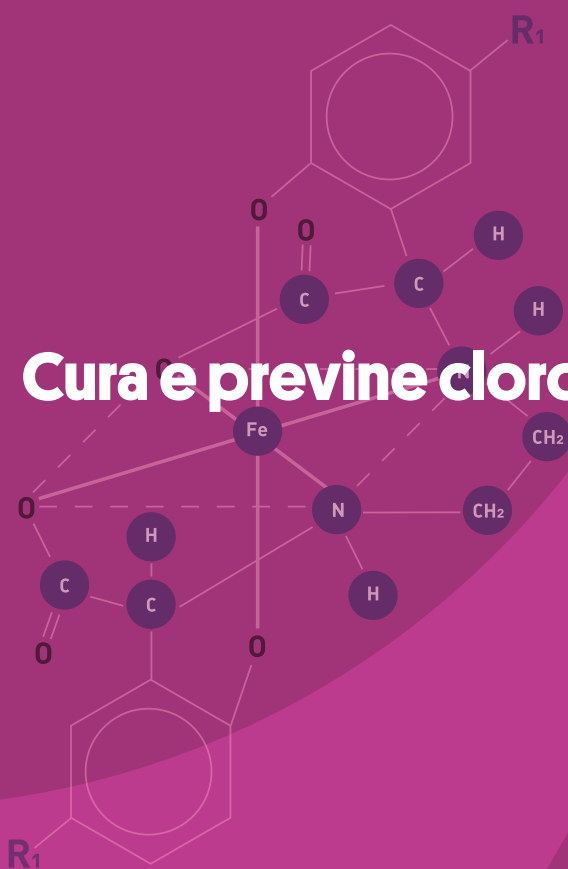


MONOGRAFIA

# FERRILENE

Cura e previne cloroses de ferro





pág. 4		<b>PERFIL DA EMPRESA</b>
pág. 6	<b>1</b>	<b>FERRO</b>
	1.1	Ferro na natureza
	1.2	Ferro no solo
	1.3	A química do ferro
	1.4	Aspectos gerais da deficiência de ferro
	1.5	Principais fatores que afetam a disponibilidade de ferro
	1.5.1	Solubilidade de ferro no solo
	1.5.2	Presença de bicarbonatos [pH]
	1.5.3	Interações entre ferro e outros elementos
pág. 12	<b>2</b>	<b>FERRO NAS PLANTAS</b>
	2.1	Absorção
	2.2	Estratégias de absorção
	2.2.1	Estratégia I
	2.2.2	Estratégia II
	2.3	Transporte de ferro em plantas
	2.4	Funções biológicas de ferro em plantas
pág. 19	<b>3</b>	<b>O PAPEL DO FERRO NA SÍNTESE DE CLOROFILA</b>
	3.1	Clorose de ferro
	3.2	Sintomas visuais
	3.4	Corrigindo a clorose de ferro
pág. 22	<b>4</b>	<b>QUELATOS</b>
	4.1	Moléculas quelantes
	4.2	Estabilidade de quelatos de ferro
	4.3	Qualidade dos quelatos
	4.4	Quelatos de ferro e seu uso na agricultura
	4.5	Os agentes quelantes na Linha Ferrilene
pág. 26	<b>5</b>	<b>LINHA FERRILENE</b>
	5.1	História do agente quelante
	5.2	FERRILENE 4.8 e FERRILENE
	5.3	FERRILENE TRIUM
	5.3.1	Modalidade e dose [fertirrigação]
pág. 30	<b>6</b>	<b>ABORDAGEM FENÔMICA</b>
	6.1	Abordagem fenômica em kiwi
pág. 37	<b>7</b>	<b>TESTES AGRONÔMICOS</b>
pág. 48	<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>

## Perfil da empresa

### MISSÃO

Criar um futuro sustentável para as pessoas e a natureza.

### VISÃO

Na Valagro, vivemos a mentalidade de terceira via, buscando a excelência e aplicando a ciência à agricultura para produzir alimentos mais e mais saudáveis, com sustentabilidade no coração.

### VALORES

**Integridade** – agimos com honestidade, respeitando as pessoas e a natureza.

**Paixão** – como somos responsáveis pelo futuro sustentável, estamos construindo.

**Confiança** – à medida que criamos relacionamentos baseados em fazer o que dizemos.

**Conexão** – como vemos o quadro maior, ao mesmo tempo em que reconhecemos a contribuição individual.

**Mentalidades inovadoras** – à medida que criamos possibilidades com coragem, curiosidade e determinação.

### CULTURA DA EMPRESA

Nós focamos em desafiar o que já foi feito.

Nós combinamos experiência e perspicácia nos negócios com grandes resultados na busca constante de excelência.

Trabalhamos para que o impossível se torne realidade.

Para aqueles que são curiosos e nunca param de aprender, aqueles que corajosamente trazem mudança e ouvem abertamente novas ideias.

Para aqueles que podem transferir seus valores para os outros, sempre respeitando a diversidade enquanto alavancam a inclusão.

Usar a ciência para aproveitar o potencial da natureza de olho na sustentabilidade ambiental: este é o princípio no qual a GeaPower se baseia. É a plataforma tecnológica exclusiva desenvolvida pela Valagro para transformar potenciais ingredientes ativos em soluções de nutrientes de alta qualidade.

Graças ao GeaPower, podemos oferecer soluções baseadas em inovação sustentável que, utilizando as tecnologias mais modernas, em prestam valiosos ingredientes ativos da natureza e os devolvem à própria natureza para obter colheitas mais saudáveis, ricas e melhores.

GeaPower reduz  
o custo de levar  
uma solução  
ao mercado,  
garantindo eficácia  
consistente.



#### PROFUNDO CONHECIMENTO DOS INGREDIENTES ATIVOS E MATÉRIAS-PRIMAS

Isso permite que a Valagro identifique, caracterize e preserve ingredientes ativos específicos que podem alcançar respostas fisiológicas direcionadas em plantas.



#### PROCESSOS DE SELEÇÃO E EXTRAÇÃO DE ATIVOS

Processos de extração personalizados ajudam a manter a proporção correta de cada ingrediente em misturas naturais complexas.



#### TECNOLOGIAS AVANÇADAS DE TRIAGEM E INVESTIGAÇÃO

– Genômica, fenômica e outras ciências “ômicas” permitem que a Valagro decifre os gatilhos genéticos e moleculares para respostas fisiológicas específicas em plantas.  
– Triagem de centenas de amostras por experimento.



#### CAPACIDADE COMPROVADA PARA FORNECER SOLUÇÕES COMERCIALMENTE VIÁVEIS

– Ampla experiência com experimentos de campo.  
– A função comercial e a função de pesquisa estão intimamente integradas.  
– Permite que a Valagro acelere os candidatos a produtos com a melhor chance de obter viabilidade comercial.







# 1

## Ferro

Alberto Stivaletta e Alessandro De Marco – Global Research

### 1.1 Ferro na natureza

Dependendo do estado redox, o ferro é encontrado na natureza em ambas as formas:  $\text{Fe}^{3+}$  [férrico] ou  $\text{Fe}^{2+}$  [ferroso]. Depois do Si, O e Al, o ferro é o elemento mais abundante no núcleo da Terra [em torno de 5,1%], enquanto no solo estima-se um nível médio de 3,8% [Lindsay, 1979]. O ferro é geralmente encontrado no solo em quantidades suficientes para formar vários compostos, geralmente óxidos e hidróxidos. A cor do solo deve-se, principalmente, à presença de óxidos livres. As cores amarelo e marrom em zonas frias/temperadas se devem à presença de hidróxidos como a goethita. A cor vermelha em regiões áridas é devida a óxidos não hidratados, como a hematita.

### 1.2 Ferro no solo

A maior parte do ferro é encontrada nas estruturas cristalinas de numerosos minerais e no lençol freático. Começando pelo intemperismo dos

minerais primários, libera-se ferro solúvel que pode ser usado por organismos, liga-se a diferentes ligantes orgânicos ou pode até mesmo ser transformado em minerais secundários, como sulfetos, carbonatos e minerais de argila. Óxidos e hidróxidos de várias composições e graus de cristalização controlam, principalmente, a solubilidade desse elemento no solo [Murad e Fischer, 1988; Lindsay, 1979]. A goethita é o óxido de ferro mais frequente no solo porque tem a maior estabilidade sob as condições ambientais encontradas nos solos. Ela é encontrada em muitos tipos de solo e regiões climáticas e é responsável pela cor laranja de muitos solos. Frequentemente é encontrada associada à segunda forma mais comum de hematita, no entanto, não parece estar restrita a uma região climática específica, enquanto a hematita é encontrada em áreas tropicais onde as condições de temperatura e pH favorecem sua formação. É vermelha e tem alta resis-

tência à pigmentação [Schwertman e Taylor, 1989]. Devido à solubilidade extremamente baixa dos óxidos  $\text{Fe}^{3+}$  na faixa normal de pH do solo, o ferro liberado precipitará rapidamente como óxido ou hidróxido. Apenas uma pequena parte de ferro oxidado é incorporado em silicatos laminares secundários [argilas] e/ou fica complexado por matéria orgânica [Schwertman e Taylor, 1989]. Em condições de anaerobiose, microrganismos podem usar os óxidos de  $\text{Fe}^{3+}$  como aceptores de elétrons finais para alcançar a decomposição oxidativa da matéria orgânica. Esse processo causa a redução do  $\text{Fe}^{3+}$  para o  $\text{Fe}^{2+}$ , que geralmente é mais solúvel.

#### LEGENDA

- 1 intemperismo
- 2 absorção
- 3 decomposição
- 4 complexação
- 5 hidrólise
- 6 redução
- 7 oxidação
- 8 redução por organismos

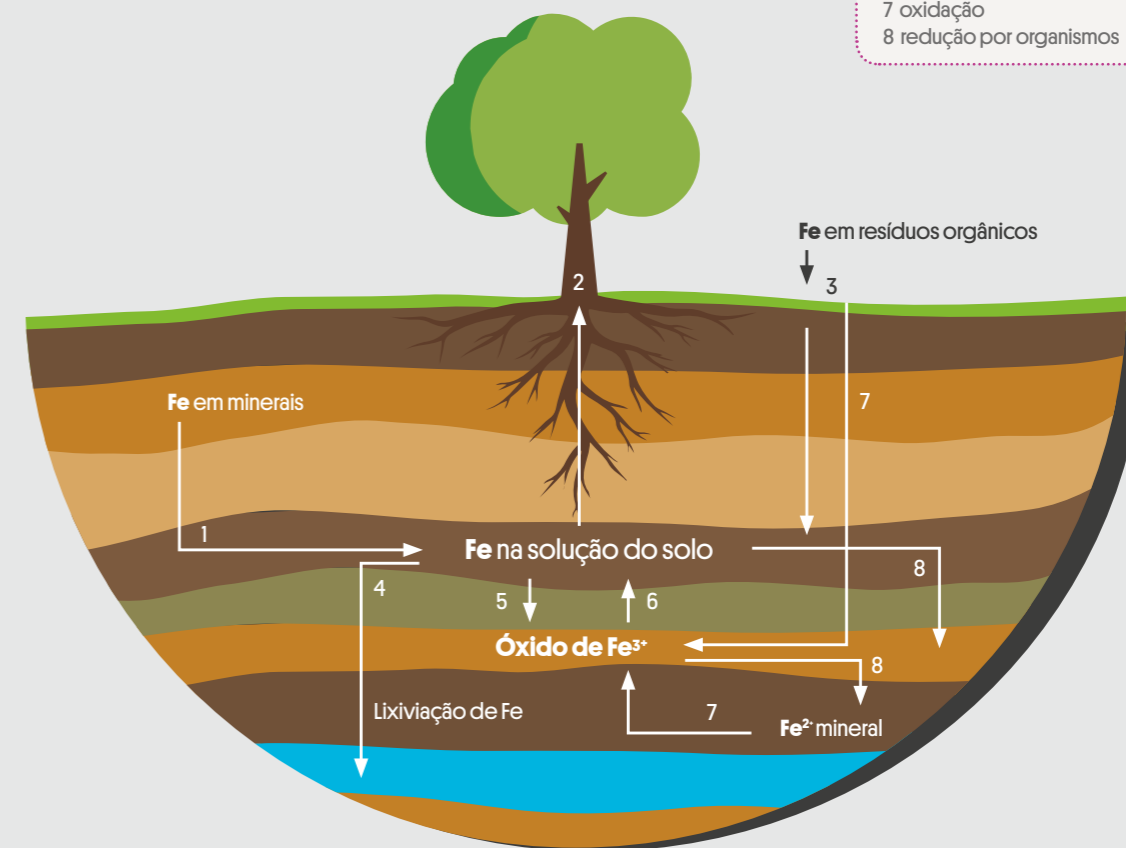


Fig.1 – Ciclo do Fe no solo [Adaptado de Murad e Fischer, 1988].

### 1.3 A química do ferro

Compostos de ferro podem existir como formas ferrosas (ferro (II)) ou formas férricas (ferro (III)).

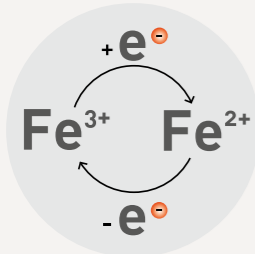


Fig. 2 – Reação de oxidação e redução do ferro.

O ferro é um elemento de transição caracterizado pela relativa facilidade com que pode mudar seu estado de oxidação e por sua capacidade de formar compostos octaédricos com vários ligantes, e com uma grande variação no potencial redox dependendo do ligante. Essa variabilidade lhe dá especial importância nos sistemas biológicos de redox e no solo (Schwertman e Taylor, 1989; Schwertman, 1991).

### 1.4 Aspectos gerais da deficiência de ferro

O ferro (Fe) é um micronutriente essencial para plantas, seres humanos e outros animais. No início do século XVII, esse elemento foi explorado como um medicamento por algumas

comunidades, incluindo egípcios, hindus, gregos e romanos (Guggenheim, K.Y.). A Organização Mundial da Saúde (OMS) afirma que a insuficiência de micronutrientes como Fe e Zn representa uma grande ameaça à saúde e ao desenvolvimento da população mundial. Deficiências de minerais e vitaminas permanecem como um grave problema de saúde global, afetando mais de dois bilhões de pessoas ou um em cada três indivíduos (FAO; IFAD; PMA) e, principalmente, nos países em desenvolvimento, a busca por soluções que possam reduzir os efeitos nocivos dessas insuficiências nutricionais é de suma importância (Black *et al.*, 2008). Essa abordagem visa colocar os elementos traço, como o ferro, em culturas básicas e produtos alimentícios, utilizando diferentes procedimentos, como práticas agrônomicas, para obter um produto alimentar final com maior teor de ferro, considerando-o como uma importante estratégia para reduzir a deficiência de Fe nas pessoas (Cakmak, 2002).

### 1.5 Principais fatores que afetam a disponibilidade de ferro

A deficiência de Fe é tipicamente encontrada em culturas cultivadas em solos calcáreos ou alcalinos,

em regiões áridas e semiáridas do mundo; esses solos cobrem mais de 30% da superfície terrestre (fig. 1) (Álvarez-Fernández *et al.*, 2006). As causas da deficiência de ferro não devem estar apenas ligadas à sua indisponibilidade, mas podem depender de inúmeras situações e ter uma natureza distinta. A seguir, os fatores mais relevantes que afetam a disponibilidade de ferro.

#### 1.5.1 Solubilidade de ferro no solo

Os estudos realizados por Lindsay (1979, 1991) sobre as diversas solubilidades dos diferentes óxidos de ferro e hidróxidos no solo (fig. 3) destacam o fato de que:

1. O óxido de ferro amorfo seria o mais solúvel, enquanto a goethita seria o menos solúvel.
2. A solubilidade dos óxidos e hidróxidos  $Fe^{3+}$  presentes no ambiente está intimamente relacionada ao pH do solo; assim, a solubilidade diminui 1.000 vezes para cada aumento de unidade de pH, reduzindo a concentração de ferro solúvel a valores inferiores a  $10^{-10}$  M em ambientes com valor de pH de 7,5.

3. A região com menor solubilidade de ferro corresponde a uma faixa de pH entre 7,5 e 8,5 (fig. 4), que coincide com solos calcáreos. A concentração de ferro para este intervalo de pH é de, aproximadamente,  $10^{-10}$  a  $10^{-9}$  M, uma quantidade insuficiente para o crescimento ideal da planta, que requer uma faixa de ferro solúvel de  $10^{-4}$  a  $10^{-9}$  no ambiente (Guerinot e Yi, 1994). Estudos realizados por Römheld e Marschner (1986) mostraram que, em solos bem arejados, a quantidade de ferro dissolvido em valores de pH maior que 4 é menor do que a quantidade necessária para a maioria da vegetação, o que resulta nas deficiências de ferro nas plantas cultivadas nesses solos. Como o ferro pode estar presente em duas condições, o potencial redox do solo é outro fator que influencia o conteúdo desse nutriente. Em solos bem arejados – uma condição que normalmente é atendida pela lavoura –,  $Fe^{3+}$  não é alterado pelo potencial redox. O  $Fe^{2+}$  pode estar presente de diferentes formas em diferentes pHs do solo: em pH inferior a 6,7, a espécie predominante é  $Fe^{2+}$ , enquanto em valores de pH mais elevados as principais espécies são  $FeOH^+$  (fig. 5). Em condições aeróbicas, essas espécies são instáveis; no entanto, se houver condições de redução, essas duas espécies são as mais abundantes e são as que controlam a quantidade de ferro disponível para plantas (Lindsay, 1991). Em solos recentemente reduzidos, a solubilidade do ferro aparentemente será controlada por siderite ( $FeCO_3$ ). Os incrementos na concentração de  $CO_2$  no solo resultarão em uma diminuição da solubilidade de ferro para as plantas (Lindsay e Schwab, 1982). Consequentemente, a regra geral para a solubilidade do ferro é que, sob condições aeróbicas e com um pH neutro ou alcalino, o ferro precipitará em formas insolúveis, enquanto que com pH ácido e condições

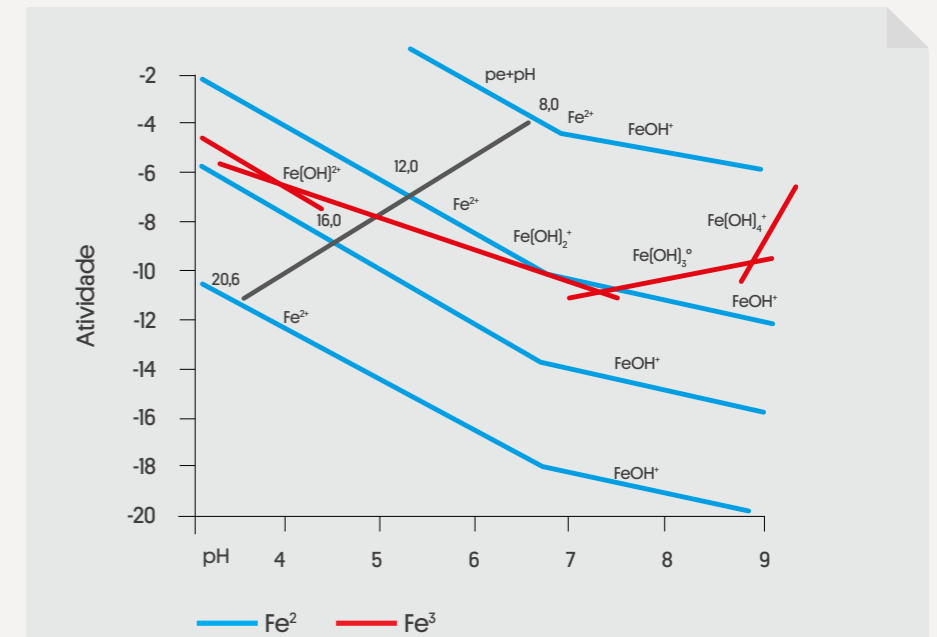


Fig. 5 – Efeito com relação ao potencial redox para as formas  $Fe^{2+}$  e  $Fe(OH)^+$  em comparação com as formas hidrolisadas de  $Fe^{3+}$  em equilíbrio com o sistema Fe-solo (Lindsay e Schwab, 1982).

de redução a concentração de ferro solúvel será maior.

#### 1.5.2 Presença de bicarbonatos (pH)

O íon hidrogenocarbonato em solo calcáreo, muda o pH para 7,5–8,5, e, em condições extremas, até 9. Com esse pH, a concentração de ferro solúvel fica baixa (Lindsay, 1979, 1991; Lindsay e Schwab, 1982); assim, é difícil para as culturas obterem o ferro de que precisam. Além disso, os principais mecanismos de resposta da planta são impactados negativamente pela deficiência de ferro: os

prótons liberados pela vegetação são neutralizados, a alcalinização reduz a secreção de compostos fenólicos e dificulta a redução do  $Fe^{3+}$  na membrana plasmática (Römheld e Marschner, 1986). Tudo isso influencia a biodisponibilidade do ferro, causando grandes alterações e inibindo a resposta da cultura à deficiência de ferro (Susin *et al.*, 1996). A tabela 1 relata as características de alguns solos alcalinos.

