

Capítulo 10

Manejo de Micronutrientes em Pessegueiro

Gilberto Nava⁽¹⁾
Frederico Costa Beber Vieira⁽²⁾
Leandro Hahn⁽³⁾

Resumo

Compreender o comportamento dos micronutrientes no solo e na planta, assim como as interações com práticas de manejo como a calagem e as adubações é fundamental para o sucesso da produção de pêssegos. Este capítulo aborda as particularidades do fornecimento e da disponibilidade de micronutrientes em solos intemperizados, comuns nas regiões tropicais e subtropicais de cultivo do pessegueiro do Brasil, destacando estratégias de diagnóstico e correção. São discutidas práticas como a análise foliar e do solo, o uso de fontes corretas, modos de aplicação (via solo e foliar) e épocas de aplicação, além da importância de práticas de manejo integradas com a calagem e a adubação para melhorar a eficiência do uso desses nutrientes. Finalmente são apresentados os principais sintomas visuais de deficiência de micronutrientes no pessegueiro, abordando suas manifestações típicas em folhas, com o objetivo de auxiliar no diagnóstico precoce e no manejo correto.

Palavras – chave: micronutrientes, adubação, fontes, forma de aplicação

⁽¹⁾Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo. Pesquisador na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CPACT), Pelotas, RS, Brasil. E-mail: gilberto.nava@embrapa.br

⁽²⁾Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Av. Antonio Trilha, 1847, CEP 97300-162, São Gabriel, RS, Brasil. E-mail: fredericovieira@unipampa.edu.br

⁽³⁾Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo. Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural (Epagri), Estação Experimental de Urussanga, Urussanga, SC, Brasil. E-mail: leandrohahn@epagri.sc.gov.br

1.Introdução

O cultivo do pessegueiro em solos intemperizados impõe desafios específicos quanto ao manejo nutricional, sobretudo no que diz respeito aos micronutrientes. Estes solos, amplamente distribuídos em regiões tropicais e subtropicais do Brasil, apresentam intensa lixiviação, acidez elevada e baixa concentração natural de nutrientes, o que contribui para a limitação da disponibilidade de micronutrientes essenciais ao metabolismo e à fisiologia das plantas. A deficiência desses elementos pode comprometer o crescimento vegetativo, a frutificação, a qualidade dos frutos e a longevidade dos pomares.

Neste contexto, compreender o comportamento dos micronutrientes no solo e na planta, assim como as interações com práticas de manejo como a calagem, adubações orgânicas e uso de corretivos, é fundamental para o sucesso da produção. Além disso, o uso de ferramentas de diagnóstico, como a análise foliar e a interpretação crítica de sintomas visuais, é indispensável para o ajuste preciso da adubação. Este capítulo tem como objetivo apresentar um panorama técnico e aplicado sobre o manejo de micronutrientes em pessegueiros cultivados em solos intemperizados, fornecendo orientações práticas com base em evidências científicas e experiências de campo.

Neste trabalho serão apresentados os principais sintomas visuais de deficiência de micronutrientes no pessegueiro, abordando suas manifestações típicas em folhas, ramos e frutos, com o objetivo de auxiliar no diagnóstico precoce e no manejo corretivo. Além disso, serão discutidas práticas eficazes para a prevenção e o controle dessas deficiências, incluindo estratégias de calagem, adubações orgânicas e minerais, escolha adequada de fontes e formas de aplicação (via solo e foliar), bem como o uso integrado de análises de solo e tecido vegetal para um manejo nutricional mais preciso e eficiente em pomares estabelecidos em solos intemperizados.

2. Interpretação da disponibilidade micronutrientes no solo

Concentrações no solo acima de 0,4; 0,5; 0,3 e 5,0 mg dm⁻³, respectivamente para cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B) manganês (Mn), são considerados adequados para a implantação de um pomar de pêsego nos estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016). No entanto, estes valores são genéricos para todas as culturas agrícolas dos dois estados e nunca foram calibrados para o pêsego. Se a análise de solo apontar teores de micronutrientes abaixo da classe de disponibilidade “alta”, como indicado na Tabela 1, correções precisam ser realizadas.

Tabela 1. Interpretação dos teores de micronutrientes no solo.

Classes de disponibilidade	Cobre	Zinco	Boro	Manganês
	----- mg dm ⁻³ -----			
Baixo	<0,2	<0,2	<0,2	<2,5
Médio	0,2-0,4	0,2-0,5	0,2-0,3	2,5-5,0
Alto	>0,4	>0,5	>0,3	>5,0

Fonte: Adaptado de CQFS-RS/SC (2016).

3. Micronutrientes em pré-plantio

Aplicações via solo antes do plantio das mudas é a forma mais eficiente e duradoura de correção dos micronutrientes. Os micronutrientes aplicados na fase que antecede o plantio das mudas de pessegueiro, quando diagnosticada a necessidade, normalmente são o boro (B) e o zinco (Zn). Entre eles, o B é o mais comumente utilizado. Em geral, recomenda-se aplicar 2 a 3 kg ha⁻¹ de B na fase de pré-plantio dos pessegueiros (CQFS-RS/SC, 2016).

