1983; Alvarez V. et al., 1988), admitindo-se representar a máxima eficiência econômica. Isso quer dizer: não adianta usar adubo além de um dado nível ou quantidade pois, mesmo que a produção continuar a crescer, o aumento na colheita não paga o adubo adicional aplicado. Mas, há situações em que esse critério deve ser analisado, pelo valor da cultura em relação ao custo do fertilizante.

A pesquisa tem usado basicamente dois critérios no estabelecimento dos níveis críticos: equações de regressão e de Cate e Nelson (1965).

No critério das equações de regressão, usa-se relacionar as doses de um determinado nutriente aplicado ao meio com os seus teores foliares e o crescimento ou produção da cultura. A relação básica entre essas três variáveis é representada esquematicamente na Figura 14. Em seguida, busca-se relações matemáticas entre elas, geralmente modelos não lineares para doses e crescimento e lineares para doses e teores. Inicialmente, ajusta-se um modelo relacionando o crescimento ou produção (Y) em função das doses do nutriente aplicadas ao meio (X). A derivada primeira da equação obtida (Y') é igualada a zero, obtendo-se o ponto de máximo, que representa a dose do nutriente que propiciou a máxima produção ou crescimento da cultura. Substituindo-se esse valor na equação que relaciona os teores foliares do nutriente (Z) em função das suas doses aplicadas ao meio (X), obtém-se o teor foliar estimado (nível crítico) do nutriente associado ao crescimento ou produção máxima.

Para estimar o nível crítico para 90 ou 95% do crescimento ou produção máxima, o procedimento é semelhante, bastando estimar as doses do nutriente suficientes para esses níveis de produção e substituir esses valores na equação que relaciona os teores foliares do nutriente (Z) e as doses do mesmo aplicadas (X).

---



**FIGURA 14.** Relação básica entre a dose do nutriente aplicado, o teor foliar e a produção, com ilustração do nível crítico para 90% da produção máxima e o nível tóxico para redução de 10% da máxima por excesso.

Como exemplo, serão calculados os teores (níveis críticos) de potássio na matéria seca de pecíolos de folhas recém-maduras de batata, amostradas aos 48 dias após a emergência, associados à produção máxima, 99, 90 e 80% da produção máxima de tubérculos, utilizando-se os dados de Reis Júnior (1995). As relações entre a produção de tubérculos ( $Y$ , em  $\text{g planta}^{-1}$ ) e dos teores de K na matéria seca de pecíolos ( $Z$ , em  $\text{dag kg}^{-1}$ ), em função das doses de K aplicadas ( $X$ , em  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ), são apresentadas nas equações 1 e 2, respectivamente:

$$Y = 555,8 + 18,8 X^{0,5} - 0,5 X \quad (\text{Eq. 1})$$

$$Z = 3,62 + 0,0203 X - 1,51 \cdot 10^{-5} X^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

Através da derivada primeira da Equação 1, estimou-se o valor da dose de K ( $X_{\text{máximo}}$ ), correspondente à produção máxima de tubérculos:

$$Y' = 18,8 - (0,5 \cdot X^{0,5}) = 0; \text{ assim: } X_{\text{máximo}} = 353 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de } \text{K}_2\text{O}$$

Substituindo-se o  $X$  da Equação 2 por 353, obtém-se  $Z = 8,91 \text{ dag kg}^{-1}$ , ou seja, o teor estimado de K (nível crítico) na matéria seca de pecíolos de folhas recém-maduras, associado à máxima produção de tubérculos da batata. Da mesma maneira, os valores estimados dos níveis críticos de K para 99, 90 e 80% da produção máxima seriam 7,41, 4,50 e 3,68  $\text{dag kg}^{-1}$ , respectivamente.

Assim, pode-se estabelecer para todos os nutrientes, faixas de teores foliares das culturas (faixas críticas), associadas a determinados percentuais de produtividade em relação à máxima. A Tabela 16, ilustra as faixas críticas de K em pecíolos de batata, usando-se os valores anteriormente calculados.

**TABELA 16. Faixas críticas de potássio em pecíolos de folhas recém-maduras da batata associadas a diferentes percentuais de produtividade em relação à produtividade máxima.**

Classe Nutricional	Teor de K (dag kg <sup>-1</sup> )	Produção (% da máxima)
Muito baixa	< 3,68	< 80
Baixa	3,68 – 4,49	80 – 89
Média	4,50 – 7,40	90 – 98
Suficiente	7,41 – 8,91	99 – 100
Alta	> 8,91	< 100

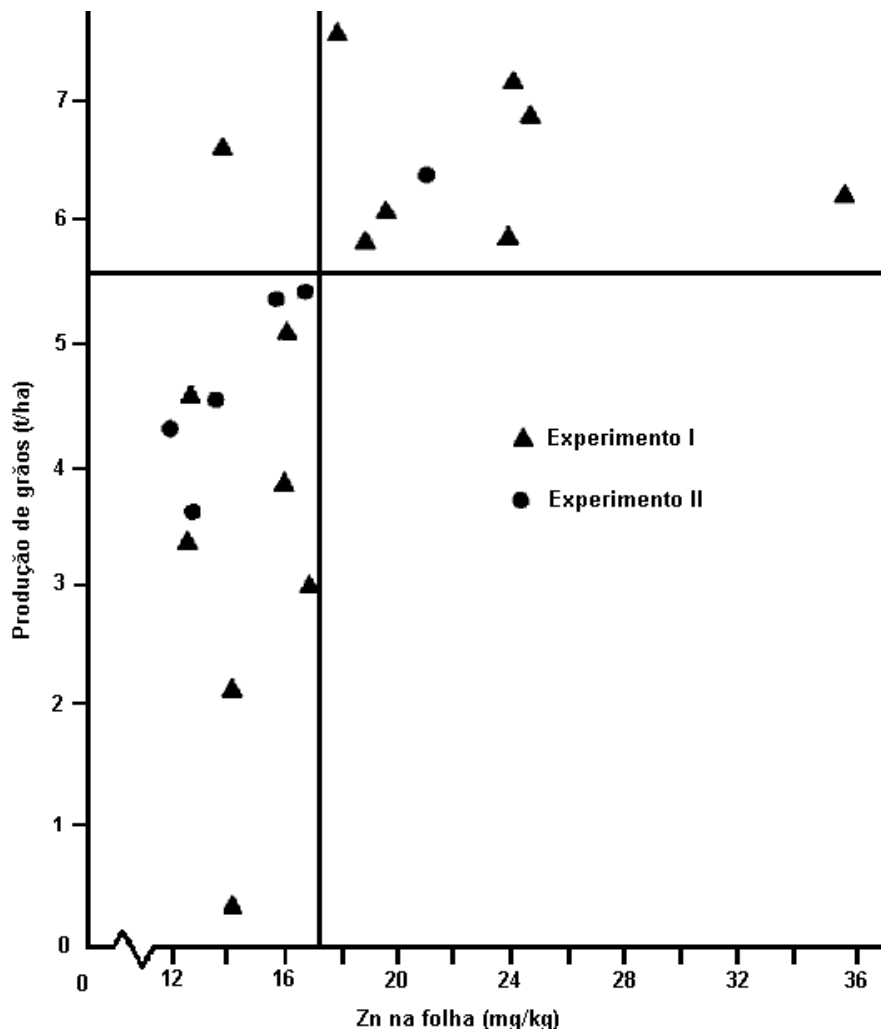
Fonte: Adaptado por Fontes (2001).