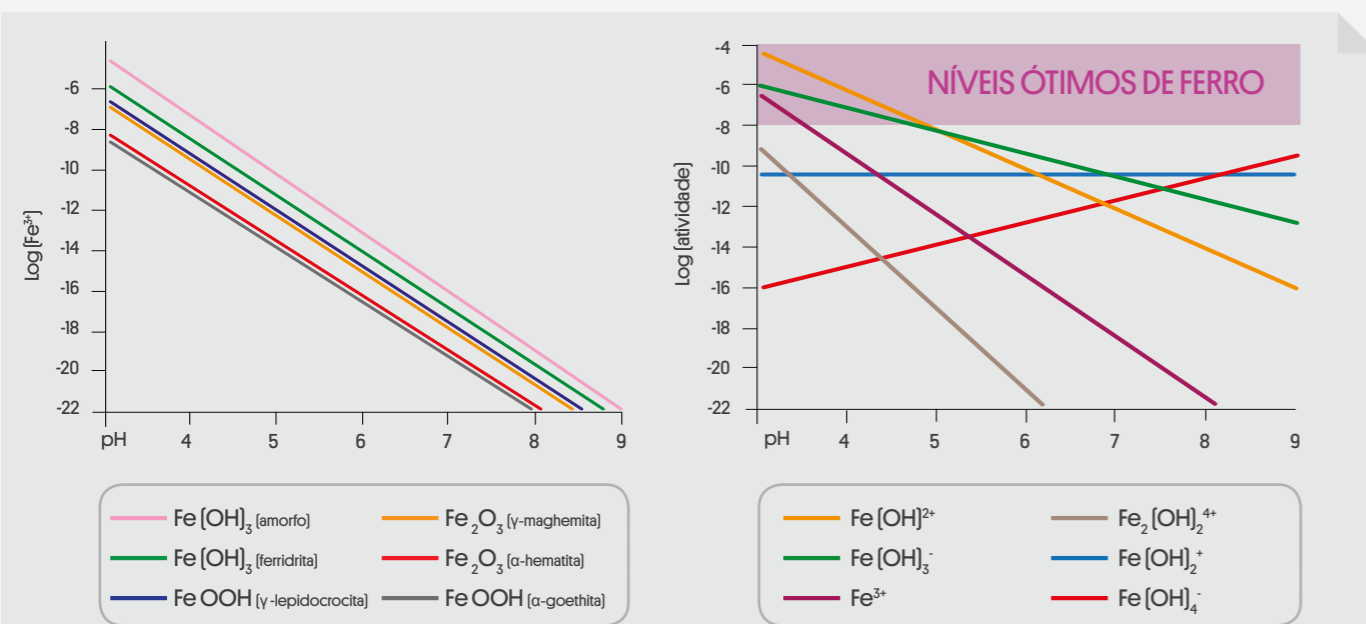


Fig. 3 – Atividade de  $Fe^{3+}$  em óxidos e hidróxidos de Fe presentes no solo de acordo com o pH (Lindsay, 1979).

Fig. 4 – Espécies de  $Fe^{3+}$  hidrolisado em balanço com Fe no solo (Lindsay, 1979).

SOLO	HORIZONTE, CARACTERÍSTICAS	FERTILIDADE	pH	DISTRIBUIÇÃO
Alfissols	Diferenciado, principalmente o horizonte de argila	Deficiente, precisa fertilizar	7,5 / 7,8	Regiões úmidas e temperadas da América do Norte e Europa
Aridissols	Diferenciado, principalmente o horizonte de argila	Bom, com riscos	7,8 / 8,1	Em regiões desérticas em todo o mundo
Mollissols	Diferenciado, com horizonte de superfície espesso, escuro e orgânico	Excelente, particularmente para cereais	6,1 / 8,6	Grandes prados, pampa argentino, estepe russa
Vertissols	Nenhum, alto teor de argila expansiva	Bom	7,6 / 9,5	Pastagens em regiões sazonalmente secas, por exemplo, Índia, Sudão, Texas

Tab. 1 – Principais características dos solos (alfissols, aridissols, mollissols, vertissols).





### 1.5.3 Interações entre ferro e outros elementos

Os nutrientes essenciais às plantas podem interagir com o ferro e desencadear sua deficiência nas culturas; a seguir, algumas das interações mais relevantes.

#### INTERAÇÃO IÔNICA ENTRE Fe/Mn

Os microelementos ferro e manganês são interdependentes: o efeito da presença de um no tecido vegetal coincide proporcionalmente com a quantidade do outro. A reatividade do ferro depende do seu estado de oxidação, mas o manganês tem melhor potencial de oxidação do que o ferro; se houver um equilíbrio entre os dois, Mn oxida o excesso de ferro e transforma-o em ferro inativo, que é imobilizado por fosfatos, formando um precipitado de fosfato de ferro [uma fosfoproteína chamada fitoferitina]. Se houver um desequilíbrio entre os dois, duas condições diferentes podem ocorrer:

1. O excesso de ferro na solução cau-

sa a perda de equilíbrio dinâmico entre os dois elementos, resultando em sintomas secundários de excesso de ferro com sintomas semelhantes à deficiência de manganês.

2. Se houver excesso de manganês, as plantas tornam-se cloróticas em suas novas folhas com sintomas semelhantes à deficiência de ferro. O excesso de manganês causa oxidação excessiva de  $Fe^{2+}$  para  $Fe^{3+}$ , sendo este último insolúvel e, portanto, inutilizável para as células.

Altos níveis de Mn solúvel no tecido estão relacionados a baixos níveis

de Fe solúvel e vice-versa, [Somers e Shive, 1942].

Em situações de cultivo no campo, a clorose de ferro ocorre ao mesmo tempo, mascarando a clorose desencadeada por deficiência de manganês. A correção deste último, em muitos casos, causa a manifestação visual do segundo e a exacerba. Isso foi confirmado em inúmeras ocasiões por pesquisadores [Warden *et al.*, 1991]. Significa que a razão Fe/Mn em soluções de nutrientes é mais importante do que as concentrações de Fe e Mn [Somers e Shive, 1942; Warden, 1991].

Fig. 6 – Distribuição global do solo [alfisols, aridisols, molisols, vertisols]; fonte USDA-NRCS adaptado pela Valagro 2011.

■ Distribuição global do alfisol, aridisol, molisol e vertisol no solo.

#### INTERAÇÃO IÔNICA ENTRE Fe/K

O papel do  $K^+$  é muito importante no que diz respeito ao funcionamento da bomba de prótons; assim, as plantas não são capazes de responder ao estresse de ferro na ausência de  $K^+$ , mesmo que o íon seja substituído por Na [Jolley *et al.*, 1988], o que significa que o conteúdo suficiente de potássio está relacionado a uma melhor resposta à deficiência de ferro tanto nas plantas da Estratégia I quanto II [Hughes *et al.*, 1992]. Portanto, a presença de potássio é importante para a disponibilidade

de ferro; isso é considerado útil em termos agronômicos.

#### FITOSIDERÓFOROS

Muitos autores demonstraram que os fitosideróforos (PS) liberados por espécies gramíneas podem mobilizar Fe de fontes de solo solúveis de ferro; isso é considerado útil em termos agronômicos.

#### TEMPERATURA

Temperaturas extremas são outro fator que induz a clorose de ferro; baixas temperaturas causam uma redução no desenvolvimento radicular e, assim, uma redução na capacidade de absorver ferro [Chaney, 1984]. Ao mesmo tempo, altas temperaturas reduzem a estabilidade dos fitosideróforos, reduzindo a disponibilidade do ferro [Awad *et al.*, 1988].







# 2

## Ferro nas plantas

Giustino Strolli e Gianluca Nicolini – Global Research

### 2.1 Absorção

Diante da deficiência de ferro, as plantas podem permanecer indiferentes, desenvolvendo resposta leve (plantas ineficientes) ou mecanismos de adaptação que lhes permitam aumentar sua capacidade de absorver ferro a partir da solução do solo (plantas eficientes) [fig. 7] [Mengel e Kirby, 2001]. Em cada grupo, o grau de resposta é diferente, mesmo entre espécies e genótipos [Brown e Jolley, 1988; Shi *et al.*, 1993]. Em relação aos estados de oxidação em que o ferro se apresenta no solo – férrico  $Fe^{3+}$  e ferroso  $Fe^{2+}$  –, aceita-se que a planta prefira  $Fe^{2+}$ , embora existam algumas plantas capazes de absorver ferro como  $Fe^{3+}$ . O  $Fe^{2+}$  é, preferencialmente, absorvido pelas raízes por meio de um processo de absorção ativa [Uren, 1984], em solos bem arejados, que normalmente é o tipo de solo em que se encontram terras agrícolas.

Nessas condições, é necessário dar um passo prévio na redução do  $Fe^{3+}$  para o  $Fe^{2+}$ . Esse processo é realizado por uma enzima redutase localizada na membrana plasmática da raiz [Römheld, 1987].  $Fe^{2+}$  também é absorvido pela epiderme foliar e da superfície dos ramos.

### 2.2 Estratégias de absorção

Em situações em que há deficiência de ferro no meio ambiente, plantas superiores desenvolveram uma série de mecanismos para aumentar a disponibilidade de ferro na solução do solo. As referidas plantas são divididas em dois grupos com base no modelo de resposta que desenvolvem com essa deficiência: estratégia I e estratégia II [Marschner *et al.*, 1986; Brown e Jolley, 1988; Hopkins *et al.*, 1992].

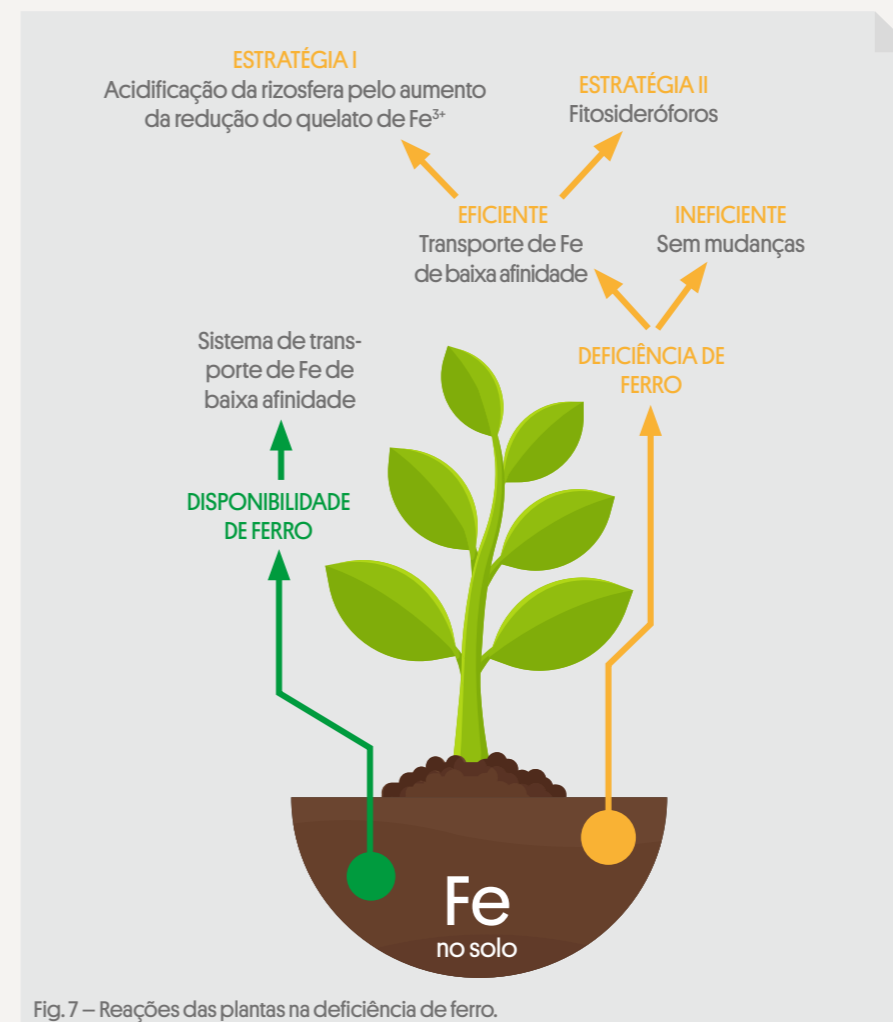


Fig. 7 – Reações das plantas na deficiência de ferro.

#### LEGENDA

- UNIDIRECIONAL
- ↔ MÚTUA

#### ANTAGONISMO

POTÁSSIO [K]	→	BORO [B]
MAGNÉSIO [Mg]	↔	POTÁSSIO [K]
MOLIBDÊNIO [Mo]	→	COBRE [Cu]
COBRE [Cu]	→	MANGANÊS [Mn]
		FERRO [Fe]
FÓSFORO [P]	→	ZINCO [Zn]
		POTÁSSIO [K]
		COBRE [Cu]
		CÁLCIO [Ca]
		FERRO [Fe]
ZINCO [Zn]	→	FERRO [Fe]
BORO [B]	→	POTÁSSIO [K]
FERRO [Fe]	→	FÓSFORO [P]
NITROGÊNIO [N]	→	POTÁSSIO [K]
		COBRE [Cu]
		BORO [B]
CÁLCIO [Ca]	↔	POTÁSSIO [K]
		MAGNÉSIO [Mg]
		NH4+
CÁLCIO [Ca]	→	MANGANÊS [Mn]
		ZINCO [Zn]
		BORO [B]
		FÓSFORO [P]
		FERRO [Fe]

#### SINERGIA

NITROGÊNIO [N]	→	MAGNÉSIO [Mg]
MAGNÉSIO [Mg]	→	FÓSFORO [P]
MOLIBDÊNIO [Mo]	→	NITROGÊNIO [N]
POTÁSSIO [K]	→	MANGANÊS [Mn]
		FERRO [Fe]
SULFATO [SO <sub>2</sub> ]	→	NITROGÊNIO [N]
		POTÁSSIO [K]
		COBRE [Cu]
		MANGANÊS [Mn]
		MAGNÉSIO [Mg]
FERRO [Fe]	→	MANGANÊS [Mn]

Tab.2 – Interação iônica dos nutrientes no solo.



## 2.2.1 Estratégia I

Plantas dicotiledôneas e monocotiledôneas, exceto gramíneas, desenvolvem esse tipo de resposta. Em circunstâncias em que há uma deficiência de ferro, essas plantas melhoram sua absorção por meio de três reações:

1. Aumento da atividade de redução ligada à membrana plasmática nas células da rizoderme, responsável pela redução do  $\text{Fe}^{3+}$ , o que causa um aumento na decomposição e velocidade da redução do  $\text{Fe}^{3+}$ , que, por sua vez, causa um aumento na velocidade de decomposição do  $\text{Fe}^{3+}$  quelatizado e, conseqüentemente, absorve o ferro reduzido para a planta. Essa dissociação dos quelatos é o principal mecanismo na estratégia I. Isso faz com que as células radiculares das plantas, na estratégia I, possuam dois sistemas para reduzir o  $\text{Fe}^{3+}$ : redutase padrão e turbo [sua capacidade de redução é 20 vezes maior que o sistema padrão] [Moog e Brüggeman, 1994].

2. Consiste na expulsão de  $\text{H}^+$  através das raízes da rizosfera. Essa subestratégia é menos frequente; apenas algumas dicotiledôneas demonstram isso [Marschner *et al.*, 1986; Zocchi e Cocucci, 1990; Toulon *et al.*, 1992]. Esse efeito deve-se à indução de uma bomba de prótons, que depende do ATP da membrana plasmática [Zocchi e Cocucci, 1990; Toulon *et al.*, 1992]. A diminuição do pH da rizosfera ocorre uma vez que a capacidade de excretar prótons é aumentada, o que possibilita aumentar a solubilidade do ferro presente no solo e a atividade de redutase turbo porque essa enzima atinge sua atividade máxima em pH 6,5 [Holden *et al.*, 1991; Jolley *et al.*, 1988], enfatizando o papel do  $\text{K}^+$  no funcionamento da bomba de prótons.

3. Essa terceira subestratégia é encontrada em algumas espécies: as plantas que demonstram a estratégia I caracterizada pela indução de

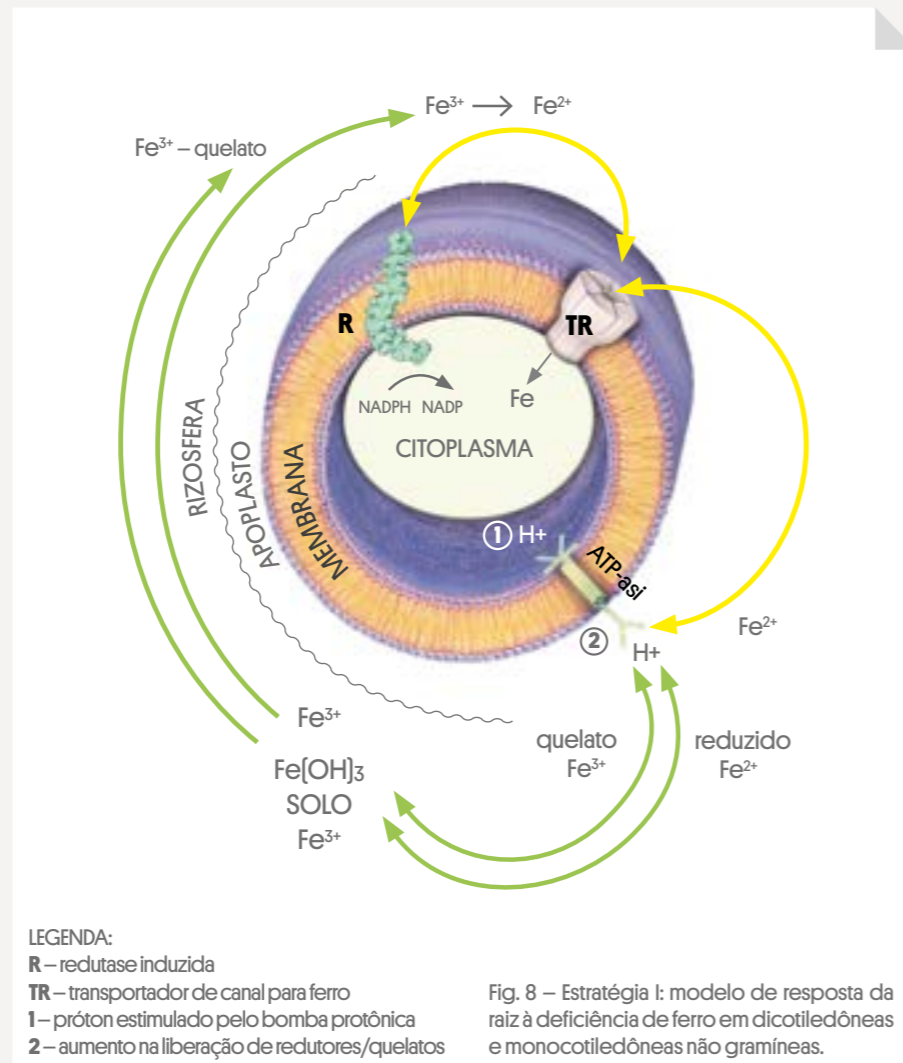


Fig. 8 – Estratégia I: modelo de resposta da raiz à deficiência de ferro em dicotiledôneas e monocotiledôneas não gramíneas.

um sistema de transporte de ferro na membrana plasmática [Young e Terry, 1982; Fox *et al.*, 1996; Fox e Guerinot, 1998]. Estudos realizados com plantas de pepino mostraram que existem dois sistemas diferentes de transporte de ferro [um com alta afinidade e outro com baixa afinidade]. Em situações em que há ferro suficiente, o sistema de baixa afinidade transporta o ferro para a planta, enquanto o sistema de alta afinidade é ativado se houver deficiências de ferro [Zaharieva e Römheld, 2000].

## MUDANÇAS MORFOLÓGICAS NAS RAÍZES

Além dessas três reações, as plantas que desenvolvem essa estratégia podem gerar outro tipo de resposta para aumentar a capacidade do solo de absorver ferro [Abadía, 1998; López-Millán, 2000]. Elas tendem a

aumentar a superfície de contato entre as raízes e o solo. As referidas mudanças consistem na formação de pelos radiculares, espessamento das regiões subapicais e no desenvolvimento de células de transferência no espessamento [Welkie e Miller, 1993].

## EXCREÇÃO DE COMPOSTOS COM BAIXO PESO MOLECULAR

As raízes das plantas podem excretar uma grande variedade de compostos orgânicos, incluindo a redução de açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos, compostos fenólicos e flavonoides. A taxa de exsudação e sua composição dependem do pH, da temperatura e do tipo de solo, da intensidade da luz, da idade e do estado nutricional da planta e da presença de microrganismos [Jones, 1998].

## MUDANÇAS DE PROTEÍNAS NAS RAÍZES

Vários trabalhos realizados usando eletrodeposição e transcrição *in vitro* de mRNA radicular [Bienfait, 1988b; Herbik *et al.*, 1996].

## 2.2.2 Estratégia II

Apenas gramíneas desenvolvem esse tipo de resposta; a resposta das plantas da estratégia II às situações de deficiência de ferro é caracterizada pela liberação na zona da raiz de aminoácidos proteino-gênicos com baixo peso molecular, os chamados fitossideróforos, que quelatizam o  $\text{Fe}^{3+}$  presente no solo e são posteriormente absorvidos sem redução prévia por meio de um sistema de transporte para fitossideróforos  $\text{Fe}^{3+}$  com alta afinidade [Römheld e Marschner, 1986; Takagi, 1976]. A realocação de fitossideróforos segue um ritmo diurno característico (fig. 9), rapidamente reduzido com a oferta de ferro [Marschner, 1995]. O ritmo diurno na liberação de fitossideróforos nas plantas com deficiências de ferro está inversamente relacionado ao volume de um determinado tipo de vesícula no citoplasma das células corticais [Nishizawa e Mori, 1987]. Fitossideróforos (PS) é o nome dado ao ácido mugineico e seus derivados. Eles são liberados através das raízes e formam complexos altamente estáveis com  $\text{Fe}^{3+}$ , aumentando assim a quantidade de ferro na solução. O número de PS liberado está relacionado ao grau de resistência à clorose [Kawai *et al.*, 1988; Hansen *et al.*, 1996]. A biossíntese do PS na raiz aumenta se a deficiência aumentar, com um acréscimo de até 20 vezes em relação às plantas controle [Takagi *et al.*, 1984]. O transporte do complexo para o citoplasma celular é feito por meio de uma proteína específica que foi recentemente identificada [Curie *et al.*, 2001] e está

localizada na zona apical da raiz, permitindo o transporte do complexo  $\text{Fe}^{2+}$ -NA [NA = nicotianamina] e, possivelmente, outros metais [Hell e Stephan, 2003]. Uma vez que o complexo está no citosol, o  $\text{Fe}^{3+}$  é lançado e o PS degrada ou é excretado. Foi comprovado que o PS liberado e o complexo de ferro são absorvidos pelas raízes das plantas [Kawai e Alam, 2005]. Ambos demonstram absorção diferente, o que sugere que as células na raiz poderiam diferenciar entre o PS liberado e o complexo para que o PS liberado pudesse então ser excretado para a rizosfera.

