

# PROVÁRZEAS NACIONAL



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA  
VINCULADA AO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ E FEIJÃO – CNPAF



## ANAIS da I Reunião sobre **FERRO** em Solos Inundados

CNPAP - Goiânia GO. / 19 a 21 de maio - 1987

## **REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**

**Presidente:** José Sarney

**Ministro da Agricultura:** Iris Rezende Machado

**Coordenador Geral do PROVÁRZEAS/PROFIR:** Sebastião Jander de Siqueira

### **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA**

**Presidente:** Ormuz Freitas Rivaldo

**Diretores:** Ali Aldersi Saab

Derli Chaves Machado da Silva

Francisco Férrer Bezerra

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA**  
Vinculada ao Ministério da Agricultura  
Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão - CNPAF  
Goiânia, GO

**ANAIS**

**I REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS**

19 a 21 de maio de 1987

GOIÂNIA, GO

Coordenador: Morel Pereira Barbosa Filho

**Exemplares deste documento devem ser solicitados ao:**

Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão  
Setor de Publicações  
Rodovia GYN 12, Km 10  
Antiga Rodovia Goiânia/Nerópolis  
Caixa Postal 179  
74000 Goiânia, GO

Tiragem: 1.000 exemplares.

Reunião sobre Ferro em Solos Inundados, 1., Goiânia, GO, 1987.

Anais da I Reunião sobre Ferro em Solos Inundados, coord. por Morel Pereira Barbosa Filho Goiânia, GO EMBRAPA-CNPAF, 1988.

p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 22).

1. Solo inundado - ferro - congresso. I. Barbosa Filho, Morel Pereira, coord. II. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Goiânia, GO. III. Título. IV. Série.

CDD 631.41063

## A P R E S E N T A Ç Ã O

No Brasil, a toxidez de ferro já foi constatada, com maior ou menor intensidade, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Alagoas, Sergipe, Piauí e Pará, o que dá uma abrangência nacional ao problema. O CNPAF, como entidade coordenadora da pesquisa com arroz no Brasil, não poderia deixar de dar uma atenção especial a este problema. Dentro de sua filosofia de atacar os problemas da cultura do arroz por áreas específicas de conhecimento, de maneira que eles sejam discutidos por um grupo de especialistas que trabalhem no assunto, o CNPAF promoveu, com o apoio do PROVÁRZEAS, esta I Reunião sobre Ferro em Solos Inundados. Com isto, espera-se promover maior integração entre os pesquisadores que já vinham trabalhando para a solução do problema, além de outros interessados no assunto. Adicionalmente, pretendeu-se fazer um levantamento da situação atual dos conhecimentos sobre toxidez de ferro e das possíveis medidas a serem aplicadas para minimizar o problema. Espera-se que desta reunião resultem novos projetos de pesquisa que certamente irão contribuir para a solução deste grave problema que atinge as lavouras de arroz irrigado do Brasil.

Luis Fernando Stone  
Chefe Adjunto Técnico  
CNPAF

# Í N D I C E

	Página
Parte I - Abertura e Considerações do Coordenador.....	9
Parte II - Palestras	
. PROVÁRZEAS/PROFIR (Ady Raul da Silva).....	13
. O FERRO NO SOLO (Nestor Kampf).....	35
. FERRO NA PLANTA (Benedito Gomes dos Santos Filho).....	72
Parte III - Resultados de Pesquisa	
. Resultados obtidos em estudos com Fe no CNPAF	
- Estudos do Fe na absorção de nutrientes, práticas de manejo e avaliação de cultivares de arroz para tolerância a Fe (Nand Kumar Fageria, Morel Pereira Barbosa Filho, Paulo Hideo Nakano Rangel e Veridiano dos Anjos Cutrim).....	97
- Toxicidade de ferro em arroz irrigado (Morel Pereira Barbosa Filho).....	113
- Fe no solo e na solução em Gley Pouco Húmico cultivado com arroz irrigado (José Francisco Valente Moraes e José Flávio Dynia).....	134
- Manejo d'água e alterações nos teores de ferro em um solo de várzea (Luis Fernando Stone).....	137
- Efeito da calagem e do manejo d'água sobre disponibilidade de ferro em solo submerso (Pedro Marques da Silveira, Antonio Carlos Ribeiro, Liovando Marciano da Costa).....	139
Resultados obtidos em estudos com Fe na EPAMIG	
- Avaliação de cultivares/linhagens de arroz para tolerância a ferro (Francisco Morel Freire, Miralda Bue no de Paula, Cleide Aparecida de Abreu).....	144

. Resultados obtidos em estudos com Fe na EMCAPA	
- Manejo de água, calagem, aplicação de fósforo e potássio em arroz irrigado em solos com problemas de toxidez de ferro (Sammy Fernandes Soares).....	148
. Resultados obtidos em estudos com Fe na EMPASC.....	164
Richard E. Bacha	
. Resultados obtidos em estudos com Fe no IRGA.....	170
Marlene Souza Lopes	
. Resultados obtidos em estudos com Fe no CPATB.....	180
Algenor da Silva Gomes, Ledemar Carlos Vahl, Mauri Onofre Machado, Eloi Antonio Pauletto	
Parte IV - Tentativa de Padronização de Metodologias para Estudos de Toxidez de Fe.....	189
Parte V - Propostas e Sugestões para Pesquisa.....	193
Lista de Participantes.....	203

**PARTE I**

**ABERTURA E CONSIDERAÇÕES DO COORDENADOR**

## ABERTURA E CONSIDERAÇÕES DO COORDENADOR

A abertura da reunião foi feita pelo Chefe do CNPAF, Dr. Emílio da Maia de Castro e pelo Chefe Adjunto Técnico, Dr. Luis Fernando Stone. Este notificou que o CNPAF pretende promover reuniões para discussão de assuntos específicos, como neste caso, a toxidez de Fe em arroz irrigado por inundação. Nestas reuniões pretende-se discutir metodologias e prioridades dentro das linhas de pesquisa na área de solos e nutrição de plantas, mais especificamente para as culturas de arroz e feijão. Espera-se, com isto, que os projetos sejam avaliados por maior número de especialistas, de modo que quando encaminhadas ao CNPAF para análise, já estejam praticamente aprovadas e com recursos assegurados.

A condução da reunião foi passada ao Coordenador, Dr. Morel Pereira Barbosa Filho, que destacou os objetivos da reunião:

1. Fazer um diagnóstico do problema Fe em solos inundados.
2. Conhecer a situação atual da pesquisa em relação a toxidez de Ferro.
3. Promover maior integração entre pesquisadores, que trabalham com o problema Fe, através de:
  - a) um projeto nacional de pesquisa que atenda o problema Fe, formado por projetos individuais de inteira responsabilidade de cada pesquisador;
  - b) viagens de reconhecimento do problema "in loco" e intercâmbio de visitas aos experimentos;
  - c) realização de reuniões específicas dentro das RENAPA's para avaliação de resultados, discussão de

metodologias, reajuste da programação e proposição de tecnologias capazes de amenizar o problema de toxidez de Fe.

O Coordenador salientou que há possibilidade de o pesquisador ou instituição conseguir recursos para seus projetos diretamente através de diversos órgãos financiadores de pesquisa. Entretanto, solicitou que os pesquisadores se mantivessem integrados a um programa conjunto a nível nacional, por entender que daí adviriam diversas vantagens, entre as quais a troca constante de informações e conhecimentos, aprimoramento técnico e finalmente a maior integração que constitui o objetivo principal da reunião.

PARTE II  
PALESTRAS

## PROVARZEAS/PROFIR

Ady Raul da Silva

O PROV~~A~~RZEAS Nacional é um programa criado com a finalidade de promover o aproveitamento racional e intensivo de áreas de varzeas com produtos alimentícios, a nível de propriedade rural. O programa teve seu início em Minas Gerais e a partir de 1981 adquiriu o caráter nacional.

O PROFIR é um programa que visa aumentar a produção e a produtividade da agricultura com prioridade para os alimentos básicos, através do financiamento à aquisição e a implantação dos equipamentos de irrigação.

Além do fato de ser um programa de âmbito nacional, o PROV~~A~~RZEAS se diferencia de outros programas regionais de irrigação conduzidos por instituições tradicionais como CODEVASF, DNOCS e DNOS, em diversos aspectos. No caso do PROV~~A~~RZEAS, o produtor beneficiado paga os investimentos feitos na sua propriedade ao passo que em outros programas existe paternalismo, na medida em que o produtor é beneficiado com infraestrutura e outros investimentos. O PROV~~A~~RZEAS não investe em infraestrutura, é barato para a sociedade e basicamente é dirigido ao pequeno produtor, mas aberto também ao grande produtor.

O custo médio do hectare implantado, hoje está em torno de US\$ 600. No PROFIR este custo está em torno de US\$ 1,200/ha e no PROINE, US\$ 4,500/ha. Há métodos ainda mais baratos com a

irrigação por corrugação por gravidade, que permite reduzir os investimentos para cerca de US\$ 200/ha.

Em relação ao desempenho do PROVARZEAS, em 1986 foram executados 8.676 projetos, incorporando uma área de 120.098 ha, com média de 13,8 ha por projeto. No período de 1981 a 1986, foram executados 42.330 projetos, resultando em 591.283 ha de várzeas drenadas e/ou sistematizadas (drenadas e irrigadas), como se pode ver na Tabela 1.

Em 1986, a região Sudeste foi o maior executor do programa com 4.763 projetos incorporando 53.754 ha, destacando-se o Estado de Minas Gerais, com mais de 3.000 projetos e 42.000 ha implantados. Destacou-se em segundo lugar, a Região Sul com 42.720 ha, sendo que somente o Estado do Rio Grande do Sul, incorporou 30.730 ha, no total de 483 projetos. Seguiram-se as regiões Centro-Oeste (12.603 ha), Nordeste (10.125 ha) e Norte (888 ha).

Quanto ao PROFIR, também a região Sudeste ficou em primeiro lugar com 742 projetos para uma área de 34.024 ha, onde Minas Gerais novamente ocupou o primeiro lugar com 19.792 ha irrigados por aspersão, num total de 409 projetos (Tabela 2). A região Centro-Oeste foi a segunda colocada com 83 projetos e 9.805 ha implantados, destacando-se o Estado de Goiás, com 69 projetos e 7.588 ha. Seguiram-se em ordem decrescente as regiões Sul (5.383 ha/65 projetos), Nordeste (112 ha/8 projetos) e Norte (8 ha/2 projetos).

## Atuação do PROVÁRZEAS

O PROVÁRZEAS atua no sentido de incrementar o aproveitamento de várzeas visando principalmente o aumento da produtividade das culturas e da produção de alimentos básicos - feijão, arroz, milho, trigo, batata e demais produtos hortícolas (Figura 1). A possibilidade de conduzir dois a três cultivos anuais na mesma área poderá aumentar a produção em até 6 vezes em comparação com os índices atuais obtidos em áreas não irrigadas. Como consequência, espera-se com isso maior geração de empregos e aumento de renda para o produtor.

Entre as diversas atividades desenvolvidas pelo PROVÁRZEAS destacam-se a capacitação de recursos humanos e o estímulo à pesquisa e geração de tecnologias apropriadas à utilização racional das várzeas.

Em 1986 o PROVÁRZEAS promoveu, através de diversas instituições a realização de 113 cursos abrangendo as mais variadas disciplinas, capacitando e reciclando 2.034 técnicos de nível superior e médio do Sistema Brasileiro de Assistência Técnica e Extensão Rural (SIBRATER) e de empresas privadas. No mesmo período, os executores do programa treinaram 4.690 trabalhadores rurais em áreas de várzeas, nas modalidades de operadores de máquinas, de equipamentos específicos e no uso racional de áreas drenadas e/ou irrigadas.

## Métodos de atuação na área de pesquisa

A atuação do PROVARZEAS/PROFIR, é apenas promover pesquisas que não estavam sendo realizadas ou ampliar as que considera prioritárias para as suas atividades, fornecendo recursos financeiros às instituições de pesquisa já estruturadas.

Considerando ser a EMBRAPA, a instituição de pesquisa do Ministério da Agricultura, toda a atuação do PROVARZEAS/PROFIR, é feita por seu intermédio, tendo sido feito um ajuste assinado a 17 de agosto de 1981, entre o Ministério da Agricultura, representado pelo Senhor Secretário-Geral e o Presidente da EMBRAPA. Fazem parte das obrigações do Ministério da Agricultura, fornecer recursos financeiros, indicar os temas e metas que serão objeto de pesquisa aplicada; orientar, controlar e avaliar a sua execução, designando um Gerente para supervisionar, assistir e assessorar o Órgão Executor; e a EMBRAPA concorrer com a estrutura de pessoal, submeter à apreciação da Coordenadoria do PROVARZEAS/PROFIR, o desdobramento da programação em projetos específicos, segundo temas e metas a serem implementados, exigir destaque quanto à participação do Ministério e EMBRAPA na divulgação e promoção dos trabalhos resultantes e cumprir as normas do Manual de Convênios e Ajustes do Ministério da Agricultura.

Esse ajuste vem sendo renovado anualmente por termos aditivos e a importância destinada a pesquisas em 1983, alcançou Cr\$ 270.000.000 (duzentos e setenta milhões de cruzeiros), aplicada em 81 projetos, sendo 39 executados diretamente pela EMBRAPA, 40 pelas Empresas e Órgãos Estaduais de pesquisa e 2 por

Universidades. Em 1984, foram destinados Cr\$ 373.003.000 para custear 82 projetos além de Cr\$ 263.900.000 repassados à EMBRAPA para difusão dos resultados das pesquisas. Em 1985, foram Cr\$ 1.300.000.000 para custear 76 projetos, em 1986 Cz\$ 4.403.489,00.

Em 1987, custeará 98 projetos e aplicará um total de Cz\$ 11,2 milhões, que serão reajustados.

As empresas e órgãos estaduais de pesquisa, bem como as Universidades, apresentam os seus projetos à EMBRAPA e esta após sua análise e parecer, os encaminham ao PROVARZEAS/PROFIR, para uma decisão final, de serem ou não custeados com os recursos do Ajuste.

### **Linhas de pesquisas prioritárias**

As linhas de pesquisa apresentadas a seguir, não excluem as possibilidades de outras serem consideradas. Na região do Nordeste, as prioridades incluem as estabelecidas no documento produzido pela SUDENE, como resultado do Primeiro Encontro Nordestino em Tecnologia de Irrigação, outubro de 1982.

#### **1. Levantamento de solos**

A identificação dos vales mais favoráveis ao estabelecimento de projetos para o PROVARZEAS/PROFIR é um ponto importante para eleger a prioridade de ação.

Os vales diferem muito na qualidade de seus solos e têm uma certa homogeneidade em função da qualidade dos solos de sua bacia. Quando na bacia há ocorrência de solos férteis, as várzeas tendem a ter também solos de melhor qualidade do que

quando a bacia é constituída de solos ácidos e pobres.

A localização das melhores várzeas dentro de um mesmo vale é importante, porque há várzeas que diferem muito uma das outras, quando os solos das bacias dos afluentes são diferentes.

Dentro de uma mesma várzea há solos de vários tipos. Numa seção transversal é frequente se encontrar solos aluviais, solos do tipo glei pouco húmicos, glei húmicos e solos orgânicos. Eles tem propriedades físicas, físico-hídricas e de fertilidade diferentes, e por isso o seu melhor manejo pode influir na adaptação das diversas culturas.

As análises de solos para orientação do manejo e da fertilidade devem levar em conta esses vários tipos que ocorrem muito próximos um dos outros numa seção transversal, mas que tem uma ocorrência muito extensa no sentido longitudinal, isto é, ao longo do rio ou riacho.

A irrigação de terras altas cria a demanda de sua classificação em função de sua aptidão à irrigação o que não é feito atualmente nos levantamentos de solos do país.

A adoção da Classificação das Terras para Irrigação, semelhante a do U.S. Bureau of Reclamation ou, sua adaptação às condições brasileiras, nas áreas onde se estuda a possibilidade de estabelecer projetos de irrigação, será uma importante contribuição.

Também será necessária a classificação dos solos levando em conta a sua conservação e manejo.

## 2. Clima

A identificação das várzeas sujeitas a geadas frequentes nas regiões ao redor ou acima do trópico ou em zonas baixas do litoral paranaense ou catarinense é importante para se estabelecer os sistemas de produção a serem adotados.

Os dados meteorológicos disponíveis estão em postos fora das várzeas e nestas as geadas são mais frequentes e intensas que nas partes mais altas onde eles estão localizados.

Há necessidade de estudos de correlação entre as temperaturas nos postos meteorológicos e a ocorrência de geadas nas várzeas.

A identificação de regiões onde há possibilidade de se realizarem duas safras de arroz por ano, com bons rendimentos, com base nos dados de clima, é uma pesquisa que interessa ao PROVÁRZEAS.

O estudo da frequência de períodos secos na estação das águas (veranicos) e sua intensidade e das deficiências hídricas, é importante, para ser decidida a necessidade de irrigação e o retorno econômico de seu uso.

O PROVÁRZEAS/PROFIR, com a irrigação, criará condições em grande parte do Brasil, especialmente na faixa ao Norte do trópico e ao Sul da Região Amazônica e Nordeste do Brasil, para cultivo de numerosas espécies em condições em que nunca foram cultivadas, isto é, no período da seca de maio a setembro, quando as temperaturas são as mais baixas do ano, os dias mais curtos, menor a umidade relativa e maior o número de horas de insolação.

Por essa razão há conveniência de uma pesquisa abrangente, para o estudo das espécies a serem cultivadas, nessas condições.

O estudo do clima desse período do ano em relação às principais espécies a serem cultivadas, será útil para aperfeiçoar a sua implantação e obtenção de rendimentos mais elevados, principalmente na seleção de cultivares adaptadas àquelas condições.

É importante estabelecer as normas para irrigação, para cada produto, nas diversas épocas do ano e nas diversas regiões do país indicando como, quanto e quando irrigar.

### 3. Solos: fertilidade

O estudo da fertilidade dos solos de várzeas, tem sido muito limitado, principalmente porque eles eram pouco utilizados a não ser para o arroz em condições de elevada umidade ou mesmo completamente inundado.

A ação do PROVÁRZEAS criou a necessidade de estudos mais intensos, não só para a cultura do arroz como também para as culturas a serem instaladas nos seus períodos de entressafra ou permanente como é o caso de regiões olerícolas.

Nas várzeas há uma tendência à carência de micronutrientes e há também necessidade de estudos para uma avaliação do seu conteúdo em matéria orgânica, na necessidade de adubação.

A irrigação das terras altas, demandará, estudos de fertilidade visando a obtenção de rendimentos elevados. A segurança de produção, a abundância de água fornecida pela irrigação vão estabelecer novos parâmetros de níveis de nutrientes e especialmente de sua interação para que o balanceamento seja adequado e permita rendimentos muito elevados.

#### 4. Utilização de solos orgânicos

Há um uso limitado de solos orgânicos, mas com a drenagem de várzeas a área tende a aumentar.

Os conhecimentos sobre a fertilidade, propriedades físicas e o seu manejo são limitados, principalmente quando se cogita a sua utilização para culturas mais extensivas que as plantas olerícolas que por sua natureza permitem uma aplicação muito elevada de corretivos e adubação, além de drenagem mais intensa.

#### 5. Preparo do solo

O estudo de métodos de sistematização e preparo do solo é importante para a utilização de várzeas.

Esse item está vinculado a outros setores tais como o estudo da mecanização, da irrigação, da drenagem e dos sistemas de produção.

Nas terras altas a influência do preparo do solo nas necessidades da irrigação se faz sentir especialmente com a formação de camada compactada.

#### 6. Drenagem

A drenagem é básica para a utilização das várzeas. A sua eficiência constitui o fator limitante para o uso destes solos, na maioria dos casos.

Considera-se que o estabelecimento de parâmetros dos solos para drenagem, o estudo de métodos de drenagem e o acompanhamento nas lavouras drenadas, medindo-se a umidade, a profundidade do lençol freático, acompanhando-se a sua interação com as espécies cultivadas, principalmente em relação às raízes, são linhas de pesquisa consideradas importantes para melhor utilização das

várzeas, além do estudo da sua realização, envolvendo os equipamentos especializados e sua operação.

## 7. Irrigação

Muitas das várzeas são utilizadas com irrigação, seja para a cultura do arroz ou para outras culturas na entressafra do arroz, nas regiões Centro Oeste e Leste do Brasil.

Embora a irrigação do arroz seja conhecida e praticada em larga escala, há possibilidade de ser melhorada e adaptada para certas condições. A irrigação para as outras culturas é menos utilizada e menos conhecida, havendo maior necessidade de pesquisa.

O estudo de métodos de irrigação mais adequados às diferentes condições das várzeas, a sua influência na sistematização dos tabuleiros, se deve ser feita em nível ou com inclinação, o estudo sobre o comprimento e intervalo entre sulcos, a demanda de água pelas culturas, a determinação da água efetivamente gasta no arroz e nas outras culturas, são itens para os quais se necessitam de melhores informações para uma irrigação mais eficiente.

Para as terras altas a escolha de método de irrigar, quando e quanto irrigar são importantes. Além da irrigação com equipamento, a irrigação da superfície, especialmente a de baixo investimento é prioritária.

## 8. Mecanização

Conforme já foi exposto no início deste trabalho, há necessidade de introdução, avaliação e aperfeiçoamento de

máquinas agrícolas adaptadas às condições brasileiras para os trabalhos em várzeas seja para drenagem e sistematização dos solos como também para operação agrícola nas condições especiais de solos úmidos, fofos ou muito pesados que ocorrem nas várzeas.

Aperfeiçoamento no equipamento para irrigação, adaptados às condições locais é importante.

## 9. Produtos ou culturas

Considerando os elevados investimentos dos projetos de irrigação, e a disponibilidade do fator água que deixa de ser fator limitante, pode-se e deve-se estabelecer como meta a obtenção de elevados rendimentos.

Nesse sentido, considera-se importante e prioritário se estabelecerem projetos, para cada um dos produtos quando irrigados, visando a estabelecer recordes de produtividade, independentemente de seu custo.

Obtidos os recordes de produtividade, poderá se estudar meios e métodos de ser diminuído o seu custo e quando ele for economicamente viável, será recomendado aos produtores.

A preocupação constante de quebrar recordes de produtividade, é altamente estimulante para os pesquisadores analisarem o conjunto de fatores que para ela contribuem, saindo do âmbito de sua especialidade para uma visão abrangente, das interações dos muitos fatores que determinam a produtividade máxima, desde o germoplasma, aos fatores de ambiente, os insumos e tecnologias a serem usadas.

### 9.1. Arroz

As pesquisas de maior interesse para o PROVARZEAS/PROFIR com o arroz nas regiões tradicionais para esta cultura são as de sistema de produção e sua interação com as culturas de entressafra e nas regiões pioneiras a pesquisa abrangente da cultura.

A cultura do arroz é a de mais fácil adaptação às várzeas e por isso considera-se a experimentação abrangente, incluindo cultivares (experimentação e criação de novas), controle de doenças e invasoras, estudos de adubação, produção de sementes, etc., como atribuição normal das instituições de pesquisa.

### 9.2. Trigo

A cultura do trigo com irrigação é de implantação recente. Passou a ser recomendada a partir de 1976 para uma região limitada.

O seu êxito comprovado pelas pesquisas e por resultados de lavouras faz com que seja prioritário se desenvolverem estudos visando o seu aperfeiçoamento e sua extensão a áreas onde ela não foi experimentada e onde se cultivava apenas em sequeiro.

As conclusões e recomendações do Encontro sobre Trigo Irrigado, realizado na UEPAE/Dourados, da EMBRAPA, em 1986 deverão ser adotadas e desenvolvidos projetos de pesquisas.

Há necessidade de serem intensificadas pesquisas com o trigo nas várzeas.

### 9.3. Soja

As prioridades para a cultura da soja, para o PROVARZEAS/PROFIR, são: 1) experimentação abrangente para verificar as possibilidades da soja nas várzeas; 2) avaliação e criação de cultivares para as várzeas na entressafra de arroz; 4) cultivo na estação seca, com irrigação em terras altas; e 5) irrigação suplementar na estação das águas.

### 9.4. Feijão

As linhas de pesquisas consideradas prioritárias pelo PROVARZEAS/PROFIR, são: experimentação abrangente da cultura nas várzeas, avaliação e criação de cultivares, na entressafra da cultura de arroz, criação de cultivares tolerantes ao encharcamento do solo e experimentação abrangente para o cultivo na estação seca.

### 9.5. Milho

a) Experimentação abrangente com a cultura na entressafra de arroz nas várzeas, nas regiões onde não ocorrem geadas;

b) experimentação geral com a cultura nas várzeas do Rio Grande do Sul na época normal de plantio no Estado;

c) experimentação geral para venda do milho em espiga ainda verde, com o tipo comum e/ou do tipo doce;

d) criação de híbridos ou cultivares com tolerância ao encharcamento.

### 9.6. Forrageiras

As pesquisas com forrageiras de inverno, nas várzeas

para utilização do solo na entressafra do arroz, são prioritárias para o PROVARZEAS, nas regiões Sul, Centro Oeste e Leste. No Rio Grande do Sul, as forrageiras de primavera-verão para as várzeas quando não estão sendo utilizadas com a cultura do arroz, são importantes porque há necessidade de maior produção nas áreas em rotação com arroz e que presentemente são ocupadas na maioria dos casos pela pastagem nativa.

#### 9.7. Sorgo

O PROVARZEAS considera necessária uma experimentação abrangente com a cultura do sorgo, sendo que no Rio Grande do Sul, na época de plantio tradicional nas várzeas quando não utilizadas pela cultura do arroz e na entressafra de arroz nas regiões onde não ocorrem geadas.

#### 9.8. Olericultura

As plantas olerícolas, são frequentemente cultivadas em várzeas, principalmente próximo a grandes centros e seu elevado rendimento econômico por área, permite uma sistematização completa, drenagem intensa e elevada aplicação de adubos e corretivos.

As pesquisas com olerícolas são importantes mas em relação ao programa do PROVARZEAS/PROFIR, que pretende incorporar grandes áreas atualmente não utilizadas ou de baixa utilização, as áreas ocupadas com a produção hortícola são pequenas e sua possibilidade de ampliação tem limitações, principalmente em função dos hábitos alimentares de grande parte do interior do País.

Sem a menor dúvida, para o pequeno produtor as culturas

olerícolas são as de maior renda por área e a necessidade de elevada quantidade de água e a adaptação de muitas espécies às condições de várzeas tornam a sua exploração um objetivo prioritário.

#### 10. Tolerância ao excesso de água no solo (encharcamento)

Considera-se de grande importância a seleção de espécies e cultivares dentro delas que tenham tolerância ao excesso de umidade no solo por se considerar que as várzeas tem a tendência ao excesso de água por suas características físicas, pela dificuldade de drenagem e por efeito da sistematização, reterem as chuvas por mais tempo ou pelo lençol freático próximo a superfície.

A pesquisa deveria incluir cultivares de trigo, feijão, soja, milho, sorgo, girassol, aveia, forrageiras de inverno e primavera-verão.

#### 11. Sistema de Produção

Visando alcançar a meta a que se propõe o PROVARZEAS de uso intensivo das várzeas é importante que elas não sejam destinadas apenas a uma cultura de arroz por ano e por isso há necessidade de serem estudados sistemas de produção, visando principalmente uma utilização intensiva das várzeas.

Ao PROFIR interessa especialmente sistemas de produção que permitam utilizar intensamente os sistemas de irrigação, obtendo-se o maior número de safras por ano, para maior rendimento do equipamento.

## 12. Rizi-piscicultura

É considerada pesquisa de interesse do PROVÁRZEAS/PROFIR, por aumentar o rendimento econômico durante a cultura do arroz, e, mesmo como alternativa para a entressafra. A piscicultura contribuirá para melhorar a dieta nas regiões produtoras.

### **ORIENTAÇÃO E ESCLARECIMENTOS SOBRE PROJETOS DE PESQUISA A SEREM PARCIALMENTE CUSTEADOS PELO PROVÁRZEAS/PROFIR**

1. Só serão custeados projetos novos, isto é, aqueles que não estão sendo executados pela instituição.

1.1. Não obedecem ao critério acima os que estão sendo custeados pelo PROVÁRZEAS/PROFIR em 1986 e 1987.

2. Os projetos devem ser feitos com culturas de produtos alimentícios e produção intensiva, pastagens perenes para a produção de leite ou de carne não serão considerados.

2.1. No Nordeste outras culturas podem ser consideradas.

3. São aceitos projetos para utilização intensiva das várzeas e de terras altas com irrigação, por qualquer sistema.

4. Os projetos para serem aprovados devem ser apresentados segundo as normas adotadas pela EMBRAPA, e devem vir acompanhados da memória de cálculo e de parecer do Programa Nacional de Pesquisa (PNP) da EMBRAPA em que se enquadrar.

4.1. Os projetos que constituírem tese de pós-graduação não necessitam ter o parecer técnico do PNP da EMBRAPA desde que

venham acompanhados do parecer do orientador e da comissão que existir para tal fim na entidade promotora dos cursos de pós-graduação, mas terão que obedecer as formalidades do Modelo Circular de promoção da pesquisa da EMBRAPA

4.2. As unidades da EMBRAPA, as Empresas Estaduais de Pesquisa e Universidades ao enviarem os projetos à EMBRAPA para o parecer e inclusão no PNP devem enviar uma cópia a EMBRAPA/DRO que a encaminhará ao PROVARZEAS/PROFIR para conhecimento prévio do que está sendo proposto e permitir um acompanhamento pelo PROVARZEAS/PROFIR junto ao PNP e à EMBRAPA.

5. Serão fornecidos recursos de preferência para o custeio, incluindo-se nele serviço de terceiros.

6. Serão concedidos recursos para diárias e estadias além de passagens, apenas quando há experimentos ou atividades como coleta de material fora da sede da instituição e para pesquisadores de outras instituições para realizar trabalho no local da pesquisa.