Alguns autores têm usado o critério de Cate e Nelson (1965) para estimar os níveis críticos, onde se procura ajustar duas perpendiculares em um gráfico que relaciona os teores foliares do nutriente e o crescimento ou produção da cultura, de modo que o máximo de pontos caia nos quadrantes positivos. A Figura 15 ilustra esse critério na determinação do nível crítico de zinco para o milho. Observa-se que a distribuição dos pontos, segue a curva básica que relaciona os teores foliares e a produção (Figura 11) e que o nível crítico estabelecido, considerando uma curva básica imaginária, fica pouco abaixo da produção máxima.

Como já foi descrito, os teores foliares dos nutrientes são influenciados por diversos fatores, e isso dificulta o diagnóstico do estado nutricional da lavoura, comparando os valores da amostra com um único valor numérico do padrão, definido como nível crítico. Assim, para boa parte das culturas, os padrões da literatura têm apresentado não apenas um valor crítico pontual dos nutrientes nas folhas, mas um estreito intervalo de teores denominado de “faixas de teores adequados”, “faixas de suficiência” ou “faixas críticas”. Em relação ao nível crítico, a adoção de faixas de suficiência melhora a flexibilidade na diagnose, embora haja perda na exatidão, principalmente quando os limites das faixas são muito amplos. A Tabela 16 é um bom exemplo de como essas faixas são estabelecidas, cujos valores, normalmente, são associados à diferentes percentuais de produtividade em relação à produção máxima.

Embora muito esteja por ser feito em relação ao estabelecimento de padrões nutricionais, e que os valores obtidos regionalmente são cada vez mais importantes, reduzindo-se os efeitos de fatores tais como clima, solo, tratos culturais, dentre outros, já existem muitas informações sobre níveis críticos e faixas de suficiência para as culturas mais importantes do Brasil. Citam-se como referências mais abrangentes e recentes, Malavolta et al. (1997), Silva (1999) e Martinez et al. (1999). As Tabelas 17 e 18, respectivamente para os

macro e micronutrientes, trazem os níveis críticos ou faixas críticas para as principais hortaliças.



**FIGURA 15.** Uso do critério de Cate e Nelson na determinação do nível crítico de zinco em folha de milho (Ritchey et al., 1986).

Esses valores têm sido usados como guia básico para interpretação do estado nutricional das hortaliças. Para tal, faz-se a comparação dos teores dos nutrientes na amostra em teste com o padrão (Tabelas 17 e 18). Se o teor de dado nutriente apresentar um valor igual ou ligeiramente superior ao nível crítico ou faixa crítica do padrão, considera-se que a cultura está bem nutrida no nutriente em questão; se estiver abaixo ou acima, considera-se que a planta poderá apresentar problemas nutricionais relativos à deficiência ou toxidez do mesmo, respectivamente.

**TABELA 17. Faixas de teores adequados de macronutrientes das principais hortaliças, raízes e tubérculos.**

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S
Abóbora	30-40	4-6	25-45	25-45	5-10	2-3
Agrião	40-60	7-13	40-80	10-20	2-5	2-4
Aipo	20-30	4-6	60-80	25-40	3-6	2-3
Alcachofra	25-35	4-5	25-40	20-25	5-15	-
Alface	30-50	4-7	50-80	15-25	4-6	1,5-2,5
Alho	35-50	3-5	35-50	6-12	2-4	4-6
Aspargo	30-50	3-6	20-40	10-20	3-7	2-4
Batata	40-50	2,5-5	40-65	10-20	3-5	2,5-5
Batata-doce	33-45	2,3-5	31-45	7-12	3-12	4-7
Berinjela	40-60	3-12	35-60	10-25	3-10	-
Beterraba	30-50	2-4	20-40	25-35	3-8	2-4
Brócolos	30-55	3-8	20-40	12-25	2,5-6	3-8
Cebola	25-35	2-4	30-50	15-30	3-5	5-8
Cenoura	20-30	2-4	40-60	25-35	4-7	4-8
Chicória	40-50	4-7	50-60	15-25	2,5-5	-
Couve	30-55	3-7	20-40	13-25	2,5-7	-
Couve-flor	40-60	4-8	25-50	20-35	2,5-5	-
Ervilha	40-60	3-8	20-35	12-20	3-7	-
Espinafre	30-60	3-4	30-60	25-40	6-10	4-7
Jiló	45-60	3-7	20-50	12-25	2,2-5	-
Mandioca	45-60	2-5	10-20	5-15	2-5	3-4
Melancia	25-50	3-7	25-40	25-50	5-12	2-3
Melão	25-50	3-7	25-40	25-20	5-12	2-3
Morango	15-25	2-4	20-40	10-25	6-10	1-5
Nabo	35-50	3-6	35-50	15-40	3-10	-
Pepino	45-60	3-12	35-50	15-35	3-10	4-7
Pimenta	30-45	3-7	30-50	15-35	3-12	-
Pimentão	30-60	3-7	40-60	10-35	5-12	-
Quiabo	35-50	3-5	25-40	35-45	6-9	2,5-4
Rabanete	30-60	3-7	40-75	30-45	5-12	-
Repolho	35-50	4-7	30-50	15-30	4-7	3-4
Salsa	30-50	4-8	25-40	7-20	2-5	-
Tomate	40-60	4-8	30-50	14-40	4-8	3-10
Vagem	40-60	3-7	25-40	15-30	3-8	2-5

Fonte: Adaptado de Silva (1999).