Diversas fontes de B podem ser utilizadas, como a ulexita, colemanita, o ácido bórico, bórax entre outras. A ulexita e a colemanita são minerais naturais

com liberação mais lenta do elemento, proporcionando suprimento contínuo por maior período. Também é amplamente usado o bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), uma fonte tradicional de B que apresenta solubilidade intermediária, sendo eficaz em aplicações ao solo. Outra fonte bastante empregada é o ácido bórico (H_3BO_3), altamente solúvel, indicado tanto para aplicações via solo quanto para pulverizações foliares, especialmente quando se busca rápida correção da deficiência. Assim, a escolha entre as fontes depende das características de velocidade de solubilização, mas também da disponibilidade no comércio local e do custo. Deve-se ter em conta que fontes mais solúveis de B podem ter menor eficiência se aplicadas em solos arenosos e com baixa matéria orgânica, por serem mais propensos a perdas por lixiviação. Neste caso, fontes menos solúveis e o fracionamento de doses podem ser recomendados, especialmente ao considerar que as mudas de pessegueiro apresentam sistemas radiculares em formação.

As principais fontes de Zn disponíveis para uso em pomares podem ser divididas em fontes inorgânicas e fontes orgânicas ou complexadas. Entre as inorgânicas, destacam-se o sulfato de zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e o óxido de zinco (ZnO). O sulfato de zinco é a fonte mais utilizada, devido à sua elevada solubilidade em água e baixo custo. O óxido de zinco, por sua vez, apresenta baixa solubilidade e liberação gradual, sendo recomendado em misturas de fertilizantes granulados ou em correções de longo prazo. A incorporação de resíduos ricos em Zn, como o esterco de suínos, também constitui uma alternativa de suprimento deste elemento, desde que atenda às normas ambientais quanto ao uso e aplicação. Vale salientar que atualmente são preconizados concentrações máximas de Zn a serem atingidos no solo após a aplicação de dejetos animais (Instituto do Meio Ambiente, 2024).

A concentração de fósforo (P) no solo pode induzir a deficiência de zinco (Zn) nas plantas devido à interação negativa entre esses nutrientes na absorção e translocação. O excesso de P pode reduzir a disponibilidade de Zn ao formar complexos insolúveis no solo, tornando-o menos acessível às raízes. Além disso,

níveis elevados de P estimulam a produção de compostos orgânicos nas raízes que inibem a absorção de Zn, além de comprometer sua mobilidade dentro da planta. Como resultado, mesmo que o solo contenha quantidades adequadas de Zn, a sua disponibilidade para as plantas pode ser limitada, levando a sintomas de deficiência.

Os solos oriundos de rochas sedimentares tendem a apresentar, naturalmente, teores de Zn menores do que aqueles onde o material de origem é rocha ígnea básica. Portanto, pomares de pêssego do sul do estado do RS tendem a necessitar de mais fertilização com Zn do que aqueles da região das serras gaúchas e catarinenses. O B, por sua vez, tende a encontrar-se mais elevado em solos de rochas sedimentares do que ígneos, em solos sem efeito antrópico.

É importante enfatizar que o pessegueiro é especialmente sensível ao excesso de B e de Zn e, por isso, o adubo deve ser distribuído de forma uniforme, evitando zonas de concentração, o que poderia causar toxidez. Do ponto de vista da eficiência agrônômica e operacional, a aplicação conjunta de micronutrientes com os grânulos dos macronutrientes, via fertilizantes formulados ou pela mistura física no momento da adubação, apresenta-se como uma estratégia pragmática para contornar os desafios intrínsecos à aplicação a campo de pequenas quantidades destes elementos. Esta prática mitiga significativamente os problemas de desuniformidade de distribuição. Consequentemente, evita-se a formação de zonas com excesso, que podem induzir à fitotoxicidade, ou de deficiência, maximizando a disponibilidade para as plantas e otimizando o retorno econômico da adubação com micronutrientes.

4. Aplicação de micronutrientes via foliar

Para o sistema produtivo do pessegueiro, o uso da adubação foliar segue as mesmas recomendações gerais das demais frutíferas. As raízes representam a principal via de absorção de nutrientes para a planta, assim o suprimento via foliar se justifica em situações em que as plantas apresentam dificuldades na absorção de

nutrientes pelo solo, seja por fatores como o estresse hídrico, temperaturas extremas, compactação do solo ou desequilíbrios na disponibilidade de nutrientes. A aplicação de nutrientes, também é indicada quando há dificuldade de translocação/redistribuição interna na planta, principalmente quando se deseja uma resposta rápida da planta, como em estágios críticos de desenvolvimento, a exemplo do florescimento e da frutificação. O B é um elemento cuja mobilidade interna é reconhecidamente influenciada pelas características específicas de cada espécie vegetal. No entanto, no pessegueiro o B é considerado parcialmente móvel, o que permite sua translocação de tecidos mais velhos e subsequente alocação em tecidos mais jovens. De qualquer forma, a adubação foliar complementa de forma eficiente a adubação via solo, corrigindo rapidamente deficiências de micronutrientes, os quais, por serem exigidos em pequenas quantidades, podem ser supridos adequadamente por aplicações foliares.