7. Não serão fornecidos recursos financeiros para pessoal e encargos sociais.

8. Para investimentos adotam-se os seguintes critérios:

8.1. Material permanente, aparelhos, instrumentos de direta aplicação ao projeto e dimensionados de acordo com as suas necessidades, podem ser custeados.

8.2. Não são custeados equipamentos de uso geral da instituição e não específicos para o projeto, por exemplo: tratores de grande porte (micro-tratores é possível), automotriz para colheita, aparelhos de laboratório de custo elevado e não de acordo com o dimensionamento do projeto como espectrofotometro, laboratórios completos, veículos, móveis, máquinas de escritório, computadores, etc.

8.3. Em virtude das restrições acima mencionadas há necessidade de constar no projeto o detalhamento dos investimentos a serem efetuados, para poderem ser avaliados pelo PROVARZEAS/PROFIR.

8.4. As necessidades de equipamento maior como tratores, retro-escavadeiras, máquinas de preparo do solo, e análises de laboratórios, serviço de computação, transporte, e outras dessa natureza podem ser supridas no projeto pelo item Outros Custeios onde os serviços desses equipamentos serão pagos.

9. Deverão ser enviados ao PROVARZEAS/PROFIR, os relatórios periódicos de acompanhamento, modelo da EMBRAPA.

10. No término do projeto, deverá ser enviado ao PROVARZEAS/PROFIR o relatório final completo.

11. Duas cópias de todos os trabalhos publicados, resultantes dos projetos, sejam de divulgação ou de pesquisa, devem ser enviados ao PROVARZEAS/PROFIR.

12. Em todos os trabalhos publicados e de divulgação dos resultados dos projetos, deverá constar o registro do apoio

financeiro do PROVARZEAS/PROFIR.

13. Os projetos já custeados pelo PROVARZEAS/PROFIR terão prioridade desde que estejam sendo executados com eficiência, demonstrada nos relatórios parciais apresentando resultados válidos, até a sua conclusão.

Finalmente, faz-se menção aos recursos para financiamento aos produtores, e ao custo operacional e ao retorno do PROVARZEAS, em 1986. Os financiamentos são processados através das instituições bancárias, que contaram de 2,16 bilhões de cruzados por programa (PROVARZEAS/PROFIR). Desse montante, 122 milhões de cruzados são provenientes do BIRD e do KFW (Governo alemão), destinados ao PROVARZEAS. Outros 772 milhões de cruzados provêm do OECF (Governo Japonês) e destinados ao PROFIR.

Quanto ao custo operacional, o orçamento do PROVARZEAS/PROFIR em 1986 foi de Cz\$ 296.587.000,00, com um custo de US\$ 125,00 por hectare implantado. Como exemplo do retorno proporcionado pelo programa, em 1986 foram criados cerca de 40.000 empregos diretos, e, recolhidos Cz\$ 160 milhões na forma de impostos, ou seja, pouco mais da metade dos gastos relativos ao custo operacional dos programas.

Tabela 1. Área implantada (ha) pelo PROVARZEAS.

	1986			1981/1986		
	D	ID	TOTAL	D	ID	TOTAL
NORTE	6.0	882.0	888.0	1,175.0	9,379.2	10,554.2
RO	-	19.0	19.0	60.0	73.0	133.0
AC	-	-	0.0	-	-	-
AM	6.0	139.0	145.0	570.0	720.0	1,298.0
PR	-	724.0	724.0	6.0	3,731.2	3,737.2
PA	-	-	0.0	491.0	4,588.0	5,079.0
AP	-	-	0.0	48.0	259.0	307.0
NORDESTE	40.0	10,085.0	10,125.0	1,656.0	78,637.0	80,333.8
MA	-	2,077.0	2,077.0	180.0	9,482.0	9,662.0
PI	-	809.0	809.0	225.0	14,288.2	14,518.2
CE	-	771.0	771.0	10.4	8,201.8	8,212.2
RN	-	978.0	978.0	279.4	4,233.6	4,518.0
PB	-	125.0	125.0	0.0	2,893.7	2,893.7
PE	-	879.0	879.0	0.0	12,414.6	12,414.6
AL	40.0	47.0	87.0	362.0	1,623.9	2,025.9
SE	-	92.0	92.0	61.0	1,717.5	1,778.5
BA	-	4,307.0	4,307.0	539.0	23,781.7	24,320.7
SUDESTE	10,656.0	43,098.0	53,754.0	93,802.3	113,703.3	207,505.6
MG	8,121.0	33,885.0	42,006.0	66,644.8	73,933.9	140,578.7
ES	1,111.0	6,063.0	7,174.0	14,244.4	23,855.4	38,099.8
RJ	1,424.0	3,104.0	4,528.0	9,191.0	10,284.2	19,475.2
SP	-	46.0	46.0	3,722.1	5,629.8	9,351.9
SUL	8,642.0	34,086.0	42,720.0	70,755.1	134,234.5	204,989.6
PR	3,498.0	4,556.0	8,054.0	14,829.5	10,394.3	25,223.8
SC	1,071.0	2,873.0	3,944.0	5,744.0	13,982.7	19,726.7
RS	4,073.0	26,657.0	30,730.0	50,181.6	109,857.5	160,039.1
CENTRO-OESTE	6,637.0	5,966.0	12,603.0	39,952.2	47,947.8	87,900.0
MG	3,358.0	1,007.0	4,365.0	19,864.8	13,950.8	33,815.6
MT	1,040.0	1,424.0	2,464.0	7,365.5	11,355.7	18,721.2
GO	2,098.0	2,695.0	4,793.0	11,580.1	20,859.2	32,439.3
DF	141.0	840.0	981.0	1,141.8	1,782.1	2,923.9
<b>TOTAL</b>	<b>25,981.0</b>	<b>94,117.0</b>	<b>120,098.0</b>	<b>207,341.4</b>	<b>383,901.8</b>	<b>591,283.2</b>

D = DRENAGEM

ID = IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

FONTE= PROVÁRZEAS NACIONAL, AGRICULTURA IRRIGADA, ANO VI, No. 57, FEVEREIRO/MARÇO, 1987.

Tabela 2. Área (ha) e número de projetos implantados pelo PROFIR em 1986.

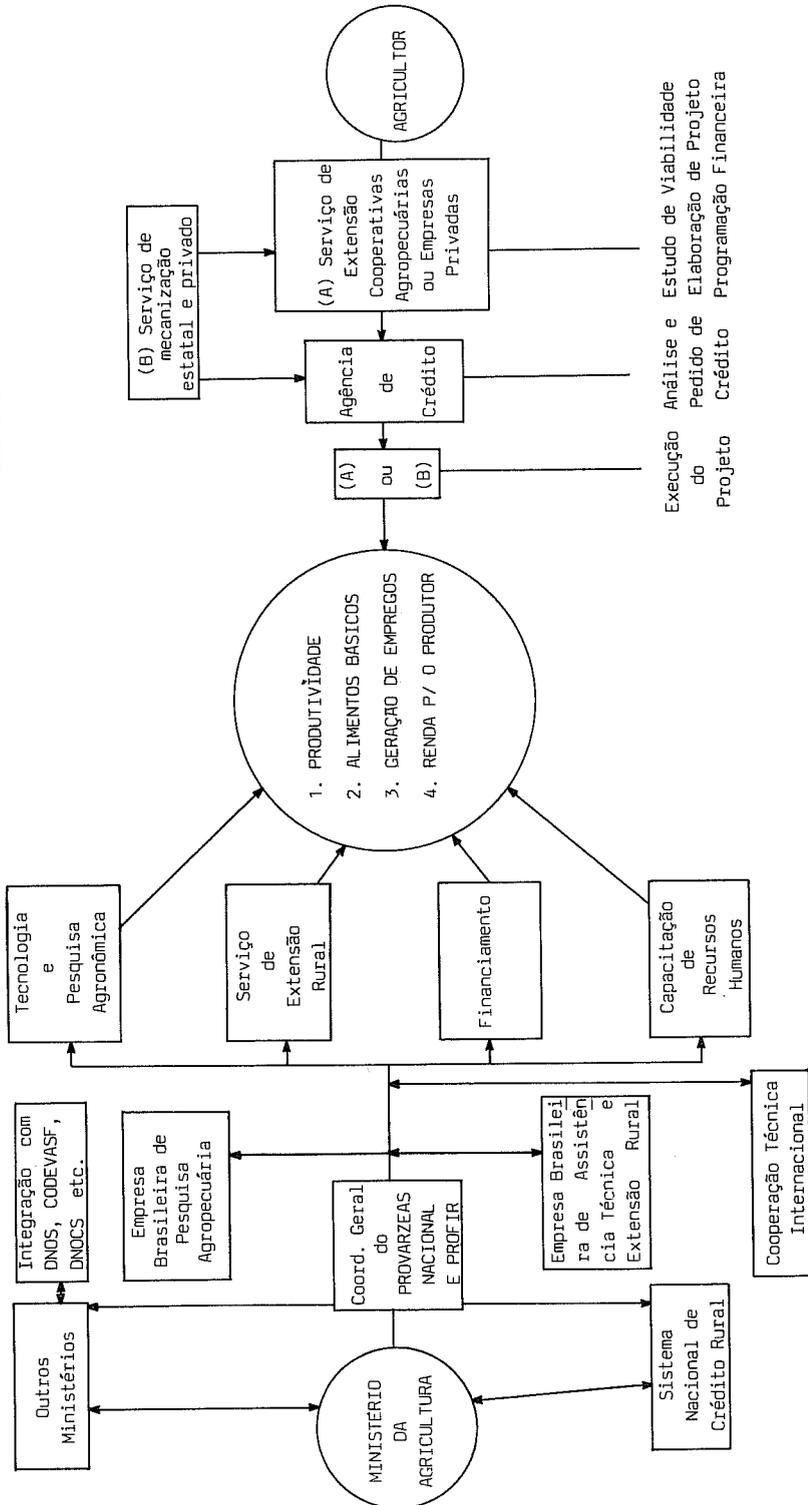
Unidade da Federação	Resultados		
	Projeto (No.)	Área (ha)	Valor (Cz\$ mil)
NORTE	2	18	475
RO	-	-	-
RR	-	-	-
AM	2	18	475
NORDESTE	8	112	1.128
MA	-	-	-
PI	-	-	-
CE	1	1	19
RN	-	-	-
PB	-	-	-
PE	-	-	-
AL	-	-	-
SE	-	-	-
BA	7	111	1.109
SUDESTE	742	34.024	368.199
MG	409	19.792	237.057
ES	46	1.122	12.135
RJ	-	-	-
SP	287	13.110	119.007
SUL	65	5.383	39.864
PR	21	3.260	20.918
SC	-	-	-
RS	44	2.123	18.946
CENTRO OESTE	83	9.805	41.592
MS	7	579	1.067
MT	5	304	1.924
GO	69	7.588	37.568
DF	2	1.334	1.033
<b>TOTAL</b>	<b>900</b>	<b>49.342</b>	<b>451.258</b>

FONTE: AGRICULTURA IRRIGADA. Brasília, v.6, n. 57, 1987.

Nível Nacional  
Apoio

Nível de Estado  
Execução

SECRETARIAS DE AGRICULTURA -  
COORDENADORIAS ESTADUAIS DO PROVARZEAS  
NACIONAL E PROFIR



Nestor Kampf  
Depto. de Solos, Fac. Agronomia-  
UFRGS. C. Postal 776, CEP 90001,  
Porto Alegre - RS. Bolsista do  
CNPq.

## 1. Introdução

Os relatórios de levantamentos de solos (SNLCS/EMBRAPA) mostram que os teores de Fe no solo podem ser muito variáveis, com aptitude de zero a >40% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, distribuídos uniformemente ou em concentrações localizadas (mosqueados, nodulos, concreções, ferropans, plintitas, lateritas) em determinados horizontes do perfil (comparar Tabelas 1, 2, 3; International Soil Classification Workshop 1986). O elemento Fe pode estar contido ou ocorrer na forma de distintos minerais, relacionados na Tabela 4. Os principais são os óxidos de Fe Fe<sup>3+</sup> (grupo que inclui óxidos e oxi-hidróxidos), onde se destacam a hematita (Hm), responsável pelas cores (matizes) avermelhados (5R-2,5YR) expressas por exemplo no Latossolo Roxo, a goethita (Gt) nas cores amarelas (7,5YR-2,5Y) por exemplo no Latossolo Amarelo, a lepidocrocita de cores alaranjadas (5YR-7,5YR) na forma de mosqueados em Gleissolos, e a ferrihidrita de cores bruno amareladas (5RY-7,5YR) em canais de raízes e paredes de drenos. Em solos hidromórficos muito reduzidos pode ocorrer ainda um composto de hidróxido Fe<sup>2+</sup> + Fe<sup>3+</sup> com cloreto, sulfato ou carbonato, de coloração verde-azulada, denominado "green rust", o

qual em contato com o ar oxida rapidamente originando óxidos de Fe. Outros compostos do solo que contêm Fe na forma de  $Fe^{2+}$  em solos hidromórficos são a siderita (não há informações sobre sua ocorrência em nosso meio), e a pirita que origina solos ácidos sulfatados (solos tiomórficos) por oxidação (drenagem); além destes o Fe ocorre ainda em argilominerais como os da família das esmectitas (montmorilonita, nontronita) na forma de  $Fe^{3+}$ .

### Formação dos óxidos de Fe

O elemento Fe ocorre em minerais primários (por exemplo piroxênios, anfíbolios, etc.) na forma de  $Fe^{2+}$ , o qual após a intemperização do mineral que o contém, é liberado, oxida a  $Fe^{3+}$  e precipita originando óxidos de ferro  $Fe^{3+}$ . A formação destes minerais pode ser considerada em dois sistemas: um de íons  $Fe(III)$  e outro de íons  $Fe(II)$ .

No sistema  $Fe(III)$  a precipitação do Fe origina ferrihidrita ou goethita, dependendo da taxa de liberação do Fe durante o intemperismo (Schwertmann 1985). Quando é ultrapassado o produto de solubilidade da goethita ( $10^{-42}$ ) forma-se este óxido, mas quando o  $pK_s$  mais alto da ferrihidrita ( $10^{-38}$ ) é ultrapassado precipita a última. A ferrihidrita é um óxido mal cristalizado, que por rearranjo interno e desidratação origina hematita. Portanto, a ferrihidrita é o precursor necessário para a hematita, enquanto que a goethita se forma de íons  $Fe^{3+}$  da solução ou dissolvidos da ferrihidrita.

As Figuras 1 e 2 ilustram esquematicamente a formação de óxidos de Fe no sistema  $Fe(III)$ . Observa-se que a formação de

ferrihidrita é favorecida por alta taxa de liberação de Fe; por baixa adsorção de Si, que inibe a cristalização da Fh; rápida decomposição da matéria orgânica (MO), o que significa baixa complexação do Fe. Esta última condição é alcançada em ambientes com temperatura suficientemente elevada e umidade que favoreçam a atividade de microorganismos para a mineralização da MO. Por isso, o aumento do teor de MO nos solos geralmente está correlacionado com cores mais amareladas (solos goethíticos). A Figura 3 mostra a relação entre %C orgânico e a relação Gt/Gt + Hm de horizontes A de solos do Planalto do RGS (Kampf & Schwertmann 1983).

No sistema Fe(II), a partir da oxidação do "green rust" origina-se lepidocrocita ou goethita, ou ainda ferrihidrita. Os fatores que favorecem a formação de um ou outros destes óxidos são: concentração de Fe<sup>2+</sup>, a velocidade de oxidação, a presença de carbonatos ou de CO<sub>2</sub>, e a concentração de Al. Conforme as condições ambientais há combinações distintas entre as intensidades dos referidos fatores. A Figura 4 ilustra esquematicamente a formação dos óxidos de Fe no sistema Fe(II). A Figura 5 esquematiza as possíveis vias de formação dos vários compostos de Fe (Schwertmann & Taylor 1977).

O ambiente de formação da goethita presente nos solos pode ser estimado através da substituição em Al por Fe na estrutura do mineral empregando DRX. A Tabela 5 exemplifica alguns casos de Al em goethitas (Kampf & Dick 1984, Schwertmann & Kampf 1985), mostrando que aquelas formadas em ambientes hidromórficos (sistema Fe(II) tem baixa substituição em Al em comparação às

goethitas de ambientes bem drenados (sistema Fe(III)).

Nos argilominerais tipo esmectita o elemento Fe ocorre na lâmina octaedral da unidade estrutural 2:1, da qual pode ser liberado por intemperização do mineral. A Figura 6 ilustra um corte vertical das camadas de uma esmectita, diferenciando beidelita, montmorilonita e nontronita (Borchardt 1977).

### 3. Extração de Fe

A extração de Fe<sup>3+</sup> pode ser efetuada por diversos métodos, os quais representam diferentes formas de ocorrência de Fe nos solos. Não será feita referência a formas trocáveis ou disponíveis de Fe devido a incerteza a respeito. Inicialmente serão mencionados métodos que dissolvem minerais fontes de Fe, e de cujo extrato se analisa Fe<sup>3+</sup>. Em seguida, métodos para determinação de Fe<sup>2+</sup> em solução.

A extração com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) (Mehra & Jackson 1960, Holmgren 1967) dissolve todos os chamados óxidos de Fe "livres" (Fed) cristalinos e não-cristalinos, como, por exemplo, hematita, goethita, lepidocrocita e ferrihidrita. Para extrair somente os óxidos de Fe mal cristalizados, como por exemplo a ferrihidrita e certas lepidocrocitas, recomenda-se a extração com oxalato de amônio ácido no escuro (Schwertmann 1964, McKeague & Day 1966). Este Fe é simbolizado Feo.

A relação Feo/Fed fornece um "índice de cristalinidade" ou de "atividade" dos óxidos. As Figuras 7 e 8 mostram difratogramas de raio-X relacionados com o índice Feo/Fed (Schwertmann & Kampf 1983). Observa-se que este índice avalia

satisfatoriamente a proporção de óxidos mal cristalizados ferrihidrita e lepidocrocita, enquanto que o teor de Feo corresponde ao teor de ferrihidrita (e lepidocrocita mal cristalizada) na amostra.

Uma terceira forma de extração de Fe é a do total (Fet), empregando ácidos fortes, como a digestão com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1 (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1979), que consta nos relatórios dos levantamentos de solos (SNLCS); o ataque trídico com HF-HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou com HCl 6N (Fey & Dixon 1983, Dick 1986). A relação Fed/Fet permite avaliar a reserva de Fe em minerais que não são óxidos, por exemplo esmectitas, isto é, Fe a ser liberado pelo intemperismo e eventualmente transformável em óxido.

A Tabela 6 mostra os teores de Fet, Fed e Feo, e respectivas relações em quatro solos do RGS (Kampf 1981, Espírito Santo 1987). Nota-se que nos três solos hidromórficos o teor de Feo e a relação Feo/Fed são mais elevados nos horizontes superficiais, onde há maior concentração de matéria orgânica, que inibe a cristalização. Isto é indicado pelas correlações significativas entre %Corg x Feo ( $r = 0,947$ ) e %Corg x Feo/Fed ( $r = 0,958$ ) observadas em Cambissolos Brunos (Kampf & Dick 1984). No Podzólico Vermelho Escuro os teores de C orgânico são baixos, o que aliado a melhor drenagem resulta em menor teor de Feo e boa cristalização dos óxidos de Fe.

Em solos alagados a redução dos óxidos de Fe(III) produz Fe<sup>2+</sup>, que é extraído por complexação com  $\alpha, \alpha$ -dipiridil (dipiridina, Merck) conforme Childs (1981) ou com 1,10 ortofenantrolina (Richardson & Hole 1979, Cochrane & Souza 1986).

Estes métodos permitem observar visualmente a presença de Fe<sup>2+</sup> no solo ou na solução, e determinar sua concentração em laboratório. O Fe<sup>2+</sup> analisado representa a concentração do mesmo no momento da coleta. O complexo formado com os extratores referidos é relativamente estável, mas recomenda-se a determinação do Fe<sup>2+</sup> o mais rápido possível para evitar sua oxidação a Fe<sup>3+</sup>. Por outro lado, as extrações citadas para Fe<sup>3+</sup> (DCB, oxalato, ácidos) podem ser armazenadas por vários dias até a análise.

#### 4. A redução do Fe nos solos alagados

Em solos alagados a ausência de oxigênio cria condições para a redução de vários compostos, entre os quais será aqui considerado apenas o Fe. Entretanto, convém lembrar que os demais compostos também afetam e podem interagir com a redução do Fe; conseqüentemente, os estudos de Fe em solos alagados devem considerar as demais variáveis envolvidas nestes sistemas.

A redução do Fe no solo pode ser representada esquematicamente pela equação (Rowell 1981, Fischer 1983, 1985):



De fato, estas reações de redução são algo mais complexas, onde uma melhor aproximação poderia ser a seguinte:



demonstrando que são envolvidos óxidos, prótons e elétrons nas reações de redução de óxidos de Fe. A equação (2) não informa quanto ao mecanismo de redução, mas a partir dela é possível

estimar a intensidade de redução de diferentes óxidos de Fe.

Aplicando-se a equação de Nernst (Rowell 1981)

$$E_h = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{ox}}{a_{red}}$$

onde  $E^{\circ}$  = potencial redox padrão; R = constante dos gases; T = temperatura absoluta; n = número de elétrons envolvidos na reação; F = constante de Faraday; ln = log neperiano. Após conversão

$$E_h = E^{\circ} - 0,0591 \lg (Fe^{2+}) - 0,18pH \quad (3)$$

onde  $E^{\circ}$  representando o potencial redox padrão específico para o óxido a ser considerado na reação (2), assume os seguintes valores (Fischer 1983):

$E^{\circ} = 1,06V$	para ferrihidrita (Fh)
0,86V	lepidocrocita (Lp)
0,71V	goethita (Gt)
0,73V	hematita (Hm)

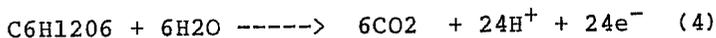
A partir da equação (3) é possível calcular diagramas de  $E_h$  x pH para diferentes óxidos em relação a atividades estabelecidas (ou medidas) de  $Fe^{2+}$  em solução. A Figura 9 ilustra os campos de estabilidade de Gt, Lp e Fh em relação a solução  $Fe^{2+} 10^{-4} M$  (Fischer 1983). Na Figura 10 está representado um diagrama mais complexo (Scheffer & Schachtschabel 1982).

A equação (2) mostra que a continuidade da reação de redução é controlada pelo equilíbrio químico. Somente com a diminuição da atividade dos íons  $Fe^{2+}$  no sistema a reação prosseguirá da esquerda para a direita. Conseqüentemente, de acordo com a

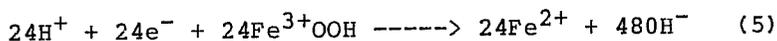
equação (3), compostos que retiram Fe<sup>2+</sup> da solução diminuem a atividade destes íons, e favorecem a redução dos óxidos de Fe em potencial redox (Eh) mais alto. O efeito de ligantes orgânicos na elevação do Eh de redução da goethita e da lepidocrocita está exemplificado na Tabela 7 (Fischer 1983).

## 5. Efeitos de organismos na redução do Fe(III)

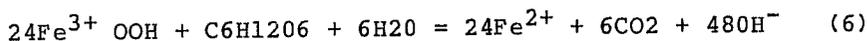
As equações (1) e (2) mostram que as reações de redução exigem elétrons, cujas fontes são a oxidação de substâncias orgânicas por microorganismos heterotróficos no solo. Utilizando a glucose como modelo



os prótons e elétrons originados na decomposição da MO reagem com os óxidos de Fe originando Fe<sup>2+</sup>



ou, a reação modelo integrada (Schwertmann et al. 1986):



Na oxidação da MO pelos microorganismos há produção de ATP, de elétrons, de prótons e de metabólitos.

MO  $\rightarrow$  oxidação parcial  $\rightarrow e^- + H^+ +$  metabólitos

ADP            ATP

O Fe<sup>3+</sup> é utilizado como receptor de elétrons (após o consumo de NO<sub>3</sub> e Mn do sistema). No mecanismo de redução de óxidos de Fe (III) deve haver, portanto, a participação de microorganismos, pois somente a presença de água não é suficiente para haver

redução. O Eh da água é suficientemente elevado para oxidar o  $Fe^{2+}$ . A ação redutora dos microorganismos se dá, segundo Fischer (1985), com as seguintes etapas, ilustradas na Figura 11:

- (1) por contato do microorganismo com o óxido de Fe;
- (2) transferência de elétrons do microorganismo ao  $Fe^{3+}$  na superfície do óxido; e
- (3) a difusão do  $Fe^{2+}$  formado para a solução.

A velocidade da redução de óxidos de Fe(III) depende (Fischer 1983, 1985):

- (1) dos tipos predominantes de microorganismos, havendo diferenças entre tipos e mesmo entre linhagens do mesmo gênero. Por exemplo, linhagens com nitrato redutase diminuem a redução do Fe na presença de nitratos;
- (2) da atividade bacteriana, que é função da quantidade e da qualidade da MO de fácil decomposição, bem como do teor de água no ambiente;
- (3) dos tipos e concentrações de óxidos de Fe(III). Os cálculos termodinâmicos mostram que possivelmente há diferenças na velocidade de redução dos diferentes óxidos de Fe. A Figura 12 (Fischer & Pfanenberg 1984) ilustra o teor de  $Fe^{2+}$  produzido em 24 dias a partir da redução de hematita, goethita, lepidocrocita e ferrihidrita incubadas anaerobicamente com *Corynebacteria*. Observa-se que Lp e Fh são mais fácil e rapidamente reduzidos que Gt e Hm. Isto se deve à maior área superficial específica (ASE) da Fh e Lp em relação aos outros óxidos (Schwertmann et al. 1986). Por outro lado, é mais fácil energeticamente reduzir Fh ou Lp do que Hm ou Gt. A redução de 1 mol de Gt requer 13 kJoules

mais do que a de 1 mol de Lp e, - 36 kjoules mais do que 1 mol de Fh. Considerando que a energia de 1 mol de ATP equivale a - 30 kjoules, os organismos devem usar 1 mol de ATP a mais para reduzir GT e 0,5 moles a mais para Lp do que Fh (Fischer 1983). Conseqüentemente, os organismos reduzirão preferencialmente óxidos de Fe(III) de baixa cristalinidade, como a ferrihidrita e em certos casos a lepidocrocita, pois a necessidade energética é significativamente menor.

As Figuras 13 e 14 mostram os efeitos da cristalinidade segundo a relação  $Fe_o/Fe_d$  e, da ASE na produção de  $Fe^{2+}$  (Fischer 1985). Verifica-se que diminuindo a cristalinidade (= aumentando a relação  $Fe_o/Fe_d$ ) e aumentando a ASE, aumenta a redução, pois decresce a estabilidade termodinâmica dos óxidos;

- (4) dos "sinks" para  $Fe^{2+}$ . A equação (2) mostra que a remoção de  $Fe^{2+}$  promove a redução; esta remoção é efetuada por compostos orgânicos que complexam o  $Fe^{2+}$ , conforme já referido acima (vide Tabela 7), além de outros compostos inorgânicos que reagem com o  $Fe^{2+}$  como fosfatos, sulfatos, carbonatos.

## 6. Conclusões

Os processos de redução do Fe no solo são relativamente complexos devido ao grande número de variáveis envolvidas. Quando estas são conhecidas é possível estimar através de cálculos termodinâmicos as possíveis reações e fontes do Fe no

sistema. Métodos de extração química seletiva permitem avaliar as formas mais ativas, isto é, as fontes potenciais de Fe<sup>2+</sup> na solução de solos alagados.

## 7. Literatura Citada

- BORCHARDT, G.A. Montmorillonite and other smectite minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. ed. Minerals in soil environments, Madison, SSSA, 1977. p.293-330.
- CHILDS, C.W. Field tests for ferrous iron and ferric-organic complexes (on exchange sites or in water-soluble forms) in soils. Aust. J. Soil Res., 19:175-80, 1981.
- COCHRANE, T.T. & SOUZA, D.M.G. de. A field test for ferrous iron and ferric-organic complexes in cerrados soils. Pesq. agropec. bras., 21(3):327-30, 1986.
- DICK, D.P. Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B latossólicos. Porto Alegre, UFRGS, 1986. 196p. Tese Mestrado.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979.
- ESPIRITO SANTO, F.R.C. do. Distribuição de óxidos de ferro em uma toposequência de solos derivados de granito na EEA-UFRGS. Porto Alegre, UFRGS, 1987. (Não publicado).
- FEY, M.U. & DIXON, J.B. Rapid estimation of iron oxides in soils and clays by spectrophotometric analysis. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:1261-3, 1983.
- FISCHER, W.R. Theoretische betrachtungen zur reduktiven Auflösung von Eisen (III)-Oxiden. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk., 146:611-22, 1983.
- FISCHER, W.R. & PFANNEBERG, T. An improved method for testing the rate of iron (III) oxide reduction by bacteria. Zbl. Mikrobiol., 139:163-6, 1984.
- FISCHER, W.R. Microbiological reactions of Fe in soils. In: STUCKI, J.W.; GOODMAN, A.; SCHWERTMANN, U. ed. Iron in soils and clay minerals. Germany, Bad Windsheim, 1985. n.p. (NATO Adv. Study Institute).