**TABELA 18. Faixas de teores adequados de micronutrientes das principais hortaliças, raízes e tubérculos.**

Cultura	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	$\text{mg kg}^{-1}$					
Abóbora	25-60	10-25	60-200	50-250	0,5-0,8	5-100
Agrião	25-50	6-15	50-100	50-250	-	20-40
Aipo	20-80	5-10	50-130	40-130	-	25-80
Alcachofra	40-80	10-20	60-200	50-250	0,5-1,0	25-60
Alface	30-60	7-20	50-150	30-150	0,8-1,4	30-100
Alho	30-60	5-10	50-100	30-100	-	30-100
Aspargo	50-120	7-20	50-300	50-250	-	20-100
Batata	25-50	7-20	50-100	30-250	-	20-60
Batata-doce	25-75	10-20	40-100	40-250	-	20-50
Berinjela	25-75	7-60	50-300	40-250	-	20-250
Beterraba	40-80	5-15	70-200	70-200	-	20-100
Brócolos	30-100	5-15	70-300	25-200	-	35-200
Cebola	30-50	10-30	60-300	50-200	-	30-100
Cenoura	30-80	5-15	60-300	60-200	0,5-1,5	25-100
Chicória	25-75	5-25	40-150	15-250	-	30-250
Couve	30-100	4-25	50-300	30-250	0,1-0,15	30-250
Couve-flor	30-80	4-15	30-200	25-250	0,5-0,8	20-250
Ervilha	25-60	7-25	50-300	30-400	0,6-1,0	25-100
Espinafre	40-100	5-25	60-200	30-250	-	25-100
Jiló	50-80	11-25	50-300	70-250	0,5-1,0	20-200
Mandioca	15-50	5-25	60-200	25-100	0,11-0,18	35-100
Melancia	30-80	10-15	50-300	50-250	-	20-60
Melão	30-80	10-15	50-300	50-250	-	20-100
Morango	35-100	5-20	50-300	30-300	0,5-1,0	20-50
Nabo	40-100	6-25	40-300	40-250	-	20-250
Pepino	25-60	7-20	50-300	50-300	0,8-1,3	25-100
Pimenta	30-100	8-20	50-300	30-250	-	30-100
Pimentão	30-100	8-20	50-300	30-250	-	30-100
Quiabo	40-80	15-25	60-120	40-80	0,5-0,8	40-80
Rabanete	25-125	5-25	50-200	50-250	-	20-250
Repolho	25-75	8-20	40-200	35-200	0,5-0,8	30-100
Salsa	30-100	5-15	50-300	25-250	-	25-100
Tomate	30-100	5-15	100-300	50-250	0,4-0,8	30-100
Vagem	20-60	10-30	50-300	50-300	0,4-0,8	30-100

Fonte: Adaptado de Silva (1999).

É importante lembrar, como descrito no item referente à amostragem, que no caso de culturas para as quais não se estabeleceram os padrões ou em casos de necessidade de amostragem fora da época padronizada, recomenda-se a comparação dos resultados da amostra de plantas supostamente com problemas nutricionais, com os obtidos de análises de plantas tidas como normais.

*b) Fertigrama foliar*

Os fertigramas foliares são gráficos que podem ser construídos pelo próprio técnico e servem para a interpretação do estado nutricional da cultura, permitindo, também, inferir-se sobre o equilíbrio nutricional da lavoura. Os gráficos são construídos com círculos concêntricos e por eixos radiais de igual número ao de nutrientes a serem plotados. Em uma altura comum e conveniente em cada eixo, são plotados os valores dos níveis críticos ou a faixa crítica do nutriente correspondente, usando-se as unidades de expressão do padrão e em uma escala adequada. Unindo-se os pontos dos níveis ou faixas críticas entre os eixos vizinhos, origina-se um polígono regular, padrão, que representa o estado nutricional adequado ou ótimo da cultura (faixa “hachurada” da Figura 16)

O uso do fertigrama assim construído, para a interpretação dos resultados analíticos de uma amostra é o seguinte: os valores dos teores foliares obtidos na amostra são plotados nos eixos correspondentes e os pontos dos eixos vizinhos são ligados entre si. A interpretação é feita pela comparação entre o polígono regular formado pela ligação dos pontos dos níveis ou faixas críticas e o formado pelos dados da amostra. Quanto mais regular e mais próximo do polígono padrão estiver aquele formado pelos dados da amostra, melhor é o seu estado e equilíbrio nutricional. A presença de picos e reentrâncias que se distanciam do círculo de níveis críticos indicam, respectivamente, excessos e deficiências, bem como um desequilíbrio nutricional.

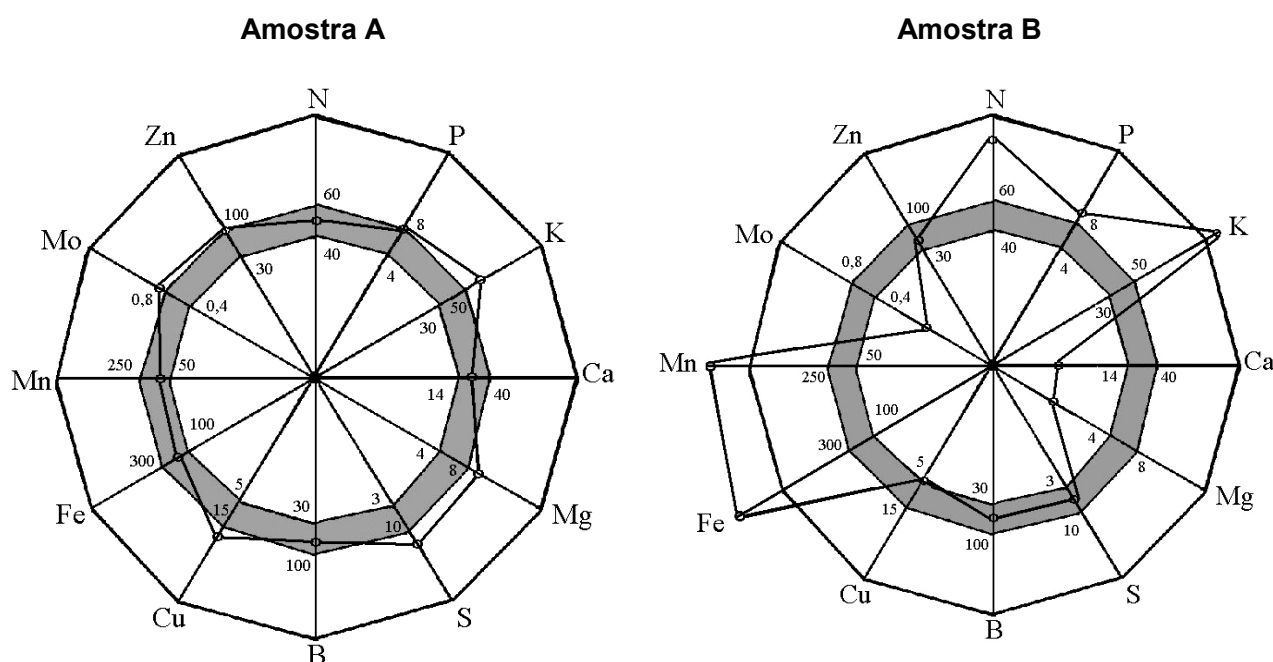
Um exemplo do uso prático do fertigrama foliar para o tomateiro é dado na Tabela 19 e Figura 16. Na amostra A, obtida de lavoura que recebeu calagem e adubação adequadas e, portanto, de alto potencial produtivo, observa-se que o polígono formado (Figura 16) apresenta-se regular e dentro ou bastante próximo do círculo “hachurado”, que representa o padrão nutricional da cultura (Tabelas 17 e 18). No entanto, o polígono formado pelos dados da amostra B, apresenta-se totalmente irregular, com inúmeros picos e reentrâncias, indicando excessos, deficiências e um total desequilíbrio nutricional e, conseqüentemente, baixo potencial produtivo.

**TABELA 19. Teores foliares dos macro e micronutrientes em duas lavouras de tomate, A e B.**

Amostra <sup>1</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>					
A	56	8	60	23	12	19	72	25	152	73	0,9	122
B	103	13	122	6	2	5	54	5	532	459	0,2	35

<sup>1</sup> Amostras de folhas recém-maduras com pecíolo por ocasião do primeiro fruto.





**FIGURA 16.** Fertigrama foliar do tomateiro; padrão = faixa hachurada: folha recém-madura com pecíolo por ocasião do primeiro fruto. Amostra A: cultura com equilíbrio nutricional adequado. Amostra B: cultura totalmente desequilibrada nutricionalmente.