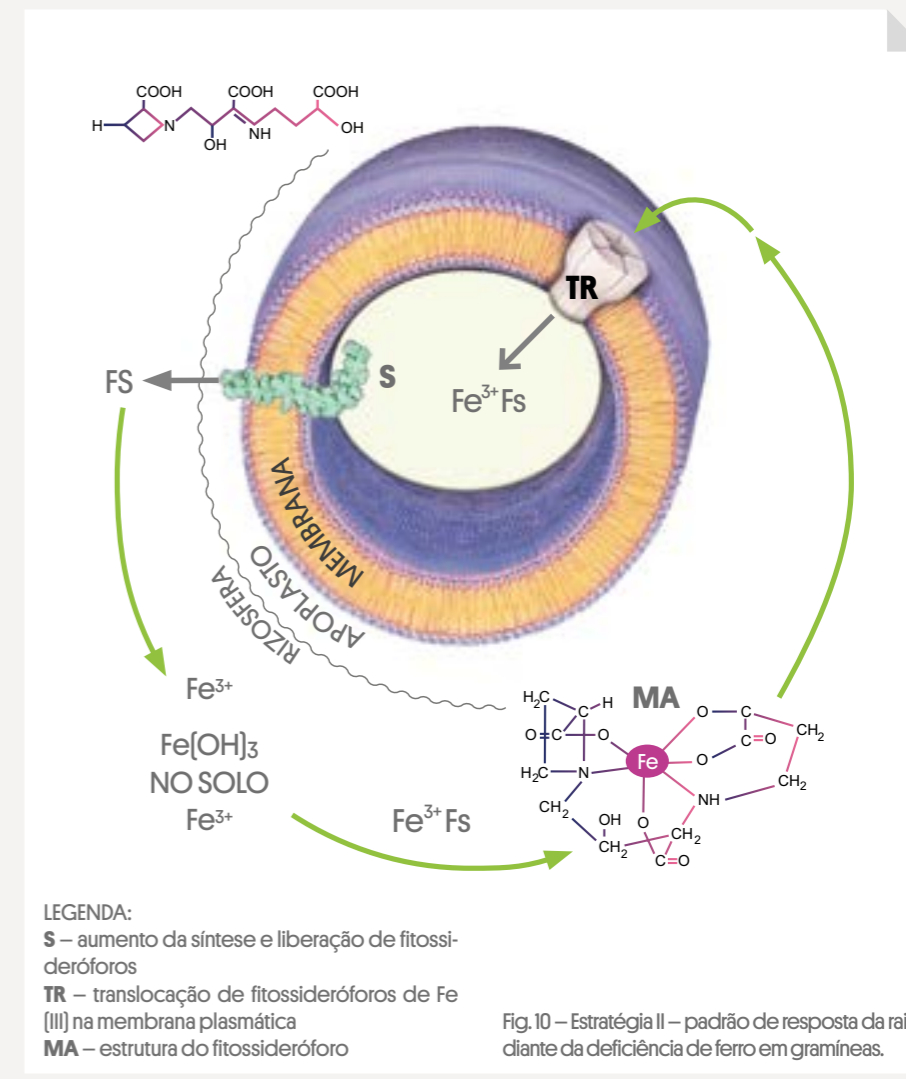
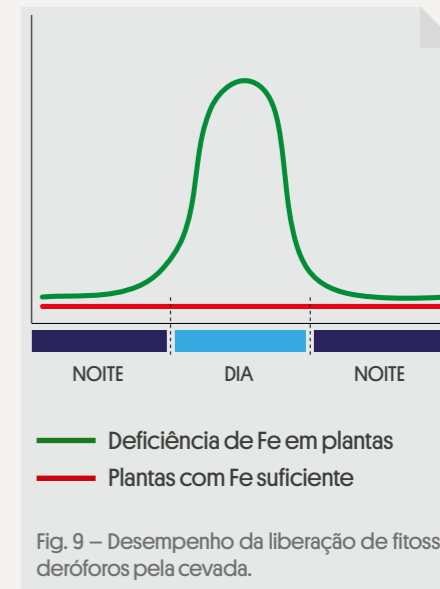


Fig. 10 – Estratégia II – padrão de resposta da raiz diante da deficiência de ferro em gramíneas.



Metionina › nicotianamina › 2-ácido desoximugineico › ácido mugineico › ácido 3-hidromugineico. O ciclo de síntese de metionina (fig. 11) experimenta ativação substancial nas raízes das plantas deficientes de ferro causadas pela metionina para a síntese de fitossideróforos; esse fato foi estabelecido em raízes, mas não na parte da planta que está acima do solo [Kobayashi *et al.*, 2006].

### 2.3 Transporte de ferro em plantas

O íon ferroso é transportado no córtex da raiz, via simplasto, por meio de plasmodesmos quando aparece na forma de  $Fe^{2+}$ -nicotianamina [Pich *et al.*, 1997; Stephan, 2002]. Posteriormente e ainda no simplasto do sistema radicular, o  $Fe^{2+}$  sofre oxidação para se tornar  $Fe^{3+}$ . Uma vez na forma  $Fe^{3+}$ , é transportado para a parte aérea da planta através do xilema na forma de um complexo de citrato solúvel [Tiffin, 1970; Campbell e Redinbaugh, 1984; López-Millán *et al.*, 2000<sup>a</sup>; Mengel e Kirby, 2001; Stephan, 2002]. Uma vez que o ferro atinja as folhas, ele deve atravessar a membrana plasmática das células foliares. Essa etapa requer mais uma vez a redução do  $Fe^{3+}$  para o  $Fe^{2+}$ , processo que é realizado por uma enzima redutase como a da raiz [Brüggemann *et al.*, 1993; de la Guardia e Alcántara, 1996; González-Vallejo *et al.*, 1998, 2000; Rombolà *et al.*, 2000]. Embora o transporte seja realizado através do xilema, o ferro foi encontrado no floema. A capacidade de transporte desse íon está relacionada com a resposta das plantas às deficiências de ferro. O transporte de  $Fe^{3+}$  no floema é feito como  $Fe^{3+}$ -nicotianamina [Becker *et al.*, 1992; Stephan e Scholz, 1993]. Deve-se considerar que altas concentrações de  $Fe^{2+}$  no citoplasma celular têm efeitos tóxicos [Mengel e Kirby, 2001]. Portanto, o ferro deve ser rapidamente oxidado para  $Fe^{3+}$ . Assim, o íon ferroso é transportado para o cloroplasto, onde é oxidado para  $Fe(OOH)$  e acumulado na forma de uma fosfoproteína

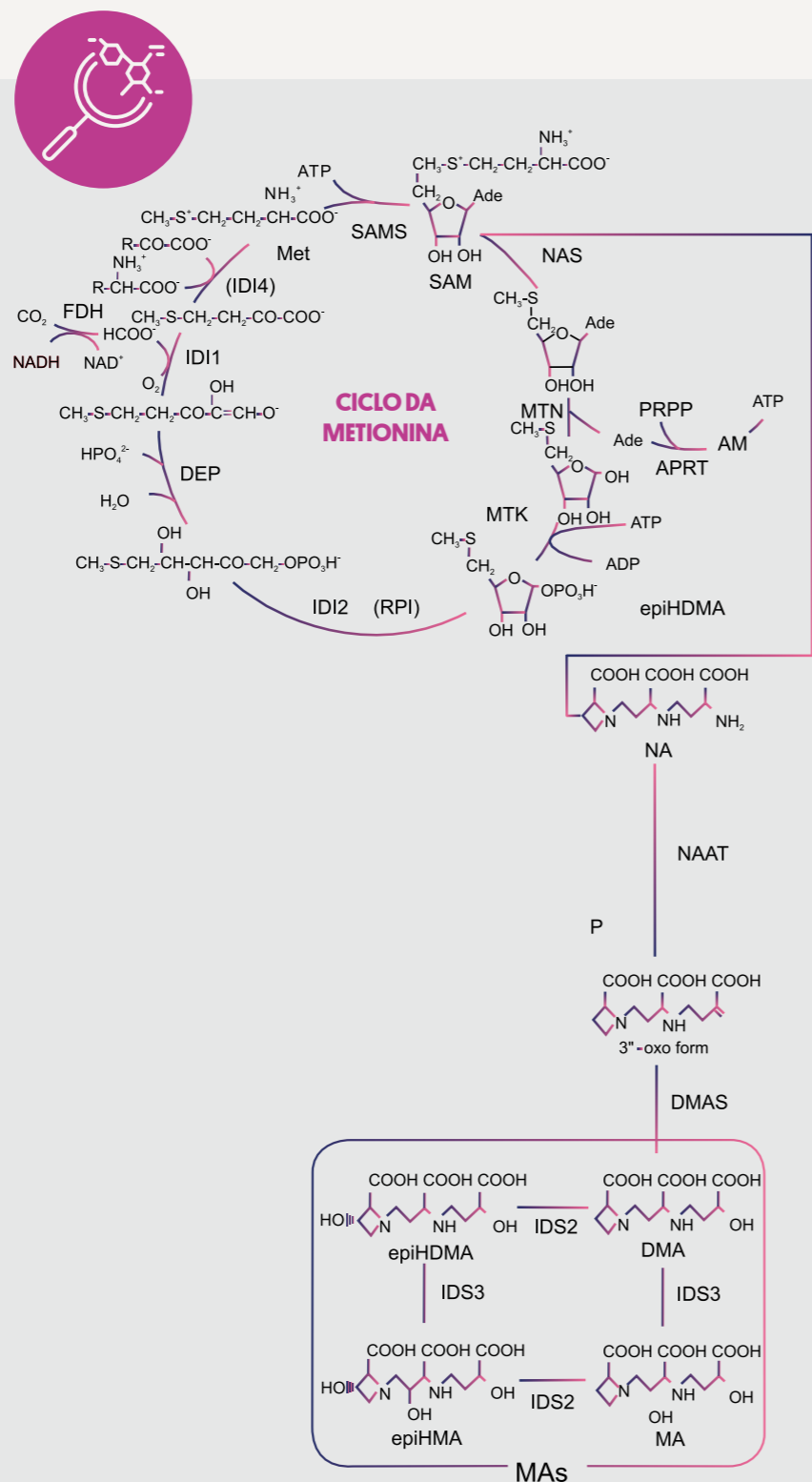


Fig. 11 – Síntese de fitossideróforos e o ciclo da metionina em gramíneas [Kobayashi *et al.*, 2005].

ina conhecida como fitoferritina, uma proteína multinumérica que segrega mais de  $4 \cdot 10^3$  átomos de ferro na forma de um mineral estável dentro do revestimento proteico [Theil, 1987; Andrews *et al.*, 1992; Lahlere e Briat, 1993], criando uma reserva de ferro não tóxica na célula. A fitoferritina é encontrada principalmente nos cloroplastos, mas não se limita apenas a essa organela, tendo sido encontrada também no xilema e floema [Smith, 1984]. Em situações em que há deficiências de ferro, o íon férrico é mais uma vez reduzido a um íon ferroso, que poderia ser transportado na forma de  $Fe$ -nicotianamina através das células [Mengel e Bübl, 1983; Lahlere e Briat, 1993]. O transporte de ferro nas plantas da estratégia II, através das raízes e do xilema, é realizado na forma de  $Fe$ -fitossideróforos [Mori *et al.*, 1991; Alam *et al.*, 2001; Kawai *et al.*, 2001].

### 2.4 Funções biológicas de ferro em plantas

A deficiência de  $Fe$  é um problema mundial na produção agrícola, afetando o rendimento tanto qualitativamente quanto quantitativamente [Mortvedt, 1991]; as plantas não atingem seu potencial de crescimento total e o valor nutricional está comprometido, levando a perdas econômicas e limitações na seleção de cultivares [Chaney, 1984]. Em casos extremos, a deficiência de  $Fe$  pode resultar em perda completa da cultura [Chen e Barak, 1982]. A lista de espécies vegetais afetadas é vasta e inclui maçã, cítricos, videira, amendoim, arroz de sequeiro, sorgo e soja [Marschner, 1995]. Como componente crítico de proteínas e enzimas, o ferro desempenha um papel significativo em processos biológicos básicos como fotossíntese, síntese de clorofila,

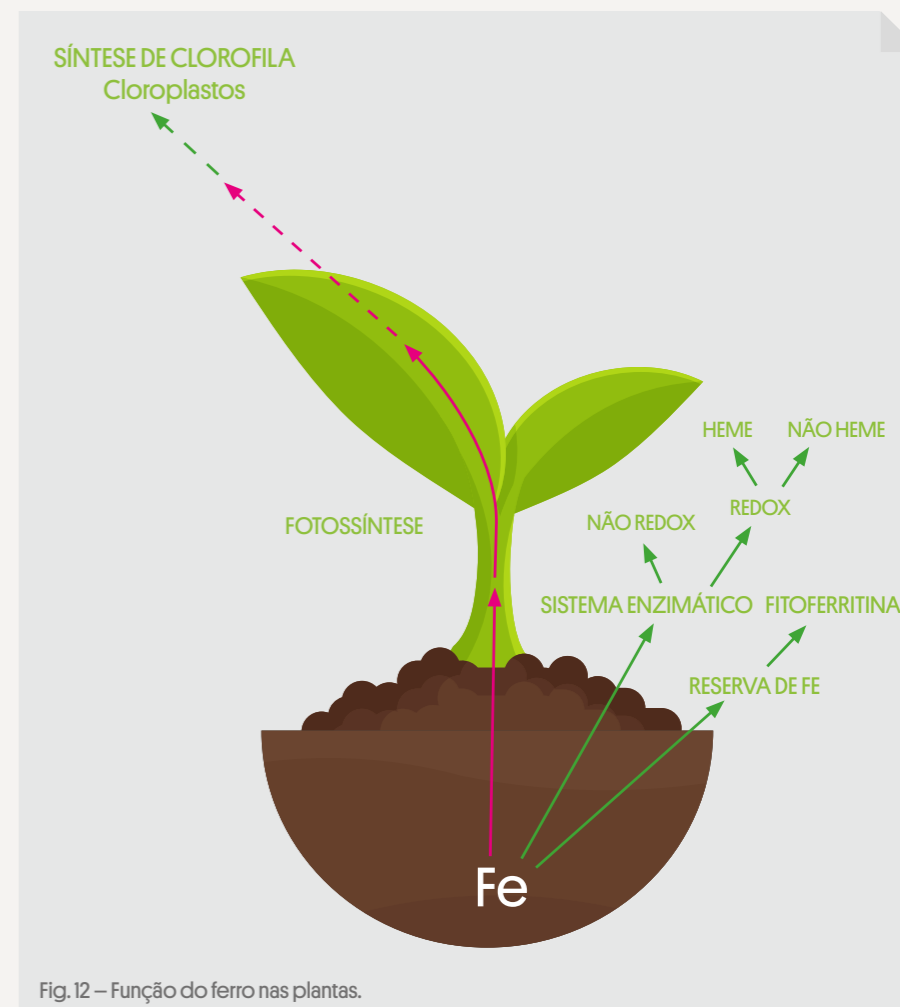


Fig. 12 – Função do ferro nas plantas.

respiração, fixação de nitrogênio, mecanismos de absorção [Kim e Rees, 1992]; ele é essencial para a manutenção da estrutura de cloroplasto e função de síntese de DNA por meio da ação da redução de ribonucleotídeos [Reichard, 1993]. O ferro também é um cofator ativo de muitas enzimas necessárias para a síntese hormonal vegetal, como etileno, lipoxigenase, 1-aminociclopropano [Siedow, 1991] ou ácido abscísico [compostos que estão ativos em muitas vias de desenvolvimento vegetal e suas respostas adaptativas às condições ambientais flutuantes] [Rout e Sahoo, 2015]. O mais conhecido dos componentes dos sistemas não-heme é a ferredoxina, uma proteína férrica que atua como um receptor final de elétrons em muitos processos metabó-

licos, como a fotossíntese e a redução do nitrato e sulfato [Mengel e Kirby, 2001; Marschner, 1995]. Seu alto potencial de redox permite reduzir substâncias como  $NADP^+$ , nitrato, oxigênio e sulfato. A aconitase é uma enzima com ferro não-heme que catalisa a isomerização do citrato ao isocitrato no ciclo de ácidos tricarbóxicos [Hsu e Miller, 1968; Beinert e Kennedy, 1989; Marschner, 1995]. Outras enzimas com ferro não-heme são riboflavinas; elas se acumulam em plantas com deficiências de ferro 200 vezes mais do que em plantas que crescem em ambientes com teor suficiente do elemento [Welkie e Miller, 1989]. O dito acúmulo de riboflavina é produzido porque a deficiência de ferro causa alterações no metabolismo das purinas, uma vez que a enzima xantina



oxidase é seriamente danificada [Schlee *et al.*, 1968].

As enzimas superóxido dismutase constituem outro sistema de ferro não-heme que elimina os radicais livres aniônicos superóxido: envolve isoenzimas comuns nos cloroplastos, mas também pode ser encontrado em mitocôndrias, peroxissomos e citoplasma [Droillar e Paulin, 1990] ou xantina oxidase, que tem funções em processos metabólicos como fotossíntese, respiração mitocondrial, fixação N<sub>2</sub>, redução de

SO<sub>4</sub><sup>2+</sup> para SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> etc. Há séries de enzimas menos conhecidas em que o ferro também age como componente metálico em reações redox ou como um elemento de conexão entre enzima e substrato [Marschner, 1995]. Isso inclui os lipoxigenases que regulam a peroxidação lipídica, o que significa que estão envolvidos na senescência celular e tecidual e nas incompatíveis combinações hospedeiro-patógeno e, portanto, na resistência às doenças [Nagarathana *et al.*, 1992].

O ferro desempenha um papel importante na fotossíntese, não apenas por causa de seu envolvimento na síntese de clorofila [Miller *et al.*, 1984], mas também por sua influência na morfologia do cloroplasto [Terry e Abadía, 1986; Marschner, 1995].

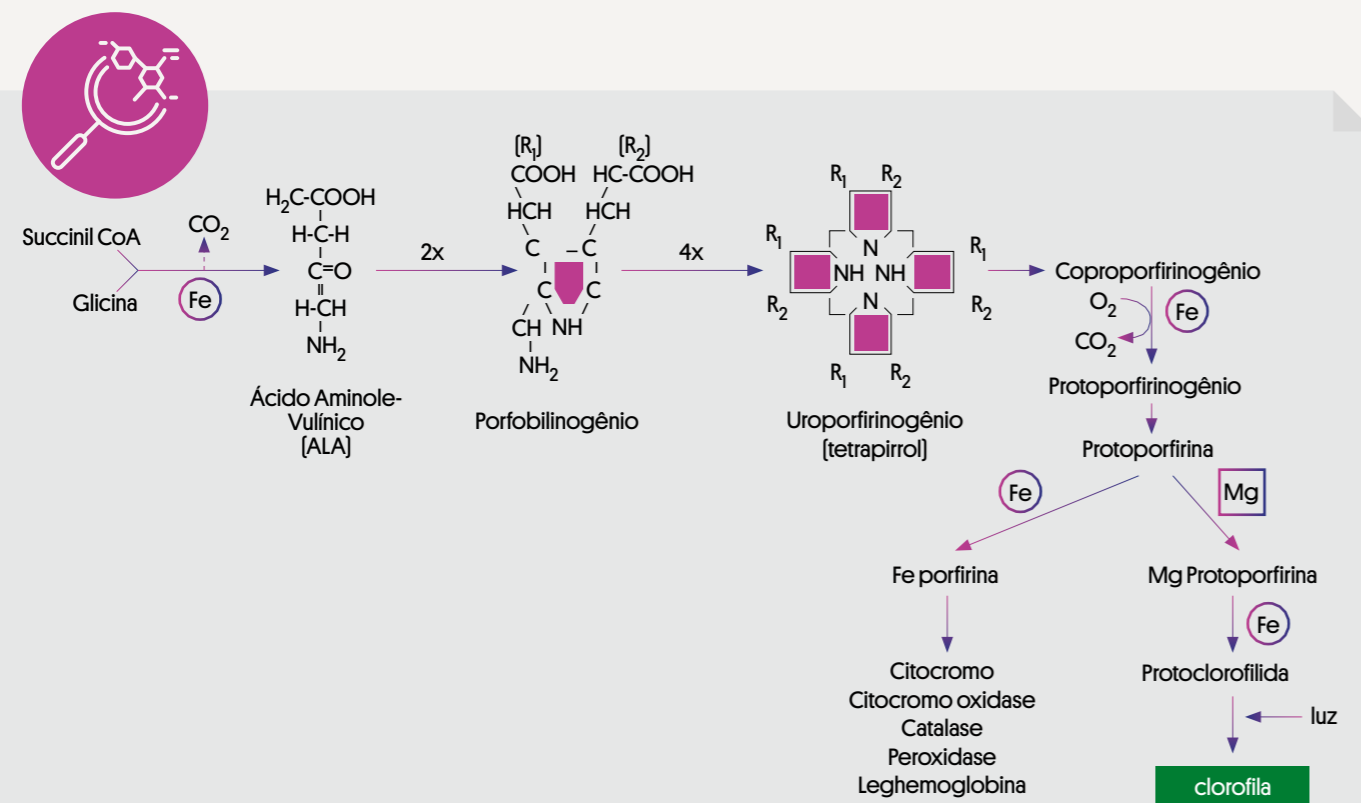


Fig.13 – O papel do ferro na síntese de clorofila [Marschner, 1995].