- HOLMGREN, G.G.S. A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31:210-1, 1967.
- INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., Brasil, 1986. Tour Guide. s.l., SMSS/EMBRAPA-SNLCS/UPR, 1986. 285p.
- KAMPF, N. Die eisenoxidmineralogie einer klimasequenz von Boden aus eruptiva in Rio Grande do Sul, Brasilien. BRD, Univ. Muchen, 1981. 271p. Tese Doutorado.
- KAMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. *Geoderma*, 29:27-39, 1983.
- KAMPF, N. & DICK, D.P. Óxidos de ferro em cambissolos brunos no Rio Grande do Sul e Sul de Minas Gerais. *R. bras. Ci. Solo*, 8:183-8, 1984.
- McKEAGUE, J.A. & DAY, J.H. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.*, 46:13-22, 1966.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE CLAYS & CLAY MINERALS, 7., Ottawa, 1960. *Proceedings*. s.l., s.ed., 1960. p.317-27.
- FICHARDSON, J.L. & HOLE, F.D. Mottling and iron distribution in a Glossoboralf-Haplaquoll hydrosequence on a glacial moraine in Northwestern Wisconsin. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:552-8, 1979.
- ROWELL, D.L. Oxidation and reduction. In: GREENLAND, D.J. & HAYES, M.H.B., ed. *The chemistry of soil processes*. London, John Wiley, 1981. p.401-61
- SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P.; BLUME, H.P.; HARTGE, K.H.; SCHWERTMANN, U. *Lehrbuch der Bodenkunde*. 11.ed. Stuttgart, F.Enke Verlag, 1982. 394p.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisen oxide des Bodens durch Extraktion mit saurer Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd*, 105:194-202, 1964.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., ed. *Minerals in soil environments*. Madison, SSSA, 1977. p.145-80.
- SCHWERTMANN, U. & KAMPF, N. Óxidos de ferro jovens em ambientes pedogenéticos brasileiros. *R. bras. Ci. Solo*, 7:251-5, 1983.
- SCHWERTMANN, U. & KAMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. *Soil Sci.*, 139:344-50, 1985.

SCHWERTMANN, U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. In: STUCKI, J.W.; GOODMAN, A; SCHWERTMANN, U. ed. Iron in soils and clay minerals. Germany, Bad Windsheim, 1985. p.682-736. (NATO Adv. Study Institute).

SCHWERTMANN, U.; KODAMA, H.; FISCHER, W.R. Mutual interactions between organics and iron oxides. In: INTERACTIONS of soil minerals with natural organics and microbes. Madison, SSSA, 1986. p.223-50. (Special Publication, 17).

SMSS, USDA-SCS, SNLCS/EMBRAPA. Tour Guide. 8th Int. Soil Classification Workshop, Brazil. 12-23/05/86. 1986.

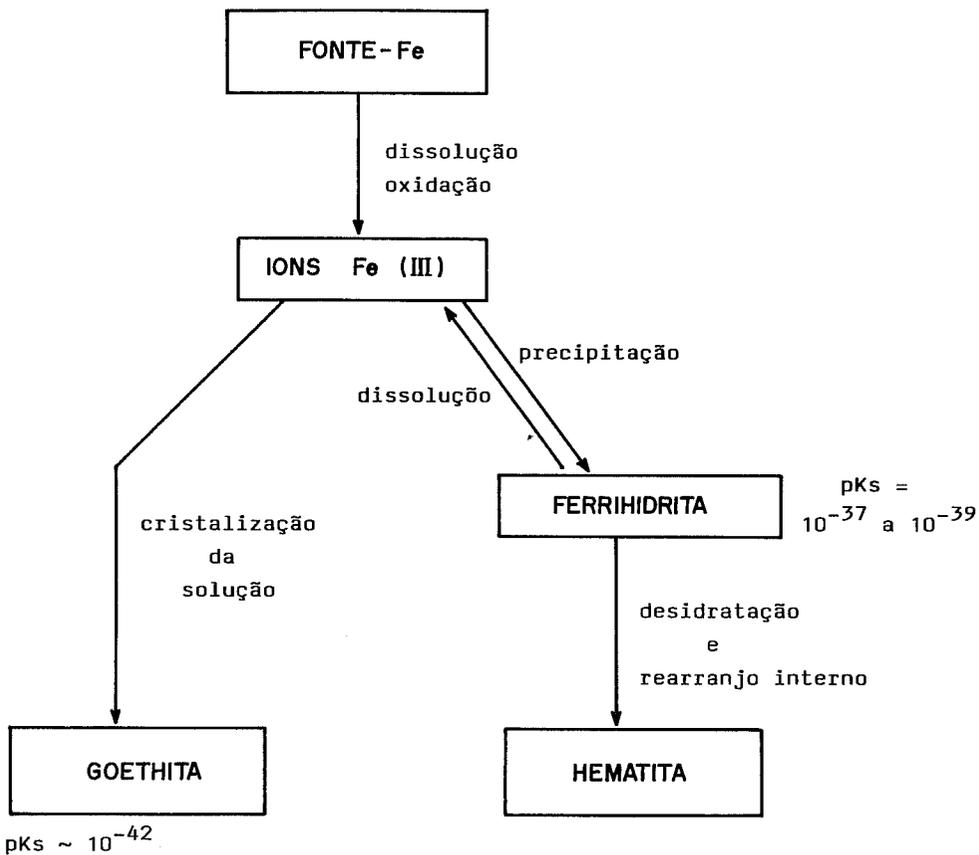


Figura 1. Esquema mostrando a formação de óxidos de ferro no sistema Fe (III).

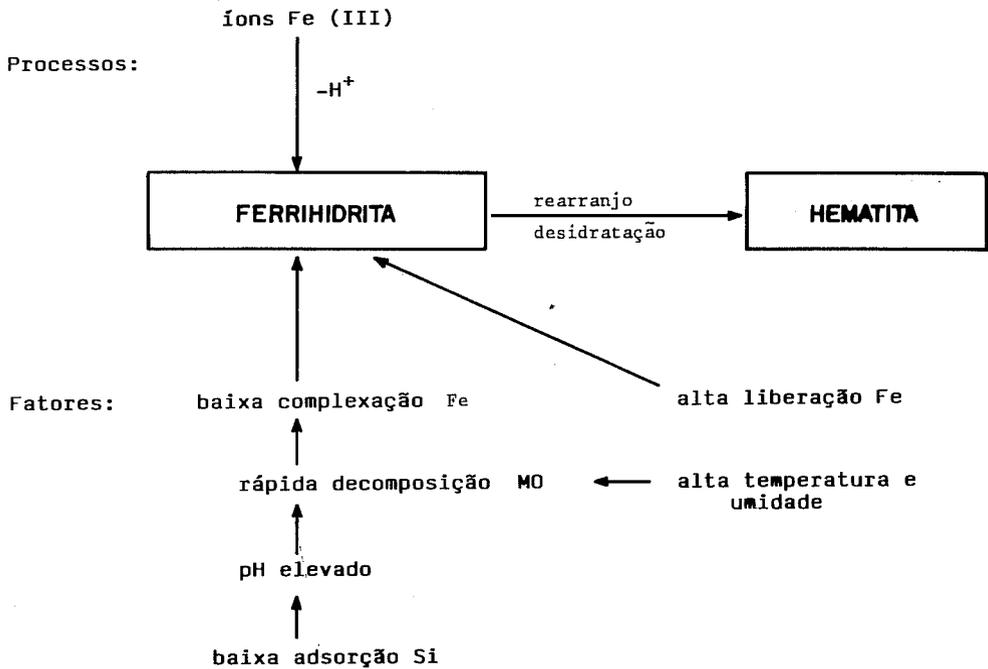


Figura 2. Esquema mostrando a formação de ferrihidrita e hematita no sistema Fe (III).

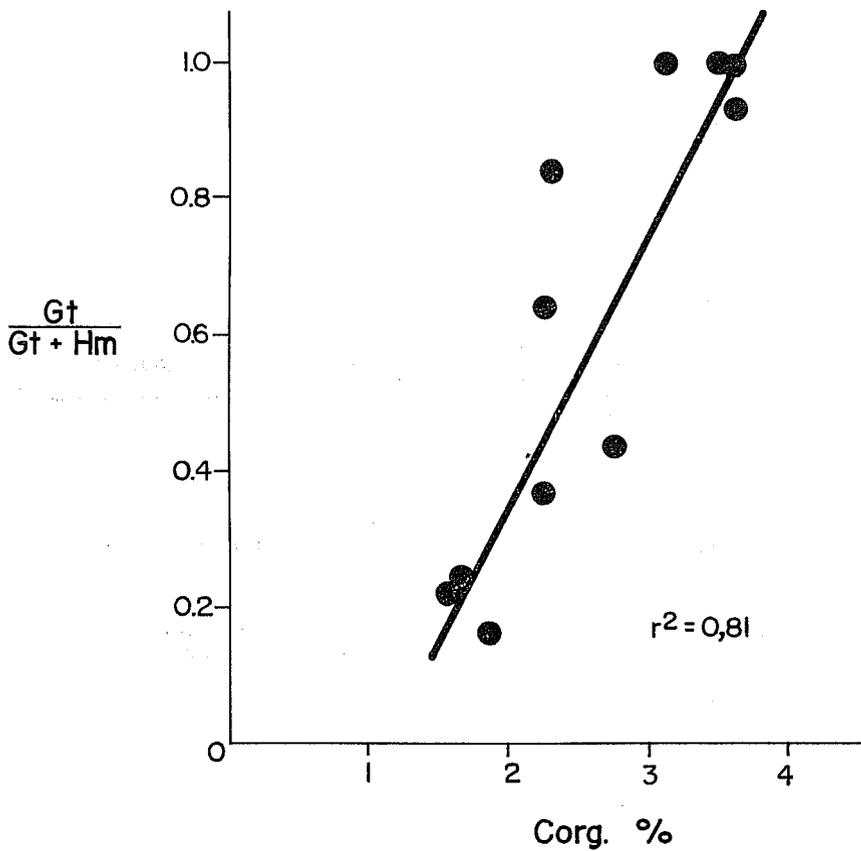
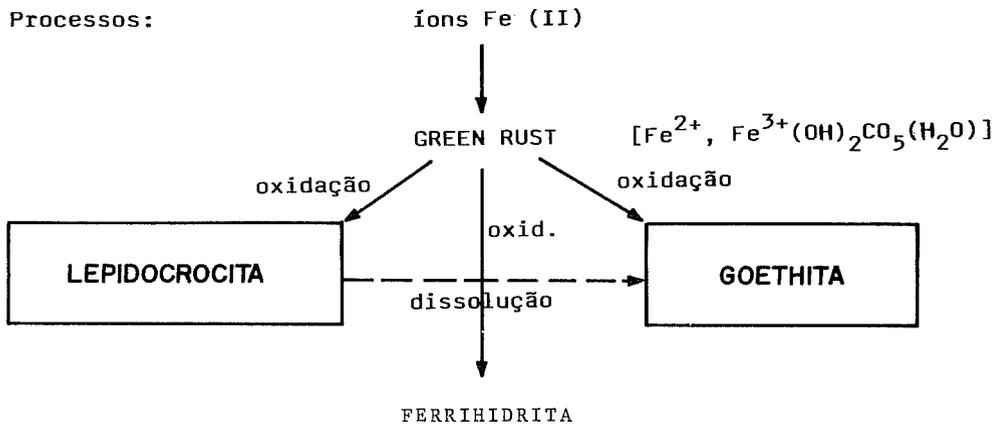


Figura 3. Relação entre carbono orgânico e a relação  $GT/GT+Hm$  no horizonte A de um solo do Rio Grande do Sul (Kampt & Schwertmann 1983).

Processos:



Fatores:

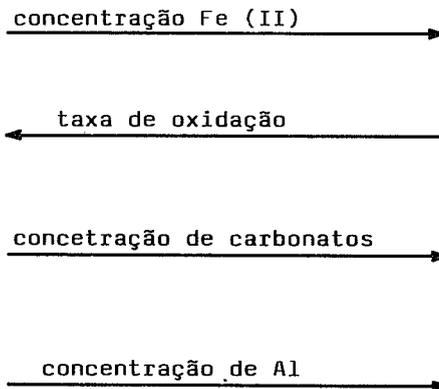


Figura 4. Esquema mostrando a formação de óxidos de ferro no sistema Fe (II).

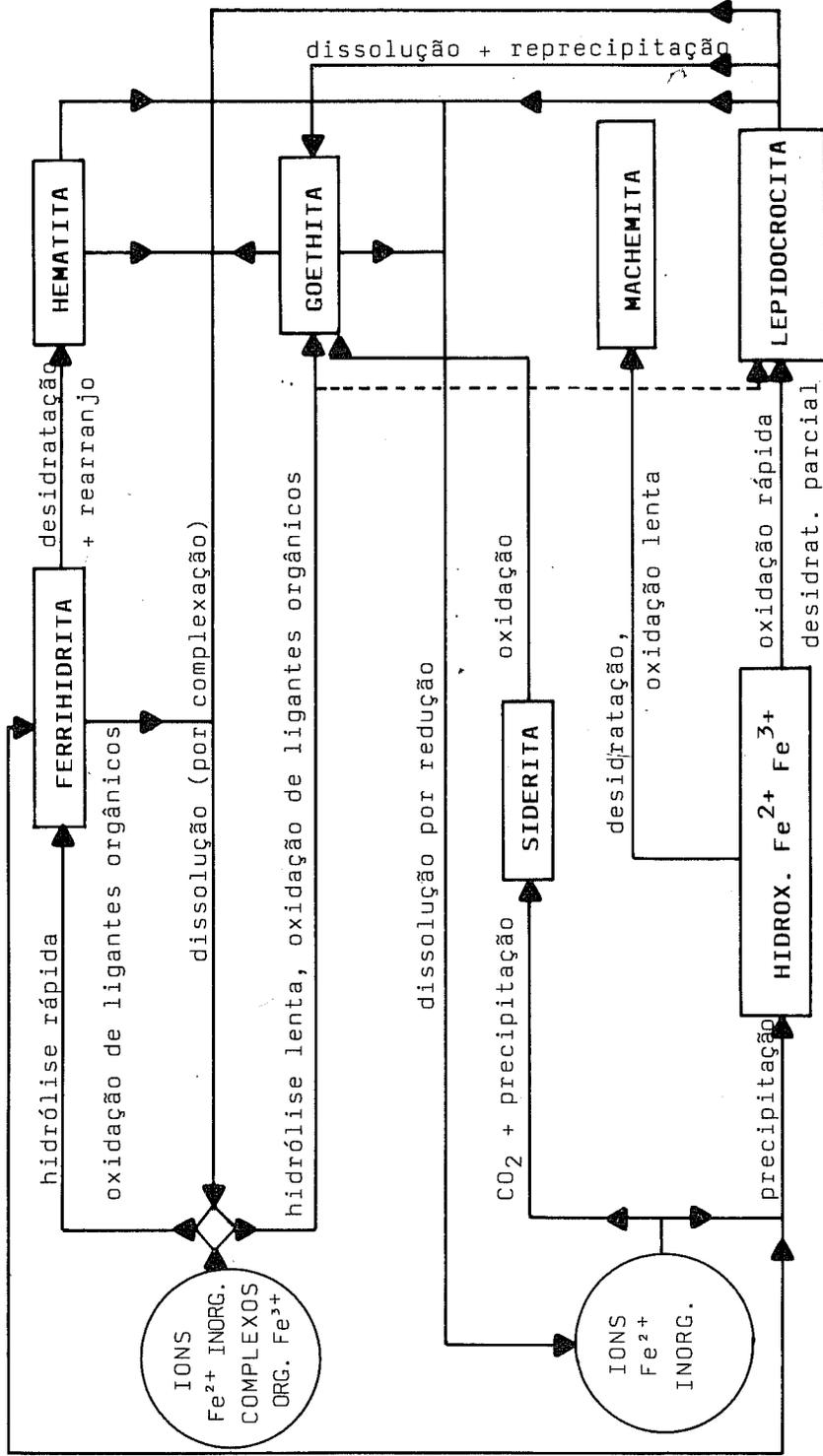


Fig. 5. Esquema mostrando possíveis vias de formação dos vários compostos de ferro (Schwertmann & Taylor, 1977).

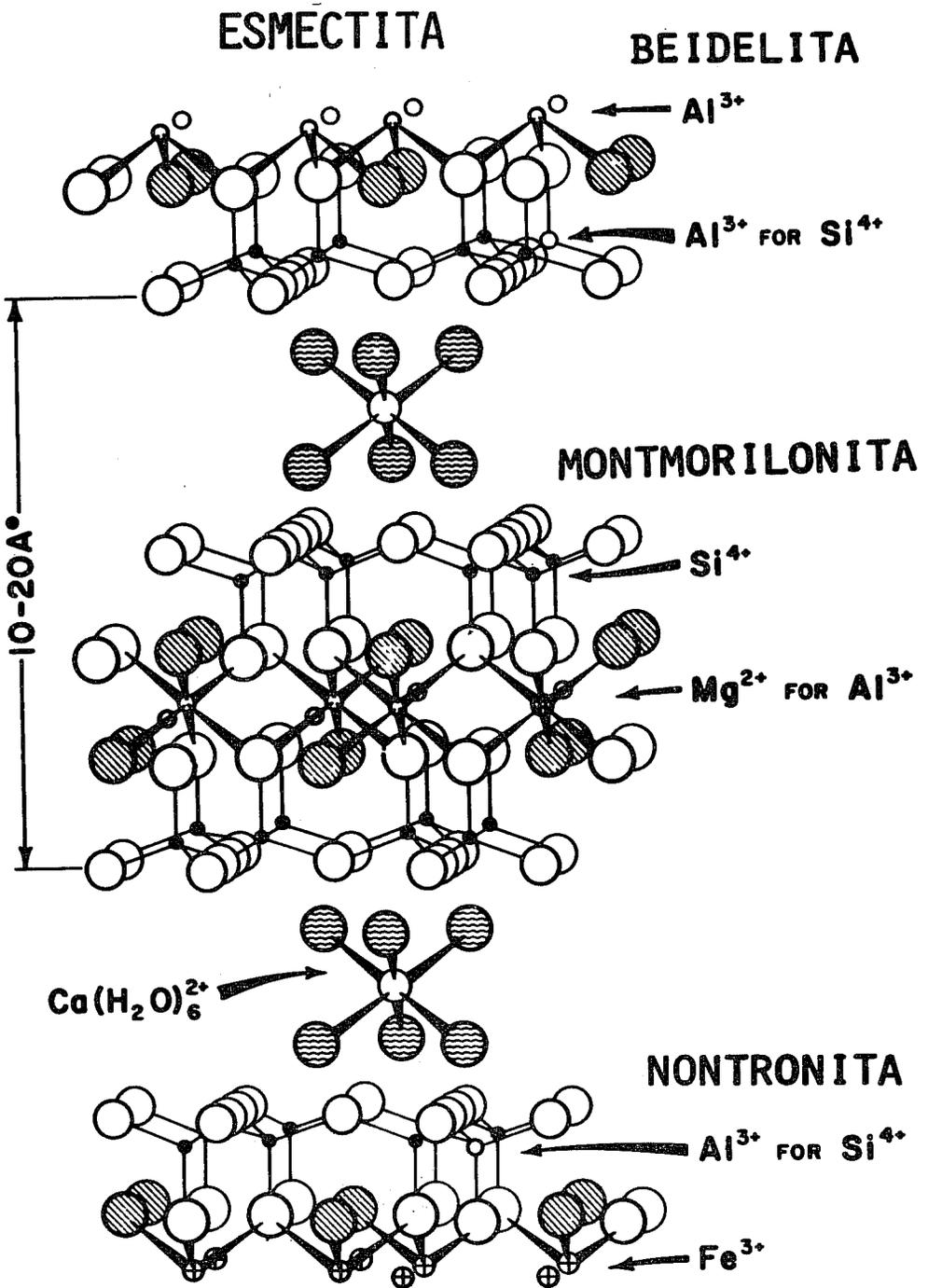


Fig. 6. Corte vertical das camadas de uma esmectita (Borchardt 1977).

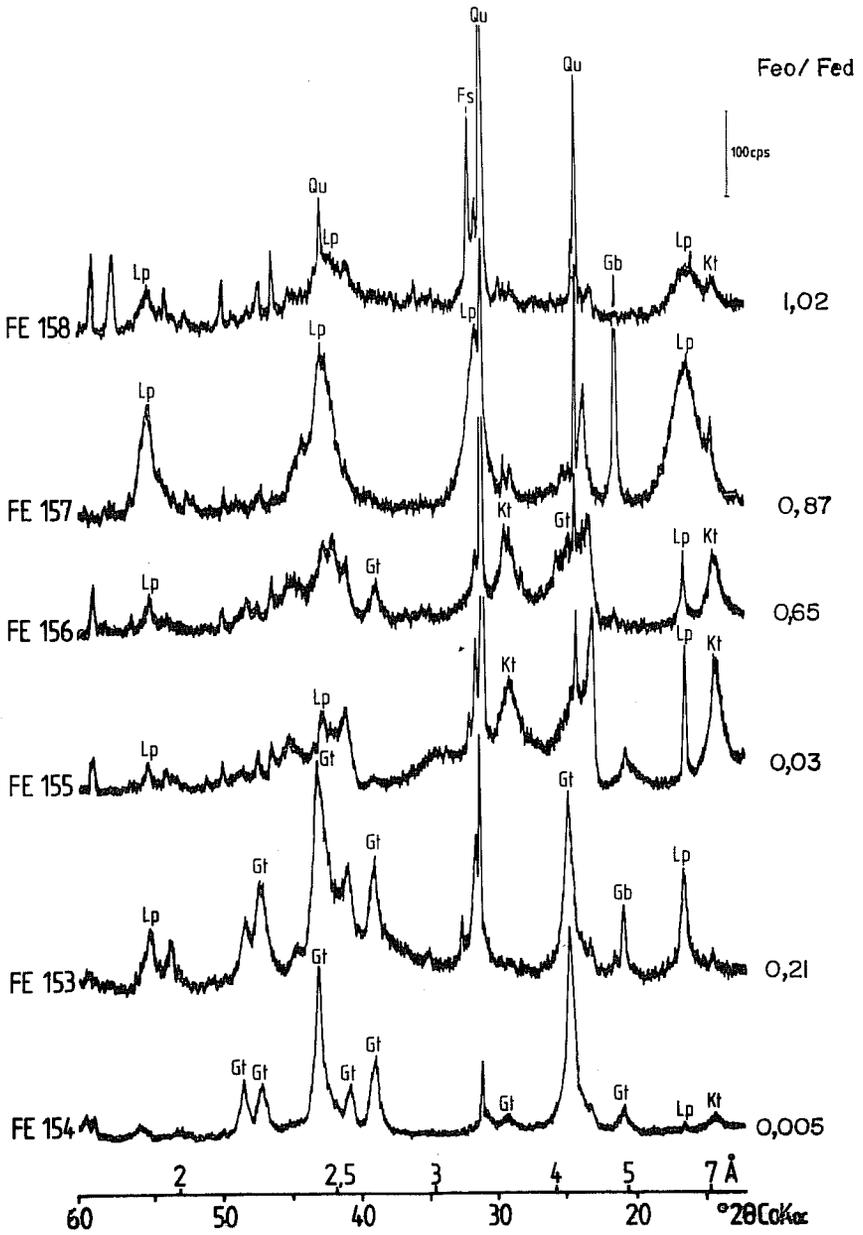


Fig. 7. Difractogramas de raios-x relacionados com o índice FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Schwartzmann & Kampf 1983).

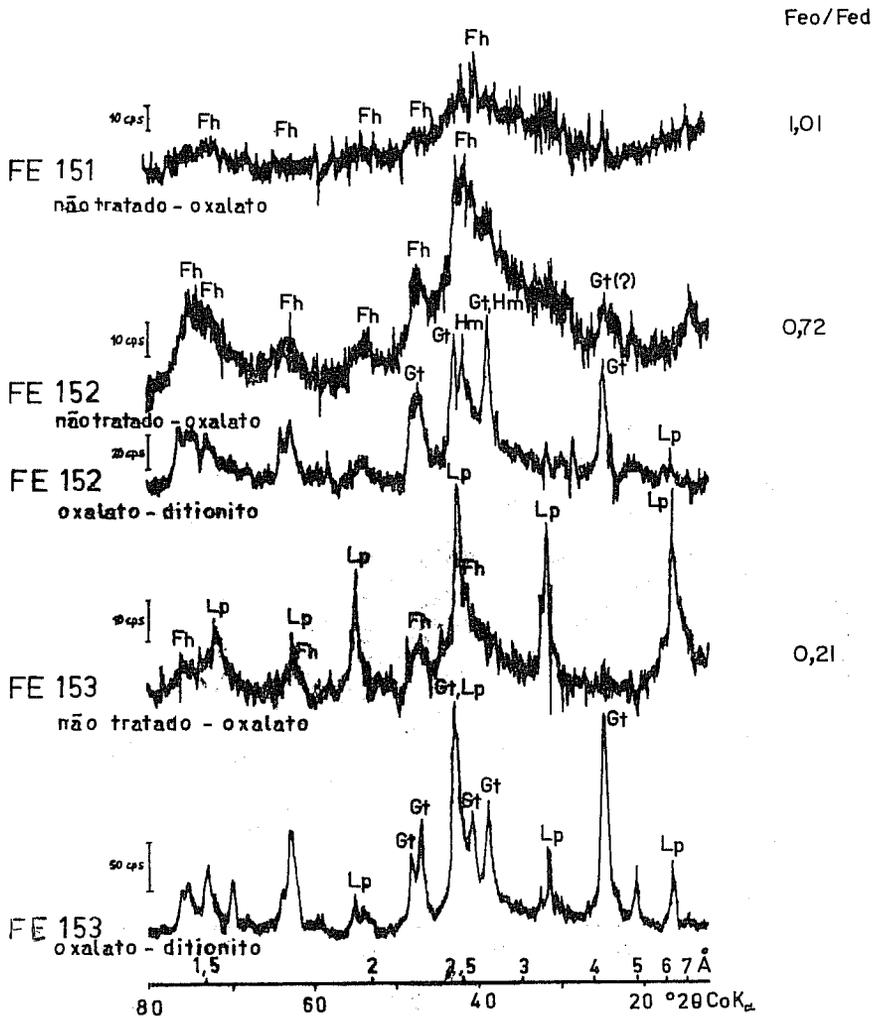


Fig. 8. Digratogramas de raios-x relacionados com o índice Feo/Fed (Schwartzmann & Kampf 1983).

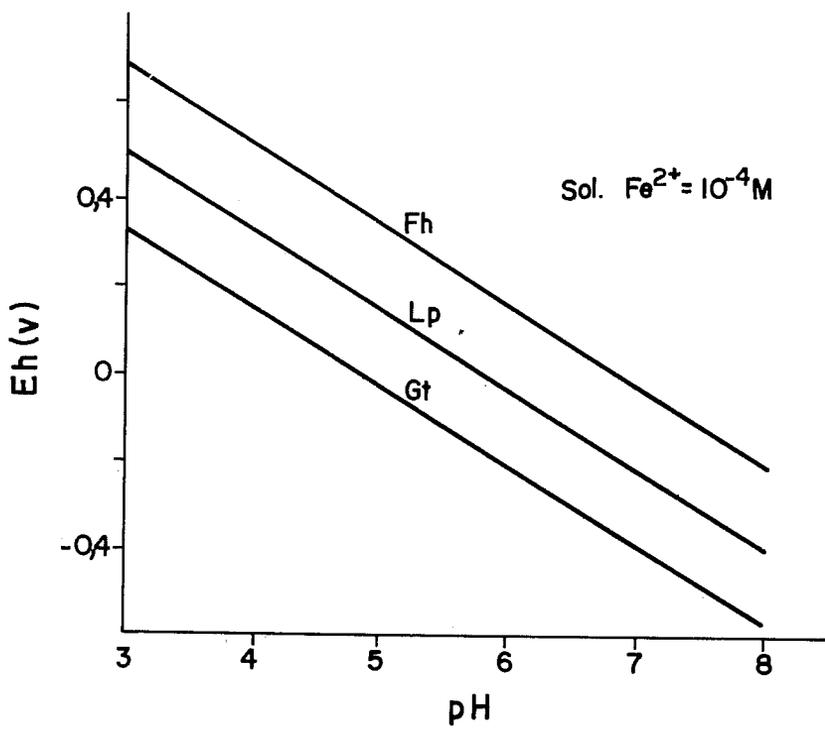


Figura 9. Campos de estabilidade de goethita, lepidocrocita e ferrihidrita (Fischer 1983).

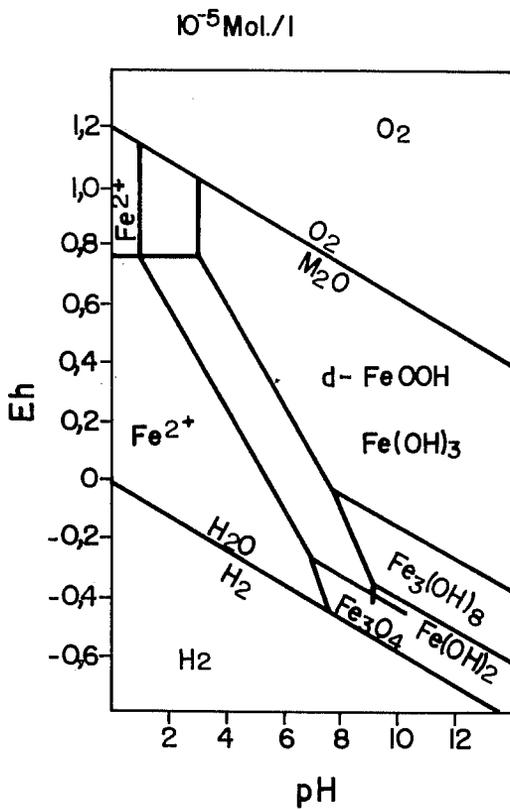


Figura 10. Diagrama Eh x pH (Scheffer et al. 1928).