Importante destacar, que seria desejável o uso de padrões (níveis críticos) obtidos de lavouras de alta produtividade da própria região, minimizando, assim, a influência de outros fatores como o clima, solo, tratamentos culturais, etc, nos teores foliares da cultura.

A análise foliar fornece, também, importantes informações sobre a fertilidade atual do solo e sobre o manejo da mesma dado pelo agricultor. Os resultados da amostra B (Tabela 19 e Figura 16), é um exemplo claro do mau manejo da fertilidade e, conseqüentemente, da nutrição da planta, dado pelo produtor. Os baixos teores foliares de cálcio e magnésio e os excessos de ferro e manganês, indicam que a cultura está implantada em solo ácido, com baixa saturação por bases, mas que a mesma recebeu adubação com N, P e K. Esse manejo inadequado da fertilidade, promovendo grande desequilíbrio nutricional (Figura 16), levará, inevitavelmente, à uma baixa produtividade da lavoura.

Assim, como já foi relatado, o uso da diagnose foliar como complementar à análise química do solo, tanto para o acompanhamento dos resultados de calagem e adubação quanto para a recomendação de ajustes no plano de adubação, pode representar grande economia de insumos e ganhos de produção.

No uso prático do fertigrama foliar, seria importante o técnico plotar em um mesmo gráfico, os dados da análise foliar da lavoura em anos consecutivos. Isso permitiria visualizar a evolução do estado nutricional da cultura e observar os ajustes que devem ser feitos no programa de adubação.

*c) DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação)*

Certamente, os critérios dos níveis críticos e das faixas de suficiência são os mais usados para a interpretação dos resultados da análise foliar. Essas técnicas apresentam a desvantagem dos nutrientes serem interpretados individualmente, não se considerando as interações entre eles, ou seja, o equilíbrio nutricional. Sabe-se, que a nutrição adequada da planta não é dada apenas pelos teores individuais de cada nutriente, mas, também, pela relação entre eles. O fertigrama foliar, embora permita inferências sobre o equilíbrio nutricional, trata-se de um método empírico.

O DRIS, desenvolvido por Beaufils (1973), é um método científico de interpretação da análise foliar que considera estritamente o equilíbrio nutricional. Para seu uso, inicialmente, são estabelecidas as normas ou padrões, que consistem no cálculo da média, da variância e do coeficiente de variação das relações dos nutrientes, dois a dois, para lavouras de referência (alta produtividade). Para a interpretação, fazem-se comparações entre as relações dos nutrientes da amostra com as médias das razões da população de referência (normas) obtendo-se, assim, os índices DRIS para cada nutriente da lavoura amostrada. Admite-se que essas relações apresentem menores variações com a idade da planta, do que os níveis críticos ou as faixas de suficiência.

O método DRIS não indica se um determinado nutriente encontra-se deficiente ou em concentração de toxidez, mas qual o nutriente mais limitante e a ordem de limitação dos nutrientes. Os índices DRIS podem assumir valores negativos - quando ocorre deficiência do nutriente em relação aos demais, ou positivos - quando o nutriente está com teor excessivo. O índice DRIS igual ou próximo de zero indica que o teor do nutriente está no valor ótimo em relação aos outros.

O DRIS fornece, também, um índice geral, que é o somatório absoluto (desconsiderando o sinal) dos valores dos índices dos nutrientes, chamado de Índice de Equilíbrio Nutricional (IEN) da amostra. Quanto menor o IEN, melhor será o equilíbrio entre os nutrientes da lavoura amostrada. O IEN permite a comparação do equilíbrio nutricional de diversas lavouras entre si ou da mesma lavoura em anos sucessivos.

De acordo com Baldock e Schulte (1996), as vantagens do DRIS são: a escala de interpretação do método é contínua e fácil de usar; os nutrientes são ordenados do mais limitante ao mais excessivo; há identificação de casos nos quais a produção está sendo limitada devido a um desequilíbrio nutricional, mesmo quando nenhum nutriente está com teor abaixo do nível crítico; o IEN permite comparar o equilíbrio nutricional de diversas lavouras entre si. Acrescenta-se a essas, é que o uso do quociente entre os teores de dois nutrientes, minimiza os efeitos de diluição e concentração. De acordo com os autores, as desvantagens são: o método exige um sistema computacional complexo (hoje bastante simples com o advento e evolução da informática); os índices não são independentes, ou seja, o teor de um nutriente influencia os índices dos outros.

Embora o DRIS permita o estabelecimento da ordem de limitação dos nutrientes da lavoura amostrada, avaliando a adequação das relações entre os nutrientes, o método não

---

permite o cálculo das quantidades de nutrientes a ser aplicada. Uma vez realizado o suprimento do nutriente mais limitante, não significa que o segundo elemento passará a maior limitação, pois as relações podem ser alteradas.

Resumindo: para o uso do DRIS, alguns passos ou etapas devem ser seguidas, que visam o estabelecimento dos padrões ou normas de uma lavoura de referência (de alta produção), cálculo dos índices DRIS de cada nutriente analisado na amostra e posterior interpretação. Detalhes de todas essas etapas são encontrados em Faquin (2002).

#### d) *Desvio Percentual do Ótimo (DOP)*

Esse método de interpretação da análise foliar apresenta como princípio, avaliar o estado nutricional da planta como o desvio percentual do teor de determinado nutriente na amostra de interesse, em relação ao padrão. Interessante nesse método é que o mesmo permite não somente a diagnose de determinado nutriente, mas também, uma interpretação do equilíbrio nutricional da cultura, pela posição percentual relativa do elemento no conjunto dos demais analisados na amostra.

O *Desvio Percentual do Ótimo (DOP)* proposto por Montañéz et al. (1993), consiste em calcular esse percentual através da seguinte equação:

$$DOP = [(C \cdot 100)/C_{ref}] - 100$$

onde:

C e  $C_{ref}$  = concentração ou teor do nutriente na amostra e no padrão, respectivamente.

Quando o valor do índice DOP apresentar um valor negativo, indica deficiência; valor positivo, indica excesso e valor zero, indica teor ótimo. Quanto maior o valor absoluto do índice, maior a severidade da deficiência ou excesso. A soma dos valores absolutos de todos os nutrientes da amostra, representa um índice do balanço ou equilíbrio nutricional da lavoura, o que permite a comparação de lavouras distintas entre si ou a mesma lavoura em anos sucessivos. O somatório com maior valor, representa também, maior desequilíbrio nutricional.