# 3

## O papel do ferro na síntese de clorofila

Giustino Siroli – Global Research





### 3.1 Clorose de ferro

A clorose de ferro é considerada uma das deficiências nutricionais mais complexas (Pestana *et al.*, 2003) e é causada por diversos fatores relacionados à disponibilidade de ferro no solo, sua absorção através das raízes e sua distribuição nos tecidos vegetais (Lucena, 2000; Álvarez-Fernández, 2000).

A clorose de ferro geralmente se manifesta por meio da perda de cor verde nas folhas devido à diminuição da concentração de pigmentos fotossintéticos, fundamentalmente clorofila (Abadia e Abadia, 1993). Geralmente ocorre na área internerval de plantas jovens, mas as nervuras permanecem verdes porque o ferro é pouco distribuído nas zonas de crescimento (Chaney, 1984).

Um fator importante na clorose de ferro é que provoca uma diminuição ou inativação de todos os processos fisiológicos em que o ferro está envolvido, em particular a síntese de clorofila, que é produzida na redução da produção e qualidade das culturas, incluindo a morte prematura da planta.

Os métodos utilizados para resolver esse problema são a aplicação localizada de sais de ferro e quelatos às plantas (aplicação no solo ou via foliar), modificação artificial do pH da solução do solo (aplicação de ácidos orgânicos e inorgânicos) e o uso de cultivares com a capacidade de absorver ferro de solos nos quais o elemento não está prontamente disponível (Olsen *et al.*, 1987; Chen e Barak, 1982; Emery, 1982).

### 3.2 Sintomas visuais

O sintoma de deficiência de ferro é o mais fácil de se reconhecer entre os causados por outros micronutrientes porque produz um tipo de clorose característica. Os sintomas variam dependendo de:

- a idade da folha;
- a severidade da deficiência;
- as condições ambientais.

No caso de plantas gramíneas, os sintomas são mais difíceis de identificar porque podem ser confundidos com magnésio, pois ocorrem na forma de faixas amarelas entre nervuras que permanecem verdes. Deve-se considerar que, em muitos casos, a clorose é mais um problema de mobilidade de ferro do que de uma deficiência de ferro; portanto, não é incomum descobrir que em uma única planta há áreas com clorose de ferro e outras sem ela. Os sintomas visuais característicos são:

- as folhas velhas são verdes, enquanto as folhas jovens começam a ficar amarelas. Vários estudos mostram que há uma correlação entre a quantidade de ferro e o teor de clorofila nas folhas;
- à medida que o estado de deficiência avança, vê-se uma característica da clorose internerval: apenas as nervuras permanecem verdes, em contraste com a cor amarela ou branca do limbo foliar;
- em casos de deficiência extrema, o amarelamento pode se tornar total e aparecer em áreas necróticas nas bordas do limbo, fazendo com que as folhas caiam cedo e, em casos extremos, ocorra a desfoliação total;
- os ramos permanecem finos e curvados, causando uma redução significativa do crescimento;
- nas plantas anuais observa-se uma diminuição do crescimento, uma aparência frágil e uma diminuição na produção. As plantas ficam desfolhadas e começam a secar nas bordas; frutas são pequenas e amadurecem cedo.

### 3.3 Corrigindo a clorose de ferro

A clorose de ferro é considerada complexa, o que significa que para corrigi-la deve-se considerar diversas técnicas de prevenção e tratamento. A primeira solução é a seleção de cultivares genéticas, melhorando assim os mecanismos de absorção de ferro e diminuindo sua suscetibilidade à clorose de ferro (Charlson *et al.*, 2003). O uso de cultivares tolerantes é considerado a melhor solução para combater essa deficiência em solos calcários, embora essa técnica esteja longe de ser uma solução para árvores frutíferas e outras espécies (Álvarez-Fernández *et al.*, 2003a). Essas práticas consistem em eliminar os riscos de compactação, alcalinização e alagamento do solo, dando preferência à boa drenagem e controlando a frequência de riscos. Outra prática, regularmente utilizada com árvores frutíferas e vinhedos, é o cultivo conjunto com outras plantas anuais, reduzindo assim a compactação e aumentando o conteúdo de porosidade, drenagem e material orgânico do solo. Trata-se de uma medida preventiva que é tomada antes do plantio. No entanto, uma vez estabelecida uma cultura, a aplicação de práticas agrícolas corretas é crucial na prevenção da clorose de ferro (Chen, 1997). Em situações de deficiência de ferro, deve-se corrigir com a aplicação de fertilizantes com ou sem ferro no solo ou na planta. Dentro dos compostos que contêm ferro encontram-se complexos férricos: quelatos de ferro e sais orgânicos férricos ou ferrosos que aumentam o teor de ferro na planta e no solo. E, dentro daqueles que não contêm ferro, há acidificadores e material orgânico que favorecem a solubilização do ferro nativo não disponível. Esses tratamentos podem ser aplicados ao solo em estado sólido ou líquido, em fertirrigação ou em aplicações foliares.



ALTA SENSIBILIDADE	MÉDIA SENSIBILIDADE	BAIXA SENSIBILIDADE
CITRUS, UVA	ALFAFA	MAÇÃ
SORGO	CEVADA	BATATA
PÊSSEGO	MILHO	BETERRABA
AMÊNDOA, PERA	ARROZ	
SOJA, ROSEIRA	TRIGO	
MORANGO, TOMATE	AVEIA	
KIWI		

Tab. 3 – Sensibilidade de diferentes culturas à deficiência de ferro.

Figs. 14-19 – Sintomas visuais de clorose de ferro em plantas.



Fig. 14 – Clorose de Fe em milho.

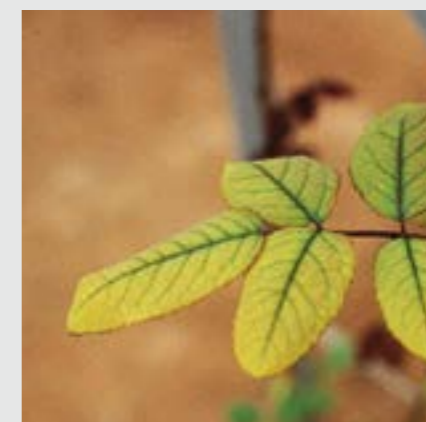


Fig. 16 – Clorose de Fe em roseira.

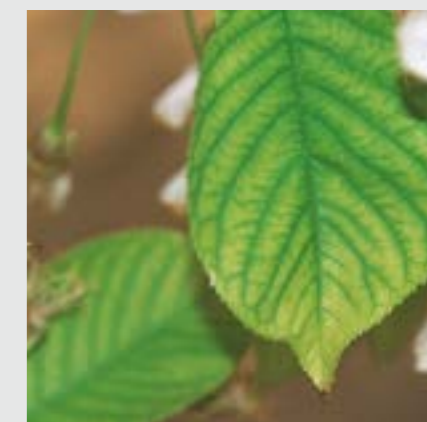


Fig. 18 – Clorose de Fe em cereja.



Fig. 15 – Clorose de Fe em uva.

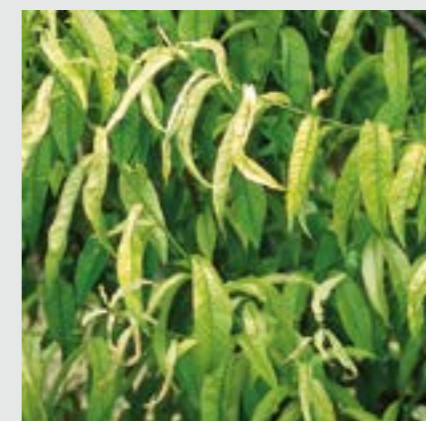


Fig. 17 – Clorose de Fe em pêssego.

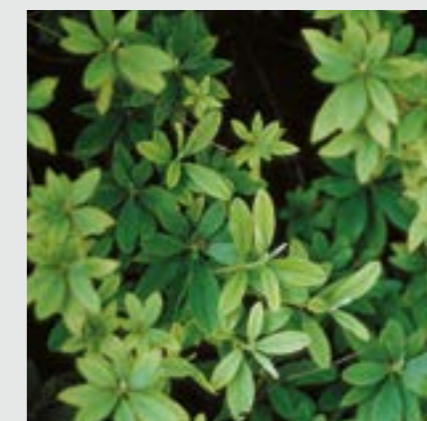


Fig. 19 – Clorose de Fe em azaleia.







# 4

## Quelatos

Angelo Squadrone, Luciano Di Sciullo, Antonio Menna, Giuseppe Iezzi, Antonio Coccia e Giulio Maria Cocco – Global Operations

### 4.1 Moléculas quelantes

Agentes quelantes ou ligantes são moléculas orgânicas com dois ou mais grupos funcionais capazes de compartilhar pares de elétrons com um íon metálico central. Dessa maneira, forma-se uma estrutura cíclica na qual o metal é retido, impedindo assim sua precipitação em condições ambientais específicas. Os quelatos de ferro representam uma forma mais solúvel de ferro e, conseqüentemente, a absorção das raízes aumenta. Existem dois grupos de agentes quelantes, ambos derivados de ácidos carboxílicos poli-aminos, dependendo da presença ou ausência de grupos fenólicos em sua estrutura. Por um lado, há os agentes quelantes que possuem uma estrutura como a do EDTA, que são chamados de não fenólicos, e, por outro, há aqueles que contêm grupos fenólicos [EDDHA, EDDHSA...]. A figura 14 mostra a estrutura das moléculas o,o-EDDHA. A estrutura dos agentes quelantes fenólicos fornece seis grupos funcionais de doadores de elétrons: dois ácidos carboxílicos, duas aminas secundárias e dois fenóis. A força da coordenação dos grupos doadores está relacionada à acidez do metal e à basicidade do próton de oxigênio e do nitrogênio doador. A melhor capacidade dos agentes fenólicos quelatizantes deve-se à presença de dois grupos fenólicos, que são mais básicos, e permite manter efetivamente Fe<sup>3+</sup> em solução em solos calcários [Lindsay, 1979].

	R1	R2
o,o-EDDHA	H	H
EDDHSA	SO <sub>3</sub> K	SO <sub>3</sub> K

Tab. 4 – Radicais de agentes quelantes fenólicos.

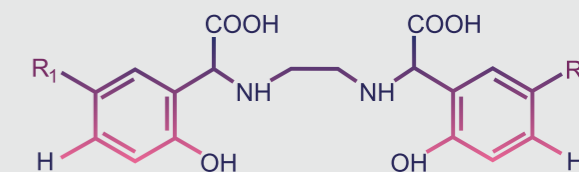


Fig. 20 – A estrutura do agente quelante fenólico.

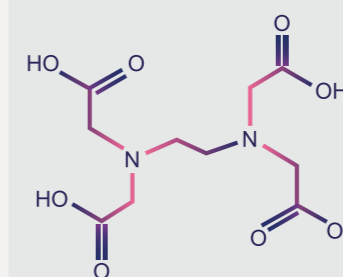


Fig. 21 – Estrutura do EDTA.

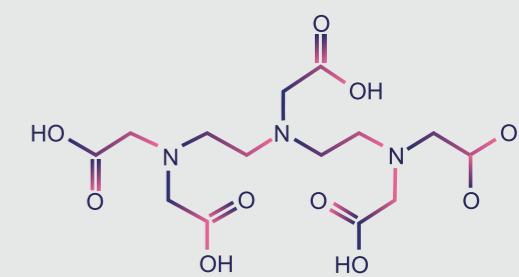


Fig. 22 – Estrutura do DTPA.

### 4.2 Estabilidade de quelatos de ferro

Os fatores que afetam a estabilidade dos quelatos de ferro são a estrutura do agente quelante, o metal e as condições ambientais [luz, microrganismos, temperatura, força iônica, pH, pressão parcial de CO<sub>2</sub>, potencial redox e presença de outros íons] [Álvarez-Fernández, 2000]. As constantes de estabilidade de diferentes agentes quelantes com Fe<sup>3+</sup> são relatadas na tabela 5. Pode-se ver que as constantes de estabilidade dos quelatos de ferro fenólico são semelhantes entre si e consideravelmente superiores às dos não fenólicos, exceto os o,p-EDDHA/Fe<sup>3+</sup>. Essas diferenças de estabilidade são fundamentalmente atribuídas à estrutura dos ligantes. A estabilidade do ferro quelatizado feitos de ligantes hexadentatos aumenta com o número de grupos fenólicos disponíveis na coordenação. Assim, a estabilidade do quelato de ferro aumenta se os carboxilatos forem substituídos por dois fenolatos para criar o,o-EDDHA ou EDDHSA (tabela 5). O ferro quelatizado também aumenta sua estabilidade uma vez que o número de grupos de doadores

disponíveis para coordenar está em uma disposição octaédrica com Fe<sup>3+</sup>. Assim, a menor estabilidade constante para o,p-EDDHA/Fe<sup>3+</sup> c/n o,p-EDDHA/Fe<sup>3+</sup>, o grupo hidroxil fenólico está em posição “para” para o carbono alifático e, como consequência, nenhuma ligação é feita com ferro e a posição é ocupada por uma molécula de água [Yunta et al., 2003a].

EDTA	25,0
DTPA	27,3
o,o EDDHA	35,9
o,p EDDHA	28,72
EDDHSA	32,79
HBED	39,01

Tab. 5 – Logaritmo das constantes de estabilidade [[Fe] / [Fe] · [L]] com EDTA Fe<sup>3+</sup> e DTPA Fe<sup>3+</sup> [Martell e Smith, 1974] do isômero da região e diastereômeros de o,o-EDDHA e EDDHSA [Yunta et al., 2003 a e b].



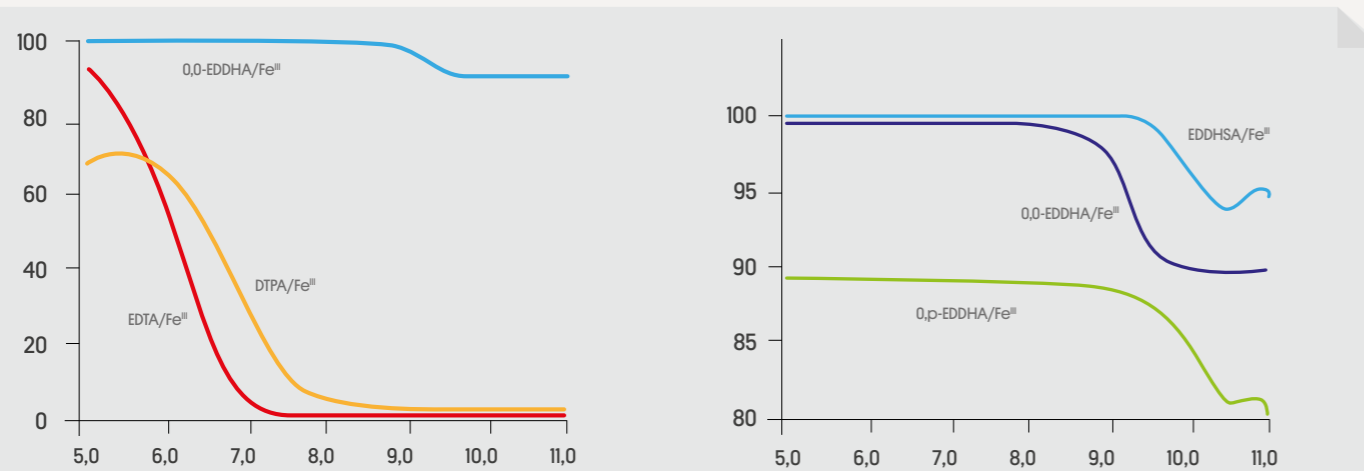


Fig. 23 – Diagramas de estabilidade de diferentes quelatos férricos no solo. [A] Comparação dos quelatos de ferro e os fenólicos ou não, ou-EDDHA / Fe<sup>3+</sup>.  
Fig. 24 – Quelatos de ferro fenólico. Condições: concentração de ferro quelado = 100 mM, concentração máxima de Cu<sup>2+</sup> = 10 M.

### 4.3 Qualidade dos quelatos

O número de ligações entre o metal e os compostos quelantes aromáticos varia de 4 a 6 com base na posição do oxigênio fenólico em relação às moléculas. Assim, o o,o-EDDHA forma seis ligações, o o,p-EDDHA estabiliza o ferro com cinco ligações e o p,p-EDDHA com apenas quatro ligações (como o que acontece com o ferro EDTA). O número de ligações é um ponto fundamental para influenciar a estabilidade das moléculas quelatadas acima mencionadas, ou seja, sua incapacidade de evitar que o ferro seja insolúvel em um ambiente alcalino. Consequentemente, os produtos comerciais à base de EDDHA contêm sempre isômeros orto-orto, orto-para

ou para-para; a qualidade do produto final está principalmente ligada à porcentagem de isômero orto-orto, o complexo mais estável.

### 4.4 Quelatos de ferro e seu uso na agricultura

Os quelatos de ferro são usados na agricultura para satisfazer as necessidades nutricionais das culturas. Se as culturas estiverem em condições pedoclimáticas não favoráveis, os quelatos podem ser usados de acordo com duas estratégias:  
- Preventiva – quando os sintomas visíveis ainda não se manifestaram e o objetivo é evitar sua manifestação.

- Curativa – quando a clorose de ferro é visível e o objetivo é recuperar o estado nutricional correto da planta. Com base na modalidade de aplicação, podemos distinguir entre os quelatos de ferro, principalmente, para uso radicular (fenólicos: EDDHA, EDDHSA, HBED) e uso foliar (não fenólicos: EDTA, DTPA). Os quelatos fenólicos são usados, principalmente, em aplicações radiculares porque são mais estáveis do que os quelatos não fenólicos nas faixas de pH que normalmente são encontrados em solos que favorecem a ocorrência de deficiência de ferro.

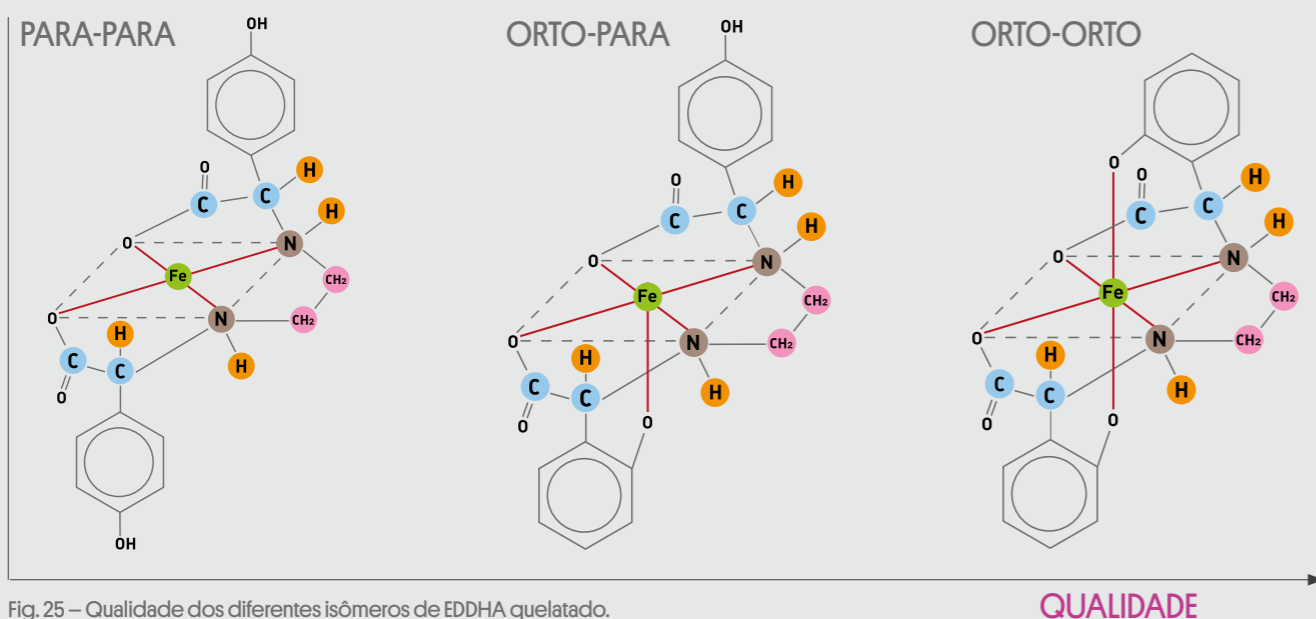


Fig. 25 – Qualidade dos diferentes isômeros de EDDHA quelatado.

### 4.5 Os agentes quelantes na Linha Ferrilene

#### Fe-EDDHA

- É um complexo no qual o ferro é ligado a uma molécula orgânica por meio de ligações mais coordenadas (preferencialmente 6) no isômero orto-orto.

- Neste complexo, o ferro está totalmente disponível para absorção ativa através das raízes.

- Agronomicamente, a fração o,o do complexo EDDHA dá estabilidade e persistência ao Fe no solo e, portanto, é útil para curar deficiências de ferro em condições extremas.