# MECANISMO PARA REDUÇÃO DE OX. Fe (III) POR BACTÉRIAS

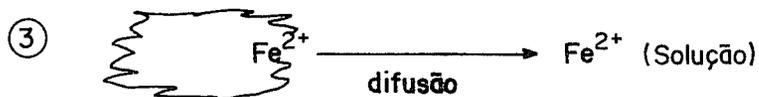
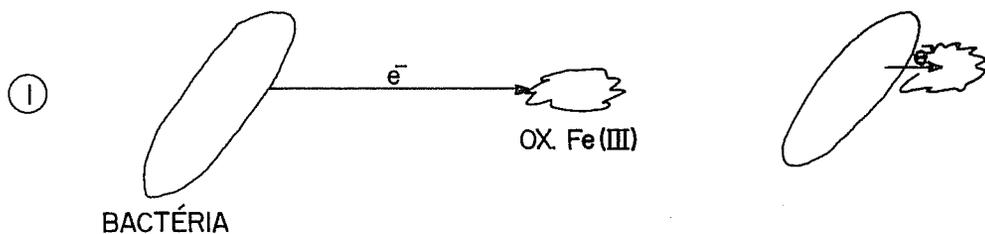


Figura 11.

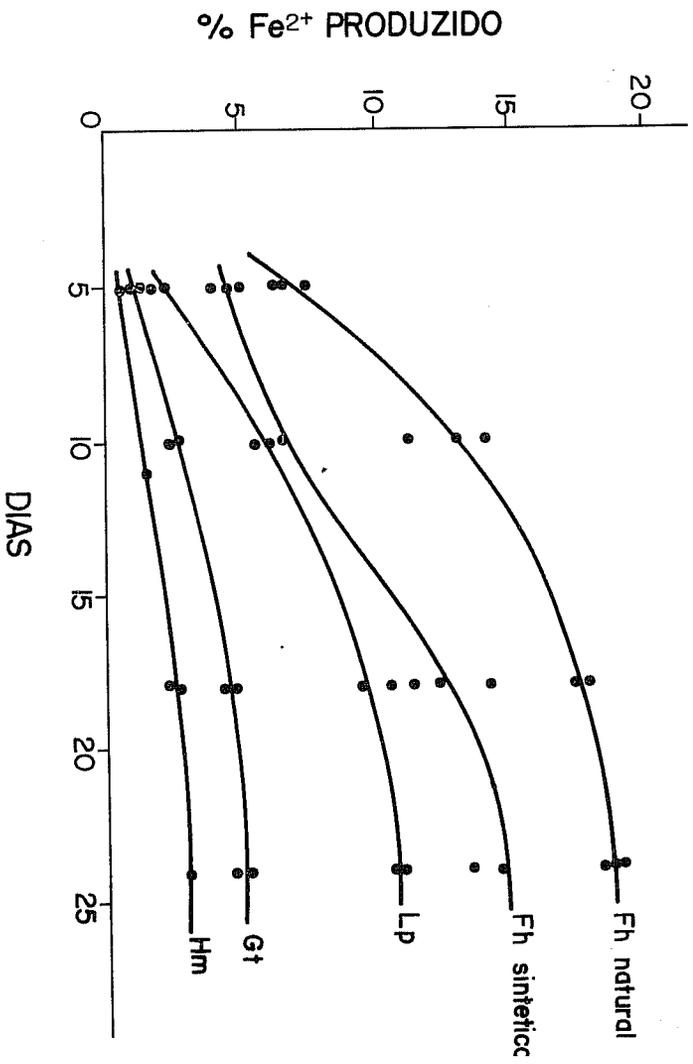


Figura 12. Teores de Fe<sup>2+</sup> observados a partir da redução de hematita, goethita, lepidocrocita e ferrihidrita incubada anaeróbica-mente com *Corynebacteria* (Fischer & Pfanneberg 1984).

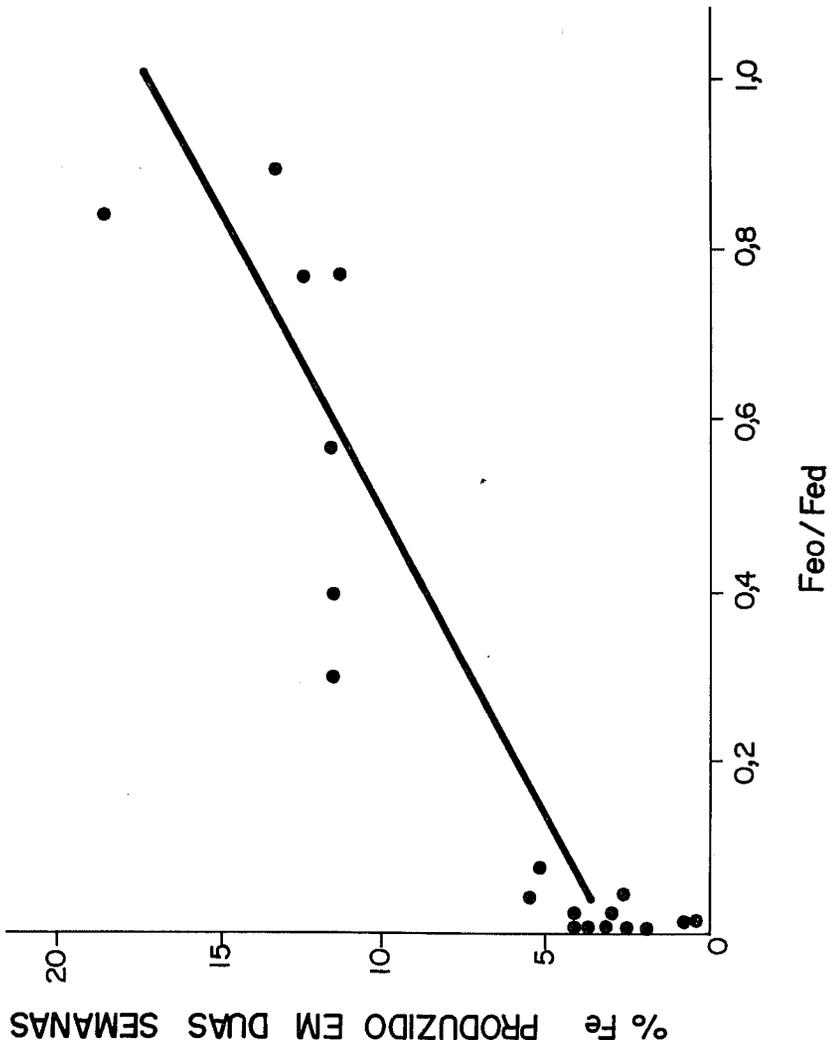


Figura 13. Efeitos da cristalinidade (Feo/Fed) na produção de Fe 2+ (Fischer 1985).

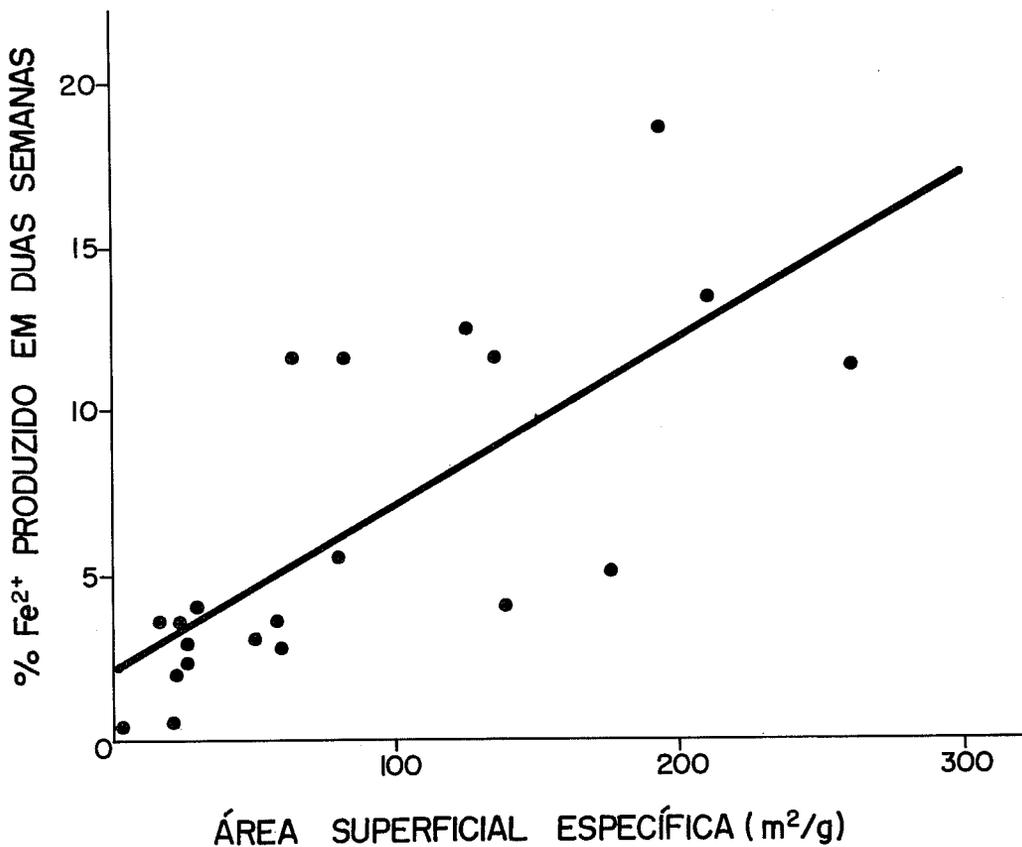


Figura 14. Efeito da área superficial específica (ASE) na produção de Fe 2<sup>+</sup> (Fischer 1985).

Tabela 1. Resultados de análises do perfil de um solo Gley Pouco Húmico (TYPIC OCHRAQUOX).

HORIZON	DEPTH cm	COARSE	FINE	COARSE FRCT		FINE	COARSE	FINE	SILT	CLAY	WATER	CLAY	% SILT	BULK	PART.	POROE	
		FRCT >2mm VOL	EARTH <2mm VOL	>20 mm WT	20- 2mm WT	EARTH <2mm WT	SAND 2- 0,2mm WT	SAND 0,2- 0,05mm WT	0,05- 0,002 mm WT	<0,002 mm WT	DISP. CLAY <0,002 mm WT	FLOC. % OF CLAY <0,002 mm WT	% OF CLAY	OVEN DRY	DENS. <2mm g/cm3	DENS. <2mm %	POROE %
Ap	0-10			0	tr	100	9	14	23	54	43	20	0,43	-	-	-	
A	-30			0	0	100	10	14	22	54	44	19	0,41	1,20	2,47	51	
BA	-38			0	tr	100	8	14	24	54	21	61	0,44	1,16	2,50	54	
Bog1?	-70			0	tr	100	7	12	21	60	0	100	0,35	1,09	2,50	56	
Bog2?	-110			0	tr	100	7	12	20	61	0	100	0,33	1,15	2,56	54	
BCvg*	-180			0	tr	100	7	12	22	59	0	100	0,37	1,36	2,47	45	
Cg	-220+			0	tr	100	6	12	28	54	0	100	0,52	-	-	-	
BCvg**																	
HORIZON	pH 1:2,5		EXTRACTABLE BASES				EXTR. ACIDITY			CEC	BASE	Al+++	EXTR.	TOTAL	WATER		
	H2O	KClN	Ca++	Mg++	K+	Na+	SUM BASES	Al+++	H+	pH7	SAT.	SAT.	P	H2SO4 DIGEST.	1:1	1/3 BAR % OF <2mm	
			mg/100 g									%		ppm			
Ap	4,6	3,8	0,8	0,2	0,18	0,05	1,2	2,4	5,1	6,7	14	67	2	152		28,6	
A	4,5	3,7	0,2	0,04	0,03	0,3	2,8	3,7	6,8	4	90	1	94		27,2		
BA	4,7	3,9	0,1	0,04	0,03	0,2	2,4	2,6	5,2	4	92	1	81		29,5		
Bog1?	4,8	4,2	0,1	0,03	0,02	0,2	1,5	2,4	4,1	5	88	1	76		33,9		
Bog2?	5,1	4,1	0,1	0,02	0,02	0,1	1,6	2,1	3,8	3	94	1	76		33,2		
BCvg*	5,4	4,3	0,2	0,02	0,03	0,3	1,4	2,3	4,0	8	82	1	67		29,6		
Cg	4,8	4,2	0,1	0,06	0,03	0,2	1,4	2,1	3,7	5	88	1	94		29,9		
BCvg**	5,5	4,3											53				

Cont. Tabela 1

HORIZON	ORGN. TOTAL		HES04 1:1 VOL. NaOH 0.6-0.8% DIGEST.							Fe2O3 <2mm	DCB <2mm	C80 EXTR. Fe2O3 % OF (0,002 mm	
	C	N	C/N	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Ti O2	MnO	P2O5				SiO2
			%			% OF <2mm			MOLECULAR RATIO				
Ap	1,65	0,14	12	21,9	20,0	1,8	0,46	0,13	0,04	1,86	1,76	17,35	1,3
A	1,19	0,10	12	21,3	19,7	0,8	0,47	0,13	0,02	1,84	1,79	38,62	0,2
BA	0,75	0,07	11	22,9	21,1	0,9	0,49	0,13	0,02	1,84	1,80	36,95	0,2
Bog1?	0,41	0,05	8	24,2	21,9	1,0	0,57	0,13	0,02	1,88	1,82	34,08	0,3
Bog2?	0,30	0,04	8	25,9	22,5	0,9	0,62	0,13	0,02	1,97	1,93	39,04	0,3
BCVg*	0,23	0,03	8	25,9	22,6	1,4	0,69	0,05	0,02	1,95	1,87	25,18	0,7
Cg	0,15	0,02	8	25,5	22,2	1,0	0,69	0,13	0,02	1,95	1,90	35,54	0,6
BCVg**				25,4	24,0	2,4	0,63	0,05	0,01	1,80	1,69	15,69	1,9

\*BCVg whole sample no. 65.0767-1

\*\*BCVg red mottling parts.

Tabela 2. Resultados de análises do perfil de um latossolo (TYPIC ACROTHOX).

HORIZON	DEPTH cm	COARSE	FINE	COARSE FRCT		FINE	COARSE	FINE	SILT	CLAY	WATER	CLAY	% SILT OF CLAY	BULK	PART.	POROE
		FRCT >2mm VOL	EARTH <2mm VOL	>20 wt	20- 2mm WT	EARTH <2mm WT	SAND 2- 0,2mm WT	SAND 0,05- 0,002mm WT	0,05- (0,002 mm WT	(0,002 mm WT	DISP. CLAY (0,002 mm WT	FLOC. % OF (0,002 mm WT		DENS. OVER DRY	DENS. <2mm	%
		% OF WHOLE SOIL				% OF < 2mm						g/cm <sup>3</sup>				
A1	0-10			0	tr	100	3	3	12	82	60	27	0,15	0,82	2,60	68
A2	-25			0	tr	100	5	3	13	79	45	43	0,16	0,90	2,56	65
AB	-40			0	0	100	3	2	16	85	69	19	0,12	0,72	2,67	73
BA	-60			0	0	100	2	2	10	86	70	19	0,12	0,80	2,67	70
Bo1	-164			0	tr	100	2	2	8	88	67	11	0,09	0,84	2,67	69
Bo2	-154			0	tr	100	2	2	10	86	0	100	0,12	0,89	2,69	66
Bo3	-239			0	tr	100	2	1	16	87	0	100	0,11	1,02	2,67	62
Bo4	-280+			0	tr	100	1	1	0	99	0	100	0,09	-	-	-

HORIZON	pH 1:2,5		EXTRACTABLE BASES					EXTR. ACIDITY		CEC	BASE CATS.	BASE SAT.	Al+++ SAT.	EXTR. P	TOTAL	WATER
	H2O	KClN	Ca++	Hg++	K+	Na+	SUM BASES	Al+++	H+	pH7					P H2SO4 1:1 DIGEST.	% OF <2mm
		meq/100 g									%		ppm			
A1	5,2	4,6	0,7	0,16	0,03	0,9	0,5	0,7	10,1	9	36	1	870	29,9		
A2	5,4	4,7	0,2	0,12	0,02	0,3	0,2	0,9	7,4	4	40	1	776	27,7		
AB	5,2	4,9	0,1	0,05	0,02	0,2	0,1	0,1	6,1	6,4	3	33	1	728	28,4	
BA	5,3	5,3	0,1	0,03	0,01	0,1	0	0	4,7	4,7	2	0	1	687	28,1	
Bo1	5,4	5,6	0,1	0,01	0,01	0,1	0	0	3,9	4,0	3	0	1	673	28,9	
Bo2	5,7	6,6	0,1	0,01	0,01	0,1	0	0	2,6	2,7	4	0	1	623	29,0	
Bo3	6,0	6,7	0,1	0,01	0,02	0,1	0	0	1,2	1,3	8	0	<1	565	30,1	
Bo4	6,6	7,0	0,1	0,01	0,01	0,1	0	0	0,6	0,7	14	0	<1	498	31,5	

Cont. Tabela 2

HORIZON	ORGN. TOTAL		H2SO4 1:1 VOL. NaOH 0.6-0.8% DIGEST.		SI02		Fe2O3		Fe2O3		C80 EXTR. Fe2O3 % OF (0,002 mm		
	C	N	SI02	AlO3	Fe2O3	TI O2	MnO	P2O5	Al2O3	R2O3		Fe2O3	DCB (2mm
		C/N	MOLECULAR RATIO										
		Z	% OF (2mm										
A1	2,88	0,19	15	6,8	28,8	16,1	3,34	0,06	0,20	0,40	0,30	2,81	14,9
A2	2,13	0,15	14	7,1	28,3	15,9	3,64	0,06	0,18	0,43	0,31	2,79	14,3
AB	1,66	0,12	14	6,7	28,6	16,5	3,65	0,06	0,17	0,40	0,29	2,72	14,0
BA	1,26	0,09	14	6,9	30,6	16,4	3,71	0,05	0,16	0,38	0,29	2,93	15,8
B01	1,01	0,08	13	6,7	30,9	16,9	3,78	0,06	0,15	0,37	0,27	2,87	15,2
B02	0,79	0,07	11	6,4	28,7	17,4	3,93	0,06	0,14	0,38	0,27	2,59	17,3
B03	0,54	0,05	11	6,2	28,5	17,4	3,56	0,06	0,13	0,37	0,27	2,57	17,2
B04	0,34	0,04	9	6,4	27,8	17,9	3,78	0,06	0,11	0,39	0,28	2,44	17,3

Tabela 3. Resultados de análises de solo laterítico (PLINTHAQUOX).

HORIZON	DEPTH cm	COARSE	FINE	COARSE FRCT		FINE		COARSE	FINE	SILT	CLAY	WATER	CLAY	% SILT	BULK	PART.	POROE
		FRCT	EARTH	20	20-	EARTH	SAND	SAND	0,05-	<0,002	DISP.	FLOC.	% OF		DENS.	DENS.	
		2mm	<2mm	mm	2mm	<2mm	2-	0,2-	0,002	mm	mm	<0,002	<0,002	% CLAY	OVEN	<2mm	%
		VOL	VOL	WT	WT	WT	WT	WT	WT	WT	WT	WT	WT		DRY		
		% OF WHOLE SOIL				% OF < 2mm						g/cm3					
A	0-10			0	tr	100	19	11	14	56	44	21	0,25	1,40	2,47	43	
Ag	-30			0	tr	100	21	12	13	54	45	17	0,24	1,58	2,50	37	
Eg1	-48			0	tr	100	12	11	11	66	0	100	0,17	1,45	2,50	42	
Eg2	-77			0	tr	100	11	11	10	68	0	100	0,15	1,16	2,25	48	
Bva*	-78			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bov1**	-80			0	tr	100	11	11	14	64	0	100	0,22	1,62	2,35	31	
Bov2	-90			0	6	94	13	11	10	66	0	100	0,15	1,50	2,33	16	
Bov3	-150			0	8	92	14	12	9	65	0	100	0,14	-	-	-	
BCvc	-210*			0	12	88	14	12	13	61	0	100	0,21	-	-	-	
Bov1***																	

HORIZON	pH		EXTRACTABLE BASES				EXTR. ACIDITY			CEC	BASE	Al+++	EXTR.	TOTAL	WATER
	1+2,5		Ca++	Mg++	K+	Na+	SUM BASES	Al+++	H+	SUM CATS.	SAT.	SAT.	P	H2SO4 1:1	CONT.
	H2O	KClN	mg/100 g							pH7	%		PPM	DIGEST.	% OF
A	4,9	4,2	0,3	0,07	0,02	0,4	1,3	6,8	7,7	5	76	1	397	23,5	
Ag	5,1	4,3	0,1	0,06	0,02	0,2	0,9	4,7	5,8	3	82	1	387	21,7	
Eg1	5,6	5,3	0,1	0,02	0,01	0,1	0	2,4	2,5	4	0	<1	348	25,6	
Eg2	5,7	6,0	0,1	0,01	0,01	0,1	0	1,7	1,8	6	0	<1	331	27,6	
Bva*	6,1	6,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	387	-	
Bov1**	5,8	6,9	0,1	0,01	0,02	0,1	0	1,1	1,2	8	0	<1	376	30,0	
Bov2	5,7	6,7	0,1	0,01	0,01	0,1	0	0,7	0,8	13	0	<1	493	27,2	
Bov3	5,8	6,7	0,1	0,01	0,01	0,1	0	0,6	0,7	14	0	<1	443	25,3	
BCvc	5,9	6,8	0,1	0,01	0,01	0,1	0	0,3	0,4	25	0	<1	390	27,7	
Bov1***	5,9	6,9													

Cont. Tabela 3

HORIZON	ORGN.		TOTAL	C/N	H2SO4 1:1 VOL. NaOH 0.6-0.8% DIGEST.							Fe2O3 % OF <0,002					
	C	N			SI02	AlO3	Fe2O3	TI O2	MnO	P2O5	SI02		Al2O3	REO3	Fe2O3	Al2O3	Fe2O3
-----																	
MOLECULAR RATIO																	
-----																	
mm																	
-----																	
A	1,65	0,14	12	7,6	23,5	2,4	3,80	0,06	0,09	0,55	0,52	15,36	0,4				
Ag	1,07	0,09	12	7,3	23,5	2,8	3,95	0,06	0,09	0,53	0,49	13,17	0,3				
Eg1	0,55	0,05	11	7,6	26,4	2,4	4,20	0,06	0,08	0,49	0,46	17,25	0,6				
Eg2	0,24	0,04	6	7,4	28,3	3,1	5,13	0,06	0,08	0,44	0,41	12,01	1,6				
BVH*	0,24	0,03	8	6,2	20,7	31,6	3,38	0,05	0,09	0,51	0,26	1,03	23,8				
BOV1**	0,24	0,03	6	6,0	28,4	17,2	4,58	0,05	0,09	0,36	0,26	2,59	16,3				
BOV2	0,10	0,02	5	6,8	24,8	12,0	4,91	0,07	0,11	0,47	0,36	3,24	10,0				
BOV3	0,09	0,02	5	6,8	24,3	11,6	4,90	0,06	0,10	0,48	0,36	3,29	10,4				11,7
BCVC	0,10	0,02	5	6,1	23,3	16,4	4,47	0,06	0,09	0,45	0,31	2,23	10,5				
BOV***				4,8	25,5	25,9	3,83	0,05	0,08	0,32	0,19	1,54	11,6				

\* sample no. 85.0690-1  
 \*\* 60vi whole sample no. 85.0690-2  
 \*\*\* 60vi red mottling parts.

Tabela 4. Principais minerais encontrados nos solos que contém Fe.

Óxidos e Oxihidróxidos

$\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$	HEMATITA
$\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$	MAGHEMITA
$\alpha - \text{FeOOH}$	GOETHITA
$\alpha - \text{FeOOH}$	LEPIDOCROCITA
$\text{Fe}_5\text{HO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	FERRIMIDRITA
$\text{Fe}_3\text{O}_4$	MAGNETITA
$(\text{Fe}^{2+})_4(\text{Fe}^{3+})_2\text{OH}(\text{Cl}, \text{SO}_4, \text{CO}_3) \cdot x\text{H}_2\text{O}$	GREEN RUST

Outros Compostos

$\text{FeCO}_3$	SIDERITA
$\text{FeS}_2$	PIRITA
-	ESMECTITAS

Tabela 5. Substituição de Al em goethitas em solos de ambientes hidromórficos e bem drenados (Kampf & Dick 1984, Schwertmann & Kampf 1985).

Amostra	Material/Solo	Subst. Al - Gt
ROP 1-R5	FERRO PAN	5
046 RS	FERRO PAN	10
ROP SILV.	FERRO PAN	5
SF - R5	CROSTA	6
II RCC/5MG	FERRO PAN	0
RS - 37	PLINTHAQUALF	13
RS - A	HAPLOHUMULT	25
RS - P3	SAPROLITO	22
GO - 12	ACRUSTOR	35
GO - 13	ACRUSTOR	36
GO - 15	ACRUSTOR	36
GO - 18	ACRUSTOR	33
GO - E1	ACRUSTOR	33

Tabela 6. Formas de ferro e suas relações em quatro solos do RS  
(Kampf 1981, Espírito Santo 1987).

SOLO, prof.	Fet	Fed	Feo	Fed/t	Feo/d
%					
<b>BRUNIZEM HIDROMÓRFICO (Kampf 1981)</b>					
A1 0-22 cm	2,31	1,13	0,75	0,49	0,66
Bt1 22-42 cm	3,73	1,01	0,13	0,27	0,13
Bt2 42-72 cm	3,52	0,69	0,09	0,20	0,13
<b>VERTISSOLO (Kampf 1981)</b>					
A1 0-20 cm	4,33	1,41	0,52	0,33	0,37
B1 20-57 cm	5,83	0,94	0,27	0,16	0,29
B2 57-113cm	6,34	0,64	0,11	0,10	0,17
<b>PLANOSSOLO (E. Santo 1987)</b>					
Ae1 0-30 cm	1,08	0,52	0,28	0,48	0,54
Ae2 30-50 cm	1,70	0,57	0,24	0,34	0,42
AB 50-72 cm	1,57	1,13	0,22	0,72	0,19
Btg1 72-84cm	4,40	3,00	0,17	0,68	0,06
<b>PODZÓLICO VERMELHO ESCURO (E. Santo 1987)</b>					
A1 0-47 cm	2,60	1,60	0,15	0,62	0,06
Ab 47-70 cm	3,80	3,04	0,14	0,96	0,04
BA 70-90 cm	3,90	3,24	0,13	0,83	0,04
Bt1 90-103cm	3,90	3,24	0,13	0,83	0,04

Tabela 7. Efeito de ligantes orgânicos sobre o Eh de redução da goethita e da lepidocrocita (Fischer 1983).

Ligante orgânico (complexo)	Goethita Eh (mV)	Lepidocrocita
Sem	-350	-180
Alanina	-270	-100
Glicina	-240	- 70
Acido aspártico	-200	- 30
Acido oxálico	-140	30
Cisteína	- 10	160

Fe<sup>2+</sup> = 10 mg/l; pH = 7; Sol. complex. 10<sup>-3</sup> M (Fischer 1983).

## FERRO NA PLANTA

Benedito Gomes dos Santos Filho

O ferro é o micronutriente catiônico que se apresenta em maior teor no solo, conforme:

Tabela 1. Níveis de micronutrientes em diferentes tipos de rocha.

Elemento	Rochas ígneas			Rochas sedimentares			
	Crosta	Granito	Basalto	Calcario	Arenito	Folhelho	solo
	----- ppm -----						
Fe	56000	27000	86000	3800	9800	47000	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>
Mn	950	400	1500	1100	10-100	850	20-3000
Zn	70	40	100	20	16	95	10-300
Cu	55	10	100	4	30	45	10-80
Mo	1,5	2	1	0,4	0,4	2,6	0,2-10
B	10	15	5	20	35	100	7-80

FONTE: Krauskopf (1972).

Nos solos brasileiros o conteúdo total de Fe varia de 2 a 40%, calculados como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (HEMATITA). Por esse motivo, a deficiência de Fe quando aparece é geralmente devida a uma diminuição na disponibilidade ou absorção, não sendo causado por falta propriamente dita (Malavolta 1980).

São condições para a carência de Fe:

- baixo teor de Fe total;
- altas concentrações de P, Cu, Mn ou Zn;

- c) pH elevado - neste caso tem-se a clássica "clorose" induzida por cálcio;
- d) matéria orgânica e encharcamento - ocorre formação de compostos insolúveis de Fe como acontece com mudas de cafeeiro crescendo em saquinhos plásticos no viveiro em que o substrato é rico em matéria orgânica e se irriga demasiadamente. A suspensão temporária das regras é muitas vezes suficiente para fazer desaparecer o sintoma de carência;
- e) variação genética - há espécies e variedades eficientes e ineficientes para absorver Fe. Sorgo é uma das mais sensíveis que se conhece, principalmente nas primeiras 2 a 4 semanas depois da germinação. Já em arroz existem variedades moderadamente sensíveis e tolerantes, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Sensibilidade ao Fe de diferentes espécies.

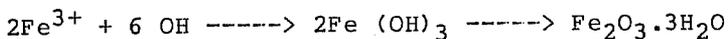
Altamente Sensíveis	Moderadamente sensíveis	Tolerantes
Bagas (varias)	Alfafa	Alfafa
Citrus	Cevada	Cevada
Feijoeiro	Milho	Milho
Linho	Algodoeiro	Algodoeiro
Sorgo Forrageiro	Forrageiras	Forrageiras
Sorgo granífero	Gramíneas	Gramíneas
Sorgo Sacarino	Aveia	Aveia
Videira	Arroz	Arroz
Menta	Linho	Linho
Ornamentais	Feijoeiro	Milheto
Soja	Soja	Soja
Gramma Sudão	Ornamentais	Batatinha
Hortaliças	Hortaliças	Hortaliças
Nogueira	Trigo	Trigo
Frut. Clima Temp.	Frutíferas	Beterraba

Algumas culturas aparecem em diferentes classificações devido a variação em variedades, solo e condições do clima.