A interpretação dos índices obtidos para os nutrientes da amostra, pode ser feita através da classificação empírica sugerida a seguir (Malavolta et al., 1997):

- a) faixa de deficiência: -17 a -50%.
  - b) faixa abaixo do normal: -50 a -83%.
  - c) faixa normal ou adequada: -83 a 117%.
  - d) faixa acima do normal: 117 a 150%.
  - e) faixa de excesso: 150 a 183%.
-

### 5.2.3. Outros métodos de diagnóstico

#### 5.2.3.1. Testes de Tecidos e Análise da Seiva

Os *testes de tecidos* ou “spot tests”, são testes colorimétricos ou turbidimétricos rápidos, feitos na matéria fresca da planta no próprio campo. Eles permitem uma determinação semi-quantitativa ou aproximada das concentrações de alguns nutrientes que estão na seiva ou no suco celular na forma solúvel (iônica). Lembra-se que na análise foliar, são determinados os teores totais dos nutrientes nas folhas, ou seja, as formas solúveis e insolúveis (orgânicas e inorgânicas). A grande vantagem dos testes de tecidos é que a análise é feita no próprio campo e com resultados imediatos; embora haja muitas interferências de outros fatores não nutricionais como horário do dia, umidade do solo, temperatura, e isso exige do técnico bastante cuidado na aplicação da técnica e na interpretação dos resultados.

O princípio em que se baseia os testes de tecidos é que lavouras de alta produtividade devem apresentar no suco celular (ou seiva) teores solúveis dos nutrientes ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Zn}^{++}$ , etc.) maiores que plantas deficientes. Várias pesquisas têm demonstrado elevadas correlações entre os teores solúveis dos nutrientes na seiva com seus teores totais no limbo foliar, como citado para o  $\text{NO}_3^-$  por Guimarães (1998) para a batata, tomate, alface, brócolos e pimentão.

A técnica dos testes de tecidos se baseia em reações químicas entre o nutriente na forma iônica com reagentes específicos, havendo desenvolvimento de cor: quanto maior a concentração do nutriente na seiva ou suco celular, maior será a intensidade da coloração desenvolvida.

De acordo com Malavolta (1980), só se pode confiar nos resultados dos testes de tecidos quando as condições seguintes são atendidas:

- as reações são específicas para os nutrientes que se pretende determinar e os resultados dos testes podem ser facilmente reproduzidos;
- a análise é feita em um órgão ou parte da planta que reflete fielmente seu estado nutricional;
- os resultados obtidos foram calibrados com dados fornecidos por experimentos rigorosos em que o estado nutricional da planta era bem conhecido.

A aplicação prática dos testes é mais comum para o N, P e K, embora existam metodologias para o Ca, Mg, Zn, Cu, Fe e Mn. Não se pode pensar em substituir a análise foliar, que é um método mais desenvolvido e mais preciso, pelos testes de tecidos que são uma aproximação.

No Brasil, embora esses testes não encontrem uma utilização prática muito grande, são encontrados no mercado kits para análise de N ( $\text{NO}_3^-$ ), P ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) e K ( $\text{K}^+$ ). Os kits trazem os reagentes específicos para cada nutriente, os materiais necessários para a análise, manual de instruções e padrões de cores para a interpretação dos resultados.

---

Tal como relatado para a diagnose foliar, os testes de tecidos também exigem uma padronização da amostragem do tecido vegetal para análise, considerando-se o órgão - pecíolo, caule, nervura principal, limbo - e a época ou idade da planta. Uma importante lembrança de padronização refere-se ao horário do dia para se fazer a análise de  $\text{NO}_3^-$ . Como o nitrato, na maioria das plantas, é reduzido nos cloroplastos, o processo ocorre muito mais intensamente durante o período luminoso do dia e muito pouco à noite. Portanto, os teores de  $\text{NO}_3^-$  no suco celular varia drasticamente durante o período luminoso, sugerindo-se que sua análise pelo teste seja executada das 10:00 às 12:00 h. Deve-se evitar, também, analisar lavouras após longo período chuvoso, bem como sob déficit hídrico.

Os manuais dos kits de testes de tecidos trazem a padronização de amostragem (órgão e época) para algumas culturas e, também, os padrões de cores para a interpretação, apresentando uma classificação de “muito baixo, baixo, médio, bom, muito bom”. Para uma interpretação mais segura, é importante sempre comparar os resultados da lavoura que se pretende avaliar, com análises de lavouras de alta produtividade.

A Tabela 20, apresenta alguns exemplos ou recomendações de órgãos e épocas de amostragem, bem como de interpretação para algumas hortaliças.

**TABELA 20. Recomendações para os testes rápidos em tecido de algumas hortaliças.**

Cultura	Época de amostragem	Amostra	Interpretação		
			$\text{NO}_3$	$\text{PO}_4$	$\text{K}^{(*)}$
Alface	Formação da “cabeça”	Nervura principal de folha externa	A	A	A
Batata	Um mês e meio depois da emergência	Pecíolo da 4ª folha a contar da ponta	A	A	A
Batata-doce	Idem	Pecíolo 3ª e 5ª folha.	A	A	A
Couve-flor	Cabeça em formação	Pecíolo 3ª e 5ª folha	A	A	A
Melão e Melancia	Início da frutificação	Pecíolo da 6ª folha a contar da ponta	A	A	A
Repolho	Ver alface				
Tomate	Início da floração	Ver batata			

(\*) Níveis adequados: A = Alto, M = Médio.

Fonte: Adaptado de Malavolta (1980).

A *análise da seiva* é outro teste rápido de diagnóstico do estado nutricional das plantas. Recentemente, foram desenvolvidos equipamentos portáteis dotados de eletrodos específicos para análise de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , pH, na seiva das plantas, que podem ser usados diretamente no campo. Esses kits portáteis são fabricados pela Horiba, Inc., Kyoto, Japão. O método consiste em se coletar a seiva da planta através de micropipeta e colocar uma gota da mesma sobre o eletrodo do equipamento calibrado. O resultado expresso em ppm ( $\text{mgL}^{-1}$ ) é emitido em segundos. De acordo com Mills e Jones (1996), o equipamento é de difícil calibração e pode levar a resultados inconsistentes devido a interferência de outros íons e sensibilidade à variações de temperatura, como ocorre sob condições de campo e casa de

vegetação. Como relatado pelos autores, melhor seria seu uso em laboratório, trazendo-se as amostras de campo para essa condição. Destaca-se que nesse caso, o teste não seria tão rápido quanto se deseja.

A análise da seiva seria particularmente importante para o diagnóstico da nutrição nitrogenada da planta. Primeiro, devido a não realização de análise de solo para N e, assim, a sua recomendação é baseada em dados experimentais de doses. Segundo, devido à necessidade de parcelamento da adubação com o N, o que permite uma alteração no programa de adubação pré-estabelecido.

Lembra-se que em solos com pH corrigido, o  $\text{NO}_3^-$  é a forma mineral de N predominante e, assim, aquela preferencialmente absorvida e translocada pelas plantas. Portanto, a análise do  $\text{NO}_3^-$  na seiva informa o estado nutricional da planta em um dado instante e a capacidade atual do solo no suprimento do nutriente, permitindo interferências nos parcelamentos futuros.