#### Fe-EDDHSa

- Difere da molécula EDDHA devido à presença do grupo sulfônico na posição “para” no anel benzoico da estrutura fenólica.

- O sal de potássio é usado na síntese; quantidades suficientes de potássio otimizam a absorção de ferro no tecido vegetal.

- Agronomicamente, o complexo EDDHSA proporciona estabilidade e ação rápida ao Fe; isso aumenta o esverdeamento das plantas.

Além disso, a solubilidade do Fe-EDDHSa é cerca de 3 a 4 vezes maior do que a do Fe-EDDHA. A presença de grupos sulfetos torna os grupos fenólicos mais ácidos, o que resulta em aumento da afinidade do ferro por este quelante. [Klem-Marciniak et al., 2021].

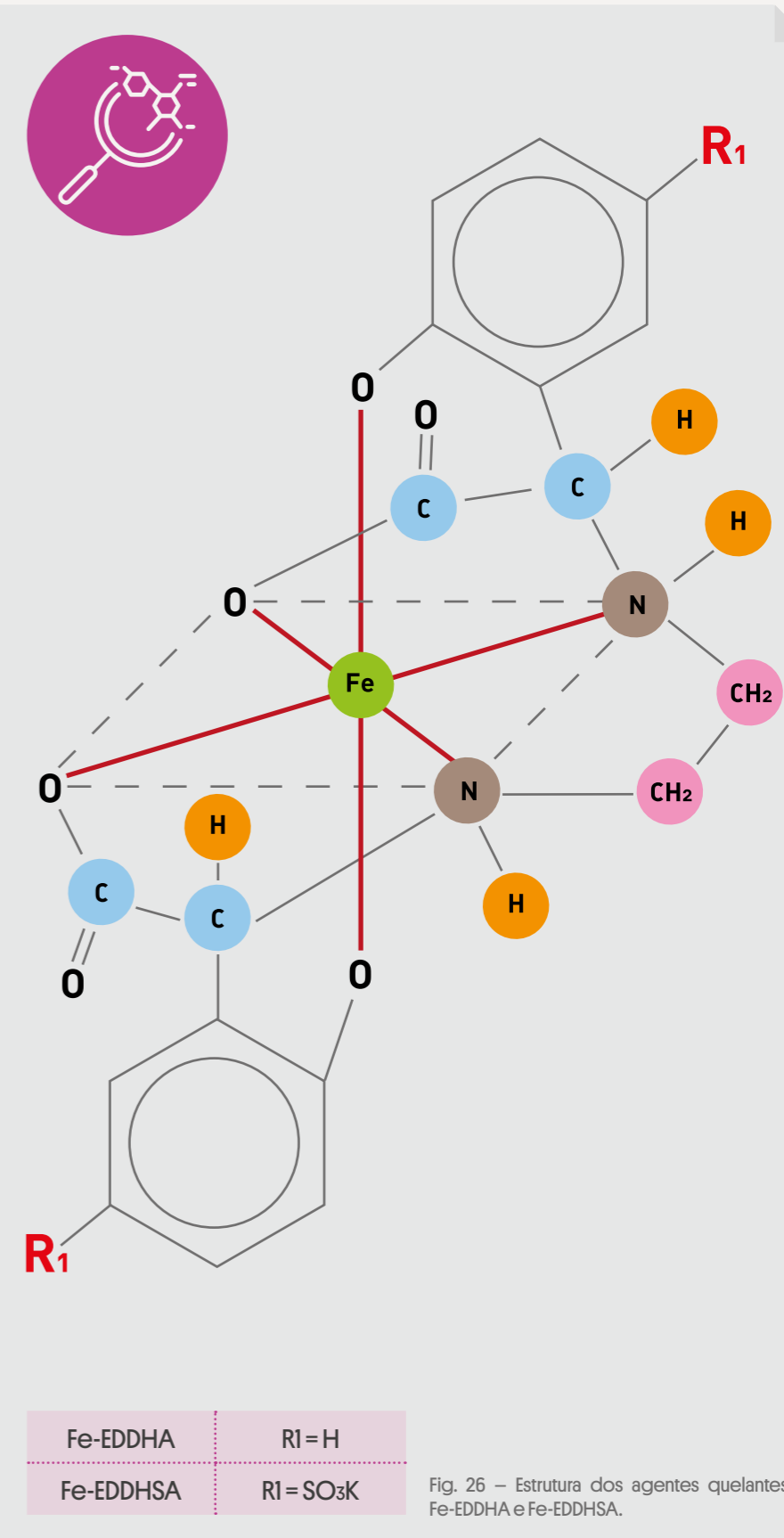


Fig. 26 – Estrutura dos agentes quelantes Fe-EDDHA e Fe-EDDHSa.







5

Linha Ferrilene

Rita Basile – Global Marketing & Development

5.1 História do agente quelante

NÓS FAZEMOS QUELANTES

A Valagro é uma das mais importantes empresas do mundo que fabrica produtos à base de Quelato de Ferro em sua própria planta de quelantes. A capacidade de fabricar quelatos de ferro diretamente é importante, pois permite à Valagro verificar e garantir a qualidade dos produtos finais. Os produtos quelatados são sempre verificados e analisados pelo laboratório interno da Valagro antes de serem embalados e comercializados.

A Linha Ferrilene é uma linha completa dos melhores quelatos de ferro disponíveis (EDDHSA e EDDHA) para atender a condições adversas específicas no solo em que a disponibilidade de ferro é prejudicada. Esses quelatos podem fornecer às plantas ferro na faixa de pH 4-10. O quelato aumenta a solubilidade do ferro e transporta-o até a raiz da planta, quando o libera rapidamente. A linha inclui Ferrilene Trium, que devido aos seus diversos componentes tem a característica de ter tripla ação contra a clorose de ferro, Ferrilene 4,8 e Ferrilene.

HISTÓRIA DO AGENTE QUELANTE

No início dos anos 1990, construiu-se o novo prédio para a fabricação de quelatos na Valagro (na época chamada Farmer), no qual o trabalho do químico Leo Giannantonio, atualmente Diretor Global Q-EHS & Compliance, desempenhou um papel decisivo, cobrindo todas as necessidades dos produtores, de suas propriedades rurais e muito mais. Vindo desse setor específico, Giannantonio entendeu que os micronutrientes quelatizados eram fabricados por apenas algumas indústrias no mundo e, embora constituíssem um nicho de negócios, mesmo as pequenas produções garantiam altas margens econômicas. Ele também conhecia as propriedades daquelas moléculas que aprisionam o nutriente, como as garras (ou quelas) de um caranguejo, transportando-o intacto para



“Somos químicos, ou seja, caçadores... a natureza é imensa e complexa, mas não é impermeável à inteligência; devemos circular em torno dela, perfurá-la e sondá-la, procurar a abertura ou fazê-la.”  
Primo Levi

a planta e evitando sua solidificação e dispersão no solo. O vencimento da patente da Ciba para micronutrientes quelatizados significava que eles não eram mais tão caros para manufaturar, mas mesmo assim poucas indústrias realizavam tal processo. Giuseppe Natale e Ottorino La Rocca (fundadores da Valagro) perceberam que seria mais econômico produzir suas próprias soluções, considerando que já tinham as instalações. Na verdade, eles não só seriam capazes de embalar e vender os quelatos, mas também poderiam usá-los para fazer outros fertilizantes, por exemplo, os hidrossolúveis. Ademais, fabricar seus próprios ingredientes garantiria a qualidade que se tornou o mantra da empresa, pois era o único aspecto que a diferenciava. A aposta nos quelatos logo valeu a pena. A instalação administrada por Pino Codagnone, que imediatamente

se tornou sua personificação por ter supervisionado todo o processo de instalação, estava operando em plena capacidade após alguns anos, aumentando significativamente o faturamento. Isso foi ajudado pelo fato de que ampliou a clientela potencial da empresa para outros tipos de indústrias que usam micronutrientes em outros setores de manufatura, levando a Farmer a assumir a Siso, com sede em Milão, a mesma fábrica onde Giannantonio trabalhava anteriormente, e se tornar a única empresa italiana a fabricar agentes quelantes. Mais investimentos, mais pesquisa e desenvolvimento, mais receitas, mais lucros: era um círculo virtuoso, um caminho claramente definido que seguia fortalecendo toda a estrutura.

Source: 2020 Valagro Book – Creating the future. Since 1980.



## 5.2

### FERRILENE 4,8 E FERRILENE

[cura e previne clorose de ferro]

#### CARACTERÍSTICAS

Nesta última classificação encontramos diferentes concentrações de ferro orto-orto quelatizado, bem como os mais importantes agentes quelantes, Fe-EDDHA [Ferrilene 4,8] e Fe-EDDHA [Ferrilene].

Este grupo de quelatos estáveis fornece eficientemente ferro para culturas em condições difíceis e representam importantes ferramentas na cura e prevenção da clorose de ferro. Atualmente, incluídos neste grupo de produtos estão os isômeros orto-orto e orto-para.

Em resumo, dentro da linha Ferrilene encontramos produtos que são estáveis diante da hidrólise, garantem a absorção de ferro em situações difíceis, têm um efeito rápido e de longo prazo [o metal não é facilmente substituído por outros metais], não são fitotóxicos, são formados em microgrânulos solúveis que não geram poeira e garantem solubilidade rápida e total.

#### COMPOSIÇÃO

PRODUTO	FERRILENE 4,8	FERRILENE
AGENTE QUELANTE	EDDHA	EDDHA
FERRO SOLÚVEL EM ÁGUA	6%	6%
FRAÇÃO QUELATIZADA	100%	100%
% FE ORTO-ORTO	4,8%	3,8%

#### MODALIDADE DE USO E DOSE

PRODUTO	FERRILENE 4,8	FERRILENE
MAÇÃ kg/ha	5-30	10-30
FRUTA DE CAROÇO kg/ha	5-30	10-30
MORANGO kg/ha	5-15	5-15
CITRUS kg/ha	5-30	10-30
UVA kg/ha	5-30	10-30
KIWI kg/ha	5-30	10-30
CEREAIS kg/ha	5-15	5-15
FLORES kg/ha	5-15	5-15
PLANTAS DE VASO g/planta	0,5-2	0,5-2



## 5.3

### FERRILENE TRIUM

[Tripla ação contra cloroses]

#### CARACTERÍSTICAS

Ferrilene Trium é a mais recente inovação tecnológica dentro da linha: o resultado da pesquisa e desenvolvimento, marcando um ponto de virada no tratamento da clorose de

ferro por meio de uma abordagem multiestratégia. Ferrilene Trium baseia seu efeito em uma série de elementos interrelacionados que o tornam um produto integral e único entre os produtos que se concentram na correção da clorose de ferro. Ferrilene Trium contém diferentes componentes que estão interrelacionados no complexo solo-planta, como mostra-

do na figura a seguir. Tudo isso dentro de um pequeno, complexo e altamente solúvel microgrânulo obtido com uma reação química especificamente projetada pela Valagro, fruto da visão da Geapower, que mais uma vez manifesta o conhecimento e a tecnologia da Valagro na produção e desenvolvimento de soluções adaptadas à agricultura.

#### COMPOSIÇÃO

1. No Ferrilene Trium existem dois tipos de quelatos de ferro, Fe-EDDHA e Fe-EDDHA, em posição orto-orto. Fe-EDDHA se distingue por sua estabilidade e persistência no solo e Fe-EDDHA é um quelato estável e simultaneamente altamente solúvel, o que lhe dá a característica de ação rápida. O sal de potássio é usado na síntese do produto – potássio administrado em quantidades adequadas otimiza a absorção de ferro, o que torna a presença de potássio nessa forma uma característica positiva do produto.

2. Ferrilene Trium contém uma razão igual de ferro e manganês; assim, nesta seção discutiremos brevemente a importância do manganês na planta. Este micronutriente é absorvido pela planta principalmente em forma divalente [Mn<sup>2+</sup>]. Nessa forma, combina-se rapidamente com ligantes orgânicos nos quais pode ser rapidamente oxidado a Mn [III] e Mn [IV]. O manganês tem várias funções no metabolismo da planta. Os estudos sobre o manganês em plantas verdes mostram que atua na quebra da molécula de água e no sistema de reação do O<sub>2</sub> a partir da fotossíntese que ocorre nos cloroplastos e que é chamada de reação de Hill. Como resultado, a deficiência de manganês afeta principalmente a fotossíntese e a reação de O<sub>2</sub>. Além disso, é um catalisador da síntese da clorofila e participa das reações de redução de oxidação nas plantas. Forma uma parte estrutural do manganaína, um constituinte na síntese da glutatona, ativação da metionina, controle hormonal e síntese proteica. O manganês também atua como um importante cofator para várias enzimas fundamentais na biossíntese de metabólitos secundários na planta associado à via do ácido chiquímico, incluindo aminoácidos aromáticos fenólicos, coumarinas, lignina e flavonoides. A presença atual de ferro e manganês em Ferrilene Trium, na forma de quelatos



Fig. 27 – Ferrilene Trium componentes.

altamente estáveis, garante que uma relação recíproca ótima seja mantida entre os dois elementos, evitando o fenômeno da clorose secundária.

3. A presença de ingredientes biologicamente ativos faz do Ferrilene Trium um produto único que oferece uma resposta integral ao curar e prevenir a clorose de ferro. A ação tripla de Ferrilene Trium: os componentes biologicamente ativos atuam diretamente na raiz, aumentando os níveis de absor-

AÇÃO	RESULTADOS
1. Facilita a absorção de ferro por meio de dois agentes quelantes distintos, Fe-EDDHA e Fe-EDDHA.	Tem ação rápida [EDDHA] e é persistente [EDDHA] na cura e prevenção da clorose de ferro.
2. Dá à planta o equilíbrio certo de Fe / Mn	Garante uma ótima relação entre os dois elementos, melhorando as funções metabólicas da planta e curando-a da clorose de ferro causada pela deficiência de Fe e Mn.
3. Ingredientes ativos biológicos melhoram a atividade das portas de prótons.	Melhora a capacidade de absorção da planta, tornando-a mais forte e vigorosa.

ção de ferro e manganês e melhorando o teor de clorofila das folhas.

#### 5.3.1 Modalidade e dose (fertilirrigação)

PRODUTO	FERRILENE TRIUM
MAÇÃ	10-30 kg/ha
FRUTAS DE CAROÇO	10-30 kg/ha
MORANGO	5-15 kg/ha
CITRUS	10-30 kg/ha
UVA	10-30 kg/ha
KIWI	10-30 kg/ha
CEREAIS	5-15 kg/ha
FLORES	5-15 kg/ha
PLANTAS DE VASO	0,5-2g/planta

PRODUTO	FERRILENE TRIUM
AGENTE QUELANTE	EDDHA/EDDHA
FERRO SOLÚVEL EM ÁGUA	6%
FRAÇÃO QUELATIZADA	100%
% FE ORTO-ORTO	4,0%
MANGANÊS [Mn-EDTA]	1%
POTÁSSIO [K <sub>2</sub> O]	6%







# 6

## Abordagem Fênômica

Stefano Di Russo – Plant phenotyping associate

### 6.1 Abordagem fênômica em kiwi

Usando o Sistema Scanalyzer 3D, obtemos imagens em diferentes comprimentos de onda [RGB, UV, NIR] e observamos os efeitos do protótipo em análise no fenótipo da planta. A padronização das condições de crescimento das plantas (irrigação, microclima, solos) e dados informatizados nos permitem analisar eficientemente os resultados de mais de três mil plantas por dia.



Fig. 28 – Sistema Scanalyzer 3D.

Começamos a ver o ensaio em kiwis [variedade Hayward]. Neste ensaio, sete quelatos diferentes foram testados em comparação com o teste não tratado. Uma aplicação para cada quando apareceu clorose.

#### Informações gerais

Local	Metaponto (Sul da Itália)
Variedade	Hayward
População [p/ha]	-
Nível do experimento	II



#### Data e estágio de crescimento das aplicações

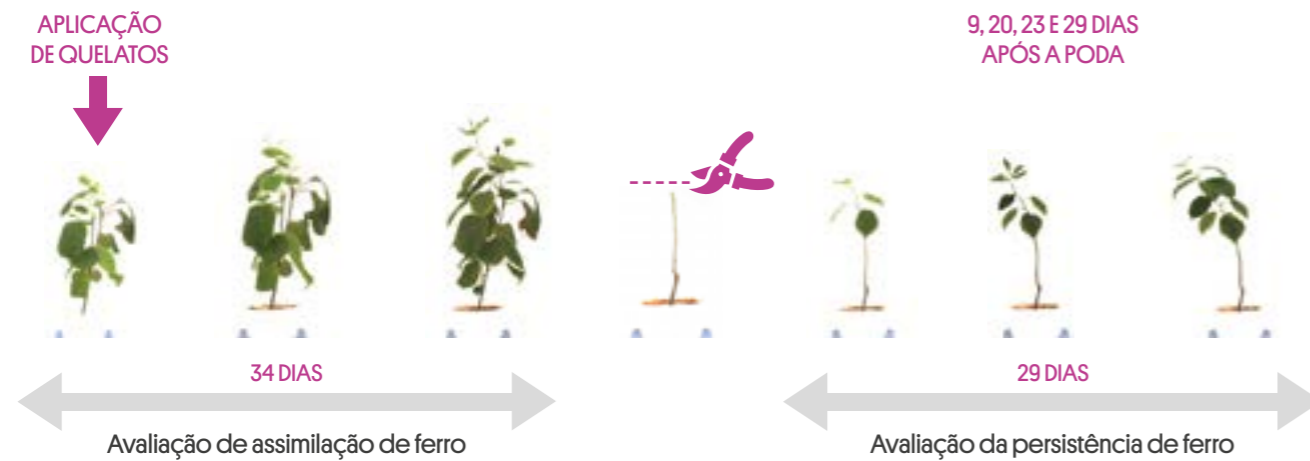
Nº	Tratamento	Data	Estágio do crescimento
1º	A	04/07/2012	Quando a clorose apareceu

#### Tratamentos

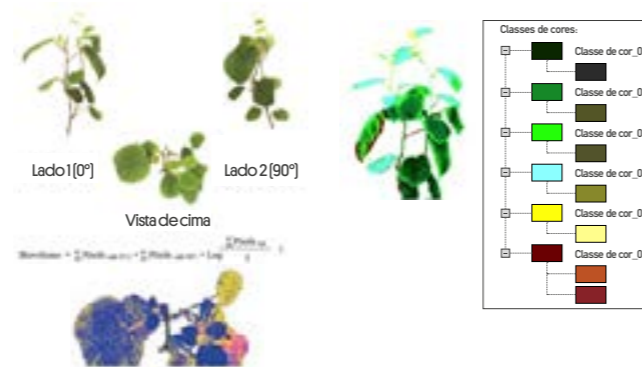
Tratamento	Dose	Nº de aplicações	Volume de água	Data dos tratamentos
FERRILENE 4,8	5 g/planta	1	100 ml/planta	A
TRIUM	5 g/planta	1	100 ml/planta	A
Controle	-	-	-	-



Nestes ensaios avaliamos a assimilação do ferro até 34 dias após a aplicação dos quelatos. Em seguida, retiramos as folhas para avaliar a persistência do ferro no solo até 29 dias após a desfolha. Em ambos os casos, biomassa digital, aumento das classes de cor e baixa florescência foram detectados. Começamos a ver a avaliação da assimilação do ferro.