Uma vantagem da adubação foliar é que a dose a ser aplicada pode ser baixa, não necessitando de um alto número de aplicações, como é o caso do B. Embora o solo contenha B disponível, sua absorção pelas raízes pode ser limitada por fatores como pH elevado, textura do solo e condições climáticas adversas. Tanto o excesso de água, podendo promover a lixiviação de B, quanto à falta de água, limitando o deslocamento e a absorção deste nutriente, podem influenciar a disponibilidade de B. Nesse contexto, a aplicação foliar surge como uma estratégia eficiente para suprir rapidamente as necessidades das plantas em fases específicas como em pré-floração/floração, visando aumentar a frutificação efetiva.

Aplicações foliares também podem ser eficientes em pós-colheita, visando aumentar as reservas do nutriente na planta para ser utilizado na safra seguinte. O bórax (11% B), solubor (20% B) ou ácido bórico (17% B) geralmente são as fontes que podem ser utilizadas para este fim, em quantidades que variam de 150 a 300 gramas/100 L de água, dependendo da concentração de B do produto.

Em relação ao Zn, as pulverizações de quelatos de Zn proporcionam maior grau de segurança em relação a fontes não-quelatadas e podem ser aplicadas

durante as fases vegetativas da planta. Duas pulverizações de quelatos de Zn aplicadas em intervalos de 10 a 14 dias, começando 1-2 semanas após a queda das pétalas, em geral são suficientes para atender as necessidades deste elemento pelo pessegueiro. Várias formulações de Zn quelatado estão disponíveis no mercado. As doses devem ser utilizadas conforme a recomendação dos próprios fabricantes ou ajustadas conforme doses que não causem fitotoxicidade.

Os quelatos apresentam maior estabilidade na calda de pulverização, melhor absorção pelas folhas e menor risco de precipitação em misturas com outros fertilizantes ou defensivos. Além disso, reduzem a possibilidade de fitotoxicidade. São recomendados especialmente quando há necessidade de respostas rápidas. Embora o sulfato de Zn também possa ser utilizado, recomenda-se o uso deste somente nas fases que antecedem a brotação, devido ao alto potencial em causar fitotoxicidade, além de ser um produto corrosivo para equipamentos e sistemas de fertirrigação. A adubação foliar deve ser realizada em horários de menor intensidade térmica, como no início da manhã ou no final da tarde, a fim de reduzir perdas por evaporação e minimizar o risco de fitotoxicidade.

A deficiência de ferro (Fe) em folhas de pessegueiro pode ocorrer em algumas cultivares e/ou porta-enxertos, especialmente em uma sequência de dias nublados coincidindo com períodos de rápida expansão dos ramos, brotações e folhas. A menor incidência de luz solar reduz a taxa de fotossíntese e, conseqüentemente, a produção de energia necessária para a absorção ativa de nutrientes. O Fe é componente da clorofila e essencial para atividade de enzimas, assim, com baixa atividade radicular, a acidificação da rizosfera é reduzida, diminuindo a absorção do elemento do solo. Em geral essa deficiência tende a desaparecer sem a necessidade de aplicações foliares, exceto em pomares com pH do solo muito elevado, pouco comum nas condições brasileiras. Eventualmente, se necessário, fontes quelatadas de Fe podem ser aplicadas via foliar.

A interação de cultivares e porta-enxertos vale não apenas para o Fe, mas também para os demais micronutrientes (Leonel et al., 2011). Por isso, a amostragem correta e a separação das amostras por cultivar e por porta-enxerto devem ser cuidadosamente realizadas.

5. pH do Solo e a disponibilidade de micronutrientes

O pH do solo é um dos principais fatores químicos que influenciam a disponibilidade de nutrientes para as plantas, atuando diretamente na solubilidade e na forma química em que os elementos estão presentes na solução do solo. Assim como a maioria das culturas, o pessegueiro apresenta melhor desenvolvimento em solos com pH entre 5,5 e 6,5, faixa na qual a maioria dos micronutrientes apresenta disponibilidade adequada. Entretanto, para os micronutrientes, o pH exerce papel particularmente determinante, podendo levar à deficiência ou à toxicidade dependendo das condições.

Em solos ácidos (pH abaixo de 5,5), elementos como Fe, Zn, Mn e Cu tendem a apresentar maior solubilidade, o que favorece sua absorção pelas plantas. Contudo, quando o pH é muito baixo, a solubilidade excessiva pode atingir níveis tóxicos, prejudicando o metabolismo vegetal e causando sintomas de clorose, necrose ou redução do crescimento.

Por outro lado, em solos alcalinos (pH acima de 7,0), a disponibilidade de micronutrientes catiônicos como Fe, Mn, Zn e Cu é fortemente reduzida devido à precipitação e/ou à adsorção forte nas cargas elétricas das partículas sólidas minerais e orgânicas do solo. Este mecanismo químico é denominado de quimiossorção. Nessas condições, é comum observar deficiências, mesmo quando o solo apresenta teores totais adequados, pois a forma disponível para absorção radicular é limitada. Já o molibdênio (Mo) apresenta comportamento inverso, sendo que sua disponibilidade aumenta com o aumento do pH, podendo ser deficiente em solos muito ácidos e excessivo em solos muito alcalino. O B e o Cl completam os micronutrientes aniônicos. Ambos têm menor disponibilidade em

pH ácido. No entanto, o Cl fica mais disponível quanto mais alcalino for o solo, enquanto o B tende a ter máxima disponibilidade em pH neutro, diminuindo sua disponibilidade em solos calcários.