Mas, tal como relatado para a análise foliar e para os testes de tecidos, a análise da seiva exige, também, uma padronização do órgão e da época ou idade da planta para análise. No caso do  $\text{NO}_3^-$ , um outro aspecto relevante já destacado, deve ser rigorosamente observado, é o horário da análise. Nesse sentido, poucas são as informações encontradas na literatura sobre a padronização da análise da seiva, bem como, sobre os teores adequados ou níveis críticos dos nutrientes. Guimarães (1998), realizou experimentos com tomate sob condições de campo e em estufa, objetivando estabelecer os níveis críticos de  $\text{NO}_3^-$  na seiva do pecíolo em diversas fases do ciclo da cultura. A Tabela 21 mostra os resultados do experimento de campo conduzido de forma tradicional (irrigação por sulcos e adubação nitrogenada de cobertura manual). Observa-se que os teores de  $\text{NO}_3^-$  nos pecíolos variam em função da folha amostrada, indicando a necessidade de padronização. Importante destacar, também, que embora os valores dos coeficientes de correlação não tenham sido elevados (variaram de 0,509\*\* a 0,673\*\*), os autores observaram uma correlação altamente significativa entre os teores de  $\text{NO}_3^-$  na seiva e a produção de frutos extra e total, para todas as folhas (épocas) amostradas.

**TABELA 21. Níveis críticos de  $\text{NO}_3^-$  na seiva e na matéria seca do pecíolo e de N-orgânico na matéria seca do limbo das folhas opostas (F1, F2, F4, F5, F6 e F7) aos cachos (1, 2, 4, 5, 6 e 7, respectivamente) do tomateiro.**

Folha amostrada	Determinação e material de análise		
	$\text{NO}_3^-$ na seiva	$\text{NO}_3^-$ na matéria seca	N-org na matéria seca
	$\text{g L}^{-1}$	$\text{g kg}^{-1}$	$\text{dag kg}^{-1}$
F1	4,93	18,9	5,86
F2	3,70	5,42	5,35
F4	3,16	6,45	4,87
F5	3,11	6,44	4,43
F6	3,96	7,79	3,92
F7	3,04	6,18	4,12

Fonte: Guimarães (1998).

### 5.2.3.2. Análise de Clorofila

Tem sido demonstrado que o teor de clorofila pode ser indicativo da concentração de N nas folhas das plantas, podendo se apresentar como um método de diagnóstico precoce da deficiência do nutriente.

Existe metodologia para extração e quantificação de clorofila em laboratório, embora destrutiva e mais demorada. Atualmente, a determinação do teor de clorofila tornou-se mais fácil pelo uso de medidores portáteis, usados no próprio campo. O modelo SPAD-502 da Minolta (Minolta Camera Co. Ltd., Japan) tem sido usado com sucesso para diagnosticar o status nitrogenado de culturas como o milho, batata, trigo, arroz, tomate, dentre outras.

Como o SPAD mede a maior ou menor intensidade de cor verde das folhas, o uso do aparelho exige a atenção para algumas condições que podem alterar os resultados (Malavolta et al., 1997):

- apenas o nitrogênio deve estar influenciando o teor de clorofila; a deficiência de outros nutrientes, por exemplo, o Fe, leva à diminuição de sua síntese e causa amarelecimento;
- a tonalidade da coloração verde varia com a espécie, cultivar, tipo e idade da folha, portanto, afetará a leitura;
- a parte da folha pode modificar a leitura;
- a padronização da leitura deve ser feita usando-se folhas com teor de N conhecido;
- em lugar da unidade SPAD dada pelo aparelho, na calibração pode-se usar aproximações:
  - leitura diferencial = [leitura em plantas bem nutridas em N e de alta produção (padrão)] - leitura da amostra.
  - Índice de suficiência =  $\frac{\text{Leitura da amostra}}{\text{Leitura padrão}} \times 100$

A Tabela 22 apresenta as recomendações de amostragem para algumas culturas para se efetuar a medida de clorofila.

Guimarães (1998) estabeleceu os níveis críticos da leitura SPAD nas folhas opostas aos sete primeiros cachos do tomateiro cultivado em estufa e a campo. Assim, os níveis críticos de leitura SPAD de 49, 48, 47, 46, 45, 44 e 43, no aparecimento do primeiro até o sétimo cacho, respectivamente, podem ser considerados como referência para a cultura. Para o milho, a leitura SPAD de 52 tem sido obtida em folhas nas épocas da antese e formação dos grãos.

É importante ressaltar, que todos os fatores que afetam o teor de clorofila, afetam a tonalidade verde da planta e, por consequência, os valores da leitura SPAD. Assim, os valores apresentados como limites entre suficiência e deficiência, ou seja, os níveis críticos, são apenas referenciais e precisam ser ajustados a cada condição.

---

**TABELA 22. Recomendações de amostragem de folhas para medir a clorofila.**

<b>Cultura</b>	<b>Amostra</b>
Arroz	Duas semanas antes ou depois da diferenciação da panícula; Folha mais recentemente expandida; Três quartos de distância da base para a ponta da folha; Valor adequado: >40
Batatinha	4ª ou 5ª folha da ponta da planta para baixo (a folha mais nova completamente expandida); Um mês depois do plantio, pouco antes da iniciação dos tubérculos; Valores adequados: entre 49 e 56
Macieira	Porção mediana do lançamento do ano, início da primavera; Leituras nos lados opostos à nervura principal, na parte mais larga da folha; Valores adequados: entre 45 e 55
Milho	Aparecimento do cabelo, folha abaixo da espiga principal; Leitura a 1,5 cm da margem da folha; Valores adequados: entre 45 e 48
Trigo	Meio do perfilhamento; Meio da primeira folha totalmente expandida a partir da ponta da planta; Valores adequados: entre 48 e 52

Fonte: Malavolta et al. (1997).

### 5.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise química do solo é, certamente, a ferramenta mais eficiente e segura que os técnicos e os produtores dispõem para a avaliação da capacidade do solo em fornecer nutrientes às plantas, recomendar quantitativamente as correções necessárias e, assim, prevenir problemas nutricionais das culturas. Mas, o solo é um meio heterogêneo física e quimicamente, com inúmeras reações químicas, físico-químicas e microbiológicas, que afetam o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas. A análise da planta, por sua vez, representa uma integração de todos os fatores que afetam a disponibilidade dos nutrientes no solo e o estado nutricional da cultura em dado momento.

A análise do solo é bastante eficiente para avaliar a reação do solo e os problemas associados a ela, como a acidez, alcalinidade e salinidade, bem como para recomendar de forma quantitativa as medidas corretivas. A análise do solo é, também, eficaz para o fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Nesses casos, a análise da planta se aplicaria basicamente para um acompanhamento das práticas recomendadas.

O maior interesse e aplicação da análise da planta fica para o nitrogênio - nutriente de previsão difícil pela análise do solo - e para os micronutrientes, considerando a carência de informações dos teores de referência no solo e padronização da metodologia analítica; embora tem-se observado um grande avanço nesse sentido nos últimos anos.



A análise do solo apresenta, também, algumas vantagens em relação à análise da planta: se for considerada a época de execução, a análise de solo sendo realizada antes do plantio das culturas anuais ou previamente à fase produtiva das perenes, permite a recomendação de doses para correção e adubação com antecedência. Já a análise da planta, sendo realizada quando as culturas estão bastante desenvolvidas, qualquer problema diagnosticado dificilmente poderá ser corrigido no mesmo ano agrícola. Deve-se ressaltar, ainda, que existem poucas informações sobre as doses a serem aplicadas para correção de uma carência identificada pela análise da planta.