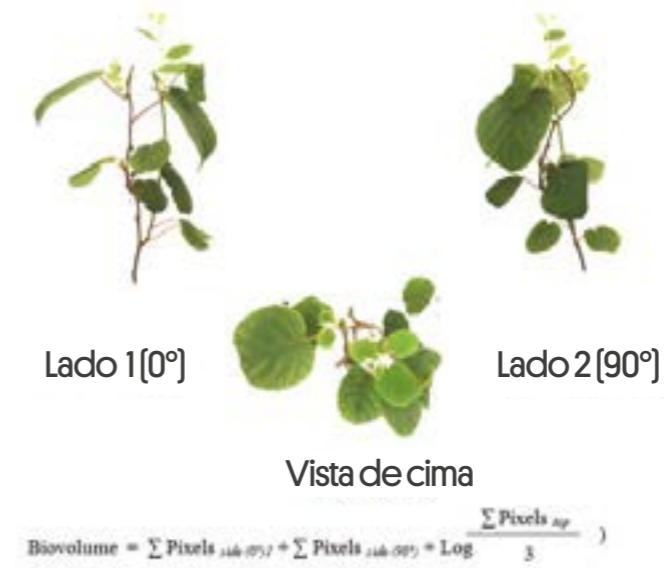
- 1. RGB** [Red-Green-Blue] → crescimento e cor
  - biomassa digital
  - aumento de classes de cores
- 2. UV** [ultravioleta] → Atividade de fotossíntese
  - baixa florescência



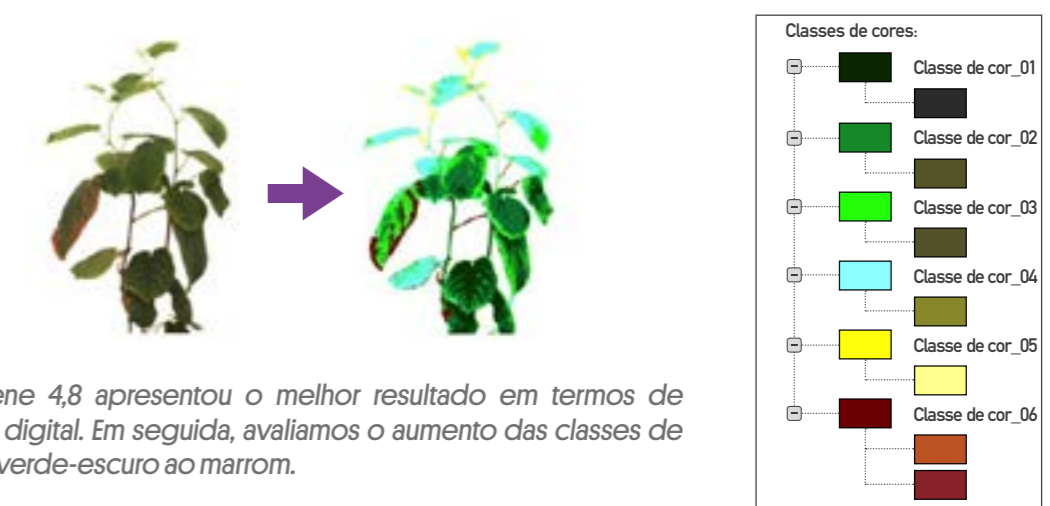
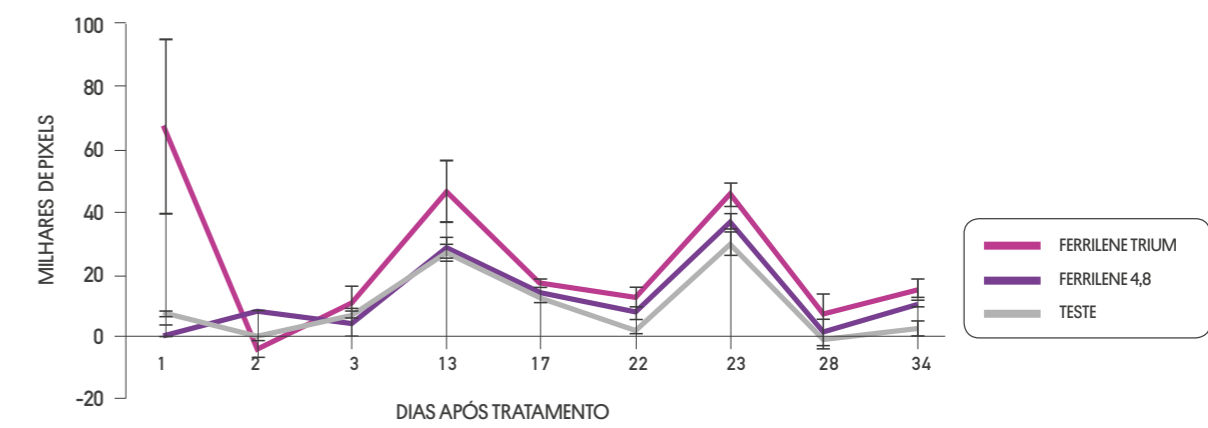
**RGB: AVALIAÇÃO DA ASSIMILAÇÃO DE FERRO – BIOMASSA DIGITAL**



São imagens feitas com câmera RGB antes da aplicação. Veremos o crescimento da planta após a aplicação de quelatos. Esta é a situação 34 dias após a aplicação. Como é possível ver, o teste não tratado mostrou algumas folhas apicais amarelas em comparação com outros tratamentos.



Com a câmera RGB fizemos três imagens diferentes para cada tratamento: de lado, vista de cima e de lado [90 graus]. Então, por meio dessa fórmula, a estação de computador calculou a biomassa digital.



O Ferrilene 4,8 apresentou o melhor resultado em termos de biomassa digital. Em seguida, avaliamos o aumento das classes de cores do verde-escuro ao marrom.



## AUMENTO DAS CLASSES DE CORES

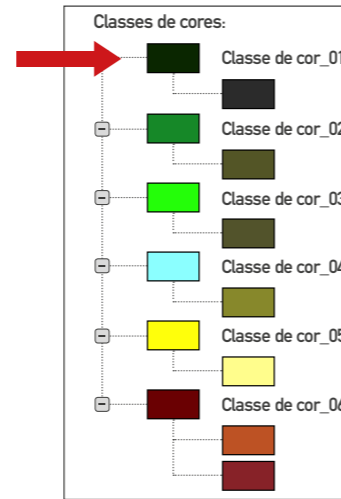
FERRILENE TRIUM



FERRILENE 4,8

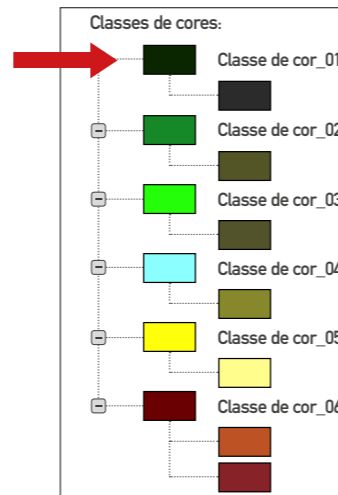
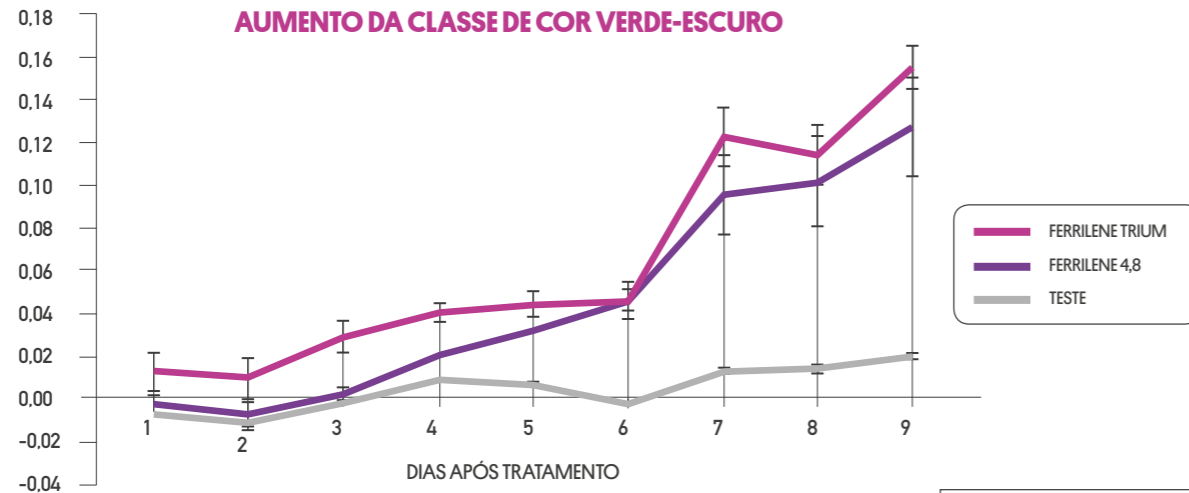


TESTE



Esta é a situação antes dos tratamentos e 34 dias após a aplicação, com os resultados de aumento das cores verde-escuro e amarelo, que são as classes de cores mais representativas.

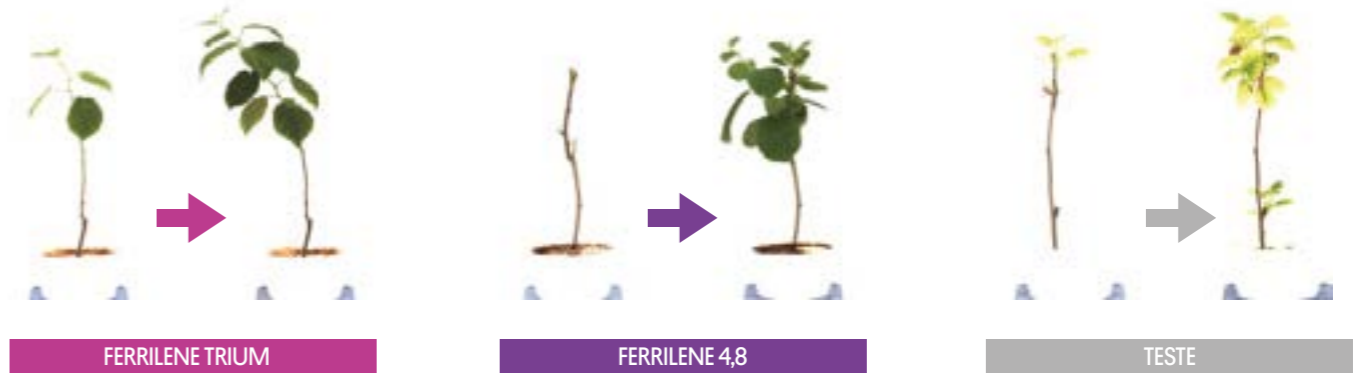
## AUMENTO DA CLASSE DE COR VERDE-ESCURO



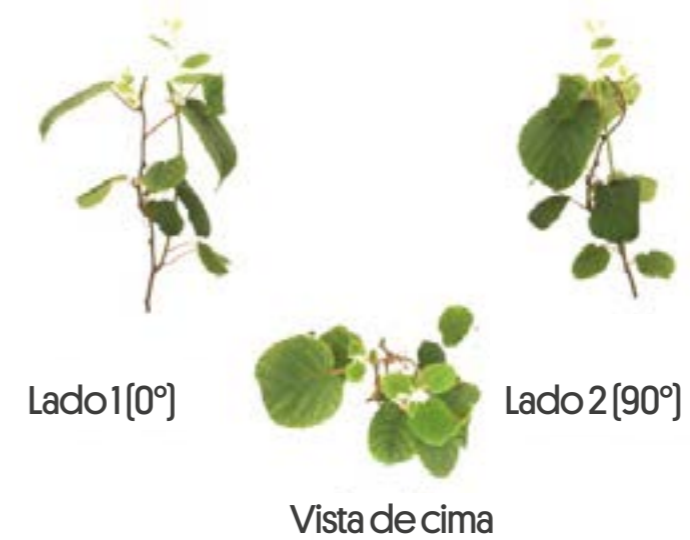
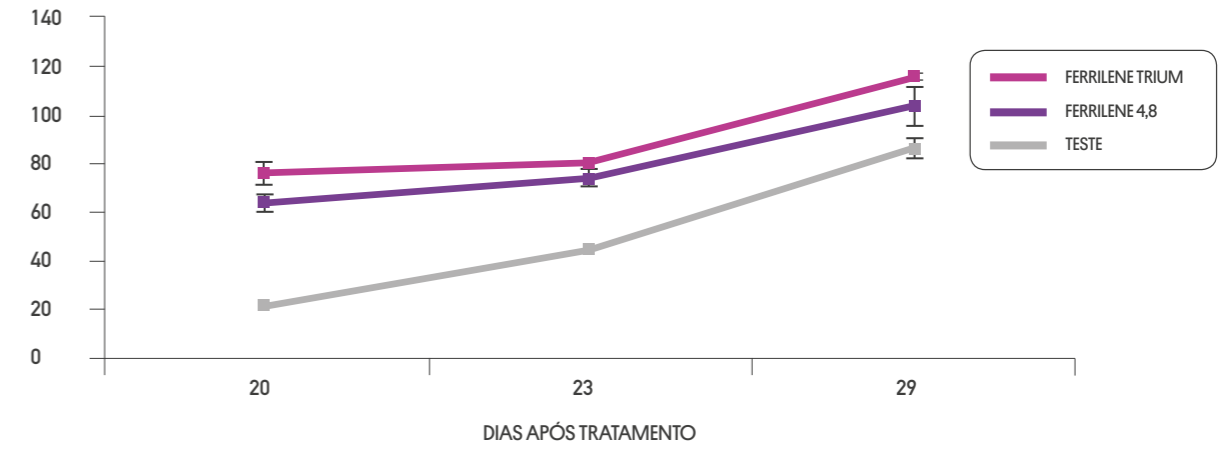
Foi o primeiro grupo de quelato que inclui Ferrilene 4,8 e Ferrilene Trium que apresentou os melhores resultados.

## RGB: AVALIAÇÃO DA PERSISTÊNCIA – BIOMASSA DIGITAL

Persistência do ferro no solo após a desfoliação da planta.



Imagens da câmera RGB possibilitando ver a diferença nítida entre as plantas tratadas e o teste não tratado que mostrou muita clorose.



$$\text{Biovolume} = \sum \text{Pixels}_{240(0^\circ)} + \sum \text{Pixels}_{240(90^\circ)} + \text{Log} \left( \frac{\sum \text{Pixels}_{top}}{3} \right)$$





**AUMENTO DAS CLASSES DE CORES**

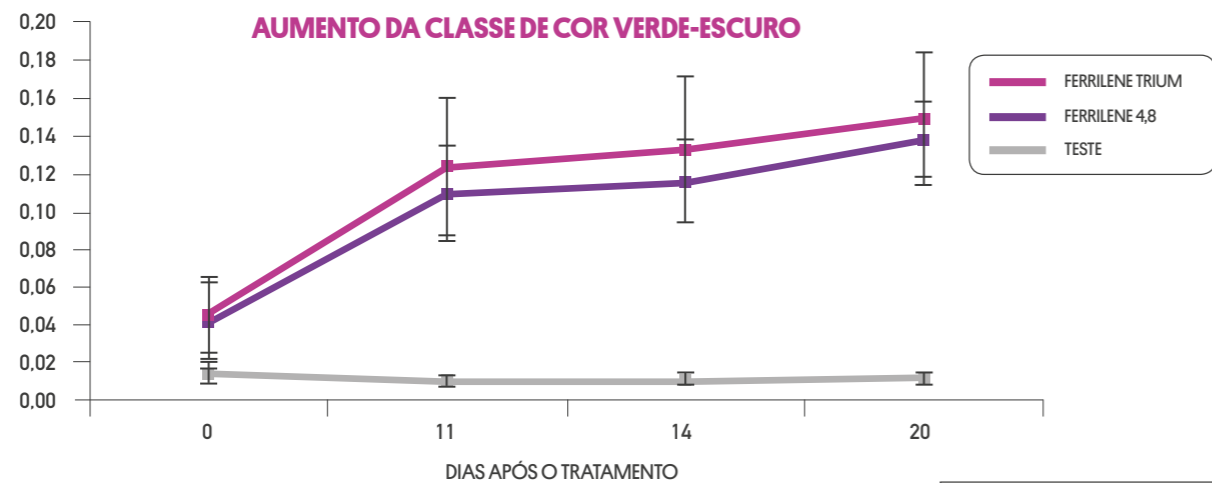
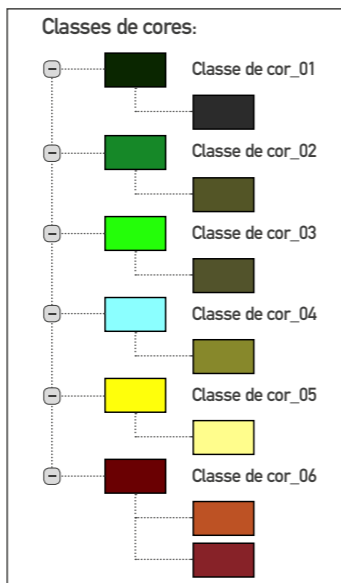
FERRILENE TRIUM



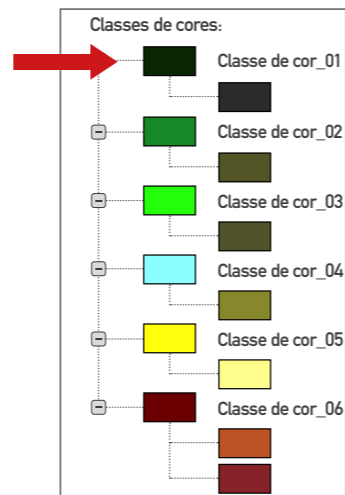
FERRILENE 4,8



TESTE



Em todos os protótipos aumentou a classe de cor verde-escuro.



**7**  
**Testes agrônômicos**





# FERRILENE 4,8 Pêssego



**LOCALIZAÇÃO**  
Catânia – Itália



**VARIEDADE**  
Baby gold 7



**MÉTODO DE APLICAÇÃO**  
Fertirrigação localizada



## Informações da cultura e descrição do solo

Trial ID:  
**FERRILENE12.OPEAC.01ITA\_X**



Distância entre linhas	4,5 m
Distância na linha	2,0 m
Planta/ha	1.000



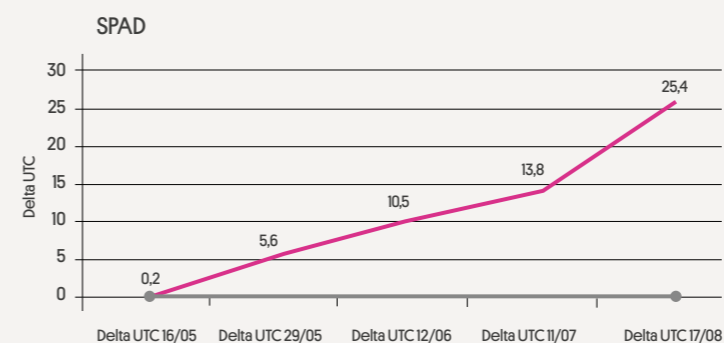
Solos com alto teor de carbonatos e pH alto, nos quais o ferro [Fe] está naturalmente indisponível para a planta e é necessário ser suplementado no solo com fertilizantes quelatos de ferro.

## Protocolo

PRODUTO	# de aplicações	Doses [kg/ha]	1ª aplicação	2ª aplicação	3ª aplicação
UTC	-	-	-	-	-
FERRILENE 4,8	3	5	16/05 Desenvolvimento do fruto	29/05	26/06

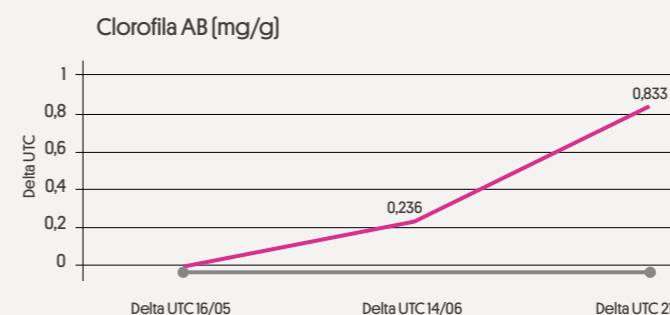
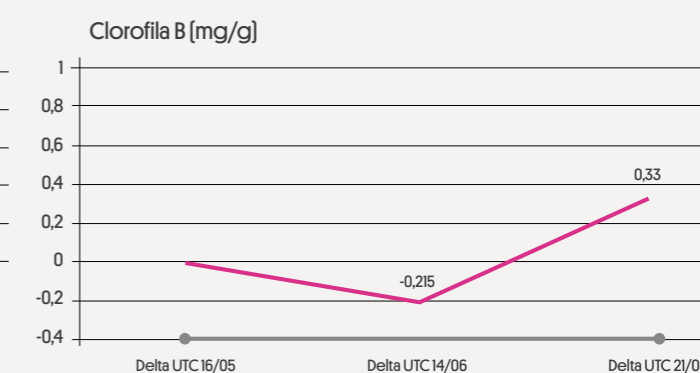
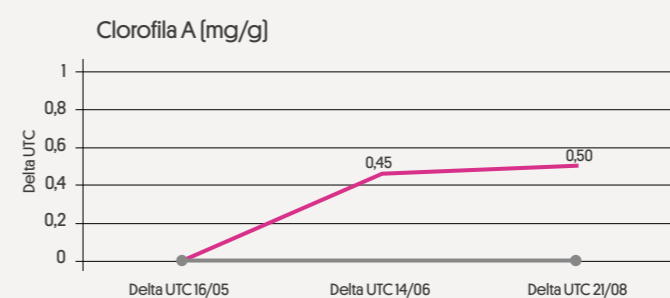
As aplicações de fertilizantes foram feitas em níveis de produção padrão. As aplicações de manutenção de herbicidas pré e pós-emergência foram feitas em toda a área de teste, conforme necessário.

## Resultados SPAD vs UTC

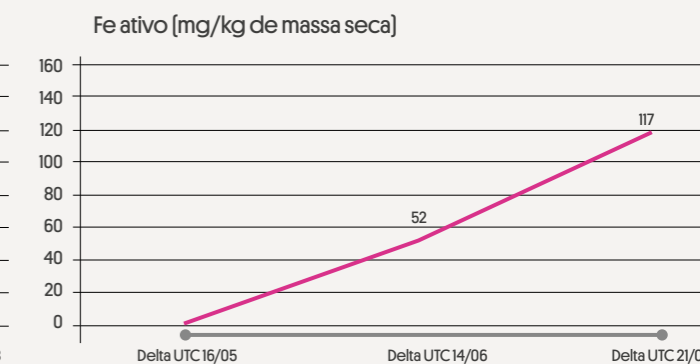
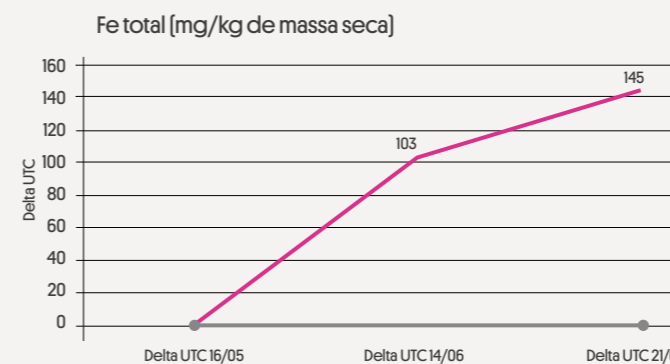


— UTC  
— FERRILENE 4,8

## Resultados de CLOROFILA vs UTC



## Resultados FE (mg/kg) vs UTC



## FERRILENE TRIUM

### Tomate – casa de vegetação



#### LOCALIZAÇÃO

Catânia – Itália



#### VARIEDADE

Icram



#### MÉTODO DE APLICAÇÃO

Irrigação localizada



#### Informações das culturas e descrição do solo

Trial ID:  
**FERRILENE12.VTOFR.01ITA\_X**



Distância entre linhas	1,00 m
Distância na linha	0,33 m
Planta/ha	30.000

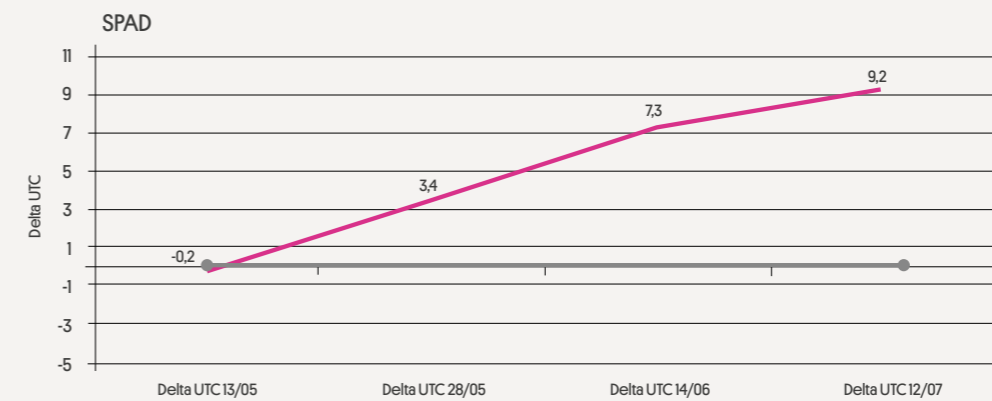


Solos com alto teor de carbonatos e alto pH, nos quais o ferro [Fe] está naturalmente indisponível para a planta e precisa ser suplementado no solo com fertilizantes quelatos de ferro.