O controle do pH do solo é, portanto, uma prática fundamental no manejo da fertilidade, influenciando diretamente a disponibilidade de micronutrientes. A recomendação oficial de calagem para pessegueiro para os estados do RS e SC preconiza pH_{H_2O} do solo igual a 6,0. Cabe ressaltar que neste pH de solo não há comprometimento significativo da disponibilidade dos micronutrientes. Portanto, não se deve deixar de aplicar calcário por motivos de redução da disponibilidade de micronutrientes. Certamente os efeitos positivos da calagem superam qualquer redução na disponibilidade de micronutriente. Ao mesmo tempo, cuidados na realização da calagem devem ser tomados visando à homogeneidade da aplicação e o uso da dose correta para cada caso, com base em análise de solo e sua adequada interpretação.

Ali et al. (2014) avaliaram a aplicação de micronutrientes via foliar em pessegueiros cultivados em solos calcários e deficientes em micronutrientes no Paquistão. Os autores descrevem que a aplicação de micronutrientes afetou aspectos quantitativos (produtividade, tamanho de fruto e forma do fruto) e qualitativos, diminuindo o pH do suco e aumentando o teor de sólidos solúveis e de vitamina C do suco. Assim, mesmo que a limitação por escassez de micronutrientes não seja severa, é importante monitorar de perto nos pomares de pessegueiros visando a qualidade do fruto.

6. Matéria Orgânica e disponibilidade de micronutrientes

Solos com maior teor de matéria orgânica tendem a apresentar maior fertilidade em comparação àqueles com menores concentrações. No entanto, principalmente na fase de produção de mudas em viveiros, o cultivo de mudas em substratos essencialmente orgânicos pode requerer fertilizações adicionais de micronutrientes para as mudas. Isto ocorre devido à complexação de

micronutrientes nas frações orgânicas destes substratos. Neste processo, micronutrientes, como Fe, Zn, Mn, Cu, entre outros, se ligam fortemente a moléculas orgânicas, formando complexos estáveis. A formação e a solubilidade destes complexos dependem, dentre outros fatores, do pH do substrato.

Os materiais orgânicos são constituídos por ácidos húmicos e fúlvicos, polifenóis, aminoácidos, peptídeos, proteínas e polissacarídeos, os quais podem formar complexos com íons metálicos. Para Stevenson & Ardakani (1972), a formação desses complexos orgânicos podem diminuir a solubilidade dos micronutrientes, em virtude da formação de complexos com ácidos húmicos, como aumentar sua disponibilidade em virtude da complexação com ácidos fúlvicos e outros compostos orgânicos anteriormente descritos, o que influencia na disponibilidade destes nutrientes para as plantas.

Em termos gerais, o poder de formação de complexos diminui seguindo a ordem: $Cu > Zn > Mn$. Portanto, dentre os micronutrientes, o Cu é o que mais interage com a fração orgânica, formando complexos estáveis, especialmente com grupos carboxílicos e fenólicos. A elevada estabilidade desses complexos faz com que a maioria das deficiências de Cu em pessegueiro, a campo, tenha sido associada a solos orgânicos.

7. Funções e sintomas de deficiência de micronutrientes

Boro (B)

O B desempenha um papel crítico na formação e estabilidade da parede celular. Ele está envolvido na ligação cruzada de polissacarídeos pécticos, o que fortalece a parede celular e favorece a integridade estrutural. Além das funções estruturais, o B contribui para o funcionamento das membranas, transporte de nutrientes e metabolismo de açúcares e ácidos nucleicos. Também é vital para o desenvolvimento reprodutivo, incluindo a germinação do pólen, o crescimento do tubo polínico e a formação de frutos (Brown et al., 2002).

Embora o pessegueiro seja uma espécie cujo B é considerado móvel, por produzir açúcares do tipo de polióis, esta mobilidade é lenta e os sintomas de deficiência de B são observados nas folhas novas, que apresentam aspecto coriáceo e ondulação nas bordas (deformadas). Com a evolução dos sintomas, ocorre a queda das folhas novas, a paralisação do crescimento dos ramos e a necrose da gema apical (Figura 1). Malavolta (2006) relata que a deficiência de B promove rápido endurecimento da parede celular, o que não permite o aumento normal no volume da célula.

Como o B está envolvido na divisão e desenvolvimento celular, sua deficiência causa morte dos pontos de crescimento vegetativo (Taiz et al., 2017). A morte apical dos brotos, onde estão presentes tecidos meristemáticos, afeta diretamente o crescimento e desenvolvimento dos ramos laterais, cujos pontos de crescimento também podem vir a ser deformados ou morrer, causando o sintoma conhecido por “enrosetamento” (Figuras 1a e 1b). As folhas geralmente ficam grossas, têm uma textura acobreada e se tornam enroladas e quebradiças, sendo que o crescimento das folhas jovens é inibido. O tecido das plantas com deficiência de B geralmente se decompõe prematuramente, causando manchas marrons e, posteriormente, manchas necróticas (Gupta & Solanki, 2013; Taiz et al., 2017).