### **Absorção, transporte e redistribuição do Fe na planta**

O Fe pode ser absorvido pelas raízes como  $Fe^{+2}$  e  $Fe^{+3}$ . Embora seja absorvido no estado férrico ( $Fe^{+3}$ ) é geralmente aceito que o estado ferroso ( $Fe^{+2}$ ) é a forma metabolicamente ativa do Fe na planta (Devlin 1969). Ao que parece, a eficiência da absorção está relacionada com a capacidade que as raízes possuem na superfície externa da membrana plasmática (Plasmalena) à redução do  $Fe^{+3}$  para  $Fe^{+2}$  em que os elétrons são fornecidos pelo sistema das flavinas ou citocromos.

Os micronutrientes catiônicos Fe, Zn, Mn e Cu são relativamente insolúveis em solução nutritiva quando fornecidos como sais inorgânicos comuns e eles são praticamente insolúveis em muitas soluções do solo. Esta insolubilização do Fe é marcante em solos com pH elevado (acima de 5,0), dando clorose induzida por cálcio. Sob essas condições, os micronutrientes catiônicos reagem com íons Hidroxilos precipitando-os em óxidos de metais Hidrosos. Um exemplo no qual a forma férrica do ferro produz o óxido cinza-avermelhado (ferrugem) é mostrado na reação abaixo:



Devido a essa e outras reações contribuírem para a insolubilidade, certas plantas não podem absorver bastante esses

metais. Uma maneira de sobrepujar este problema de deficiência é fornecer os elementos na forma de quelatos. Um quelato é um produto estável formado quando certos átomos de uma molécula orgânica chamada de "agente quelante" ou "ligante" doa elétrons para o metal catiônico que no caso é o Fe. Os metais presos nos anéis do quelato perdem suas características catiônicas e por isso são menos sujeitos às reações de insolubilização que ocorrem no solo ou em outro substrato. Um dos agentes quelantes melhor conhecido contendo grupos carboxílicos e átomos de nitrogênio é o Acido Etileno-diaminotetraacético (EDTA).

Os agentes quelantes tais como EDTA são agora usados para prevenir ou corrigir a deficiência de Fe onde o pH elevado em solos calcários conferem indisponibilidade do Fe para algumas espécies. O mesmo problema ocorre em certos solos com problema de Zn e estudos indicam que quelatos de Zn e Fe podem frequentemente corrigir essas deficiências, especialmente quando aplicados na folhagem.

Em solos ácidos, a deficiência de Fe pode resultar de uma interação entre o Fe e altas quantidades de Cu e Al. Aqui, também, aplicação foliar de quelato de Fe previne a deficiência de Fe em certas árvores frutíferas e outras espécies (Mortvedt et al. 1972).

Na natureza existem vários tipos de agentes quelantes, tanto no solo como nas plantas. Embora os agentes quelantes não tenham sido identificados, é suspeito que vários compostos presentes na matéria orgânica do solo atuem como quelatos, incluindo certos compostos fenólicos, proteínas, aminoácidos e ácidos orgânicos tais como ácido húmico e ácido fúlvico. É acreditado que

agentes quelantes funcionam como fonte efetiva de micronutriente simplesmente mantendo o elemento em solução até sua liberação em parte ou todo na superfície da raiz. Ocasionalmente, o quelato é absorvido intacto, como evidenciado pelas características de cor dos quelatos sintéticos nas células e então quebrados pelas enzimas celulares.

Desde que absorvido pela planta, os metais divalentes são aparentemente mantidos solúveis por quelação com certos constituintes celulares. Anions de ácidos orgânicos, especialmente Ácido Ascórbico, parece ser mais importante como agente quelante para o transporte através do xilema, porém outros ácidos como artárico e ascórbico bem como certos aminoácidos podem participar. Muito do Fe, Zn, Mn, Cu e Mo estão ligados a proteínas. Desta forma, eles facilitam os processos de transporte de elétrons ou promovem a atividade catalítica de enzimas.

A absorção de Fe pela planta diminui quando aumenta a concentração de Mn, Ca, Mg, Cu e Zn no meio. Alta concentração de Mn em solos ácidos pode inibir competitivamente a absorção do Fe causando o aparecimento de sintomas de deficiência como acontece em abacaxi. Altos níveis de P no substrato podem, além de insolubilizar o Fe no solo, precipitá-lo na superfície das raízes, nos espaços intercelulares e no xilema.

O transporte de Fe após absorvido se dá na "corrente transpiratória" e, no exsudato do xilema, o Fe aparece largamente como quelato de ácido cítrico. A fitoferritina  $(Fe(OOH)_8)$   $(Fe(OPO_3H_2)_8)$  é uma forma de reserva de Fe que se encontra nos cotilédones, no eixo embrionário e em folhas, podendo ser

mobilizado para o desenvolvimento inicial da plântula. Na planta em desenvolvimento e na planta adulta, entretanto, praticamente não ocorre a redistribuição do Fe e como consequência a lâmina foliar torna-se amarelada enquanto as nervuras podem ficar verdes durante algum tempo destacando-se como um reticulado muito fino.

### **Funções do Ferro**

O Fe tem várias funções importantes no metabolismo total das plantas. A discussão acerca do papel do Fe no metabolismo vegetal começou historicamente há mais de 100 anos quando já era observado que Fe era necessário para a manutenção da clorofila nas plantas e desde então, os cientistas de plantas tem pesquisado para descobrir o mecanismo pelo qual o Fe exerce seu controle.

Embora o Fe pareça ser essencial para a síntese de clorofila, seu papel químico em ambos, síntese e degradação, é ainda incerto (Nason & McElroy 1963). Entretanto, muitos autores são de opinião de que o Fe funciona na síntese de proteínas cloroplásticas e pode desta maneira prejudicar o maquinário para a síntese de clorofila.

Tabela 3. Principais proteínas contendo Fe e reações envolvidas.

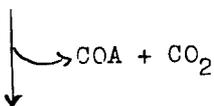
Nome	Reação	Fonte
	I - Proteínas com Heme (Porf.)	Geral em plantas
Catalase	$2\text{H}_2\text{O}_2 \text{ ----> } 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ também como peroxidase	
Peroxidase	$\text{AH}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 \text{ ----> } \text{A} + 2\text{H}_2\text{O}$	Idem
Citocromos a, a <sub>3</sub> , b <sub>2</sub> , b <sub>3</sub> , b <sub>6</sub> e f	Transp. de e na fs, Rs e fixação do N <sub>2</sub>	Idem
Hemoglobina (Leg Hb)	$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2 \text{ e} \text{ ----> } \text{H}_2\text{O}$	Nodulos leg.
	II - Proteínas tipo Ferredoxina	
Ferredoxina	Transp. de e na fs e fixação do N <sub>2</sub>	Geral em plantas
Succinica DH	Succinato ----> fumarato	Mitocondrio
Nitrogenase	$2\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \text{ ----> } \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$	Rhizobium
	III - Proteínas não Heme	
Redutase do Nitrito	$\text{HNO}_2 + 3\text{H}_2 \text{ ----> } \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$	Geral em plantas
Hidrogenase	$\text{H}_2 \quad 2\text{H}^+ + 2 \text{ e}$	Azotobacter
Aconitase	Citrato                    1 Isocitrato	Geral em plantas

A lista de enzimas que contém Fe, dada na tabela acima permite perceber a variedade de papéis que o Fe desempenha na vida da planta em muitas partes do metabolismo.

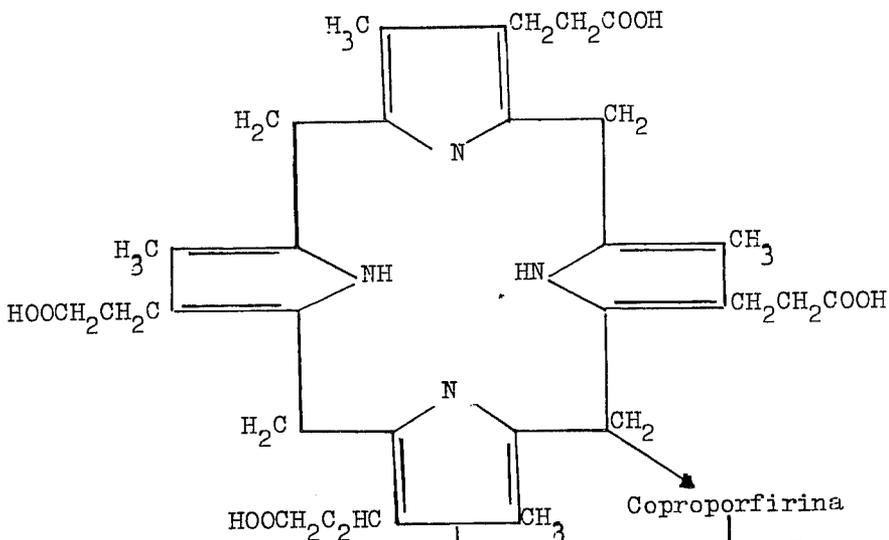
## Sintomas de deficiência de Ferro

O sintoma visual mais facilmente observado de deficiência de Fe nas plantas é uma clorose nas folhas mais novas. Isto é devido a que o Fe apresenta baixa mobilidade no floema. A observação de que plantas carentes em Fe são amareladas fez com que durante muito tempo se pensasse que o elemento fizesse parte da molécula da clorofila; hoje sabe-se que isto não é verdade. Entretanto, 75% do Fe total das folhas está contida nos cloroplastos, então o Fe é essencial para a síntese da clorofila. Quando ocorre deficiência de Fe o teor de clorofila diminui, o número de cloroplastos também diminui e há menor quantidade de grana nos mesmos. O esquema a seguir nos mostra de maneira esquemática a biossíntese de clorofila e de outros compostos contendo o grupo Heme (Malavolta 1980).

Succinil - COA + GLICINA



Porfobilinogênio



Coproporfirina

↓ + Fe

Protoporfirina

R

↓ + Mg

Clorofila

↓ + Fe

Heme



Hemoglobina

Catalase

Peroxidase

Ao que parece o papel do Fe está ligado à reação: Glicina + Succinil COA -----> Acido - delta amino-levulínico (ALA) que é precursor das porfirinas.

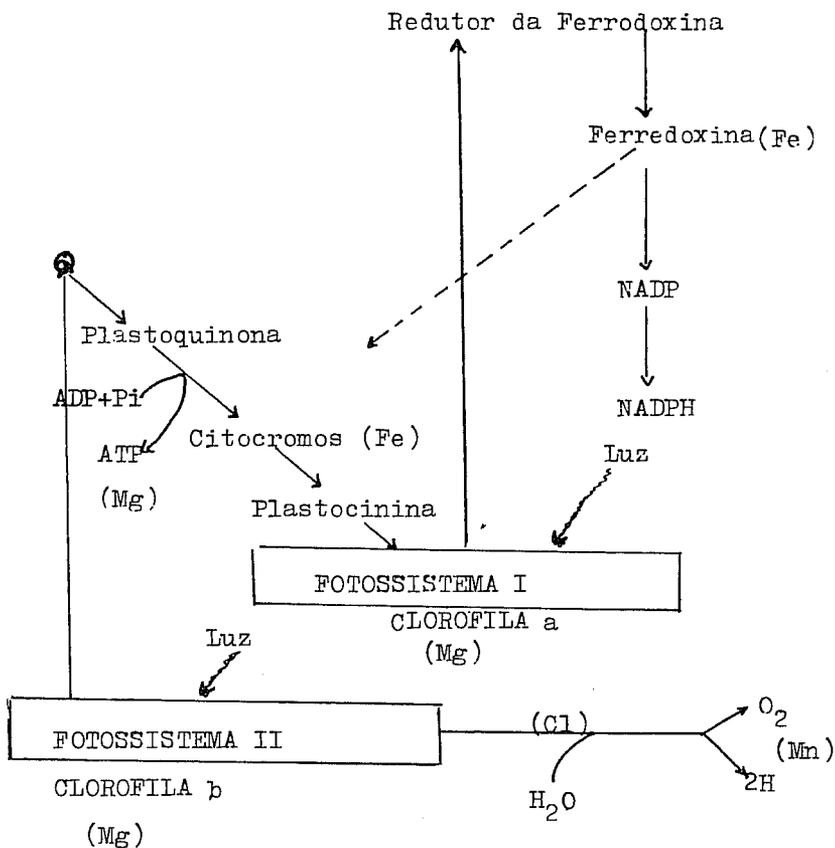
O Fe também é importante para a oxidação de: Coproporfirina -----> Protoporfirina.

Na síntese de clorofila a protoporfirina-9 é um dos intermediários nesta biossíntese. Granick (1954) é de opinião que este composto representa o ponto central da biossíntese de ambos citocromos e clorofila e que a rota sintética é dependente deste metal, o qual é incorporado na estrutura da porfirina.

Numa planta deficiente em Fe, o teor de Fe total na folha pode ser maior ou igual ao teor encontrado em folhas de plantas normais. Isto sugere que nas plantas deficientes parte do Fe está inativado, provavelmente pelo P já que a relação P/Fe é geralmente mais alta do que nas plantas normais. Também a relação Fe/Mn é tida como bom indicador do estado da planta com respeito ao Fe.

A participação do Fe no transporte eletrônico da Fs (bem como do Cl, Cu e Mn) é resumida na Figura 1.

Figura 1. Esquema Z da Fs e nutrientes minerais envolvidos no transporte eletrônico.



Como podemos verificar, os citocromos são carregadores eletrônicos que contêm Fe. É de se esperar, portanto, que as relações energéticas sofram distúrbios nas condições de falta de

Fe. Isto em conjunto com o papel do elemento na biossíntese da clorofila, causa semelhanças consideráveis entre carências de Fe e de Mg.

Em solos calcários a deficiência de Fe frequentemente não é devido a falta do mesmo, mas a sua imobilização ou inativação por carbonatos ou bicarbonatos (clorose induzida por calcário).

### **Toxicidade de Ferro em Arroz**

#### Alguns mecanismos envolvidos

Bronzeamento de plantas de arroz tem sido postulado como toxicidade de Fe (Ponnamperuma 1955, 1958), citado por Tanaka et al. (1966).

Os sintomas são caracterizados pelo desenvolvimento de manchas castanho-avermelhadas dispersas nas folhas inferiores; as manchas se difundem sobre as folhas e toda a folha torna-se castanha e as folhas inferiores tornam-se cinza escura e morrem (Tanaka et al. 1966). Toxicidade de Fe ocorre principalmente em solos com pH baixo e alto teor de matéria orgânica.

Quando um solo é inundado a concentração de Fe ferroso na solução do solo aumenta e se a concentração excede um nível crítico, as plantas de arroz podem sofrer a toxicidade de Fe.

O nível crítico superior de Fe em solução de cultivo difere largamente de um relato para outro; uns sugerem 50 ppm (Aiyar 1946), citado por Tanaka et al. (1966), e outros 10 ppm (Ishizuka et al. 1961), também citados por Tanaka et al. (1966). Nesses níveis, os sintomas de toxicidade descritos não são idênticos. Entretanto, sob condições de solo, a concentração de Fe na

solução do solo está muito acima das concentrações críticas reportadas anteriormente. Nestes solos inundados a concentração crítica é algumas vezes tão alta quanto 300 ppm ou mais. Ponnampertuma (1977) verificou que em solos inundados a concentração de Fe pode atingir até 600 ppm dentro de uma a três semanas após a inundação e, em seguida, decrescer exponencialmente até o nível de 50 a 100 ppm, persistindo por vários meses. Já foi verificado, entretanto, que nenhum sintoma de toxicidade de Fe se desenvolve mesmo com 1680 ppm de Fe na solução do solo. Isto torna claro que o desenvolvimento de sintomas de toxicidade de Fe é complexo.

Devido as raízes de arroz exsudarem  $O_2$ ,  $Fe^{+2}$  é oxidado na superfície das raízes e depositado ali como composto férrico permitindo, com isso, pouca entrada de Fe na planta. Desta maneira, o poder de oxidação das raízes está correlacionado com a susceptibilidade à toxicidade de Fe (Baba 1955) citado por Tanaka et al. (1966). Algumas substâncias produzidas em solos inundados tais como  $H_2S$ , ácido butírico, etc., reduzem a atividade metabólica e poder de oxidação das raízes e pode conferir-lhes maior susceptibilidade à toxicidade de Fe.

Tanaka et al. (1966) aplicando solução contendo 75 ppm  $FeSO_4$  com  $^{59}Fe$  (1  $\mu c/10$  ml) ajustado para pH 6,0 em folhas destacadas de plantas de arroz no estágio de iniciação da panícula, constataram através de auto-radiografia, que um dia após a aplicação da solução, o Fe estava mais ou menos uniformemente distribuído na folha, porém 3 dias após ele estava concentrado em pequenas manchas castanhas. Foi concluído dessas observações que

um excesso de Fe nas folhas, desenvolve pequenas manchas castanhas nas mesmas e este sintoma se desenvolve mais rapidamente em folhas mais velhas do que nas jovens.

Trabalhando com solução nutritiva com uma cultivar susceptível e uma tolerante ao bronzeamento submetidas a vários níveis de Fe durante três estádios fisiológicos - vegetativo, reprodutivo e enchimento de grãos, Tanaka et al. (1966) concluíram que: 1o. o bronzeamento não se desenvolve facilmente na fase vegetativa mesmo em plantas com altos teores de Fe (1600 a 2900 ppm Fe na parte aérea) e que estão sofrendo de toxidez, avaliada pela produção de matéria seca; com teores tão baixos quanto 75 ppm de Fe na solução, a produção de matéria seca de ambos cultivares (susceptível e resistente) foi acentuadamente reduzida. Este fato pode estar relacionado com a maior facilidade com que o bronzeamento se desenvolve nas folhas mais velhas. Em plantas com mais de 60 dias de idade, o bronzeamento desenvolve-se com mais facilidade; 2o. com alto Fe nas fases reprodutiva e enchimento de grãos, a cultivar resistente apresentou "amarelecimento" enquanto a susceptível "bronzeamento" quando o teor de Fe no tecido foi maior do que 300 ppm. O bronzeamento só apareceu na cultivar resistente com teores de Fe no tecido em torno de 1500 ppm; 3o. o efeito do teor de Fe na solução sobre o teor de Fe no tecido foi mais marcante nas fases vegetativa e enchimento de grãos do que na reprodutiva; assim, para alcançar teores maiores do que 300 ppm no tecido na fase reprodutiva foram necessários concentrações de 300 ppm ou mais na solução; na fase vegetativa (e provavelmente no enchimento de grão) já com 75 ppm de Fe na solução foram obtidos mais do que

300 ppm no tecido.

Em outro experimento, as plantas da cultivar susceptível submetidas aos níveis de Fe no período vegetativo foram analisadas para N, P, K e Mn. Foi constatado que o aumento no teor de Fe na solução provocou sensíveis decréscimos nos teores de P, K e Mn, mas teve pouco efeito nos teores de N.

Em outro experimento de solução nutritiva com a cultivar Peta submetida a níveis de Fe de 2 a 500 ppm foi observado que em teores de Fe na solução acima de 50 ppm, as raízes estavam castanhas-avermelhadas e a cor castanha tornava-se progressivamente mais intensa com o aumento no teor de Fe na solução.

O conteúdo de Fe nos tecidos aumentou com o aumento do nível de Fe na solução nutritiva. O conteúdo de Fe foi maior nas raízes e aumentou mais marcadamente com o aumento do nível de Fe em comparação com outras partes da planta. As folhas jovens tiveram menores teores de Fe do que as folhas mais velhas, especialmente nos níveis mais altos de Fe na solução. Na raiz, o Fe se concentrou mais nas extremidades das raízes jovens; no restante do corpo da raiz, o Fe estava localizado na superfície, ao contrário das plantas nas quais o Fe estava, também, no interior da raiz. Foi concluído que, quando o nível de Fe na solução é baixo, a maioria do Fe absorvido é transportado para as folhas novas em crescimento; mas quando o nível de Fe é alto, uma grande quantidade é depositada na superfície da raiz e o Fe que entra na planta se acumula nos nós e é mais facilmente translocado para as folhas novas.

Em outro trabalho plantas da cultivar Peta com 40 dias de idade com raízes inteiras, seccionadas à metade e um terço, foram submetidas à vários níveis de Fe de 2 a 400 ppm. Foi observado que quando as raízes foram seccionadas, o poder de depositar Fe na raiz é prejudicado e então o Fe pode entrar na planta mais livremente, e esta torna-se mais susceptível à toxicidade de Fe. Isto indica, possivelmente, que a susceptibilidade à toxicidade de Fe está estritamente relacionado ao poder de oxidação das raízes. Também plantas expostas a altos níveis de Fe contém menos K e Mn, e este distúrbio nutricional pode prejudicar o poder de oxidação das raízes e conduzir a uma maior susceptibilidade à toxicidade de Fe.

A concentração de Fe no meio de cultivo para produzir bronzeamento difere com a idade da planta, variedade e possivelmente com o estado nutricional da planta. Tanaka et al. (1966) quando trabalhando com vários níveis de Fe em solução nutritiva, verificaram que as plantas crescendo nos níveis de 2, 10 e 50 ppm de Fe eram normais, ou seja, não apresentavam nenhum sintoma de toxidez. Em 100 ppm Fe, manchas bronzeadas dispersas começaram a se desenvolver nas folhas mais velhas e as plantas eram fracas. Em 500 ppm Fe, as plantas eram extremamente fracas e continham numerosas manchas bronzeadas nas folhas, especialmente naquelas mais velhas. Foi verificado ainda que acima de 50 ppm Fe, as raízes eram cinza-avermelhadas e a cor cinza tornava-se progressivamente mais intensa com o aumento da concentração de Fe no meio de cultivo. Esses mesmos autores observaram ainda que o conteúdo de Fe nas várias partes da planta aumentava com o aumento do nível de Fe na solução de cultivo,

sendo que o conteúdo de Fe era maior nas raízes e aumentava mais conspicuamente com o aumento do nível de Fe em comparação com as outras partes da planta. Por outro lado, as folhas jovens tinham menos conteúdo de Fe do que as folhas velhas, especialmente nos níveis mais altos de Fe.

### **Mecanismos envolvidos no desenvolvimento de sintomas de toxicidade de ferro**

Segundo Ottow et al. (1982) existem dois mecanismos que tentam explicar a toxicidade de Fe em arroz: 1o. toxicidade de ferro como uma desordem fisiológica indireta; 2o. quebra do mecanismo de exclusão de ferro.

Com respeito a primeira teoria já existem inúmeros trabalhos mostrando que do ponto de vista de toxicidade de Fe, o estresse nutricional múltiplo do solo pode ser considerado como um mecanismo de disparo essencial. Ota & Yamada (1962) citados por Ottow et al. (1982) atribuíram ao sintoma de bronzeamento, como resultante de uma deficiência em Ca (juntamente com a toxicidade de Al), enquanto Inada (1965) e Ota (1968) citados por Ottow et al. (1982) consideraram um baixo suprimento de Mn como o promotor de uma excessiva absorção de Fe. Estudos recentes mostraram, entretanto, que a absorção do Fe pelas plantas de arroz sob condições ácidas (pH baixo) é pouco afetada pela presença ou ausência de Mn. De acordo com outros vários trabalhos, deficiência de K é considerado como um fator essencial governando a tolerância para altas concentrações de  $Fe^{2+}$  no solo. O papel do Ca e K permanece obscuro, desde que plantas sofrendo de

bronzamento podem conter altas quantidades de Fe, Ca e N e baixos níveis de K, Mg e Si (Takijima & Gunewardena 1971). Análises dos solos correspondentes, entretanto, mostraram falta ou deficiência de K, P, Ca, Mg e Si. O P é um dos pré-requisitos essenciais para a toxicidade de Fe, desde que solos com baixo teor de P e K eram tóxicos em Fe mesmo que o nível de  $Fe^{2+}$  fosse tão baixo quanto 30 ppm.

Essas observações sugerem que a toxicidade de Fe pode ser considerada como uma desordem fisiológica indireta induzida por baixos níveis de P, K e Ca antes do que por um influxo excessivo de altas quantidades de Fe móvel num ambiente ácido.

Com relação a segunda teoria, existem vários trabalhos mostrando que, as raízes de arroz, em particular aquelas partes envolvidas na absorção de nutrientes, são efetivamente equipados com um poder de oxidação do Fe e exclusão. Este mecanismo (excreção de  $O_2$  pela peroxidase?) previne a excessiva redução e mobilidade do Fe (e provavelmente Mn) de entrar no espaço livre e citoplasma das células da raiz. Raízes sãs, metabolizando ativamente são cobertas por óxidos e hidróxidos de  $Fe^{+3}$  que formam micropedotúbulos castanhos avermelhados. Plantas com sintomas de toxicidade de Fe apresentam raízes cinza-castanhas ou marrom-escuras, atrofiados no crescimento, escassas e grossas. Observações detalhadas em microscópio revelaram que essas raízes estavam danificadas com a cobertura de óxidos e hidróxidos de  $Fe^{3+}$  parcialmente dissolvida. Raízes mais velhas da parte central são as mais danificadas e negras ( $FeS$  pela redução do sulfato). Essas alterações morfológicas podem ser atribuídas ao

colapso do mecanismo de oxidação do Fe e exclusão na rizosfera.

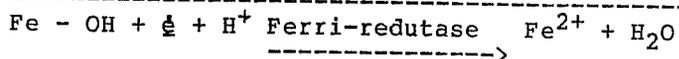
A fim de entender a maneira pela qual as raízes do arroz regulam o excessivo fluxo de massa de Fe solúvel (e Mn), é importante compreender que o poder de oxidação da superfície da raiz é conseguida por um balanço sensível entre a exsudação da raiz e suprimento de  $O_2$  de um lado e a atividade da rizoflora de outro. Fator determinante do último é a permeabilidade da membrana radicular que regula ambos influxo e efluxo (quantidade de exsudatos orgânicos) (Rovira 1969). Plantas insuficientemente supridas com K, P e Ca mostraram alterações dramáticas em seu metabolismo. Em plantas de arroz deficientes em K compostos de baixo peso molecular (tais como açúcares solúveis, amidos e aminoácidos) acumulam em detrimento de outros compostos de alto peso molecular e então vários processos de síntese são retardados pela falta desse elemento. Juntamente com o Ca, K está também envolvido com a permeabilidade da membrana radicular e a falta de ambos elementos é responsável por um aumento na permeabilidade e então aumento na lixiviação metabólica. O distúrbio metabólico é agravado consideravelmente por um suprimento insuficiente de P (essencial para o crescimento da raiz, transferência de energia e vários processos de síntese). Desta maneira, plantas de arroz mostrando "bronzamento" severo e baixos níveis de P, K e Ca exsudam, provavelmente, mais metabólitos de baixo peso molecular do que aquelas bem supridas com esses elementos. Como uma consequência, a densidade e a atividade da rizoflora aumenta, resultando num aumento da respiração (consumo de  $O_2$ ) na superfície da raiz. Sob tais condições as bactérias (facultativas e obrigatórias-anaeróbicas) ligarão os óxidos de

$Fe^{3+}$  e  $Mn^{4+}$  em seus micropedotúbulos imediatamente em sua volta, a fim de continuar suas reações de conservação de energia (Síntese de ATP), como segue:

METABOLISMO (DESIDROGENAÇÃO):

MATERIA ORGÂNICA -----> Produtos metabólicos + ATP +  $H^+$  +  $\frac{1}{2}O_2$   
(doador de H)

$Fe^{3+}$  atuando como acceptor de H (hidrogenação):



O aumento no consumo de  $O_2$  e a dissolução parcial da cobertura protetiva de  $Fe_2O_3$  culmina na quebra do mecanismo de exclusão de Fe permitindo com isso uma excessiva absorção de Fe por fluxo de massa. As raízes esbranquiçadas e danificadas podem deteriorar-se (e tornarem-se enegrecidas pelo FeS) e numerosas raízes adventícias são produzidas na superfície do solo para manter a absorção de nutrientes e evitar altas concentrações de  $Fe^{2+}$ .

A hipótese de toxicidade de Fe como um estresse nutricional múltiplo tem sido confirmado experimentalmente. Howeller (1973) enfatizou que a deficiência de P, K, Ca e Mg seria produzida indiretamente pelo Fe provocando o aparecimento do sintoma de folhas alaranjadas e este tipo de sintoma tem sido observado em níveis variáveis de Fe no solo, em solução de cultivo e nas folhas. Por outro lado, Ottow et al. (1982) trabalhando com duas variedades de arroz (IR 26 e IR 42) tidos como susceptíveis a altas concentrações de Fe no solo, observaram que o

"bronzamento" poderia ser completamente eliminado, se P, K e Ca eram aplicados em combinação.

#### LITERATURA CITADA

- DEVLIN, R.M. Plant Physiology. 2.ed. New York, Van Nostrand Reinhold 1969. 446p.
- GRANICK, S. Enzymatic conversion of s-aminolevulinic acid to porphobilinogen. Science, 120:1105, 1954.
- HOWELLER, R.H. Iron induced oranging disease of rice in relation to physico-Chemical changes in a flooded oxisol. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 37(6):898-903, 1973.
- KRAUSKOPF, K.B. Geochemistry of micronutrients. In: MONTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L., ed. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.7-36.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição de plantas. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.
- MONTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. 666p.