#### Protocolo

PRODUTO	# de aplicações	Doses (kg/ha)	1ª aplicação	2ª aplicação
UTC	-	-	-	-
FERRILENE TRIUM	2	5	13/05 Floração - 6ª penca	16/06 Amadurecimento - 1ª penca

#### Resultados SPAD vs UTC



UTC  
5 FERRILENE TRIUM





## FERRILENE

### Uva



#### LOCALIZAÇÃO

Catânia – Itália



#### VARIEDADE

Itália



#### MÉTODO DE APLICAÇÃO

Irrigação localizada



#### Informações das culturas e descrição do solo

Trial ID:  
**FERRILENE12.OGRTA.0IITA\_X**



Distância entre linhas	3,00 m
Distância na linha	3,00 m
Planta/ha	1.000

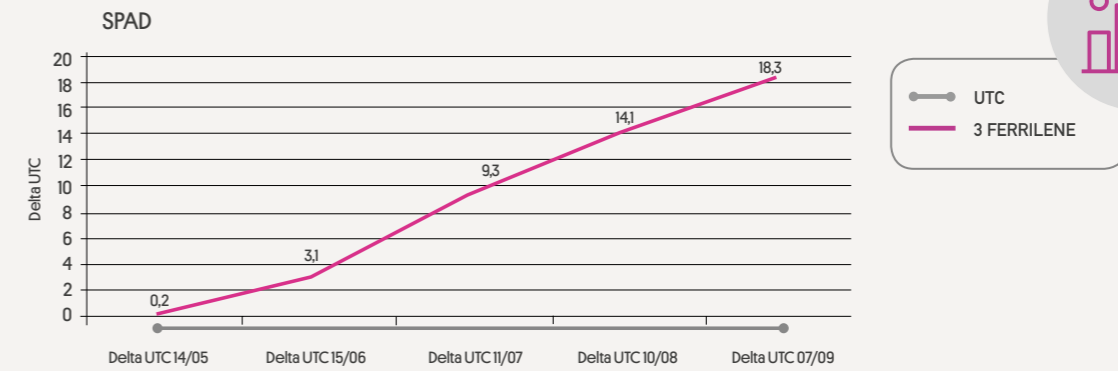


Solos com alto teor de carbonatos e alto pH, nos quais o ferro (Fe) está naturalmente indisponível para a planta e precisa ser suplementado no solo com fertilizantes quelatos de ferro.

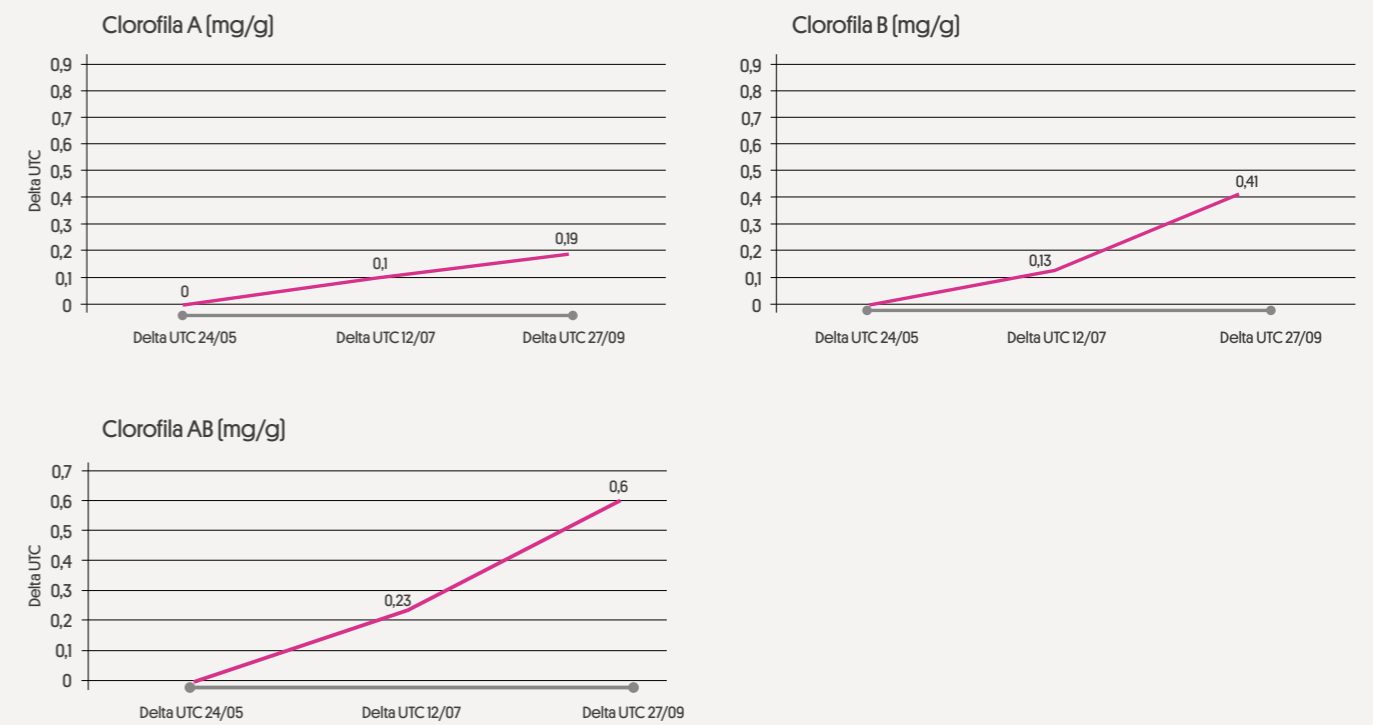
#### Protocolo

PRODUTO	# de aplicações	Doses [kg/ha] 1ª aplicação	Doses [kg/ha] 2ª aplicação	1ª aplicação	2ª aplicação
UTC	-	-	-	-	-
FERRILENE	2	5	10	24/05 Floração	11/07 Desenv. do fruto

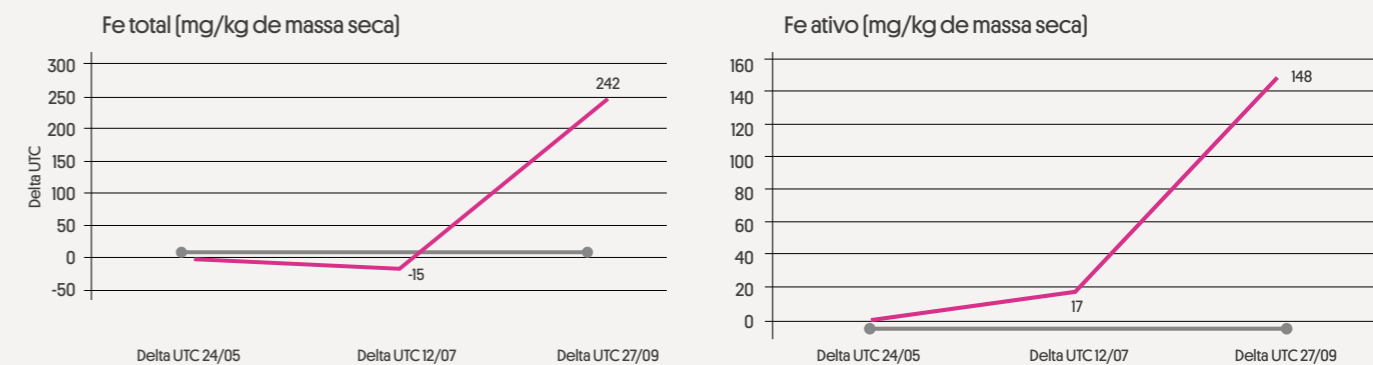
#### Resultados SPAD vs UTC



#### Resultados CLOROFILA vs UTC



#### Resultados FE (mg/kg) vs UTC



## FERRILENE 4,8

### Pera



#### LOCALIZAÇÃO

Ferrara – Itália



#### VARIEDADE

Abade Fetel



#### MÉTODO DE APLICAÇÃO

Irrigação localizada



#### Informações das culturas e descrição do solo

Trial ID:  
FERRILENE12.OPEAR.01ITA\_X



Distância entre linhas	3,30 m
Distância na linha	0,70 m
Planta/ha	4.329

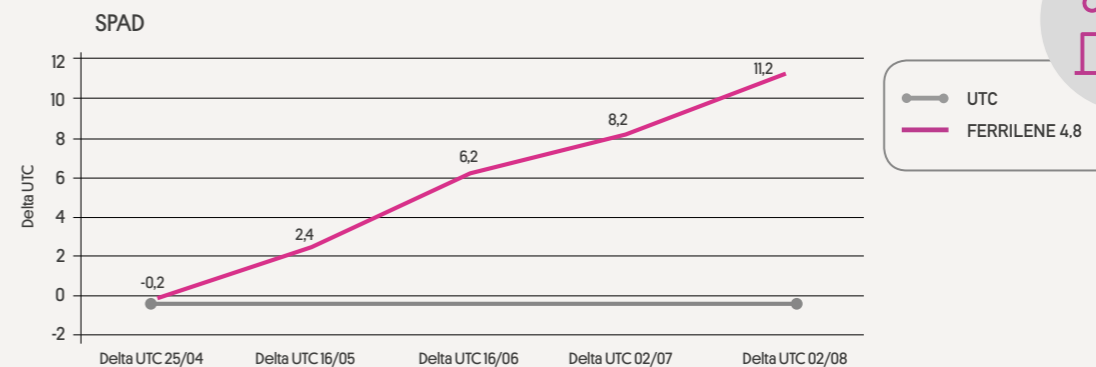


Solos com alto teor de carbonatos e alto pH, nos quais o ferro [Fe] está naturalmente indisponível para a planta e precisa ser suplementado no solo com fertilizantes quelatos de ferro.

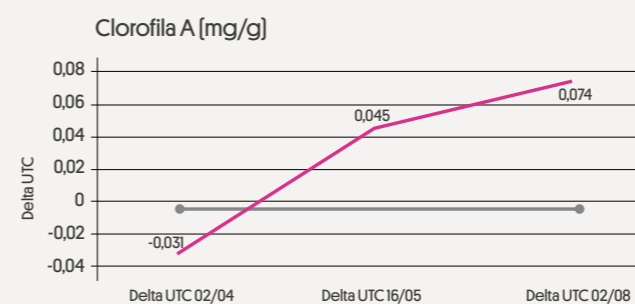
#### Protocolo

PRODUTO	# de aplicações	Doses (kg/ha) 1ª aplicação	1ª aplicação
UTC	-	-	-
FERRILENE 4,8	1	20	25/04 Floração

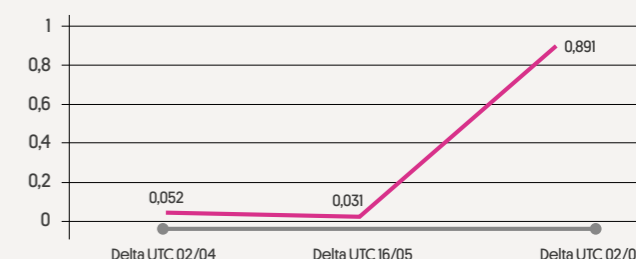
#### Resultados SPAD vs UTC



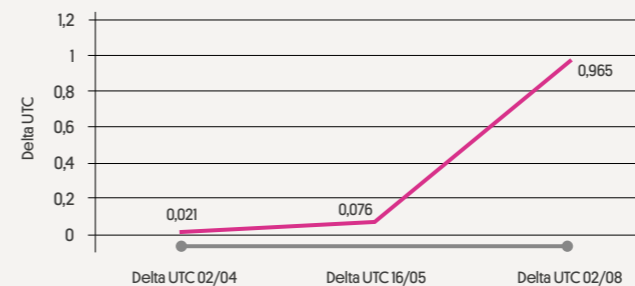
#### Resultados CLOROFILA vs UTC



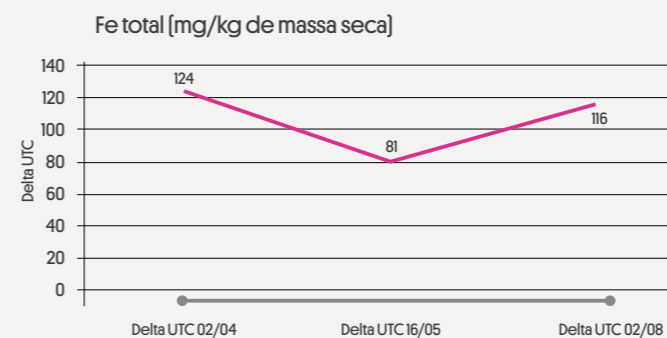
#### Clorofila B (mg/g)



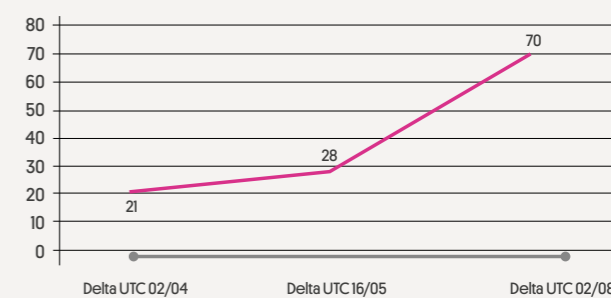
#### Clorofila AB (mg/g)



#### Resultados FE (mg/kg) vs UTC



#### Fe ativo (mg/kg de massa seca)





# FERRILENE TRIUM

## Uva



### LOCALIZAÇÃO

San Michele all'Adige – Itália



### VARIEDADE

Cabernet Franc



### MÉTODO DE APLICAÇÃO

Irrigação localizada



### Informações das culturas e descrição do solo

Trial ID:  
**FERRILENE12.OGRWI.01ITA\_MACH\_X**



Distância entre linhas	2,2 m
Distância na linha	0,9 m
Planta/ha	5.050



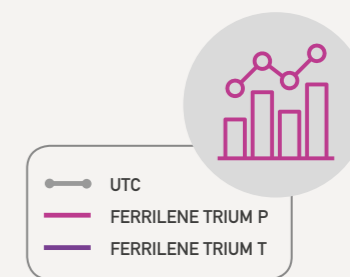
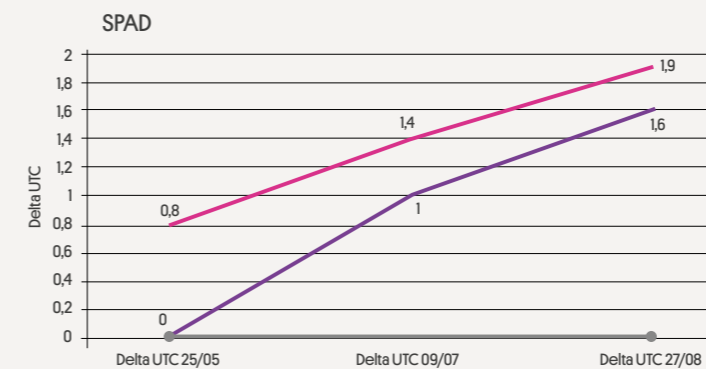
Solos com alto teor de carbonatos e alto pH, nos quais o ferro (Fe) está naturalmente indisponível para a planta e precisa ser suplementado no solo com fertilizantes quelatos de ferro.

% de areia	58	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	80
% de silte	34	K <sub>2</sub> O ppm	75
% de argila	8	MgO ppm	230
pH	7,8	CaCO <sub>3</sub> %	60
Substâncias orgânicas %	2,8	CEC meq/100 gr	13

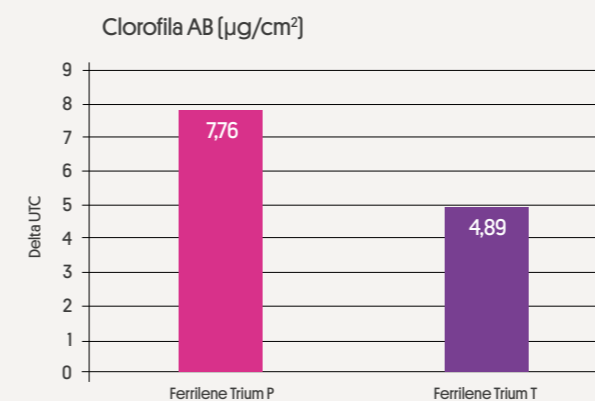
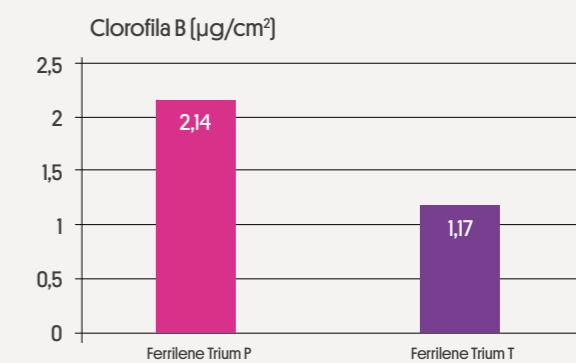
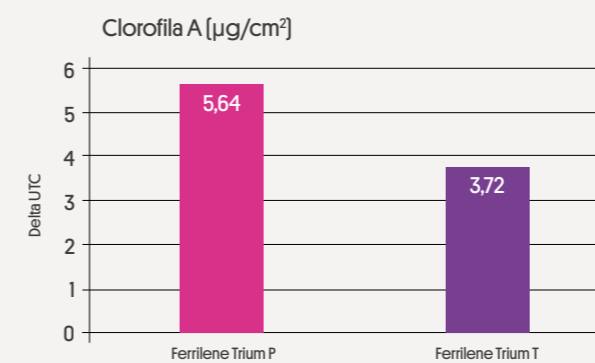
### Protocolo

PRODUTO	# de aplicações	Doses (kg/ha)	1ª aplicação
UTC	-	-	-
FERRILENE TRIUM P (tratamento prévio)	1	10	26/04
FERRILENE TRIUM T (tratamento tardio)	1	10	07/06

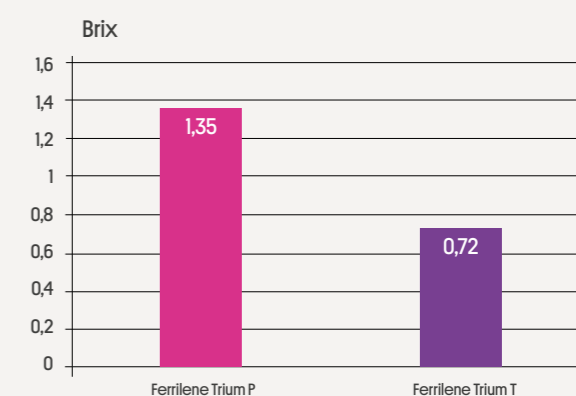
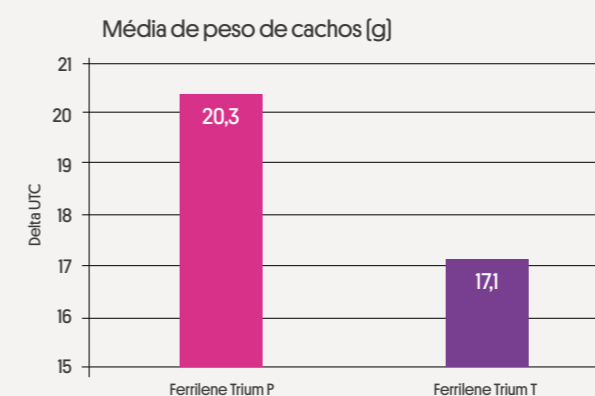
### Resultados SPAD vs UTC



### Resultados CLOROFILA vs UTC



### Resultados





# 8

## Bibliografía

**Abadía J.** 1998. Absorción y transporte de Fe en las plantas. Pp.: Xiii-xxiv. En: actas del VII simposio nacional-III ibérico sobre nutrición mineral de las plantas. Ed. Universidad autónoma de Madrid. Madrid, España.

**Abadía A, Sanz M, de las Rivas J y Abadía J.** 1989. Photosynthetic pigments and mineral composition of Fe deficiency pear leaves. *J. Plant Nutr.* 12:827-838.