Principalmente em plantas perenes e em hortaliças, onde a adubação recomendada com base na análise do solo é aplicada parceladamente, a análise da planta pode dar informações importantes para um ajuste no plano de adubação.

Dessa maneira, não se deve pensar em substituir a análise de solo pela análise da planta e sim, usá-la nos seus diferentes métodos, como complementar àquela. Tanto para um acompanhamento dos resultados da adubação, quanto para a recomendação (no caso do nitrogênio para algumas culturas perenes) ou ajuste no plano de adubação (também para o parcelamento em perenes e hortaliças), o uso da análise da planta pode representar grande economia de fertilizantes e ganhos na produção.

---

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; RIBEIRO, A.C.; DEFELIPO, B.V. Avaliação da fertilidade do solo: metodologia. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, 1, 1988. Viçosa. **Resumo...** Viçosa: UFV, 1988. p. 68-69.
- BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E.E. Plant analysis standardized score combines DRIS and sufficient range approaches for corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p.448-456, 1996.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim técnico, 78).
- BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)**: a general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, 1973. (Soil Science Bulletin, 1).
- BENINNI, E.R.Y.; TAKAHASHI, H.W.; NEVES, C.S.V.J.; FONSECA, I.C.B. Teor de nitrato em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2., p.183-186, 2002.
- BOINK, A.; SPEIJERS, G. Health effect of nitrates and nitrites, a review. **Acta Horticulturae**, n.563, p.29-36, 2001.
- BOUMA, D. Diagnosis of mineral deficiencies using plant tests. In: LAUCHELI, A.; BIELESKI, R. L. (eds.) **Inorganic plant nutrition**. Encyclopedia of Plant Physiology, New Series. Berlin: Heidelberg, Springer-Verlag, v.15A, p.120-146, 1983.
- CASTELLANE, P.D. Podridão apical em frutos de tomateiro. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 39 p. (Boletim técnico).
- CATALDO, D.A.; HAARON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communication Soil Science and Plant Analysis**. New York, v.6, p.71-90, 1975.
- CATE, R.B.; NELSON, L.A. **A rapid method for correlation of soil analysis with plant response data**. Washington: North Carolina Agricultural Experimental Station, International Soil Testing Series, 1965. 23p. (Technical Bulletin, 1).
-

- FAHL, J.I.; CAMARGO, M.B.P.; PIZZINATTO, M.A.; BETTI, J.A.; MELO, A.M.T.; DeMaria, I.C.; FURLANI, A.M.C. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. 396p. (Boletim 200).
- FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 77p.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 227p.
- FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; VILELA, L.A.A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1996. 50p.
- FAQUIN, V.; MARQUES, E.S.; SANTOS, H.S.; DUBOC, E. Crescimento e concentração de nitrato em alface sob influência da relação  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  e cloro na solução nutritiva e do horário de colheita. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, Petrolina, 1994. **Anais...** Petrolina, SBCS, 1994. p.152-153.(Resumo Expandido).
- FERNANDES, A.A.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; FONSECA, M.C.M. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface, em hidroponia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.195-200, 2002.
- FONTES, P.C.R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: Editora UFV, 2001. 122 p.
- FURLANI, A.C.M.; FURLANI, P.R.; BATAGLIA, O.C.; HIROCE, R.; GALLO, J.R. Composição mineral de diversas hortaliças. **Bragantia**, Campinas, v.37, n.5, p.33-44, 1978.
- FURLANI, P.R. **Cultivo de alface pela técnica de hidroponia NFT**. Campinas: Instituto Agronômico, 1995. 18p. (Documentos IAC,55).
- GRANGEIRO, I.C. **Produtividade e qualidade de frutos de melancia, em duas épocas de plantio, em função de fontes e doses de potássio**. Jaboticabal: UNESP/FCAV, 2003. 78p. (Tese – Doutorado).
- GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORREA, J.B.; LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D.; MONTEIRO, A.V.C.; OLIVEIRA, J.A. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (eds.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: UFV, 1999. p.289-302.
- GUIMARÃES, T.G. **Nitrogênio no solo e na planta, teor de clorofila e produção do tomateiro, no campo e na estufa, influenciados por doses de nitrogênio**. Viçosa: UFV, 1998. 184p. (Tese – Doutorado).
- HAAG, H.P. Nutrição mineral e qualidade de produtos agrícolas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, Piracicaba, 1992. **Anais...** Piracicaba, SBCS/Fundação Cargill, 1992. p.405-425.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water-culture method of growing plants without soil**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950. 31p. (Circular, 347).
-

- LEIFERT, C.; FITE, A.; LI, H.; GOLDEN, M.; MOWET, A.; FRAZER, A. Human health effects of nitrate. In: IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition, 1999, Barcelona. **Proceeding...** Barcelona:IFA, 1999. 9p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. Função dos nutrientes na planta e qualidade dos produtos agrícolas. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO E QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS, 1, Ilha Solteira, 1989. **Anais...** Ilha Solteira, FEIS/UNESP/ANDA/POTAFOS, 1989. 42p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ceres, 1987. 496p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Ceres, 1976. 528p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MANNETTI, D.C. **Nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação na produção, nutrição e pós-colheita do pimentão**. Lavras: UFLA, 2001. 184p. (Tese – Doutorado).
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. New York: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnóstico foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: UFV, 1999. p.143-168.
- MAYNARD, D.N.; BARKER, A.V.; MINOTTI, P.L.; PECK, N.H. Nitrate accumulation in vegetables. **Advances in Agronomy**, New York, v.28, p.71-118, 1976.
- MELO, P.E. Cultivares de batata potencialmente úteis para processamento na forma de fritura no Brasil e manejo para obtenção de tubérculos adequados. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.197, p.112-119, 1999.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- MESQUITA, H.A.; ALVARENGA, M.A.R.; CARVALHO, J.G.; PAULA, M.B.; RESENDE, G.M. Produção e qualidade de batata (*Solanum tuberosum* L.) em função da aplicação de boro. In: Seminário Mineiro de Bataticultura, Comercialização e Marketing, 4, Poços de Caldas/MG, 2003. **Anais...** Poços de Caldas/MG: EPAMIG, junho de 2003. p.107-110 (Resumo Expandido).
- MILLS, H.A.; JONES Jr, J.B. **Plant analysis handbook II**. Athens: Micro Macro Publishing, Inc., 1996. 422p.
- MIYAZAWA, M.; KHATOUNIAN. C.A.; ODENATH-PENHA, L.A.; CARBALHAL, R.F.; POSSARI, R. Teor de nitrato nas folhas de alface produzida em três diferentes métodos de cultivo. In: FERTBIO2000, Santa Maria, 2000. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-Rom.
-