- NASON, A.G. & McELROY, W.D. Modes of action of the essential mineral elements. In: STEWARD, F.C., ed. Plant physiology. New York, Academic Press, 1963. v.3.
- OTTOW, J.C.G.; BENCKISER, G.; WATANABE, I. Iron toxicity of rice as a multiple nutritional soil stress. In: SYMPOSIUM ON TROPICAL AGRICULTURE RESEARCH, Tsukuba, Japan, 1982. Proceedings. s.n.t.
- PONNAMPERUMA, F.N. Specific soil chemical characteristics for rice production in Asia. Manila, IRRI, 1977, 18p. (IRRI. Research Paper Series, 2).
- ROVIRA, A.D. Plant root excedates: Bot. Rev., 35:35-7, 1969.
- TAKIJIMA, Y. & GUNWARDENA, S.D.I.E. Nutrient deficiency and physiological disease of lowland rice in ceylon. Trop. Agriculturist, 126:133-43, 1971.
- TANAKA, A.; LOE, R.; NAVASERO, S.A. Some mechanisms involved in the development of iron toxicity in the rice plant. Soil Sci. Plant. Nutr., 12(4):158-64, 1966.

PARTE III

RESULTADOS DE PESQUISA

Efeitos do Fe na absorção de nutrientes, práticas de manejo e  
avaliação de cultivares de arroz para tolerância a Fe

Nand Kumar Fageria  
MorelPereiraBarbosa Filho  
Paulo Hideo Nakano Rangel  
Veridiano dos Anjos Cutrim

**Introdução**

Desde 1979 o CNPAF tem-se preocupado com o problema de toxidez de Fe em arroz irrigado. O Fe é um nutriente essencial que, a baixas concentrações promove o crescimento da planta. Entretanto, excesso de Fe solúvel retarda o crescimento. No Brasil, a toxidez de Fe já foi constatada nos estados de Minas Geais (Muriaé, Leopoldina, Cambuquira), Santa Catarina, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Pará (Projeto Jari), Rio Grande do Sul e em menor intensidade no Estado de Goiás. Com o incentivo que o Governo e, conseqüentemente, o Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF), pretende dar ao cultivo de arroz irrigado, faz-se necessário entender as razões principais da toxidez de Fe e buscar soluções para o problema.

**Resultados**

A seguir são apresentados e discutidos resumidamente alguns resultados obtidos em três experimentos conduzidos no CNPAF.

Observa-se na Tabela 1 que a toxidez de Fe iniciou a partir

de 80 ppm, reduzindo significativamente o crescimento do arroz a concentrações de 80 e 160 ppm, quando comparadas com outras concentrações. A mínima concentração de Fe na solução nutritiva para um crescimento ótimo da planta foi de 2,5 ppm. Neste estudo, os sintomas de bronzeamento apareceram em concentração de 160 ppm de Fe.

Com base no teor de Fe e na produção de matéria seca, medidos aos 20 e 40 dias de crescimento da planta, foi possível determinar os níveis críticos superiores da absorção de Fe (Fig. 1). Estes níveis foram avaliados com auxílio da curva, o que possibilitou definir o limite de toxidez para o arroz. Tomando-se como limite crítico superior 90% da produção máxima, encontrou-se que os níveis tóxicos de Fe aos 20 e 40 dias de idade foram 680 e 850 ppm, respectivamente. Os resultados sugerem, ainda, que com o aumento da idade das plantas, ocorre também uma maior resistência à toxidez de Fe.

A absorção de P, K, Ca e Mg decresceu quando aumentou a concentração de Fe na solução (Fig. 2, 3, 4 e 5). Isto ocorre porque o excesso de Fe, bloqueia a absorção de nutrientes através da camada de óxido férrico que se forma no sistema radicular. Em solos de baixa fertilidade, principalmente como baixos teores de K e P, aparentemente é maior o efeito tóxico do Fe, em virtude do decréscimo da capacidade de oxidação das raízes. A oxidação que ocorre nas raízes é importante porque causa precipitação da planta do  $Fe^{++}$ , diminuindo, assim, a absorção de  $Fe^{++}$  presente em altas concentrações na zona radicular.

Sabe-se por outro lado, por trabalhos conduzidos em outros países, que o manejo da água e a prática da calagem ocasionando

uma variação do pH, podem reduzir a disponibilidade de Fe para as plantas. Portanto, com o objetivo de avaliar os efeitos de práticas de manejo de água e de calagem sobre a produtividade de arroz, toxidez de Fe e absorção de nutrientes, foi conduzido um experimento, utilizando-se dois solos de várzea da zona da Mata de Minas Gerais, denominados de SM (Solo de Muriaé) e SL (Solo de Leopoldina), respectivamente.

Observou-se que a inundação do solo não afetou a produção de grãos no solo SL, enquanto que no solo SM a produção foi severamente reduzida, em comparação com o solo mantido em condições aeróbicas. A baixa produção no solo SM foi devida a elevada concentração de Fe, em solução, causada pelas condições de redução que se desenvolvem quando o solo é inundado.

A análise foliar das plantas de arroz mostrou que as relações dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e dos micronutrientes Zn, Cu, Mn com Fe foram muito maiores no solo SL do que no solo SM, o que caracteriza o efeito do excesso de Fe na absorção dos nutrientes e no crescimento das plantas. No tratamento em que os solos não foram inundados aquelas relações foram semelhantes, o que se refletiu na produção de grãos dos dois solos. Isto indica que a relação entre macro e micronutrientes e o teor de Fe na parte aérea das plantas é mais importante do que a quantidade absoluta de Fe no tecido e que o nível tóxico de Fe depende do balanço nutricional da planta.

Outra possibilidade existente para amenizar a toxidez de Fe, é a seleção de cultivares tolerantes a concentrações altas de Fe na solução do solo. Esta é uma opção válida, que está sendo

explorada, com esse objetivo, foram conduzidos dois experimentos em solução nutritiva. No primeiro foram avaliadas 9 cultivares e no segundo 106.

Houve uma redução no peso de matéria seca das raízes e parte aérea com o aumento da concentração de Fe na solução, sendo variável de cultivar para cultivar, como era de se esperar (Tabelas 2 e 3). Esta redução foi significativa em concentrações acima de 20 ppm de Fe. Sob concentração de 100 ppm de Fe, a cultivar BG 90-2 produziu o maior peso de matéria seca das raízes e parte aérea, e a IR 26, o menor.

Pela Figura 6, observa-se para as duas cultivares que 80% da redução do peso de matéria seca ocorreu a diferentes concentrações de Fe. Para a BG 90-2, essa redução ocorreu com 55 ppm e para a IR 26, com 45 ppm de Fe na solução nutritiva. Observe também a maior diferença de produção das cultivares tolerante e sensível, começou acima de 40 ppm de Fe, sendo a maior diferença verificada acima de 60 ppr. Isto significa que, na avaliação de cultivares de arroz para tolerância à toxidez de Fe, os níveis abaixo de 40 ppm podem ser considerados baixos, e, altos acima de 60 ppm.

Ainda, observou-se que a parte aérea foi mais afetada pelas altas concentrações de Fe do que as raízes (Figuras 7 e 8). Isto indica que a parte aérea do arroz é mais sensível à toxidez de Fe do que as raízes, e pode ser considerado melhor parâmetro para avaliação de cultivares para toxidez de Fe.

Com base na redução de matéria seca da parte aérea, as cultivares foram classificadas de acordo com a sua tolerância a altos níveis de Fe (Tabela 4), da seguinte maneira: de 0-20%

de redução, tolerantes; de 21-40%, moderadamente tolerantes; de 41-60%, moderadamente sensíveis; e > 60%, sensíveis. A redução foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{Redução do peso da mat. seca da P.A.} = \frac{\text{Produção com 2 ou 2,5 ppm Fe} - \text{Produção com altos níveis de Fe}}{\text{Produção com 2 ou 2,5 ppm de Fe}}$$

Observou-se grandes diferenças entre cultivares quanto a tolerância à toxidez de Fe. Em geral, a toxidez está associada com a absorção e translocação de Fe das raízes para a parte aérea, que por sua vez, está relacionada com a capacidade de oxidação das raízes e a presença de altos teores de P, K, Ca, Mg e Mn.

### Conclusões

1. A concentração mínima para o crescimento do arroz foi de 2,5 ppm de Fe na solução nutritiva.
2. O crescimento do arroz foi severamente reduzido quando a concentração de Fe em solução nutritiva foi maior que 80 ppm, com observação de sintomas de bronzeamento das folhas.
3. Os níveis críticos de toxidez de Fe, na parte aérea do arroz, aos 20 e 40 dias de idade, foram 680 e 850 ppm, respectivamente.
4. A absorção de P, K, Ca e Mg decresceu com o aumento na concentração de Fe no meio de crescimento.
5. O rendimento de grãos e seus componentes cultivados no solo de Muriaé (SM), foram significativamente menores do que no

- solo de Leopoldina (SL). Este fato foi atribuído à alta toxidez de Fe naquele solo (SM).
6. A severidade da toxidez de Fe está associada aos teores de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de arroz.
  7. O efeito da toxidez de Fe na parte aérea do arroz é maior do que nas raízes, indicando que o peso da matéria seca da parte aérea é o melhor parâmetro para a avaliação de cultivares de arroz para tolerância à toxidez de Fe.
  8. Os níveis baixos e altos de Fe em solução nutritiva que permitem diferenciar cultivares tolerantes e sensíveis à toxidez de Fe, foram considerados, respectivamente, abaixo de 40 ppm e acima de 60 ppm.

#### LITERATURA CITADA

- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Manejo d'água e calagem em relação à produtividade e toxicidade de ferro em arroz. *Pesq. agrop. bras.*, Brasília, 18(8):903-10, 1983.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; CARVALHO, J.R.P. Influência de ferro no crescimento e na absorção de P, K, Ca e Mg pela planta de arroz em solução nutritiva. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 16(4):483-8, 1981.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; CARVALHO, J.R.P.; RANGEL, P.H.N.; CUTRIM, V.A. Avaliação preliminar de cultivares de arroz para tolerância à toxidez de ferro. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 19(10):1271-8, 1984.

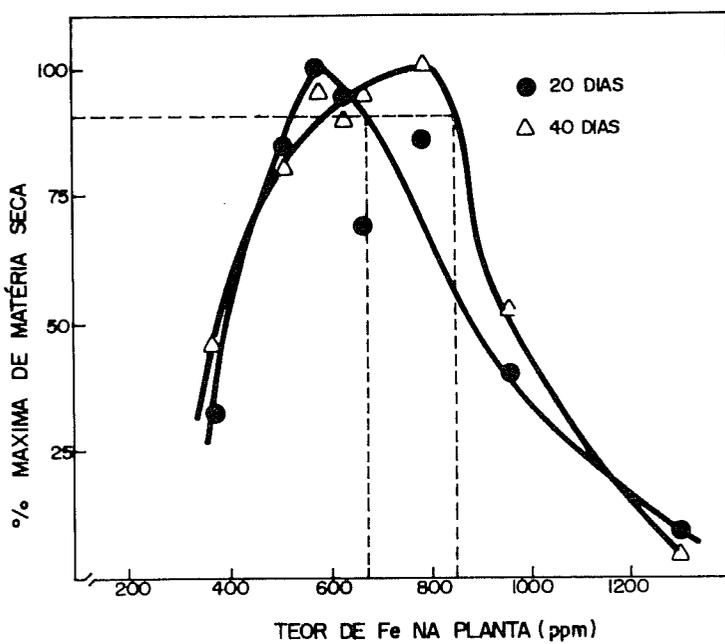


Fig. 1. Relação entre produção de matéria seca e teor de ferro na planta (Fageria et al. 1981).

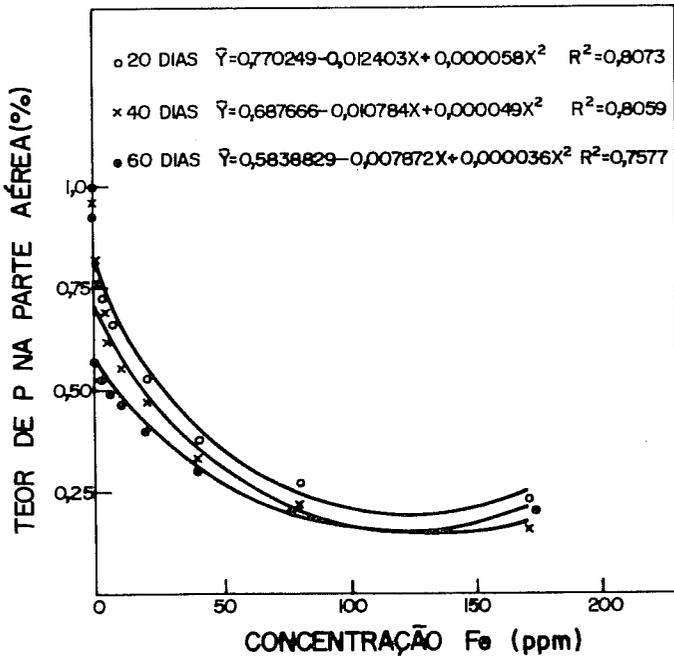


Fig. 2. Efeito de concentrações de Fe sobre o teor de P na parte aérea (Fageria et al. 1981).

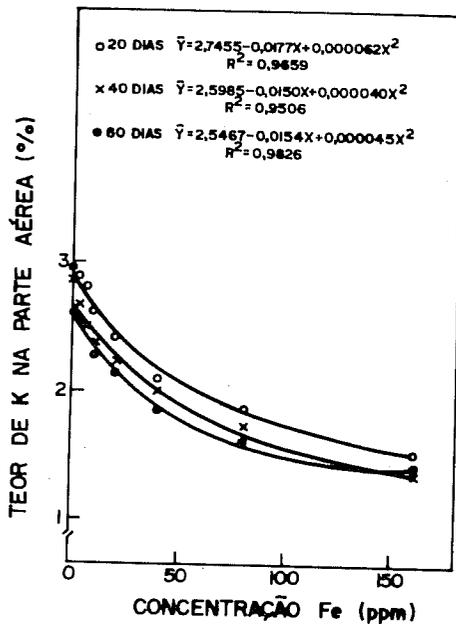


Fig. 3. Efeito de concentrações de Fe sobre o teor de K na parte aérea (Fageria et al. 1981).

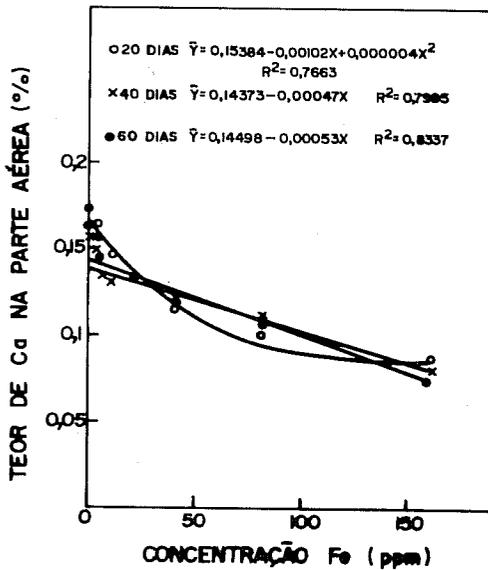


Fig. 4. Efeito de concentrações de Fe sobre o teor de Ca na parte aérea (Fageria et al. 1981).

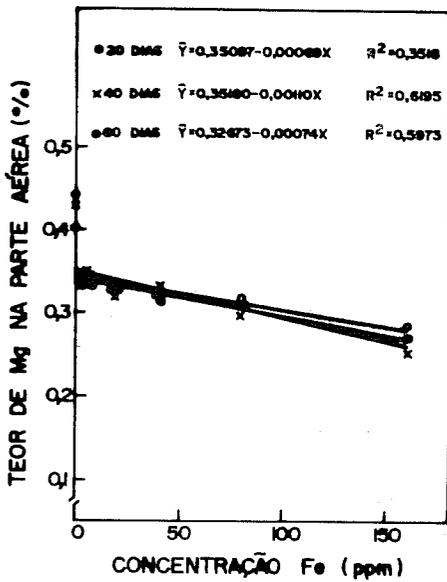


Fig. 5. Efeito de concentrações de Fe sobre o teor de Mg na parte aérea (Fageria et al. 1981).

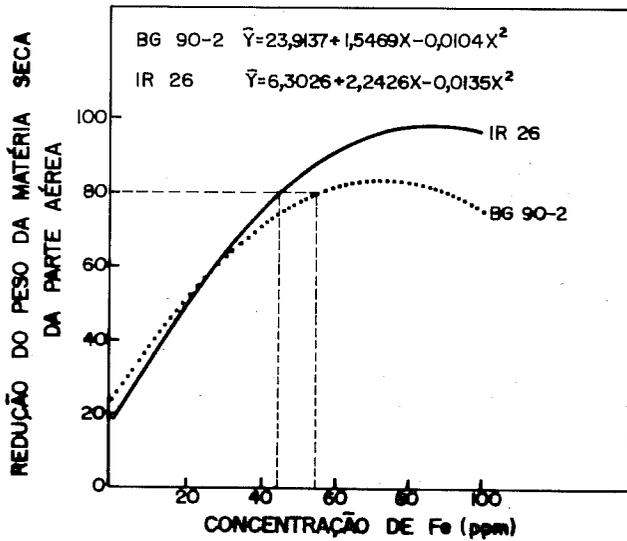


Fig. 6. Relação entre a redução de matéria seca da parte aérea e das raízes de média de 106 cultivares de arroz e as concentrações de ferro na solução nutritiva (Fageria et al. 1984).

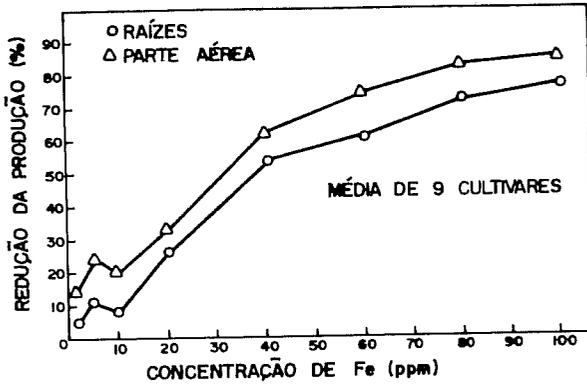


Fig. 7. Relação entre a redução de matéria seca da parte aérea e das raízes de média de nove cultivares de arroz e as concentrações de ferro na solução nutritiva (Fageria et al. 1984).

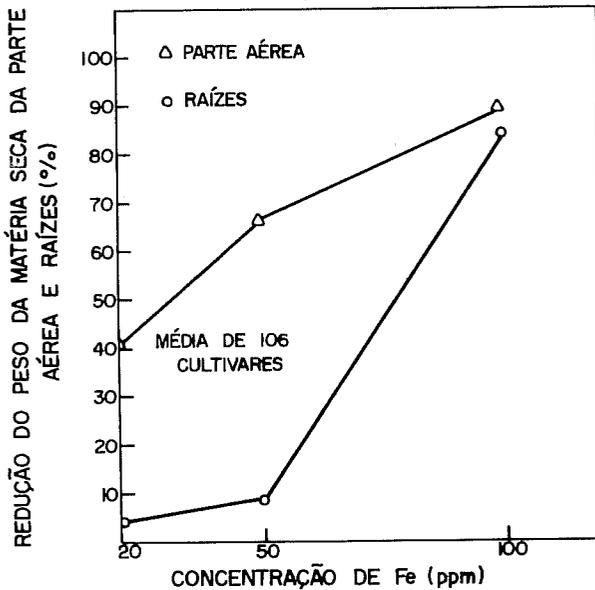


Fig. 8. Relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a concentração de ferro na solução nutritiva (Fageria et al. 1984).

Tabela 1. Influência de Fe na altura, peso da parte aérea e raiz.

Concentração de Fe (ppm)	Altura da planta (cm)		Peso seco da parte aérea (g/12 plantas)		Peso seco da raiz (g/12 plantas)				
	20*	60*	20*	40*	20*	40*			
	20*	60*	20*	40*	20*	40*			
0,0	28	62	61	2,02	0,81	33,27	0,39	1,38	7,69
2,5	46	71	97	5,28	17,03	82,88	1,10	2,62	14,30
5,0	52	72	108	6,26	20,52	70,67	1,50	3,24	12,63
10,0	50	74	111	5,88	19,33	75,74	1,20	2,43	12,86
20,0	44	82	112	4,24	20,38	68,29	0,99	3,62	14,22
40,0	46	81	110	5,30	21,62	70,83	1,33	4,64	14,88
80,0	38	68	83	2,47	11,09	38,77	0,87	2,17	9,65
160,0	18	20	36	0,52	0,72	2,03	0,15	0,26	1,41
C.V. (%)	7,35	6,99	11,73	16,58	17,28	16,42	12,69	18,82	19,49

\*Dias após transplantio.

Tabela 2. Peso da matéria seca das raízes sob diferentes concentrações de ferro.

Cultivar	Concentração de Fe (ppm)								
	0,5	2,0	5,0	10,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,00
BG 90-2	1,10	0,80	0,75	0,69	0,63	0,59	0,45	0,34	0,43
Suvale 1	1,05	0,89	0,67	0,67	0,79	0,48	0,44	0,16	0,26
Paga Divida	0,73	0,75	0,94	1,13	0,60	0,43	0,39	0,39	0,13
IAC 899	0,59	0,60	0,46	0,74	0,49	0,23	0,09	0,13	0,13
CICA 8	0,62	0,55	0,72	0,64	0,54	0,21	0,08	0,05	0,10
Bluebelle	0,53	0,73	0,61	0,60	0,38	0,33	0,32	0,24	0,11
IR 36	0,38	0,37	0,24	0,25	0,14	0,08	0,15	0,08	0,06
IR 22	0,21	0,29	0,23	0,23	0,29	0,11	0,07	0,08	0,04
IR 26	0,28	0,27	0,24	0,19	0,20	0,05	0,04	0,04	0,02

g/4 plantas

**Tabela 3. Peso da matéria seca da parte aérea sob diferentes concentrações de ferro.**

Cultivar	Concentração de Fe (ppm)								
	0,5	2,0	5,0	10,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,00
BG 90-2	6,86	4,50	3,98	3,48	3,27	2,47	1,50	1,36	1,58
Suvale 1	7,07	5,88	4,12	3,40	4,35	2,12	1,78	0,63	1,01
Paga Divida	4,40	4,66	4,82	6,11	3,54	2,35	1,68	1,48	0,51
IAC 899	3,64	2,97	2,41	2,54	2,88	1,24	0,34	0,61	0,51
CICA 8	3,94	3,17	3,93	4,37	3,24	1,21	0,39	0,18	0,46
Bluebelle	2,28	2,00	2,10	2,21	1,53	1,44	1,19	0,76	0,37
IR 36	1,92	1,85	1,28	1,39	0,86	0,40	0,58	0,26	0,19
IR 22	1,17	1,46	1,15	1,41	1,44	0,67	0,25	0,19	0,01
IR 26	1,06	1,26	0,79	1,23	0,67	0,18	0,15	0,05	0,04

g/4 plantas

Tabela 4. Influência do ferro no peso da matéria seca da parte aérea da cultivar de arroz e sua classificação para tolerância à toxidez de ferro.

Cultivar/Linhagem	Concentração de Fe (ppm)						
	2,5	20	40	100	20	40	100
	Classificação						
	g/4 plantas						
CNA 806534-V	5,75	4,94	2,80	0,73	T	MS	S
CNA 806531-V	3,58	3,33	1,49	0,31	T	MS	S
CNA 806842-V	5,48	4,83	2,25	0,56	T	MS	S
CNAx 312-24	3,98	3,63	1,76	0,39	T	MS	S
CNAx 296-27	3,78	3,24	1,23	1,05	T	S	S
CNAx 247-3	4,54	4,07	2,62	1,03	T	MS	S
CNA 810102-V	4,46	3,63	2,21	0,33	T	MS	S
CNA 810110-V	3,54	3,38	1,83	0,65	T	MS	S
CNA 810092	2,41	2,10	1,11	0,18	T	MS	S
CNA 810182-V	2,52	2,83	0,94	0,82	T	S	S
CNA 806572-V	3,13	2,65	0,97	0,67	T	S	S
CNA 806577-V	3,28	3,23	1,22	0,35	T	S	S
CNA 810174-V	3,63	2,43	2,25	0,34	MT	MT	S
CNAx 249-1	3,41	2,31	1,71	0,54	MT	MS	S
CNA 810103-V	4,67	3,37	1,91	0,51	MT	MS	S
CNA 810113-V	3,26	2,29	1,39	0,39	MT	MS	S
CNA 810176-V	4,94	3,22	2,22	0,61	MT	MS	S
CNA 809018	3,61	2,56	1,56	1,06	MT	MS	S
CNA 809184	3,61	2,32	1,51	0,58			
CNA 810223-V	5,54	2,82	2,12	0,89	MS	S	S
CNA 810224-V	6,33	2,76	1,45	0,92	MS	S	S
CNA 810294-V	3,08	1,27	0,81	0,57	MS	S	S
CNA 810295-V	5,26	2,52	1,15	0,48	MS	S	S
CNA 810296-V	5,49	2,34	1,01	0,46	MS	S	S
CNA 810297-V	3,18	1,57	1,08	0,53	MS	S	S
CNA 810298-V	3,39	1,93	0,98	0,65	MS	S	S
CNA 810300-V	3,32	1,69	1,23	0,59	MS	S	S
CNAx 252	5,53	2,60	1,79	0,27	MS	S	S
CNAx 294-4	5,96	3,11	1,66	0,53	MS	S	S
CNAx 294-5	3,72	2,12	0,96	1,11	MS	S	S
CNAx 345	4,34	1,98	1,03	1,65	MS	S	S
CNA 808862	3,78	2,23	1,22	0,86	MS	S	S
CNA 808861	4,80	2,55	1,49	0,41	MS	S	S
CNA 808867	4,83	2,19	1,51	0,86	MS	S	S
CNA 808868	3,92	2,02	1,14	0,62	MS	S	S
CNA 809007	6,57	3,18	1,50	0,77	MS	S	S
CNA 809011	4,59	2,20	2,31	0,60	MS	S	S
CNA 809034	3,47	1,94	1,37	0,51	MS	S	S
CNA 809051	5,59	2,92	1,36	0,25	MS	S	S
CNA 809094	4,93	2,12	1,08	0,67	MS	S	S
CNA 809111	5,24	2,25	1,13	0,65	MS	S	S
CNA 809186	3,61	2,12	1,61	0,25	MS	S	S

Cont. Tabela 4.

Cultivar/Linhagem	Concentração de Fe (ppm)					Classificação		
	2,5	20	40	100	20	40	100	
	g/4 plantas							
CNA 809250	4,20	2,34	0,84	0,28	MS	S	S	
CNA 809282	6,36	3,32	1,89	0,85	MS	S	S	
CNA 810078	4,07	1,94	0,99	0,29	MS	S	S	
CNA 810079	3,57	1,90	1,14	0,34	MS	S	S	
CNA 810081	3,68	1,65	1,04	0,25	MS	S	S	
CNA 810087	3,57	2,01	0,91	0,18	MS	S	S	
CNA 810090	3,23	1,53	1,12	0,25	MS	S	S	
CNA 810091	4,46	2,95	1,17	0,29	MS	S	S	
CNA 810094	4,26	2,03	1,40	0,39	MS	S	S	
CNA 810099	4,11	1,73	1,04	0,19	MS	S	S	
CNA 810116	4,53	1,85	0,90	0,23	MS	S	S	
CNA 810176	4,70	2,30	1,07	0,16	MS	S	S	
CNA 810225-V	4,81	1,87	0,78	0,50	S	S	S	
CNA 809079	3,74	1,35	1,04	0,78	S	S	S	
CNA 810082	4,01	1,25	0,97	0,18	S	S	S	
CN 810179-V	8,82	3,40	1,64	0,61	S	S	S	
CNA 809260	3,75	2,53	1,57	0,64	MT	MS	S	
CNA 810093	3,56	2,60	1,43	0,20	MT	MS	S	
CNA 806551-V	5,81	3,50	1,66	0,28	MT	S	S	
CNA 806536-V	7,11	4,29	1,48	0,64	MT	S	S	
CNA 806533-V	4,93	3,42	1,07	0,36	MT	S	S	
CNA 806537-V	5,28	3,71	1,74	0,44	MT	S	S	
CNA 806800-V	5,80	4,22	1,89	0,41	MT	S	S	
CNAx 295-21	5,19	3,32	1,74	0,43	MT	S	S	
CNAx 312-25	4,71	1,97	1,30	0,78	MT	S	S	
CNAx 295-22	4,18	2,90	1,58	0,68	MT	S	S	
CNA 810097-V	5,79	3,58	1,87	0,31	MT	S	S	
CNA 810105-V	5,14	4,01	1,92	0,76	MT	S	S	
CNA 810106-V	4,80	3,78	1,75	0,52	MT	S	S	
CNA 810221-V	4,46	3,39	1,20	0,47	MT	S	S	
CNA 808885	3,59	2,22	1,0	0,62	MT	S	S	
CNA 808951	5,56	3,46	1,86	0,79	MT	S	S	
CNA 808966	4,99	3,23	1,68	1,65	MT	S	S	
CNA 809118	3,84	2,47	0,92	0,22	MT	S	S	
CNA 809174	5,74	4,21	2,12	0,53	MT	S	S	
CNA 809179	2,84	1,71	0,82	0,16	MT	S	S	
CNA 809183	4,24	3,23	1,40	0,36	MT	S	S	
CNA 809226	1,63	1,10	0,39	0,13	MT	S	S	
CNA 810077	3,24	1,94	0,96	0,23	MT	S	S	
CNA 810088	3,51	2,68	1,33	0,28	MT	S	S	
CNA 820089	4,42	2,95	1,26	0,18	MT	S	S	
CNA 810095	3,19	2,21	1,02	0,29	MT	S	S	
CNA 810096	3,53	2,55	1,29	0,23	MT	S	S	
CNA 810107	3,34	2,33	0,94	0,23	MT	S	S	

Cont. Tabela 4.