**Alam, S.; Kamei, S.; Kawai, S.** 2001. Effects of iron deficiency on the chemical composition of the xylem sap of barley. *Soil Sci. Plant Nutr.* 47(3): 643-649.

**Álvarez-fernández A.** 2000. Calidad y eficacia de quelatos férricos [Fe-EDDHA, Fe-EDDHA, Fe-EDDHA y Fe-EDDHA] como fertilizantes. Tesis doctoral. Pp.:463. Universidad autónoma de Madrid.

**Álvarez-fernández A, Cremonini M A, Sierra M A, Placucci G y Lucena J J.** 2002A. Nature of impurities in fertilizers containing EDDHA/Fe<sup>3+</sup>, EDDHA/Fe<sup>3+</sup> and EDDHA/Fe<sup>3+</sup> chelates. *J. Agri. Food Chem.* 50(2):284-290.

**Álvarez-fernández A, Sierra M A y Lucena J J.** 2002B. Reactivity of synthetic Fe chelates with soils and soil components. *Plant Soil* 241(1):129-137.

**Álvarez-fernández A, Abadía A, Abadía J y Lucena J J.** 2003A. Diagnóstico y corrección de la clorosis férrica. En: I Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal- Agro Latino. Nutri-fitos 2003. Tomo 2. Pp.:158-166.

**Alvarez-Fernandez, et al.,** 2006; Chen and Barak, 1982; Hansen, et al., 2006; Mortvedt, 1991

**Awad, F., Römhild, V., Marschner, H.** 1988. Mobilization of ferric iron from a calcareous soil by plant-borne chelators. *J. Plant Nutr.* 11:701.

**Becker, R.; Grün, M.; Scholz, G.** 1992. Nicotinamide and the distribution of iron in the apoplast and symplast of tomato [*Lycopersicon esculentum* Mill] planta. 187: 48-52.

**Beinert, H.; Kennedy, M. C.** 1989. Engineering of protein bound iron-sulfur clusters. A tool

for the study of protein and cluster chemistry and mechanism of iron-sulfur enzymes. *Eur. J. Biochem.* 186: 5-15.

**Bienfait H F.** 1985. Regulated redox processes at the plasmalemma of plant root cells and their function in iron uptake. *J. Bioenerg. Biomembr.* 17(2):73-83.

**Bienfait H F.** 1988B. Proteins under control of the gene for Fe efficiency in tomato. *Plant Physiol.* 88(3):785-787.

**Black, R.E.; Allen, L.H.; Bhutta, Z.A.; Caulfield, L.E.; de Onis, M.; Ezzati, M.; Mathers, C.; Rivera, J.** Maternal and child undernutrition: Global and regional exposures and health consequences. *Lancet* 2008, 371, 243-260

**Brown J, C.; Jolley V. D.** 1988. Strategy I strategy II mechanism affecting iron availability to plants may be established too narrow or limited. *J. Plant Nutr.* 11:1077-1098.

**Brüggemann W, Maas-Kantel K y Moog P R.** 1993. Iron uptake by leaf mesophyll cells: the role of the plasma membrane-bound ferric-chelate reductase. *Planta* 190(2):151-155.

**Cambell, W.H. Y Redinbaugh, M.G.** 1984. Ferric-citrate reductase activity of nitrate reductase and its role in iron assimilation by plants. *J. Plant Nutr.* 7:799-806.

**Chaney R I.** 1984. Diagnostic practices to identify iron-deficiency in higher plants. *J. Plant Nutr.* 7(1-5):47-67.

**Charlson D V, Cianzio S R y Shoemaker R C.** 2003. Associating SSR markers with soybean resistance to iron deficiency chlorosis. *J. Plant Nutr.* 26(10-11):2267-2276.

**Chen Y y Barak P.** 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Adv. Agron.* 35:217-240.

**Chen Y.** 1997. Remedy of iron deficiency - present and future. En: abstracts 9th international symposium on iron nutrition and interactions in plants. Pp.: III. Hohenheim, Stuttgart, Germany.

**Curie C, Panaviene Z, Loulergue C, Dellaportas I, Briat J F y Walker E I.** 2001. Maize yellow

stripe 1 encodes a membrane protein directly involved in Fe(III) uptake. *Nature* 409(6818):346-349.

**De la Guardia M D y Alcántara E.** 1996. Ferric chelate reduction by sunflower [*Helianthus annuus* L.] leaves: influence of light, oxygen, iron-deficiency and leaf age. *J. Exp. Bot.* 47(298):669-675.

**Droillard, M. J.; Paulin,** 1990. Isoenzymes of superoxide dismutase in mitochondria and superoxide isolated from petals of carnation [*Dianthus caryophyllus*] during senescence. *Plant Physiol* 94:1187-1192.

**FAO; IFAD; WFP.** The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 International Hunger Targets: Taking Stock of Uneven Progress 2015. Available online: <http://www.fao.org/3/a-i4646e.pdf> [accessed on 10 August 2020].

**Fox, T.C. Y Guerinot, M.L.** 1998. Molecular biology of cation transport in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:669-696.

**Fox, T.C.; Shaff, J.E.; Grusak, M.A.; Norvell, W.A.; Chen, Y.; Chaney, R.L. Y Kochian, I.V.** 1996. Direct measurement of <sup>59</sup>Fe-labeled Fe<sup>2+</sup> influx in roots of pea using a chelator buffer system to control free Fe<sup>2+</sup> in solution. *Plant Physiol.* 111:93-100.

**Gonzalez-vallejo, E.B.; Susin, S.; Abadía, A; Abadía, J.** 1998. Changes in sugar beet leaf plasma membrane Fe(III)-chelate reductase activities mediated by deficiency, assay buffer composition, anaerobiosis and the presence of flavins. *Protoplasma.* 205: 163-168.

**Guerinot M I y Yi Y.** 1994. Iron: nutritious, noxious and not readily available. *Plant Physiol.* 104(3):815-820.

**Guggenheim, K.Y.** Chlorosis: The Rise and Disappearance of a Nutritional Disease. *J. Nutr.* 1995, 125, 1822-1825.].

**Hansen N C, Jolley V D, Berg W A, Hodges M E y Krenzer E G.** 1996. Phytosiderophore release related to susceptibility of wheat to iron deficiency. *Crop Sci.* 36(6):1473-1476.

**Hell R y Stephan U W.** 2003. Iron uptake,



trafficking and homeostasis in plants. *Planta* 216(4):541-551.

**Herbik a, giritch a, horstmann c, becker r, balzer h j, bäumlein h y stephan u w.** 1996. Iron and copper nutrition-dependent changes in protein expression in a tomato wild type and the nicotianamine-free mutant chloronerva. *Plant physiol.* 111(2):533-540.

**Holden m j, luster d g, chanev r i, buckhout t j y robinson c.** 1991. Fe<sup>3+</sup> - chelate reductase activity of plasma membrane isolated from tomato [*Lycopersicon esculentum* mill.] Roots- comparison of enzymes from fedeficient and fe-sufficient roots. *Plant physiol.* 97(2):537-544.

**Hopkins, b. G.; Jolley, v. D.; Brown, j. C.** 1992. Plant utilization of iron solubilized by oat phytosiderofore. *J. Plant nutr.* 15:1599-1612.

**Hsu, w.; Miller, g. W.;** 1968. Iron in relation to acotinase hydratase activity in glycine max. *Merr. Biochim. Biophys. Acta* 15: 711-713.

**Hughes, d.F., V.D. Jolley and j.C. Brown.** 1992. Roles for potassium in the iron-stress response mechanisms of strategy i and strategy ii plants. *J. Plant nutr.* 15: 1821-1839.

**Jolley, v.D.; Brown, j.C.; Blaylock, m.; Camp, s.** 1988. A role for potassium in the use of iron in plants. *J. Plant nutr.* 11: 1159-1175.

**Jones d I.** 1998. Organic acids in the rhizosphere-a critical review. *Plant soil* 205(1):25-44.

**Kawai s y alam s.** 2005. Iron stress response and composition of xylem sap of strategy ii plants. Pp.: 289-309. En: iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms: iron in plants and microbes. Barton, I. L. And abadía, j. Eds.; Kluwer academic publishers: dordrecht, the netherlands.

**Kawai, s.; Kamei, s.; Matsuda, y.; Ando, r.; Kond, s.; Ashizawa, a.; Alam, s.** 2001. Concentrations of iron and phytosiderophores in xylem sap of iron-deficient barley plants. *Soil sci. Plant nutr.* 47 (2): 265-272.

**Kawai s, takagi s i y sato y.** 1988. Mugineic

acid-family phytosiderophores in rootsecretions of barley, corn and shorgum varieties. *J. Plant nutr.* 11(6-11):633-642.

**Klem-Marciniak, E.; Huculak-Mańczka, M.; Marecka, K.; Hoffmann, K.; Hoffmann, J.** Chemical Stability of the Fertilizer Chelates Fe-EDDHA and Fe-EDDHA over Time. *Molecules* 2021, 26, 1933. <https://doi.org/10.3390/molecules26071933>.

**Kobayashi, t.; suzuki, m.; Inoue, h.; Itai, r. N.; Takahashi, m.; Nakanishi, h.; Mori, s.; Nishizawa, n. K.** 2005. Expression of iron-acquisition-related genes in iron-deficient rice is co-ordinately induced by partially conserved iron-deficiency-resposive elements. *J. Exp. Bot.* 56: 1305-1316.

**Kobayashi,t.; Nishizawa, n. K.; Mori, s.** 2006. Molecular analysis of iron-deficient graminaceous plants. In iron nutrition in plants and rhizospheric microorganism. (L. L. Barton; j. Abadía (eds)). Springer. isbn-101-4020-4742-8 (hb). Netherlands. 395-435.

**Laulhere j p.; Briat j f.** 1993. Iron release and uptake by plant ferritin : effects on ph, reduction and chelation. *Biochem. J.* 290: 693-699.

**Lindsay, w.L.** 1979. Chemical equilibria in soils. Ed. John and sons n.Y. isbn 0-471-02704-9.

**Lindsay, w.L.** 1991. Iron oxide solubilization by organic matter and its effect on iron availability. *Plant soil* 130:27-34.

**Lindsay w l y schwab a p.** 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *J. Plant nutr.* 5(4-7):821-840.

**Lobreaux, s. Briat, j. F.** 1991. Ferritin accumulation and degradation in diferents organs of pea [*pisum sativum*] during development. *Biochem. J.* 274: 601-606.

**López millan, a, f.; morales, f.; Abadía, a.; Abadía a.; Abadía, j.** 2000<sup>a</sup>. Effects of iron deficiency on the composition of the leaf apoplastic fluid and xylem sap in sugar beet. Implications for iron and carbon transport. *Plant physiol.* 124: 873-884.

**López-millán a f.** 2000. Adquisición y

transporte de hierro en plantas. Tesis doctoral. Pp.: 236. Estación experimental de aula dei. Csic. Zaragoza, españa.

**Lucena j j.** 2000A. Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron chlorosis. A review. *J. Plant nutr.* 23(11-12):1591-1606.

**Lucena j j.** 2003. Fe chelates for remediation of fe chlorosis in strategy i plants. *J. Plant nutr.* 26(10-11): 1969-1984.

**Lucena j j.** 2005. Iron fertilizers in correcting iron deficiencias in plants. Pp.: 105-130. En: iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms: iron in plants and microbes. Barton, I. L. And abadía, j. Eds.; Kluwer academic publishers: dordrecht, the netherlands.

**Marschner, h., Röemheld, v., Kissel, m.** 1986. Diferent strategies in higher plants in movilization and uptake of iron. *J. Plant nutrition* 9 695-713.

**Marschner, h.** 1995. Mineral nutrition in higher plants. Academic press. isbn 012-473542-8.

**Mengel, k.; Bübl, w.** 1983. Verteilung von eisen in blättern von weinreben mit hco<sub>3</sub>-induzierter chorose. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk*, 145: 261-267.

**Mengel, k. Kirkby, a.E.** 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer academic publishers. isbn 0-7923-7150-k (hb. isbn 1-4020-008-1[pb]).

**Mengel, k. Malissiovas, n.** 1982. Light dependent proton excretion by roots of entire vine plants [*vitis vinifera* l.] *Z. Pflanzenernähr. Bodenk*, 145: 261-267.

**Miller, r. W.; Pushnik, j. C.; Welkie, g. W.** 1984. Iron chlorosis, a world wide problem, the relation of chlorophyll biosynthesis to iron. *J. Plant nutr.* 7:1-22.

**Mori, s.; Nishizawa, n.; Hagashi, h.; Chimo, m.; Yoshimura, e.; Ishihara, j.** 1991. Why are young rice plants highly susceptible to iron deficiency?. *Plant soil.* 130:143-156.

**Moog p r y brüggemann w.** 1994. Iron reductase systems on the plant

plasmamembrane- a review. *Plant soil* 165(2):241-260.

**Murad, e.; Fisher, w r.** 1988. The geobiochemical cycle of iron. In iron in soils and clay minerals. (J. W. Stucki, et al. Eds). D. Reidel publishing ccompany: 1-18 pp.  
**Nagarathana, k. C.; Shetty, a.; Bhar, s. G.; Shetty h. S.** 1992. The possible involment og lipoxxygenase in downy mildew resistance in peral miller. *J. Exp. Bot.* 43:1283-1287.

**Nikolic, m.** 1998. The role of the redox systems in uptake and traslocation og iron by higher plants. *Lugoslav. Physiol pharmacol. Acta* 34 (2): 479-489.

**Nishizawa, n., Mori, s.** 1987. The particular vesicle appearing in the barley root cells and its relation to muginei acid secretion. *J. Plant nutr.* 10:1013.1020.

**Pestana m, vareennes a y aráujo faria e.** 2003. Diagnosis and correction of iron chlorosis in fruit trees: a review. *Food, agriculture & enviroment* 1(1):46-51.

**Pich a, hillmer s, manteuffel r, scholz g.** 1997. First immunohistochemical localization of the endogenous Fe<sup>2+</sup> -chelator nicotianamine. *J. Exp. Bot.* 48(308):759-767.

**Rabotti, g. Y zocchi, g.** 1994. Plasma membrane-bound h+ -atpase and reductase activities in fe-deficient cucumber roots. *Physiol. Plant.* 90:779-785.

**Rombolà, a. D.; Brüggemann, w.; López-millan, a. F.; Tagliavini, m.; Abadía, j.; Marangoni, b.; Moog, p. R.** 2000. Iron source affects iron reduction and re-greening of kiwifruit [actinidia deliciosa] leale. *J. Of plant nutrition*, 23:1751-1765.

**Rombolà, a. D.; Brüggemann, w.; López-millan, a. F.; Tagliavini, m.; Abadía, j.; Marangoni, b.; Moog, p. R.** 2002. Biochemical responses to iron deficiency in kiwifruit [actinidia deliciosa]. *Tree physiology.* 22: 869-875.

**Römheld, v.** 1987. Existence of two difference strategies for the acquisition of iron in higher plants. Pp 353-374. In iron transport in microbes, plant and animals. G. Winkelmann, d. Van der helm, j. B. Neiland. Vch-verlag. Weinheim.

**Römheld v y marschner h.** 1986. Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species. Pp.: 155-204. En: advance in plant nutrition. Vol.2. Tinker b. Y laüchli a. Eds; praeger scientific, new york.

**Römheld, v., Marschner, h.** 1990. Genotypical differences among graminaceous species in release of phytosiderophores and uptake of iron phytosiderophores. *Plant soil.* 123:147-153.

**Römheld, v. Y marschner, h.** 1991. Functions of micronutrients in plants. En: micronutrients in agriculture, 2º ed. J.J. Mordvedt, f. R. Cox, I. M. Shuman and r. M. Welch, (eds.). Sssa book series, nº4, Madison, wi. Usa. Pp:297-328.

**Rout and Sahoo,** *Reviews in Agricultural Science*, 3:1-24, 2015. doi:10.7831/ras.3.1

**Sánchez-andreu j, jordá j y juarez m.** 1991. Reactions of feedta and feeddha applied to calcareous soils. Pp.: 57-62. En: iron nutrition and interactions in plants. Chen, y. And hadar, y; Kluwer academic publishers: dordrecht, the netherlands.

**Schlee, d.; Reinbothe, d.; fritsche, w.** 1968. Der einfluss von eisen auf den purinstoffwechsel und die rivoflavinbildung von canadida guilliermondii [cast]. *Lang et g. Allg. Mikrobiol* 8: 127-138.

**Schwertmann, u.;** 1991. Solubility and dissolution of iron oxides. In iron nutrition and interactions inplants. (Y. Chen; y. Hadar). Kluwer academic publishers isbn 0-7923-1095-0: 3-27.

**Schwertmann, u.; Taylor, r. M.** 1989. Iron oxides. In mineral in soil environments 2nd edition) (j. B. Dixon; s. B. Weed eds). Soil science society of america. 677 South segoe road madison. Wl 53711. Usa. Ssa book series. No.1: 379-438.

**Shi y, byrne d h, reed d w m y loeppert r h.** 1993. Iron chlorosis development and growth response of peach rootstocks to bicarbonate. *J. Plant nutr.* 16(6):1039-1046.

**Siebner-freibach h, hadar y y chen y.** 2004. Interaction of iron chelates with clay minerals. *Soil sci. Soc. Am. J.* 68(2):470-480.

**Smith, b. N.** 1984. Iron in higher plants: storage and metabolic rate. *J. Plant nutr.* 7: 729-766.

**Susin, s.; Abadía, a.; Gonzales-reyes, j. A.; Lucena, j. J.; Abadía, j.** 1996. The ph requirement for in vivo activity of the iron-deficiencyinduced "turbo" ferric chelate reductase. A comparison of the iron-dificiency-induced iron reductase activities of intact plants and isolated plasma membrane fractions in sugar beet. *Plant physiology.* 110: 111-123.

**Somers, i. l., Gilbert, s. G., And shive, j. W.** 1942. The iron-manganese ratio in relation to the respiratory CO<sub>2</sub> and the deficiency toxicity symptoms in soybeans. *Plant physiol.* 17: 317-320.

**Stephan w y scholz g.** 1993. Nicotinamine: mediator of transport of iron and heavy metals in the phloem?. *Physiol. Plant.* 88:522-529.

**Stephan, u. W.;** 2002. Intra- andintercellular iron trafficking and subcellular compartmentation withn roots. *Plant and soil* 241: 522-529.

**Takagi s, nomoto k y takemoto t.** 1984. Physiological aspect of mugineic acid, a possible phytosiderophore of graminaceous plants. *J. Plant nutr.* 7(1-5):469-477.

**Takagi, s.** 1976. Naturally occurring iron-chelating compounds in oat- and rice-root washings. Activity measurement and preliminary characterization. *Soil sci. Plant nutr.* 22:423-433.

**Terry n y abadía j.** 1986. Function of iron in chloroplasts. *J. Plant nutr.* 9(3-7):609-646.

**Theil, e. C.** 1987. Ferritin: structure, gene regulation, and cellular function in animals, plants and microorganisms. *Annu. Rev. Biochem.* 56: 289-315.

**Tiffin, l. O.** 1970. Translocation of iron citrate and phosphorus in xylem exudates of soybean. *Plant physiol.* 45:280-283.

**Toulon v, sentenac h, thibaud j b, davidian j c, moulineau c y grignon c.** 1992. Role of



apoplast acidification by the  $\text{h}^+$  pump. Effect on the sensitivity to  $\text{ph}$  and  $\text{co}_2$  of iron reduction by roots of brassica napus l. Planta 186(2):212-218.

**Uren n.** 1984. Forms, reactions and availability of iron in soils. J. Plant nutr. 7(1-5):165-176.

Usda-nrcs second edition, 1999. Soil taxonomy a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys del departamento de agricultura de los estados unidos.

**Valagro Book 2020**- Creating the future. Since 1980 – for 40th anniversary - [https://www.valagro.com/en/valagro40years/?edit\\_off](https://www.valagro.com/en/valagro40years/?edit_off)

**Warden, b. T.; H. M reisenau.**, 1991. Reisenauera manganese-iron interactions in the plant-soil system. Department of land, air, and water resources, university of california, clavis, ca, usa. Journal of plant nutrition, 14:7-30

**Welkie, g.W. Y miller, g.W.** 1989. Sugar beet responses to iron nutrition and stress. J. Plant nutr. 12: 1041-1054.

**Welkie, g.W. Y miller, g.W.** 1993. Plant iron uptake physiology by nonsiderophore system. En: iron chelation in plants and soil microorganisms. L.L. Barton and b.C. Hemming, [eds]. Academic press, san diego, ca [ee.Uu.]. Pp:345-369.

**Young, t.F. Y terry, n.** 1982. Transport of iron into leaves following iron resupply to iron-stressed sugar beet plants. J. Plant nutr. 5:1273-1283.

**Yunta f.** 2003. Caracterización y modelización teórica de nuevos agentes quelantes análogos al eddha para su uso como fertilizantes. Tesis doctoral. Universidad autónoma de madrid. Madrid, españa.

**Zaharieva, t. Y römheld, v.** 2000. Specific  $\text{fe}^{2+}$  uptake system in strategy i plant inducible under fe deficiency j. Plant nutr. 23(11&12):1733-1744.

**Zocchi, g. Y cocucci, s.** 1990. Fe uptake mechanism in fe efficient cucumber roots. Plant physiol. 92:908-911.

## ANOTAÇÕES









Siga-nos



**Valagro do Brasil**  
[www.valagro.com](http://www.valagro.com)



Faça parte da comunidade digital da Valagro.  
Explore o nosso aplicativo e-Hub e junte-se a nós!

**Vencendo o desafio global juntos.**