Figura 1. Sintomas de deficiência de B em mudas de pessegueiro: a) inibição de crescimento dos pontos apicais do ramo; b) enrosetamento. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Fotos: Bernardo Ueno.

Zinco (Zn)

O Zn atua principalmente como componente estrutural e catalítico de muitas enzimas, incluindo aquelas envolvidas na síntese de proteínas, metabolismo de carboidratos, regulação da auxina (hormônio de crescimento) e defesa antioxidante (Broadley et al., 2007). Além disso, é necessário para a biossíntese da clorofila (Taiz et al., 2017). O Zn também é importante para a manutenção da integridade das membranas, estabilização de biomoléculas e regulação da expressão gênica (Alloway, 2008).

A clorose internerval nas folhas mais novas e o encurtamento dos internódios (Marschner, 2012) são os sintomas típicos de deficiência de Zn (Figura 2), uma vez que é um nutriente pouco móvel nas folhas (Taiz et al., 2017). Também, este nutriente participa da síntese proteica (devido à relação com a atividade da RNAase) e é importante para a síntese de triptofano (precursor na rota da síntese de auxinas), com sua deficiência provocando retardo no crescimento.

Por isso, a deficiência geralmente resulta em crescimento reduzido, clorose, diminuição da expansão foliar e encurtamento dos internódios (Marschner, 2012), conforme observado na figura 2, além de necrose no meristema apical da raiz (Broadley et al., 2007; Taiz et al., 2017).



Figura 2. Sintomas de deficiência de Zn em mudas de pessegueiro caracterizadas pela clorose e tamanho reduzido de folhas novas e encurtamento de internódios. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2024. Fotos: Bernardo Ueno.

Ferro (Fe)

O Fe está relacionado a diversas atividades metabólicas, participando da formação de algumas enzimas (catalase, peroxidase, citocromo oxidase e xantina oxidase), além de ser indispensável nos processos de fotossíntese, fixação de N_2 e transferência de elétrons, uma vez que participa ativamente na ferredoxina e leghemoglobina (Epstein & Bloom, 2006; Guerinot & Yi, 1994).

As plantas com deficiência de Fe apresentaram clorose nas folhas mais novas e nervuras finas e de coloração verde escura (Figuras 3, 4 e 5), contudo, normalmente não evoluem para necrose dos tecidos. As nervuras de coloração

verde escura são sintomas típicos da deficiência de Fe (Souza et al., 2015; Valentinuzz et al., 2015). Este nutriente é pouco móvel na planta, assim, o aparecimento de clorose nas folhas mais novas decorre da menor atividade da ferredoxina e, conseqüentemente, menor síntese de clorofila (Epstein & Bloom, 2006; Marschner, 2012).



Figura 3. Sintomas de deficiência de Fe em folhas de pessegueiro, iniciando com amarelecimento de folhas novas e evoluindo para a formação de um reticulado fino (verde intenso) das nervuras principais e secundárias das folhas. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Foto: Gilberto Nava.

Uma vez que o Fe é essencial para a síntese de clorofila e como componente da cadeia de transporte de elétrons na fotossíntese, condições nubladas reduzem a intensidade da luz, diminuindo a taxa de fotossíntese, o que limita a energia (ATP e poder redutor) necessária para a absorção ativa e assimilação do Fe (Lindsay, 1972). Portanto, como descrito anteriormente no capítulo, dias nublados não reduzem a disponibilidade de Fe no solo, mas limitam os mecanismos dependentes de energia da planta para absorver e utilizar o Fe, tornando os sintomas de deficiência mais evidentes. Por isso, os sintomas de deficiência de Fe em pessegueiro ocorrem esporadicamente em folhas novas, em

períodos prolongados de dias nublados e geralmente desaparecem espontaneamente, sem necessidade de intervenções via adubação.



Figura 4. Sintomas de deficiência de ferro generalizada em folhas de pessegueiro. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Foto: Rodrigo Franzon.