Cultivar/Linhagem	Concentração de Fe (ppm)					Classificação	
	2,5	20	40	100	20		40
	g/4 plantas						
CNA 810122	3,29	2,33	1,22	0,27	MT	S	S
CNA 806793-V	4,94	2,93	2,52	0,53	MS	MS	S
CNA 810104-V	5,98	3,46	2,74	1,04	MS	MS	S
CNA 810175-V	6,12	3,60	2,56	0,48	MS	MS	S
CNA 810291-V	2,60	1,26	1,05	0,72	MS	MS	S
CNA 808960	3,70	1,83	1,52	1,06	MS	MS	S
CNA 806674-V	5,01	2,64	1,14	0,25	MS	S	S
CNA 806530-V	8,28	3,86	1,67	0,42	MS	S	S
CNA 806335-V	7,71	3,22	1,45	0,30	MS	S	S
CNA 806524-V	6,97	4,09	1,94	1,27	MS	S	S
CNA 806830-V	4,22	2,44	1,22	0,68	MS	S	S
CNAX 295-15	6,65	3,45	2,40	0,46	MS	S	S
CNAX 294-2	7,73	3,35	1,94	0,86	MS	S	S
CNAX 294-1	6,30	3,72	2,18	0,74	MS	S	S
CNA 810114-V	4,98	2,40	1,94	0,35	MS	S	S
CNA 810188-V	4,36	1,77	0,95	0,52	MS	S	S
CNA 810197-V	3,47	1,58	0,93	0,15	MS	S	S
CNA 810198-V	3,26	1,33	0,90	0,41	MS	S	S
CNA 810208-V	3,38	1,52	0,74	0,26	MS	S	S
CNA 810212-V	5,02	2,25	1,03	0,38	MS	S	S

## Introdução

Até a década de sessenta, as desordens nutricionais causadas por alguns micronutrientes e que ainda ocorrem com frequência em arroz irrigado, eram denominadas simplesmente de "doenças fisiológicas", porque os pesquisadores desconheciam as causas desses problemas. Somente depois de observarem que a eliminação do ar do solo pela água de irrigação estava relacionada a certos compostos reduzidos no solo, tais desordens nutricionais passaram a ser melhor entendidas, sendo, então, atribuídas a altas concentrações de íons solúveis de Fe e Mn e a certos produtos da respiração anaeróbica, como ácidos orgânicos e  $H_2S$ .

Quando um campo de arroz é inundado, o equilíbrio químico e biológico do solo é bastante alterado, e após um certo período mantido em submersão, um novo equilíbrio é alcançado. Observa-se, a princípio, um grande consumo de oxigênio pelos microorganismos e uma queda do potencial redox, atingindo, geralmente, valores abaixo de 0,2V a pH 7, quando então o  $Fe^{+++}$  reduz-se a  $Fe^{++}$  (Ponnamperuma 1975).

Nas condições de solos submersos, o comportamento do C, N, S, Fe e Mn geralmente segue como mostrado na Tabela 1. Quando o arroz é drenado antes da colheita, os potenciais redox aumentam, as concentrações de  $Fe^{++}$  e  $Mn^{++}$  diminuem e o N, S e C oxidam. Quando o solo é inundado novamente, as reações se revertem.

Depois que os microorganismos utilizam o  $O_2$  e  $NO_3^-$  dissolvidos na solução do solo, passam a utilizar como fonte de elétrons, os compostos de  $Fe^{+++}$ ,  $Mn^{+++}$  e  $Mn^{++++}$ . O  $Fe^{++}$  solúvel é necessário ao bom desenvolvimento do arroz, porém em solos ácidos sua concentração pode atingir um nível tóxico para o arroz. Em geral a concentração de  $Fe^{++}$  na solução do solo é baixa, e raramente ultrapassa 0,1 ppm. Mas como as quantidades de  $Fe^{++}$  na fase sólida do solo são geralmente grandes, a concentração na solução do solo pode alcançar a faixa de centenas de ppm, provocando toxicidade às plantas. Este efeito nocivo é ainda maior quando o solo possui altos teores de matéria orgânica.

Em um solo bem drenado os principais produtos formados pela decomposição da matéria orgânica são:  $CO_2$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{--}$  e húmus; em solos submersos, os principais são:  $CO_2$ ,  $H^+$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ , ácidos orgânicos,  $H_2S$  e outros resíduos parcialmente humificados. Portanto, a diferença mais drástica entre a decomposição anaeróbica e aeróbica da matéria orgânica está na natureza dos produtos finais.

A dinâmica de transformação do  $Fe^{++}$  segue uma curva aproximadamente assintótica. A concentração de  $Fe^{++}$  na solução do solo aumenta com o tempo de submersão, alcança um máximo e depois cai até atingir um nível de estabilização, que persiste por vários meses (Fig. 1). O comportamento dessa curva que descreve a taxa de formação de  $Fe$  solúvel em água depende do pH, do teor de matéria orgânica do solo, da temperatura, da natureza e teor de óxidos de ferro e do grau de cristalinidade dos óxidos.

Quanto mais baixo for o grau de cristalinidade, maior será a percentagem de redução. Dependendo desses fatores, 5 a 50% dos óxidos de ferro livre presente no solo pode ser reduzido dentro de poucas semanas de submersão (Ponnamperuma 1972).

A redução dos óxidos hidratados de  $Fe^{+++}$  tem importantes consequências químicas: (a) a concentração de Fe solúvel em água aumenta; (b) há um aumento de pH; (c) cátions são deslocados dos sítios de troca pelo Fe e Mn; (d) aumenta a solubilidade do P e da sílica; e (e) novos minerais são formados. Tais reações de redução tem influência sobre as propriedades químicas do solo, o que altera a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

#### **Parâmetros relacionados com a fertilidade de solos submersos**

Duas características ou processos físico-químicos, entre outros, que controlam a fertilidade em solos submersos são o pH e o potencial redox (Eh).

O efeito total da submersão é aumentar o pH de solos ácidos e diminuir o pH de solos sódicos e calcários. Assim, a submersão converge os valores de pH de solos ácidos (exceto aqueles baixos em ferro) e solos alcalinos para valores em torno de 6,0 a 6,5 (Fig. 2). O valor de pH influencia profundamente o equilíbrio de hidróxidos, carbonatos, sulfatos, fosfatos e silicatos em solos submersos. Este equilíbrio regula a precipitação e dissolução de sólidos, adsorção e a concentração de íons (Ponnamperuma 1972). Por exemplo, o aumento em pH de solos ácidos beneficia o arroz irrigado por submersão contínua porque elimina a toxidez de Al, e aumenta a disponibilidade de P e de outros nutrientes (Moraes &

Freire 1974).

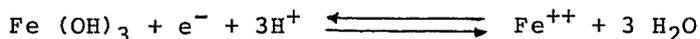
O potencial redox (Eh), é talvez a característica físico-química mais importante que controla as características químicas e bioquímicas dos solos inundados (Ponnamperuma 1977). Eh ou o pE (logaritmo na base 10 da atividade elétrica, igual a  $eH/0,0592$ ), mede a intensidade de oxidação ou redução. Valores positivos e altos de Eh e pE indicam condições de oxidação e negativos e baixos indicam condições de redução (Tabela 1 e Fig. 3).

A variação do Eh tem sido importante nos solos submetidos à inundação contínua. As vantagens dessa variação do Eh são aumento no suprimento de N, P, K, Fe, Mn e Mo e diminuição dos efeitos tóxicos de Mn e Al. As desvantagens são as perdas de N pela desnitrificação, diminuição da disponibilidade de  $SO_4^{2-}$ , Cu e Zn, e produção de substâncias tóxicas ou que interferem na absorção de nutrientes pelas plantas.

Durante o tempo em que o arroz permanece nas condições aeróbicas, acredita-se que o P precipita nas formas de fosfatos de Fe e Al. Nas condições subsequentes de inundação, os fosfatos de Fe e Al são reduzidos a fosfatos de Fe e Al mais solúveis. Esta redução pode acontecer mesmo em solos com alta disponibilidade de P. Pode acontecer, portanto, que em solos aeróbicos de várzeas, aparentemente ricos em P, tenha baixa capacidade de suprimento de P às plantas, devido o fosfato de Fe estar na forma insolúvel.

Como em solos anaeróbicos o processo de redução é favorecido, o  $Fe^{+++}$  passa para  $Fe^{++}$  e o equilíbrio da reação

abaixo é desfavorável ao  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , ao contrário do que ocorre em solos bem arejados.



Desta reação de redução e também de outras que ocorrem no solo, é evidente que envolve o consumo de  $\text{H}^+$ . Isto significa um aumento na concentração de  $\text{OH}^-$  e conseqüentemente do pH.

Em solos submetidos a condições anaeróbicas a taxa de atividade de  $\text{Fe}^{+++}/\text{Fe}^{++}$  pode ser um importante parâmetro em relação a toxicidade de Fe em arroz irrigado. De acordo com Mengel & Kirkby (1978), este parâmetro pode ser avaliado através do potencial redox, seguindo a equação de Nernst simplificada:

$$E = 0,77 + 0,059 \log. \frac{[\text{Fe}^{+++}]}{[\text{Fe}^{++}]}$$

Os valores de potencial redox variam ao longo do perfil. Em camadas mais profundas do solo, que são menos arejadas, a fração de  $\text{Fe}^{++}$  em relação ao total é mais alta do que nos horizontes superficiais. Dessa forma, espera-se valores menores de potencial redox nas camadas mais profundas.

O nível tóxico de Fe na planta de arroz é bastante amplo e, varia de 50 a 1.680 ppm (De & Mandal 1957, Ishizuka 1961), dependendo do solo, cultivar, critério usado para avaliação da toxicidade, estágio de desenvolvimento da planta e de fatores climáticos como temperatura e radiação solar. Segundo Ottow et al. (1982) a toxicidade de Fe pode estar diretamente relacionada com a absorção excessiva desse elemento pela planta, o que lhe danifica as células (toxicidade direta), ou, indiretamente,

inibindo a absorção de outros nutrientes (toxicidade indireta).

A capacidade de oxidação da raiz do arroz é considerada uma adaptação fisiológica importante que permite seu crescimento em condições de solo reduzido, porque causa a precipitação de Fe da rizosfera e, conseqüentemente, reduz a absorção de Fe e de outros elementos encontrados em quantidades tóxicas no solo (Tadano 1975, Jayawardena et al. 1977). A zona oxidada que se desenvolve na rizosfera do arroz funciona, dessa forma, como um meio de proteção contra elementos tóxicos tais como  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$  e sulfetos (Fig. 4).

Tanaka et al. (1966) encontraram grandes quantidades de Fe depositados na superfície e na epiderme das raízes do arroz, sem, no entanto, determinar a natureza química e mineralógica desta camada de óxido de ferro que se formou nas raízes. Este estudo foi realizado por Bacha & Hossner (1977) e concluíram que pela ocorrência sistemática de um pico na análise de difração de Raios-X a  $6,26 \text{ \AA}$ , tratava-se de lipidocrocita ( $\alpha - FeOOH$ ).

## Sintomas

Inicialmente, os sintomas consistem de uma descoloração das folhas que pode variar de laranja pálido a alaranjado escuro. As vezes, quando a toxicidade é intensa, as folhas velhas mostram manchas de coloração parda e em seguida uma coloração parda arroxeada e, finalmente, secam e morrem. Nota-se, também, um atrofiamento das plantas e um número reduzido de perfilhos. As raízes são poucas, curtas e grossas, geralmente cobertas por uma

camada de óxido de ferro.

Segundo Ponnampertuma (1975), estes sintomas aparecem quando a concentração de  $Fe^{++}$  na solução do solo excede a 350 ppm. Os sintomas podem variar de acordo com a cultivar e o nível de fertilidade do solo, principalmente quanto ao teor de K, P e o nível de saturação de bases.

Em síntese, os sintomas de toxicidade de  $Fe^{++}$  consistem de: (a) crescimento e desenvolvimento reduzido; (b) baixo perfilhamento; (c) folhas amareladas; (d) secamento total das folhas em concentrações muito altas de  $Fe^{++}$ ; (e) raízes curtas, grossas e pouco ramificadas; e (f) raízes de coloração avermelhada.

### **Controle da disponibilidade de $Fe^{++}$ em solos submersos**

Atualmente, admite-se que a toxicidade de  $Fe^{++}$  é um dos fatores limitantes do rendimento do arroz irrigado no Brasil. Este problema tem sido encontrado nos estados do RS, SC, RJ, ES, MG e, em menor intensidade, no Estado de Goiás. Em solos que apresentam toxicidade de  $Fe^{++}$  revelam concentrações que podem alcançar 400 a 600 ppm de  $Fe^{++}$  na solução do solo após 2 a 3 semanas de submersão (Fig. 1). De acordo com Ponnampertuma (1975), as plantas cultivadas nestes solos mostram mais de 800 ppm de Fe na palha em comparação com 150 ppm em plantas normais.

Entre os métodos recomendados para diminuir o problema da toxicidade de  $Fe^{++}$  podem ser citados: a calagem, drenagem, pré-submersão, submersão no final do período de crescimento, drenagem do solo no meio do ciclo da cultura (Howeler 1973), aplicação de

MnO<sub>2</sub> e eliminação da matéria orgânica. Destas práticas, somente a drenagem e a calagem tem mostrado bons resultados a nível de campo (Fig. 5 e Tabelas 2 e 3). Em muitos casos, a calagem pode não ser viável economicamente. Neste caso, é recomendado o plantio de cultivares tolerantes ou resistentes a toxicidade de Fe<sup>++</sup> (Tabela 4).

### Conclusões e Recomendações

A toxicidade de Fe<sup>++</sup> em lavouras de arroz irrigado foi constatada em vários estados brasileiros. Quando um solo é submerso, o equilíbrio químico e biológico desse solo é alterado. a redução do Fe<sup>+++</sup> e o conseqüente aumento de sua disponibilidade é a mais importante alteração química que ocorre quando um solo é submetido a submersão contínua.

As principais características de um solo de arroz irrigado por submersão contínua são:

1. Deficiência de O<sub>2</sub> e excesso de CO<sub>2</sub>
2. Decomposição anaeróbica da matéria orgânica
3. Presença de Fe<sup>++</sup> e Mn<sup>++</sup>
4. Aumento da disponibilidade de P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e Si(OH)<sub>4</sub>
5. Aumento de pH
6. Diminuição do potencial redox
7. Presença de substâncias tóxicas, como H<sub>2</sub>S

Dentre os fatores do solo e ambiente associados com a toxicidade de Fe<sup>++</sup> em arroz irrigado, podem ser citados, entre

outros, o pH, teor de matéria orgânica, natureza e teor de óxidos de ferro e temperatura.

No Brasil, a toxicidade de  $Fe^{++}$  já foi constatada nas lavouras de arroz irrigado nos estados de Minas Gerais, mais especificamente na Zona da Mata e Cambuquira no Sul de Minas, em Santa Catarina, Rio de Janeiro, Espírito Santo, no Projeto Jari no Pará, Rio Grande do Sul e, em menor intensidade, no Estado de Goiás. Com o incentivo que o Governo pretende dar aos cultivos irrigados e à utilização de várzeas, através do PROVARZEAS, faz-se necessário entender as razões principais da toxicidade de  $Fe^{++}$  e buscar soluções para o problema.

Diferenças em sistemas de rotação e práticas de manejo d'água empregadas afetam grandemente as características do solo, tais como pH e teor de matéria orgânica, as quais constituem fatores importantes na disponibilidade de nutrientes em solos, inclusive Fe. Há necessidade, portanto, de conhecer para os solos brasileiros, a época em que ocorre a maior concentração de Fe na solução do solo após submersão. Em função disso, a questão da época de transplante, manejo d'água, calagem, gessagem, identificação de cultivares tolerantes e a rotação de culturas, devem ser melhor estudadas, sobre a disponibilidade de Fe, Mn, Cu e Zn. Para isto, é preciso estabelecer um programa coordenado de pesquisa, devido a grande diversidade de condições que existem em várias regiões.

## LITERATURA CONSULTADA

- BACHA, R.E. & HOSSNER, L.R. Characteristics of coatings formed on rice roots as affected by iron and manganese additions. Soil Sci. Soc. Amer. J., 41(5):931-5, 1977.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Manejo d'água e calagem em relação a produtividade e toxicidade de ferro em arroz. Pesq. Agropec. Bras., 18(8):903-10, 1983.
- BOHN, H.; McNEAL, B.; O'CONNOR, G. Soil chemistry. New York, John Wiley, 1979. 329p.
- DE, P.D. & MANDAL, L.N. Physiological diseases of rice. Soil Sci., 84:367-76, 1957.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; CARVALHO, J.R.P.; RANGEL, P.H.N.; CUTRIM, V.A. Avaliação preliminar de cultivares de arroz para tolerância à toxidez de ferro. Pesq. Agropec. Bras., 19(10):1271-8, 1984.
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; SOARES, P.C.; COSTA, L.M.; FARIA, E.A. Calagem, adubação orgânica e manejo da água no controle da toxicidade de ferro em arroz irrigado. R. Ceres, 32(180):162-9, 1985.

HOWELER, R.H. Iron induced orangging disease of rice in relation to physiochemical changes in a flooded oxisol. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 37:898-903, 1973.

ISHIZUKA, Y. Effect of iron, manganese and copper level in culture solution on yields and chemical composition of the plant. J. Sci. Soil Manure, Japan, 32:97-100, 1961.

JAYAWARDENA, S.D.G.; WATAGE, T.; TANAKA, K. Relation between oxidizing power and resistance to iron toxicity in rice. Rept. Soc. Crop Sci., Breeding. Kinki, Japan, 22:35-47, 1977.

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Berne, Intern. Potash Inst. 1978. 593p.

MORAES, J.F.V. El uso de la resina de intercambio anionico (amberlita IRA-400) para avaluar el fosforo em suelos inundados. Chapingo, Colegio de Postgraduados, 1971. 78p. Tese Mestrado.

MORAES, J.F.V. & FREIRE, C.J.S. Variação do pH, da condutividade elétrica e da disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em quatro solos submetidos a inundação. Pesq. Agropec. Bras., Série Agron., 9:35-43, 1974.

- OTTOW, J.C.G.; BENCKISER, G.; WATANABE, I.; SANTIAGO, S.  
Multiple nutritional soil stress as the prerequisite for iron toxicity of wetland rice (*Oryza sativa* L.). *Trop. Agri., Trinidad*, 60(2):102-6, 1982.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.*, 24:29-96, 1972.
- PONNAMPERUMA, F.N. Limitaciones de microelementos en suelos acidos arroceros tropicales. In: BORNEMISZA, E. & ARVARADO, A. ed. *Manejo de suelos en la America Tropical*. Raleigh, NCSU, 1975. p.336-54.
- PONNAMPERUMA, F.N. *Physico-chemical properties of submerged soils in relation to fertility*. Los Baños, IRRI, 1977. 32p. (IRRI Research paper series, 5).
- TADANO, T. Divices of rice roots to tolerate high iron concentration in growth media. *JARO*, 9:34-9, 1975.
- TANAKA, A.; LOE, R.; NAVASERO, S.A. Some mechanisms involved in the development of iron toxicity syptoms in the rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 12:158-64, 1966.

Tabela 1. Ordem de utilização de elétrons dos principais aceptores no solo, potencial de equilíbrio das meias reações a pH 7 e potencial redox dessas reações no solo.

	Eh a pH 7 (V)	Potencial redox (V)
Desaparecimento de O <sub>2</sub>		
$O_2 + 2e^- + 2H^+ = H_2O$	0,82	0,6 a 0,4
Desaparecimento do NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
$NO_3^- + 2e^- + 2H^+ = NO_2^- + H_2O$	0,54	0,5 a 0,2
Formação de Mn <sup>++</sup>		
$MnO_2 + 2e^- + 4H^+ = Mn^{++} + 2H_2O$	0,4	0,4 a 0,2
Formação de Fe <sup>++</sup>		
$FeOOH + e^- + 3H^+ = Fe^{++} + 2H_2O$	0,17	0,3 a 0,1
Formação de HS <sup>-</sup>		
$SO_4^{--} + 9H^+ + 6e^- = HS^- + 4H_2O$	-0,16	0,0 a -0,15
Formação de H <sub>2</sub>		
$H^+ + e^- = 1/2 H_2$	-0,41	-0,15 a -0,22
Formação de CH <sub>4</sub> (exemplo de fermentação)		
$(CH_2O)_n = \frac{n}{2} CO_2 + \frac{n}{2} CH_4$	-	-0,15 a -0,22

Fonte: Bohn et al. (1979).

Tabela 2. Produção de matéria seca da parte aérea, número médio de perfilhos/planta e percentagem de folhas com sintomas de toxicidade de ferro, em relação às práticas de manejo de solo.

Tratamento	Matéria seca da parte aérea (g/vaso)	No. médio perfilhos p/planta	Folhas c/ sintomas (%)
1. Calcário - 4 t/ha	11,97	9,3	0
2. Esterco de curral - 20 t/ha	9,38	8,8	72
3. Palha de arroz - 10 t/ha	6,31	6,7	76
4. Pré-submersão 15 dias antes do transplante	1,61	1,9	75
5. Pré-submersão 30 dias antes do transplante	0,50	1,1	92
6. Submersão durante o transplante e 15 dias depois deste, suspensão da H <sub>2</sub> O por 7 dias, repetindo-se, em seguida, o manejo de H <sub>2</sub> O anterior	6,42	8,1	74
7. Submersão durante o transplante com renovação de H <sub>2</sub> O de 7 em 7 dias	3,95	4,6	75
8. Submersão durante o transplante, mantendo-se a H <sub>2</sub> O sem renovação durante todo experimento	3,78	4,3	75
9. Idem ao tratamento 8 + termofosfato Yoorim como fonte de P	5,54	5,3	74
DMS (Tukey - 5%)	1,52	1,43	-

FONTE: Freire et al. (1985).

Tabela 3. Relação entre os teores de macro e micronutrientes e teor de Fe, na parte aérea do arroz, em função dos tratamentos em solos coletados em Leopoldina (SL) e em Muriaé (SM), na Zona da Mata de Minas Gerais (Barbosa Filho et al. 1983).

Tratamentos	N/Fe	P/Fe	K/Fe	Ca/Fe	Mg/Fe	Zn/Fe	Cu/Fe	Mn/Fe
----- Solo SL -----								
T1	11,73	0,91	8,60	1,22	1,17	0,0239	0,0020	0,2438
T2	13,24	1,18	11,42	1,62	1,03	0,0290	0,0020	0,2546
T3	17,56	1,06	12,07	1,79	1,61	0,0346	0,0032	0,3757
T4	12,54	0,88	19,84	2,43	2,58	0,1010	0,0147	2,3304
Media	13,77	1,01	12,99	1,77	1,60	0,0471	0,0055	0,8011
----- Solo SM -----								
T1	2,48	0,44	5,52	0,62	0,59	0,0088	0,0006	0,2504
T2	4,47	0,45	6,70	0,63	0,63	0,0108	0,0016	0,1841
T3	3,76	0,48	6,78	0,81	0,74	0,0144	0,0010	0,2747
T4	17,55	1,36	21,62	2,93	2,51	0,1160	0,0188	2,3542
Media	7,06	0,68	10,15	1,24	1,21	0,0375	0,0055	0,7659

T1 = Inundação seis semanas antes do transplântio.

T2 = Inundação e transplântio imediato.

T3 = Inundação duas semanas antes do transplântio + 2 t/ha de calcário.

T4 = Sem inundação, mas úmido e aeróbico.

Solo SL = 420 ppm de Fe; Solo SM = 730 ppm de Fe.

Tabela 4. Classificação de cultivares de arroz para tolerância à toxicidade de ferro baseada na redução da produção da matéria seca da parte aérea.

Cultivar	Concentração de Fe (ppm)					
	10	20	40	60	80	100
BG 90-2	MT	MT	MS	S	S	S
Suvale 1	MS	MS	S	S	S	S
Paga Divida	T	MT	MS	S	S	S
IAC 899	T	T	MS	S	S	S
CICA 8	T	T	S	S	S	S
Bluebelle	T	MT	MT	MS	S	S
IR 36	MT	MS	S	S	S	S
IR 22	T	T	MS	S	S	S
IR 26	MS	MS	S	S	S	S

T = tolerantes; MT = moderadamente tolerantes; MT = moderadamente susceptíveis; e S = susceptíveis.

FONTE: Fageria et al. (1984).

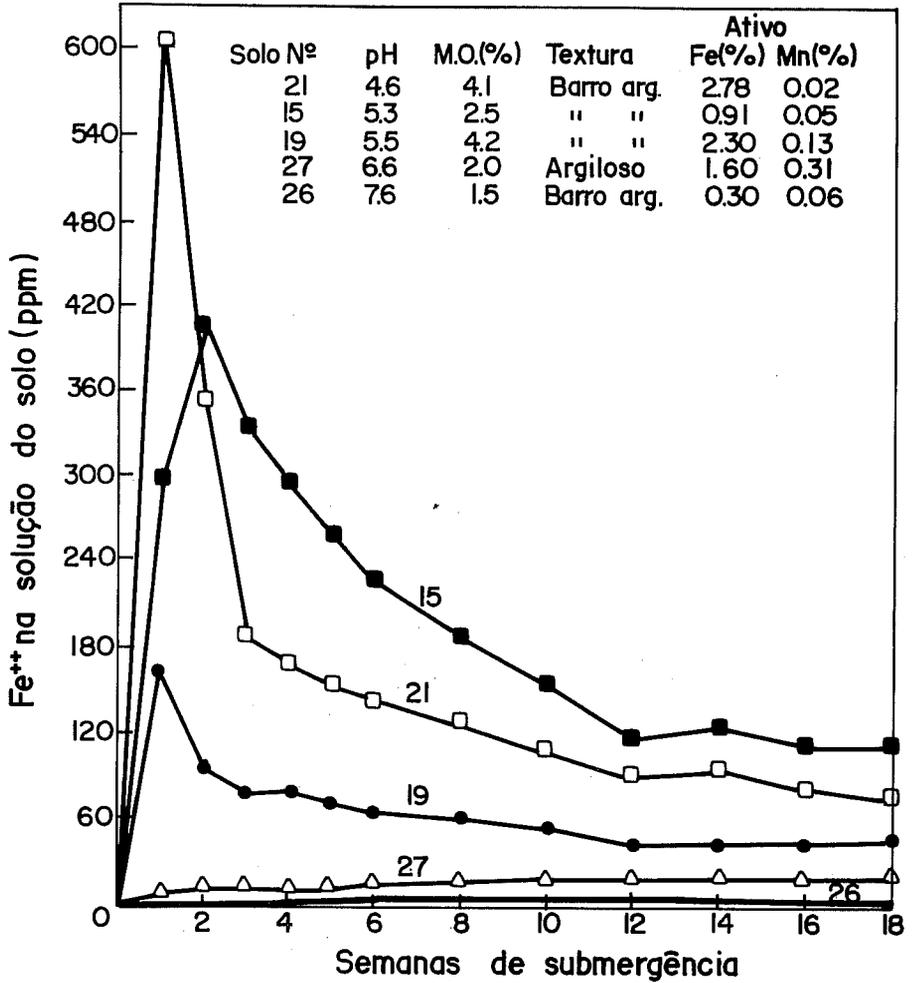


Fig. 1. Dinâmica de Fe<sup>++</sup> na solução de 5 solos inundados

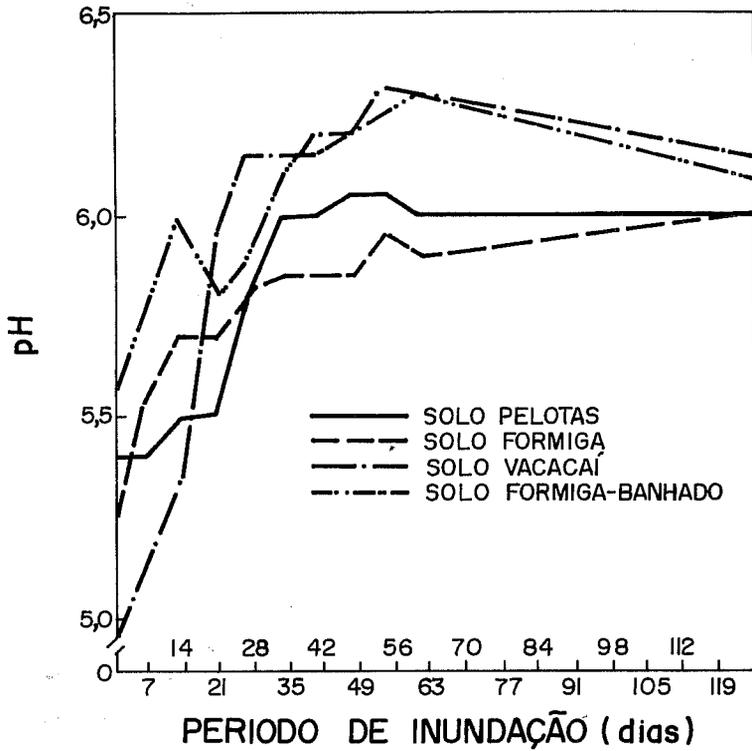


Fig. 2. Variação do pH dos solos durante a inundaçãõ (Moraes & Freire 1974).