- MIYAZAWA, M.; KHAUTONIAN, C.A.; ODENATH-PENHA, L.A. Teor de nitrato nas folhas de alface produzidas em cultivo convencional, orgânico e hidropônico. **Agroecologia Hoje**. Ano II, nº 7, fev./mar. 2001, p.23.
- MONDIN, M. **Efeito de sistema de cultivo na produtividade e acúmulo de nitrato em cultivares de alface**. Jaboticabal: UNESP/FCAV, 1996. 88p. (Tese – Doutorado).
- MONTAÑEZ, L.; HERAS, L.; ABADIA, J.; SANZ, M. Plant analysis interpretation based on a new index: desviation from optimum percentage (DOP). **Journal Plant Nutrition**, v.16, n.7, p.1289-1308, 1993.
- MULLER, K.; HIPPE, J. Influence of differences in nutrition on important quality characteristics of some agricultural crops. **Plant and Soil**, The Hague, v.100, p.35-45, 1987.
- PAIVA, E.A.S.; CASALI, V.W.D.; SILVA, E.A.M.; MARTINEZ, H.E.P.; CECON, P.R.; FONTES, P.C.R. Qualidade de tubérculos de batata em função de doses de cálcio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 2, p. 53-57, 1997.
- PAULA, M.B.; FONTES, P.C.R.; NOGUEIRA, F.D. Absorção de micronutrientes por cultivares de batata em presença e ausência de adubação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.4, n.2, p.3-8, 1986.
- RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**, 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100).
- REIS Jr., R.A. **Produção, qualidade de tubérculos e teores de potássio no solo e no pecíolo de batateira em resposta à adubação potássica**. Viçosa: UFV, 1995. 108p. (Tese - Doutorado).
- REIS JÚNIOR, R.A.; FONTES, P.C.R. Qualidade de tubérculos de batata cv. Baraka em função de doses de adubação potássica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.14, n.2, p.170-174, 1996.
- RESENDE, G.M. **Influência do nitrogênio e paciobutrazol na cultura do alho (*Allium sativum* L.) cv. Quitéria**. Lavras: ESAL, 1992 (Dissertação - Mestrado).
- RESENDE, G.M.; SOUZA, R.J. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio sobre a produtividade e características comerciais de alho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19, n.2, p.126-129, 2001.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.; V.H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999. 359p.
- RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z.; YOST, R.S. Disponibilidade de zinco para as culturas de milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, p.215-225, 1986.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: Departamento de Química, ESALQ/USP, 1974. (Mimeografado).
-

- SGARBIERI, V.C. **Alimentação e Nutrição**: fator de saúde e desenvolvimento. Campinas: Editora da UNICAMP, 1987. 387p.
- SILVA, E.C.; ALVARENGA, M.A.R. & CARVALHO, J.G. Influência de níveis de N e K<sub>2</sub>O na produção e incidência de podridão apical em frutos de tomateiro podado e adensado. In: CONGRESSO DA PÓS-GRADUAÇÃO NA ESAL, 6, Lavras, 1993. **Anais...** Lavras, APG/CPG/ESAL, 1993. p.147-148.
- SILVA, F.C. (org.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Rio de Janeiro/Campinas: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370p.
- SOLIS, F.A.M. **Concentração e extração de nutrientes e distúrbios nutricionais na cultura de pepino (*Cucumis sativus* L.) var. Aodai**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1982. 139p. (Tese – Doutorado).
- ULRICH, A.; HILLS, F.J. Principles and practices of plant analysis. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Soil testing and plant analysis**. Madison, 1967. p.11-24. (Special Publication, Series 2).
- VAN DER BOON, J.; STEENHUIZEN, J.W.; STEINGROVER, E.G. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by nitrogen and chloride concentration, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. **Journal of Horticultural Science**, Alexandria, v.65, n.3, p.309-321, 1990.
- WRIGHT, M.J.; DAVISON, K.L. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. **Advance in Agronomy**, New York, v.16, p.197-274, 1964.
- ZEHLER, E.; KREIPE, H.; GETHING, P.A. **Sulfato de potássio e cloreto de potássio**: sua influência na produção e na qualidade de plantas cultivadas. Trad. GUIDOLIN, J. A. Campinas: Fundação Cargill, 1986. 111p.
-

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
1.1.	Composição Química das Plantas	5
1.2.	Os Elementos Essenciais	5
<b>2</b>	<b>ABSORÇÃO IÔNICA, TRANSPORTE E REDISTRIBUIÇÃO</b>	<b>7</b>
2.1.	Absorção Iônica Radicular	7
2.1.1.	Introdução	7
2.1.2.	Mecanismos de absorção	8
2.1.3.	Fatores que afetam a absorção radicular	11
2.2.	Absorção Iônica Foliar	12
2.2.1.	Introdução	12
2.2.2.	Aspectos anatômicos, vias e mecanismos	12
2.2.3.	Velocidade de absorção e mobilidade (transporte) dos nutrientes no floema	13
2.2.4.	Fatores que afetam a absorção foliar	14
2.3.	Transporte e Redistribuição	15
<b>3</b>	<b>EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS E FUNÇÕES DOS NUTRIENTES</b>	<b>16</b>
3.1.	Exigências Nutricionais	16
3.2.	Funções dos Nutrientes	23
3.2.1.	Macronutrientes	24
3.2.1.1.	Nitrogênio	24
3.2.1.2.	Fósforo	25
3.2.1.3.	Potássio	27
3.2.1.4.	Cálcio	28
3.2.1.5.	Magnésio	28
3.2.1.6.	Enxofre	29
3.2.2.	Micronutrientes	29
3.2.2.1.	Boro	29
3.2.2.2.	Cloro	30
3.2.2.3.	Cobre	31
3.2.2.4.	Ferro	31
3.2.2.5.	Manganês	33
3.2.2.6.	Molibdênio	33

---

---

3.2.2.7. Zinco .....	34
3.2.2.8. Cobalto .....	34
3.2.2.9. Níquel .....	35
<b>4 NUTRIÇÃO E QUALIDADE DAS HORTALIÇAS .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1. Introdução .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2. Efeito dos Nutrientes na Qualidade dos Produtos Agrícolas .....</b>	<b>40</b>
4.2.1. Efeito sobre tubérculos, raízes e produtoras de açúcar .....	41
4.2.2. Efeito sobre as hortaliças de folhas e de frutos .....	44
4.2.3. Acúmulo de nitrato em hortaliças e saúde humana .....	46
<b>4.3. Considerações Finais.....</b>	<b>51</b>
<b>5 DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DE HORTALIÇAS .....</b>	<b>53</b>
<b>5.1. Introdução .....</b>	<b>53</b>
<b>5.2. Métodos de Diagnóstico .....</b>	<b>53</b>
5.2.1. Diagnose visual.....	54
5.2.1.1. Indicações práticas .....	55
5.2.1.2. Descrição dos sintomas visuais.....	56
5.2.1.3. Limitações da diagnose visual .....	57
5.2.2. Diagnose foliar .....	58
5.2.2.1. Introdução.....	58
5.2.2.2. Amostragem, preparo da amostra e análise química .....	61
5.2.2.3. Padrões de referências.....	66
5.2.2.4. Interpretação dos resultados da análise .....	66
5.2.3. Outros métodos de diagnóstico .....	78
5.2.3.1. Testes de Tecidos e Análise da Seiva.....	78
5.2.3.2. Análise de Clorofila.....	81
<b>5.3. Considerações Finais.....</b>	<b>82</b>
<b>6 LITERATURA CITADA .....</b>	<b>84</b>

---