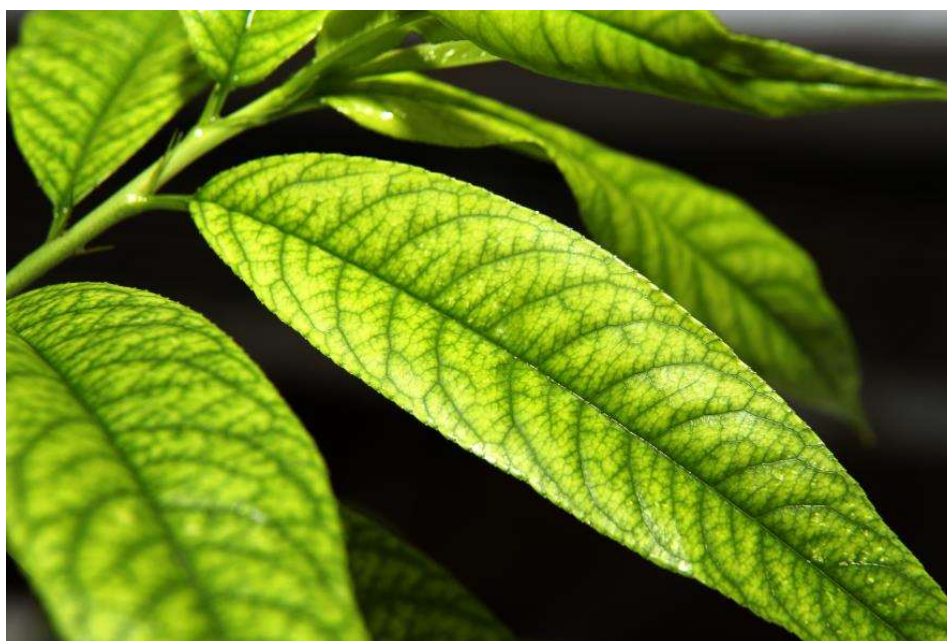


Figura 5. Detalhes de sintomas de deficiência de ferro em ramo de pessegueiro. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Foto: Gilberto Nava.

Deficiências de Fe em pessegueiro são pouco comuns em solos ácidos de regiões tropicais e subtropicais onde o pessegueiro é cultivado no Brasil, uma vez que há abundância do nutriente nessas condições. Contudo, sintomas podem aparecer, principalmente em períodos de baixa insolação e em locais no pomar que, por falhas de distribuição, houve acúmulo de calcário no solo.

Manganês (Mn)

O Mn desempenha papel em diversos processos fisiológicos e bioquímicos. Sua principal função está no aparato fotossintético, onde atua como cofator no sistema de liberação de água do fotossistema II, possibilitando a liberação de oxigênio durante a fotólise (Marshner, 2012). O Mn também participa da ativação de inúmeras enzimas responsáveis pela respiração, assimilação de nitrogênio e síntese de metabólitos secundários. Além disso, contribui para a formação da clorofila, biossíntese de lignina e mecanismos de defesa contra o estresse oxidativo, por meio de sua atuação na enzima manganês superóxido dismutase (Mn-SOD). Devido a essas funções, o suprimento adequado de Mn é vital para o crescimento saudável, metabolismo energético eficiente e tolerância a estresses nas plantas.

Plantas com deficiência de Mn apresentam clorose internerval caracterizada como reticulado grosso (a parte verde próxima à nervura fica grossa) nas folhas mais novas (Figuras 6 e 7), o que é um sintoma típico para nutrientes com mobilidade limitada no interior da planta (Faquin, 2005). O sintoma clorótico ocorre, pois, o Mn é constituinte do fotossistema II, atuando na oxidação da molécula de água (Epstein & Bloom, 2006).



Figura 6. Detalhes de sintomas de deficiência de Mn em muda de pessegueiro caracterizado pela clorose de folhas novas com formação do reticulado grosso das nervuras principais. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Foto: Gilberto Nava.

O Mn é absorvido ativamente pelo sistema radicular das plantas como Mn^{2+} , o qual é transportado pelo xilema, via corrente transpiratória. Entretanto, possivelmente devido à baixa estabilidade do quelato de Mn, este micronutriente é pouco redistribuído na planta. Como consequência, os sintomas de carência de Mn se manifestam primeiro nas folhas mais novas (Faquin, 2005). Sequências de dias com baixa radiação solar pode tornar mais visíveis os sintomas de deficiência de Mn.



Figura 7. Detalhes da formação do reticulado grosso de cor verde intenso nas nervuras de uma folha de pessegueiro com deficiência de Mn. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Foto: Gilberto Nava.

É importante salientar que em solos com pH baixo, o maior problema não é a deficiência de Mn, mas sim a toxicidade de manganês (Mn), uma vez que a acidez aumenta significativamente a solubilidade desse elemento na solução do solo, conforme já relatado anteriormente. Esta é uma situação que ocorre com frequência em pomares mal corrigidos e que receberam quantidades insuficientes de calcário na fase de implantação.

Uma vez que não é comum o aparecimento de sintomas de deficiência de Mn em pomares, praticamente não há estudos no Brasil que abordam a eficiência de formulações foliares de Mn em pessegueiro. Eventualmente, se comprovada a deficiência via análise foliar, os quelatos sintéticos de Mn, sobretudo à base de EDTA e DTPA, apresentam maior estabilidade em soluções de pulverização, menor suscetibilidade à oxidação e melhor compatibilidade em misturas quando comparados ao uso de outras fontes inorgânicas como os sulfatos e óxidos, reduzindo os riscos de causar fitotoxicidade. As doses variam em função do tipo de produto comercial.

Cobre (Cu)

O Cu atua principalmente como componente de metaloproteínas e enzimas envolvidas em reações de oxirredução, como a plastocianina na fotossíntese, que facilita o transporte de elétrons na cadeia transportadora de elétrons fotossintética (Shahbaz et al, 2015; Xu et al., 2024). O Cu também é importante na defesa contra o estresse oxidativo, atuando como cofator de enzimas como a superóxido dismutase, responsável por neutralizar espécies reativas de oxigênio. Além disso, contribui para a síntese de lignina, auxiliando no fortalecimento da parede celular e na integridade estrutural, e influencia o crescimento reprodutivo, incluindo a viabilidade do pólen. Devido ao seu papel central na transferência de energia, no metabolismo de proteínas e na sinalização, a deficiência de Cu pode comprometer a fotossíntese, reduzir o crescimento e causar desordens fisiológicas nas plantas.

A deficiência de Cu raramente aparece em pomares adultos, por isso não há indicação de medidas para prevenção ou controle. Os sintomas são mais comuns em viveiros de produção de mudas à base de substratos (ex. turfa) e ficam evidentes nas folhas mais novas. As plantas deficientes apresentam engrossamento das nervuras, com coloração verde-pálido (Figuras 8a, 8b, 9^a e 9b), podendo evoluir para pontos de clorose internerval, manchas avermelhadas e encarquilhamento das folhas (Silva et al., 2009; Marschner, 2012).

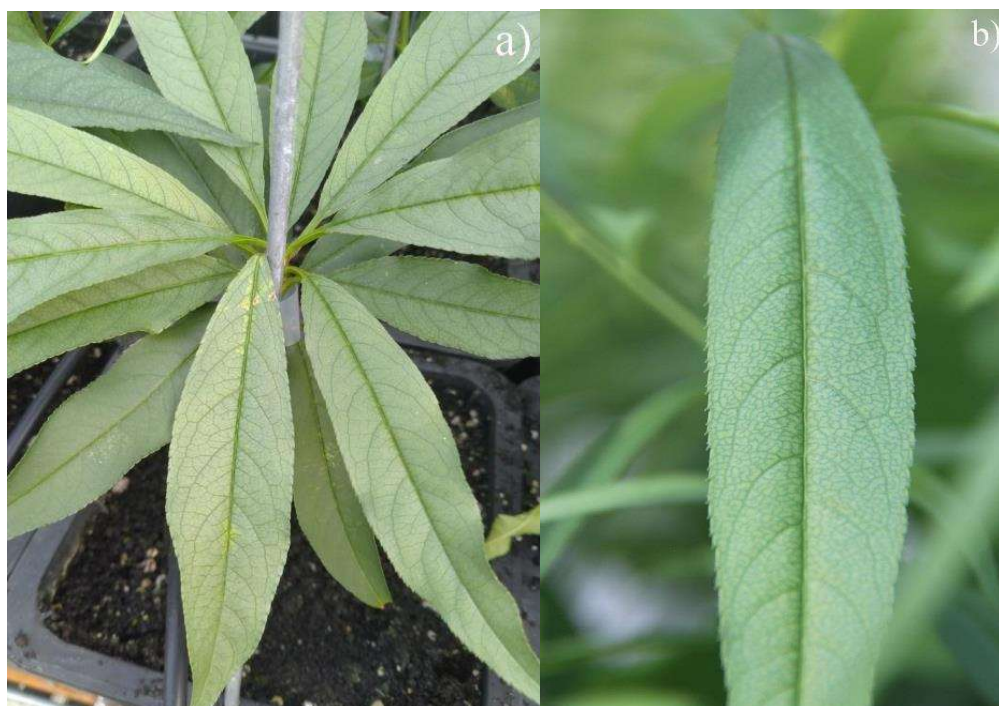


Figura 8. Sintomas de deficiência de cobre em mudas de pessegueiro. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2024. Fotos: Gilberto Nava e Bernardo Ueno.

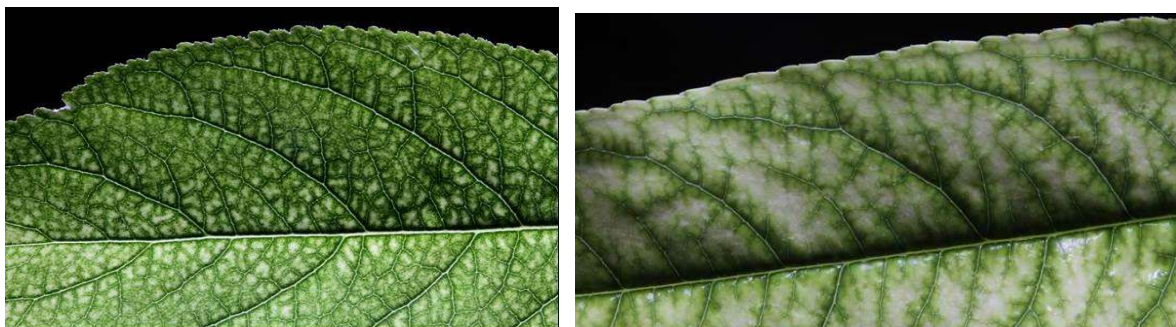


Figura 9. Detalhes dos sintomas de deficiência de cobre em folhas de pessegueiro, indicando a formação de pontos (a) e zonas (b) esbranquiçadas na lâmina de folhas jovens. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2024. Fotos: Gilberto Nava.

8. Considerações Finais

A adubação pessegueiros não requer aplicações regulares de micronutrientes, de forma geral. No entanto, estes nutrientes podem eventualmente ser limitantes à produção, especialmente em casos em que o pH elevado do solo dificulta a disponibilização dos micronutrientes para as plantas. Logo, a aplicação de micronutrientes deve ser restrita a casos em que a deficiência seja apontada pela análise química de solo ou foliar, pois o seu excesso pode ser tão ou mais

prejudicial para a produtividade e à saúde do pomar quanto à escassez destes elementos. A aplicação deve ser embasada, sempre, em critérios técnicos a partir de tais análises de cada gleba do pomar. Ao mesmo tempo, há ainda lacunas de conhecimento técnico sobre o efeito de micronutrientes na qualidade de frutos, especialmente avaliando as particularidades de interações dos micronutrientes com distintos cultivares e porta-enxertos. Além disso, teores críticos de micronutrientes no solo ainda não foram estabelecidos para as cultivares e porta-enxertos cultivados no Sul do Brasil, o que representam oportunidades de pesquisa futuras.

9. Referências Bibliográficas

- ALI, A.; PERVEEN, S.; MUHAMMAD SHAH, S.; ZHANG, Z.; WAHID, F.; SHAH, M.; BIBI, S.; MAJID, A. Effect of foliar application of micronutrients on fruit quality of peach. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, 1258-1264, 2014. doi: 10.4236/ajps.2014.59138.
- ALLOWAY, B. J. **Zinc in soils and crop nutrition**. 2nd. International Zinc Association (IZA) and International Fertilizer Industry Association (IFA), 2008. Disponível em: <https://www.fertilizer.org/resource/zinc-in-soils-and-crop-nutrition/>. Acesso em 21 mar. 2026
- BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytologist**, 173(4), 677–702, 2007.
- BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. **Function of nutrients: micronutrients**. In: MARSCHNER, P. (ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3^{ed}. London: Academic Press, 2012. p. 191-248.
- BROWN, P. H.; BELLALLOUI, N.; WIMMER, M. A.; BASSIL, J.; RUIZ, H.; HU, H. PFEFFER, F.; DANIEL, V.; RÖMHELD. Boron in plant biology. **Plant Biology**, v. 4, n. 2, 205–223, 2002.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição e crescimento**. In: EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Planta, 2006. p. 251-286.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, v. 77, p. 185-268, 2002.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA, 2005. 186 p.
- GUERINOT, M. L.; YI, Y. Iron: nutritious, noxious, and not readily available. **Plant Physiology**, v. 104, n. 3, 815–820, 1994.
- GUPTA, U.; SOLANKI, H. Impact of boron deficiency on plant growth. **International Journal of Bioassays**, v. 2, n. 7, p. 1048-1050, 2013.
- Instituto do Meio Ambiente (IMA). Instrução Normativa nº 11, de 17 de abril de 2025, de Santa Catarina. Disponível em: https://in.ima.sc.gov.br/instrucaoNormativa/downloadPDF/11#:~:text=%20IN.%20*%20%2D1. Acesso em 18 jan. 2026

LEONEL, S.; SOUZA, M. E. D.; TECCHIO, M. A.; SEGANTINI, D. M. Leaf nutritional levels in peach and nectarine grown in subtropical climate. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, 752–761, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500105>.

LINDSAY, W. L. Iron in soils and clay minerals. **Soil Science Society of America Journal**, v. 36, n. 6, 573–579, 1972.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3^{ed}. London: Academic Press, 2012.

MILLALEO, R.; REYES-DÍAZ, M.; IVANOV, A. G.; MORA, M. L.; ALBERDI, M. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 10, n. 4, p. 476-494, 2010.

MOREIRA, A.; MORAES, V. H. DE F.; CASTRO, C. de. Fontes e doses de boro em porta-enxertos de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, n.8, 2006.

SHAHBAZ, M.; RAVET, K.; PEERS, G.; PILON, M. Prioritization of copper for the use in photosynthetic electron transport in developing leaves of hybrid poplar. **Frontiers in Plant Science**. v.6, 7, 2015. doi: 10.3389/fpls.2015.00407.

SILVA, E.; TANURE, L. P. P.; SANTOS, S. R.; JÚNIOR, P. S. R. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 392-397, 2009.

SOUZA, B. M. S.; PIO, R.; COELHO, V. A. T.; SILVA, I. P. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes, boro e ferro e composição mineral de amoreira-preta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 241-248, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6^{ed}. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

VALENTINUZZI, F.; PII, Y.; VIGANI, G.; LEHMANN, M.; CESCO, S.; MIMMO, T. Phosphorus and iron deficiencies induce a metabolic reprogramming and affect the exudation traits of the woody plant *Fragaria x Ananassa*. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 20, p. 6483-6495, 2015.

XU, E.; LIU, Y.; GU, D.; ZHAN, X.; LI, J.; ZHOU, K.; ZHANG, P.; ZOU, Y. Molecular mechanisms of plant responses to copper: From deficiency to excess. **International Journal of Molecular Science**. v.25, 13:6993, 2024. doi: 10.3390/ijms25136993.