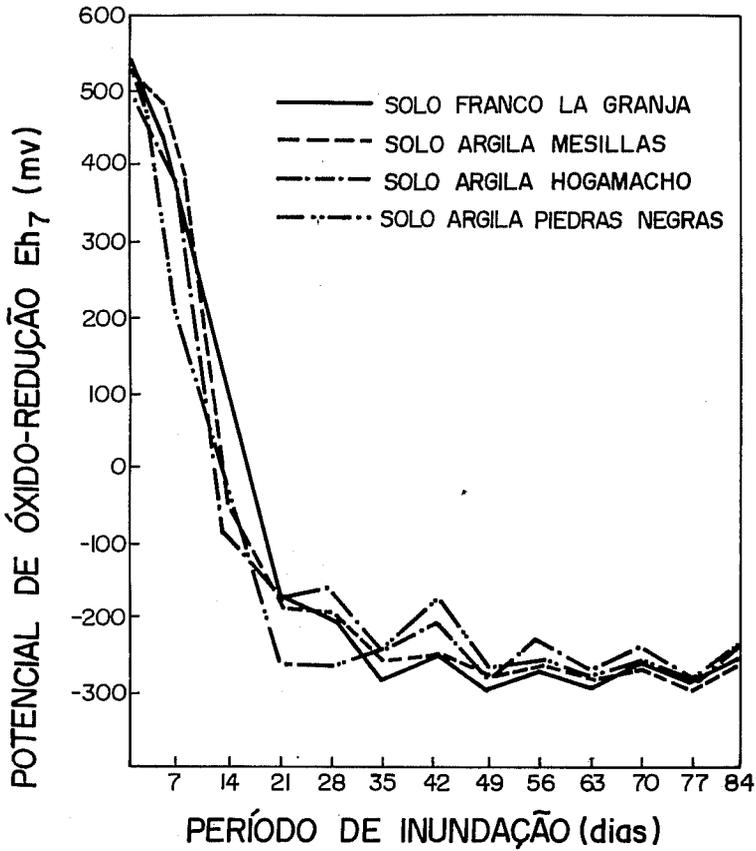


Fig. 3. Variação do potencial de oxidação - redução ( $E_h$ ) durante o período de inundação (Moraes 1971).

# OXIDAÇÃO RIZOSFERA TRANSPORTE O<sub>2</sub> VIA PLANTA

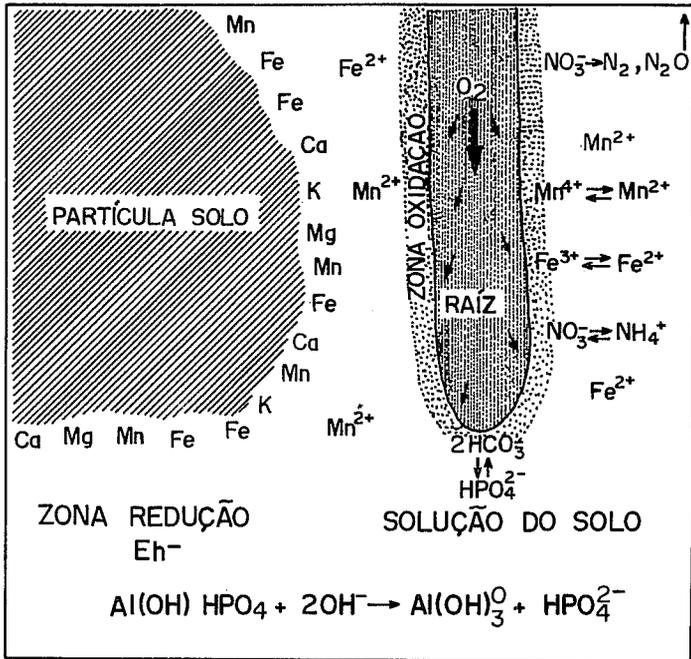
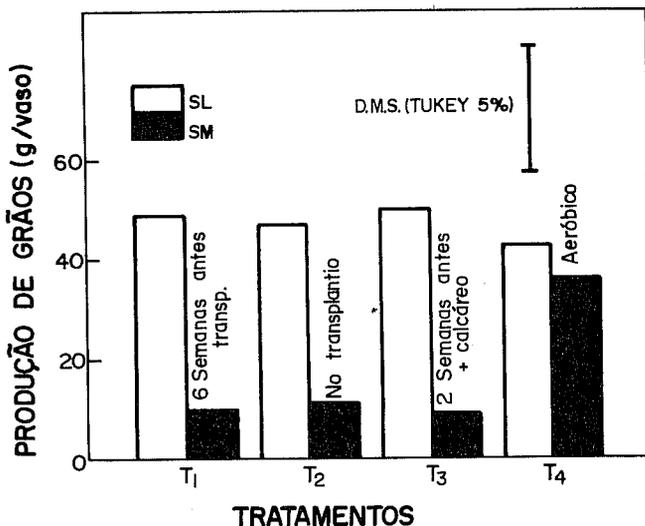


Fig. 4. Representação da rizosfera oxidada do arroz.



- T<sub>1</sub> - Inundação seis semanas antes do transplanteio  
T<sub>2</sub> - Inundação e transplanteio imediato  
T<sub>3</sub> - Inundação duas semanas antes do transplanteio + 2 t/ha de calcário  
T<sub>4</sub> - Sem inundação, mas úmido e aeróbico  
SL - Solo de Leopoldina; SM - Solo de Muriaé.

Fig. 5. Influência de diferentes tratamentos sobre a produção de grãos de arroz por vaso, em dois tipos de solos. Barbosa Filho et al. (1983).

# Fe no solo e na solução em Gley Pouco Húmido cultivado com arroz irrigado

José Francisco Valente Moraes  
José Flávio Dynia

Foram acompanhados os teores de Fe em parcelas com calagem e sem calagem, em GPH cultivado com arroz irrigado.

Os teores de Fe no solo (extrator de Mehlich) aumentaram de forma praticamente linear até a 6a. semana após a inundação (Figura 1), atingindo valores próximos de 3.000 ppm (6-7 vezes o teor inicial). Entre a 6a. e a 12a. semana (drenagem), e mesmo após, até a 16a. semana, os teores de Fe no solo mostraram tendência de estabilização (oscilações entre 2.000 e 3.150 ppm). Até a 16a. semana o solo se manteve saturado, pela dificuldade de drenagem interna (lençol freático alto). Após esse período, com a entrada de ar no sistema, os teores de Fe decresceram linearmente. Perto da 24a. semana - não indicada no gráfico - os teores de Fe nas duas parcelas já se encontravam próximos dos valores iniciais, que eram de aproximadamente 500 ppm.

Exceto no período de 0-7 semanas a curva dos teores de Fe na solução do solo tendeu a acompanhar a curva dos teores de Fe no solo (Figura 2). Nesse período, certamente ocorreu oxidação do  $Fe^{++}$ , com conseqüente precipitação que não era notável a olho nu. A partir da 8a. semana as soluções extraídas passaram a ser acidificadas antes da análise, e os teores de Fe aumentaram muito em relação às amostragens anteriores, indicando que nestas realmente já havia precipitação de Fe. Explica-se assim o

comportamento da curva nas primeiras 7 semanas após a inundação. Por não se dispor na época de bujões de  $N_2$  portáteis, as amostras de solução foram sempre retiradas com auxílio de gás de cozinha, que favorecia a oxidação do  $Fe^{++}$  pela presença de acetona que vem em mistura com o gás.

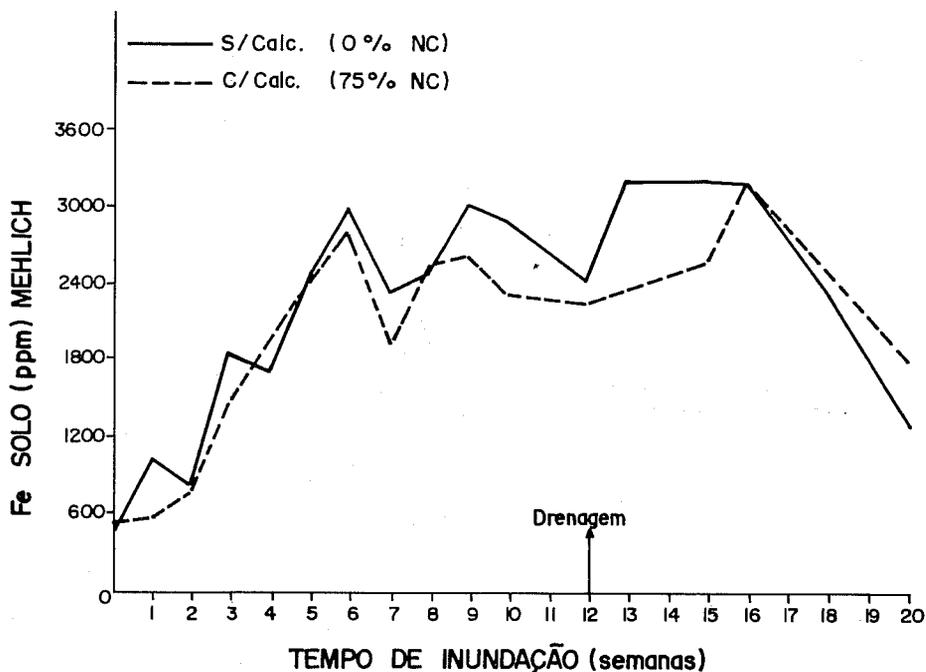
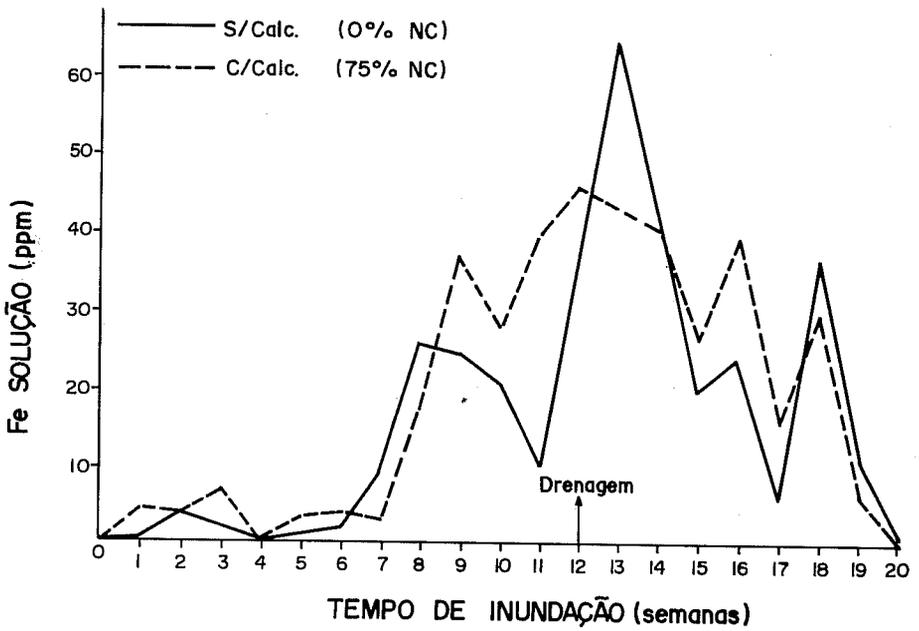


Fig. 1. Comportamento do Fe em solo de várzea em função da inundação e de tratamentos de calagem.



TEMPO INUNDAÇÃO (SEMANAS)

Fig. 2. Comportamento do Fe na solução de um solo de várzea em função da inundação e de tratamentos de calagem.

# Manejo d'água e alterações nos teores de ferro em um solo de várzea

Luis Fernando Stone

Com o objetivo de determinar um manejo adequado para as várzeas de textura mais arenosa foi conduzido um ensaio durante três anos (1984, 1985 e 1986) onde foram estudados os efeitos de diferentes manejos d'água na percolação, na fertilidade do solo, na incidência de ervas daninhas e na produtividade do arroz. Foram utilizadas duas cultivares. Uma desenvolvida para as condições de irrigação por inundação controlada (CICA 8) e outra desenvolvida para as condições de várzea úmida ou subirrigação (CNA 1051). Os tratamentos de manejo d'água foram os seguintes: M1 - inundação contínua durante todo o ciclo; M2 - inundação intermitente durante todo o ciclo; M3 - inundação intermitente da emergência até diferenciação do primórdio floral seguida de inundação contínua até o final do ciclo; M4 - subirrigação pela elevação do lençol freático com espaçamento de 20 cm entre linhas; e M5 - idem a M4 mas com espaçamento de 30 cm entre linhas.

Entre os nutrientes analisados, o Fe foi um dos afetados significativamente pelos diferentes manejos d'água (Tabela 1). O teor de Fe foi mais elevado nos tratamentos com inundação contínua ou intermitente. Em condições reduzidas ocorre a transformação do  $Fe^{3+}$  para  $Fe^{2+}$ , que é mais solúvel. Desta maneira, aumenta a concentração de Fe na solução do solo com o conseqüente aumento na sua absorção. Isto pode ser observado

pela maior quantidade de Fe absorvida nos tratamentos M1, M2 e M3 em relação aos tratamentos com subirrigação. Nestes últimos tratamentos não havia condições de completa redução como nos outros. Observa-se, assim, que a utilização da subirrigação (sistema de várzea úmida) pode reduzir o problema da toxicidade de Fe em solos com elevado teor deste elemento.

Tabela 1. Teor e quantidade de Fe absorvida pelas cultivares de arroz CICA 8 e CNA 1051, em função dos diferentes manejos d'água (média de 3 anos).

Manejo d'água	Ferro (ppm)		
	CICA 8	CNA 1051	MEDIA
M1	316	247	281 a
M2	182	319	251 a
M3	285	310	298 a
M4	153	134	144 b
M5	133	205	169 b
Media	214	243	
		kg/ha	
M1	3,1	2,4	2,8a
M2	1,8	3,7	2,7a
M3	3,2	3,7	3,5a
M4	1,5	1,3	1,4 b
M5	1,5	2,2	1,8 b
Media	2,2	2,7	

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

<sup>1</sup>M1 - inundação contínua; M2 - inundação intermitente; M3 - inundação intermitente/contínua; M4 - subirrigação, 20 cm entre linhas; e M5 - subirrigação, 30 cm entre linhas.

# Efeito da calagem e do manejo d'água sobre disponibilidade de ferro em solo submerso

Pedro Marques da Silveira

Antonio Carlos Ribeiro

Liovando Marciano da Costa

Um estudo foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, MG, sob condições de casa-de-vegetação, com o objetivo de avaliar os efeitos das práticas de calagem e de manejo da água de submersão sobre a disponibilidade de ferro no solo (Silveira et al. s.d.).

O solo foi seco ao ar, peneirado em peneira de malha de 2 mm e colocado em vasos de 1,7 litros de capacidade. Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 3, com 3 repetições. Os tratamentos com calagem consistiram da aplicação, por vaso, de quantidades correspondentes a 0, 2200, 4400 e 6600 kg de calcário por ha, equivalentes a 0, 1, 2 e 3 vezes a necessidade de calagem, conforme o critério proposto pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1978).

Aplicou-se o carbonato de cálcio p.a. e o período de incubação foi de 27 dias, período no qual o solo foi mantido com umidade próxima à "capacidade de campo".

Após a incubação, o solo foi submerso com uma lâmina de água de aproximadamente 7 cm de altura, a qual completava o volume de vaso. Os tratamentos correspondentes ao manejo de água de submersão consistiram em manter a água de submersão sem renovação, com renovação de 15% e de 30% do total da lâmina

d'água no vaso. Nos tratamentos com renovação, a água necessária para tal fim, previamente determinada, foi colocada no vaso, na altura da superfície do solo submerso, através de um dispositivo que permitia sua aplicação por gotejamento. O dispositivo foi fixado em um dos lados do vaso, e no lado oposto foi permitida a drenagem da água renovada, através de um dreno na borda superior do mesmo.

A renovação de água do vaso foi feita diariamente e, antes da renovação, era reposta a água evaporada em todas as parcelas.

As amostras para determinação de ferro foram retiradas em intervalos de 11 dias, durante o período de 33 dias de submersão, totalizando quatro determinações do elemento. As amostras para cada análise, nos diferentes tempos de submersão, foram retiradas diretamente do solo submerso, na camada superficial de 0-5 cm de profundidade, e colocadas diretamente em contato com o extrator. Utilizou-se o extrator de Mehlich-1 ( $\text{HCl}$  0,05 N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025N), na relação solo: solução 4:40 com 5 minutos de agitação, e a dosagem do ferro foi feita por espectrofotometria de absorção atômica.

A Tabela 1 apresenta os valores de ferro "disponível" no solo, em ppm, em função do tempo de submersão, da porcentagem de renovação de água e da quantidade de calcário aplicado no solo. Houve efeito significativo de calagem, do manejo da água e do tempo de submersão sobre a disponibilidade de ferro no solo. Houve também efeito significativo da interação tempo de submersão e quantidade de calcário aplicado e/ou porcentagem de renovação da água.

Os dados mostram que, para uma determinada quantidade de calcário, a disponibilidade de ferro aumenta com o aumento do tempo de submersão nos diferentes manejos da água.

Pode ser observado também na Tabela, o efeito da calagem sobre o comportamento do ferro nos diversos manejos da água de submersão. Maiores quantidades de calcário aplicado estão associadas a menores concentrações de ferro extraído.

O manejo da água de submersão também influenciou significativamente a disponibilidade de ferro no solo. Foi observado que a concentração de ferro disponível no solo foi maior no tratamento sem renovação de água de submersão.

Tabela 1. Teores de ferro "disponível" no solo, em ppm, em função do tempo de submersão, da porcentagem de renovação da água e da quantidade de calcário aplicado no solo.

Tempo de submersão (dias)	Renovação da água (%)	Calcário aplicado (kg/ha)				Media
		0	2200	4400	6600	
0	0	1467	1433	1267	1283	1363
	15	1500	1650	1350	1233	1433
	30	1683	1450	1450	1233	1454
	Media	1550	1511	1355	1250	
11	0	1800	1800	1717	1375	1673
	15	2742	2017	2233	2358	2337
	30	2583	2033	2167	2100	2221
	Media	2375	1950	2039	1944	
22	0	4750	5708	5417	4667	5135
	15	7250	6208	6392	6333	6546
	30	6833	6208	6958	5916	6479
	Media	6278	6041	6255	5639	
33	0	7167	7778	7056	7167	7292
	15	8528	8306	8278	7778	8222
	30	8806	8084	7973	7917	8195
	Media	8167	8056	7769	7621	

O ferro "disponível" aumentou com o tempo de submersão do solo.

A disponibilidade de ferro no solo decresceu com o aumento da quantidade de calcário aplicada e também foi menor no tratamento sem renovação de água de submersão.

## LITERATURA CITADA

COMISSAO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS.

Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 3a. aproximação. Belo Horizonte, 1978. 80p. (Boletim Técnico).

SILVEIRA, P.M.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M. Disponibilidade de ferro em solo submerso em relação a calagem e manejo da água. R. Ceres. (No prelo).

## RESULTADOS OBTIDOS EM ESTUDOS COM FERRO NA EPAMIG

### Avaliação de cultivares/linhagens de arroz para tolerância a ferro

Francisco Morel Freire

Miralda Bueno de Paula

Cleide Aparecida de Abreu

1. Seleção de cultivares e linhagens de arroz para tolerância a níveis elevados de ferro em solução nutritiva.

Doze cultivares e/ou linhagens de arroz foram cultivadas em solução nutritiva com 5 e 150 ppm de Fe. Foram avaliados os parâmetros matéria seca da parte aérea, do sistema radicular e número de perfilhos (Tabela 1). Os dados de crescimento relativo, considerando aqueles obtidos no nível de 5 ppm de Fe como 100, mostraram que a produção de matéria seca da parte aérea e o número de perfilhos não foram parâmetros adequados para serem utilizados como critério na seleção de materiais quanto à toxicidade de ferro. Considerando apenas as informações obtidas com o sistema radicular, apesar do efeito drástico do ferro neste, verifica-se que os materiais 'GA 3914', 'MG 2' e 'GA 3459' foram os mais tolerantes ao passo que as 'GA 3880', 'INCA' e 'MATAO' foram as mais sensíveis.

## 2. Seleção de cultivares e linhagens de arroz para tolerância a níveis elevados de Fe em solo.

As doze cultivares e/ou linhagens de arroz avaliadas no experimento em solução nutritiva foram também testadas em condições de solo, em casa de vegetação. Os materiais foram submetidos a dois tratamentos: solo sem adição de Fe e com adição de 450 ppm do elemento, na forma de cloreto férrico. Todos os tratamentos receberam adubação NPK antes do transplante das mudas e cobertura nitrogenada. Durante a condução do experimento foi mantido uma lâmina d'água de cerca de 1 cm em todos os vasos.

Dos parâmetros avaliados (Tabela 2), os que melhor permitiram a comparação entre as cultivares, apesar de não serem os mais adequados foram a produção de matéria seca da parte aérea e o número de materiais mais tolerantes e a 'INCA' e 'Chorinho' as mais sensíveis.

O parâmetro porcentagem de folhas com sintomas de toxicidade de ferro não foi considerado, uma vez que cultivares de pouco enfolhamento podem ser prejudicadas em relação àquelas melhores enfolhadas.

Apesar de não ter havido uma boa correlação entre os resultados do trabalho em solo com aqueles obtidos em solução nutritiva pode-se destacar a GA 3914 como tolerante e a INCA como sensível.

Tabela 1. Porcentagem da matéria seca da parte aérea, sistema radicular e número de perfilhos em relação aos obtidos no nível 5 ppm de Fe. Experimento em solução nutritiva.

Linhagem e/ou cultivar	Materia seca parte aerea	Materia seca sistema radicular	Numero de perfilhos
	%		
GA 3914	133,025	34,952	101,958
GA 3880	109,558	20,190	91,137
GA 3878	97,352	28,395	97,290
GA 3459	105,510	31,832	83,175
GA 3451	112,763	23,945	106,493
GA 3456	93,100	29,605	82,320
MG 1	101,428	27,740	92,885
MG 2	110,555	32,202	103,473
DE ABRIL	110,885	28,712	100,000
CHORINHO	92,675	29,292	71,002
MATAO	74,892	13,490	71,172
INCA	95,095	19,752	86,482

Tabela 2. Porcentagem da matéria seca da parte aérea e número de perfilhos em relação ao nível 0 ppm de Fe e porcentagem de folhas com sintomas de toxidez de Fe. Experimento em solo.

Linhagem e/ou cultivar	Materia seca parte aerea	Numero de perfilhos	Numero de folhas com sintomas toxidez de Fe
GA 3914	128,128	124,808	43,000
GA 3880	94,432	110,605	43,750
GA 3878	93,485	93,562	44,000
GA 3914	98,310	112,340	45,500
GA 3451	108,880	119,128	48,250
GA 3456	96,780	94,602	61,250
MG 1	90,037	94,020	37,750
MG 2	95,617	106,250	32,750
DE ABRIL	95,582	113,838	30,750
CHORINHO	69,355	86,605	18,750
MATAO	95,307	100,000	13,000
INCA	79,815	84,525	42,500

Manejo de água, calagem, aplicação de fósforo e potássio em arroz irrigado em solos com problemas de toxidez de ferro

Sammy Fernandes Soares

A toxidez de ferro é considerado um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento normal da cultura do arroz irrigado em áreas sistematizadas no Espírito Santo.

Na safra de 84/85, procedeu-se a coleta de 4 solos em lavouras que apresentavam problemas de toxidez de ferro. Suas características físicas e químicas encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

O experimento foi conduzido em telado, empregando-se delineamento de blocos ao acaso, 3 repetições, em esquema fatorial, com 4 solos e os seguintes tratamentos:

1. Inundação a partir de 20 dias de germinação (I 20) - Testemunha.
2. Inundação 40 dias antes do plantio.
3. Inundação 40 dias após germinação.
4. I 20 com drenagem aos 10-20-30 dias após inundação.
5. I 20 + calagem.
6. I 20 + calagem +  $P_2O_5$ .
7. I 20 + calagem +  $P_2O_5$  +  $K_2O$ .

Todos os tratamentos receberam adubação de P e K de acordo com a recomendação do laboratório de solos da EMCAPA (Tabela 3), exceto os tratamentos 6 e 7. Dobrou-se a quantidade de  $P_2O_5$  nos

tratamentos 6 e 7 e de  $K_2O$  no tratamento 7, quando os teores destes nutrientes no solo foram baixos ou médios e utilizou-se a dose recomendada para o nível médio quando os teores no solo foram altos (Tabela 4). Através do processo de incubação, determinou-se a quantidade de calcário necessária para elevar o pH de cada um dos solos a 6,5, a qual foi aplicada aos tratamentos com calagem. Foram aplicados 2.000, 440, 2.000 e 1.300 kg/ha de calcário nos solos A, B, C e D, respectivamente. Utilizou-se calcário dolomítico, com 33% Ca e 13,4% Mg. No tratamento 4, voltava-se a inundar o solo 5 dias após cada drenagem, usando-se a mesma água drenada em cada um dos tratamentos.

Cada parcela constou de 2 vasos, colhendo-se as plantas de um deles aos 60 dias após germinação e de outro à época de naturezação do arroz. No solo A, 2 repetições com o tratamento 4 foram prejudicadas pelo ataque de *Diatraea saccharalis*.

As variáveis pH, matéria orgânica, P, K, Ca, Mg e Al, no solo, foram determinadas pelos métodos de rotina do laboratório de solos da EMCAPA. O Fe foi extraído por 2 métodos: HCl 0,05 N +  $H_2SO_4$  0,025 N ( $Fe_1$ ) e com acetado de amônio ( $Fe_2$ ). Nas análises de tecidos, 1 g de amostra foi incinerada e tratada com HCl. Para a análise do pH e Fe, a solução foi coletada a 10 cm de profundidade e imediatamente filtrada. A fim de permitir a coleta da solução, tubos plástico perfurados foram colocados nos vasos no momento em que se colocava terra neles. Através dos tubos, introduzia-se uma pipeta e coletava-se a solução. Os teores de nutrientes foram determinados no espectrofotômetro de absorção atômica.

## 1. Análises físico-químicas dos solos (Tabelas 1 e 2)

Os solos apresentaram características físicas e químicas bastante variáveis.

Os teores de Fe, extraídos pelos 2 métodos não guardaram relação entre si, isto é, maior teor de Fe extraído com extratores mais fortes (Fe<sub>1</sub>). Isto pode ser devido às diferenças na textura, pH e M.O., que podem implicar em ligações e formas diferentes do Fe nos solos.

De qualquer modo, os teores de Fe estão abaixo daqueles mencionados na literatura para solos com problemas de toxidez. No caso dos solos B e C, o valor de Fe<sub>2</sub> está abaixo do nível crítico de deficiência.

Levantamento realizado por Ottow et al, (1983) evidenciou que, nem a acidez nem o teor de Fe, devem ser considerados pré-requisitos essenciais para a toxidez de Fe. As características comuns aos solos com o problema foram: baixa CTC, baixos níveis de K e Ca e, muitas vezes, de P. Ele concluiu que a toxidez se deve a um estresse nutricional múltiplo e propôs um mecanismo de exclusão do Fe pelas raízes, no qual um adequado suprimento de P, K e Ca é considerado pré-requisito essencial.

No presente estudo, foram características comuns entre os solos: baixo pH, baixo teor de M.O. e Mg e, em especial, de Ca, bem como uma relação Ca/Mg invertida, isto é, maior teor de Mg que de Ca, o que não é normal nos solos. Estas características devem ser amplamente estudadas a fim de assegurar sua relação com o problema. Sugere-se a realização de levantamento que inclua

amostragens de solos e plantas em áreas com problemas de toxidez de Fe.

2. pH (Tabela 5) e teor de Fe na solução do solo aos 60 dias após germinação.

O pH da solução foi maior no solo B, seguindo-se os solos A e C e, por último, o solo D. Esta é a mesma sequência registrada antes da montagem do experimento (Tabela 2), todavia os valores foram mais elevados que no início, em decorrência do efeito que a inundação exerce sobre o pH do solo.

As médias de pH foram mais altas nos tratamentos que receberam calagem. O tratamento 4 apresentou a menor média. Entretanto, a drenagem diminuiu o pH do solo A e, em especial, do D. Não houve diferenças no pH dos solos B e C. Estes solos, com textura mais fina (Tabela 1), retêm mais água quando drenados, daí não apresentarem diferenças no pH, ao contrário dos solos A e D, de textura mais grossa.

O teor de Fe na solução do solo, com um coeficiente de variação de 127%, apresentou valores abaixo de 1 ppm, o que mostra a ineficiência da metodologia de amostragem adotada. De fato, ao se filtrar a solução coletada, percebia-se a retenção de óxido de ferro no papel filtro, o que explica os baixos teores de ferro determinados na solução.

3. Teor de Fe nos tecidos (Tabela 6).

O teor de Fe nos tecidos das plantas do solo B, semelhante ao C, foi maior que no A que superou o D. Esta resposta parece estar relacionada à textura dos solos, ou seja, plantas

cultivadas em solos de textura mais fina apresentaram mais ferro nos tecidos.

Comparando os solos B e C, da mesma textura, observa-se que o segundo, apesar de ter mais ferro, não produz plantas com mais ferro nos tecidos. Entretanto, o solo C é mais rico em P, K e Ca, o que aumentaria seu poder de exclusão de Fe pelas raízes (Ottow et al. 1983).

Os níveis de Fe nos tecidos foram bem superiores ao crítico, igual a 300 ppm, exceto no solo D, onde os níveis ficaram próximos, confirmando o problema de toxidez de Fe nestes solos.

O tratamento 2, com efeito semelhante ao 3 e 4, diminuiu significativamente o teor de Fe nos tecidos quando comparado à testemunha. De acordo com a literatura, a inundação com antecedência pode deslocar o pico da concentração de  $Fe^{+2}$  na solução para o período anterior ao plantio, coincidindo este com concentrações mais baixas.

Todos os tratamentos apresentaram sintomas visuais de toxidez de Fe, porém, estes foram observados mais cedo, a partir da 3a. semana após germinação, e de forma mais acentuada no tratamento 2, exatamente aqueles cujas plantas tinham menos Fe nos tecidos. Mais à frente será visto que o tratamento 2 resultou em plantas menos desenvolvidas. Isto sugere que a manifestação dos sintomas, além do teor de Fe nos tecidos, depende também do desenvolvimento das plantas.

4. Teores de macro e micronutrientes nos tecidos (Tabelas 7, 8, 9, 10, 11 e 12).

Os teores de macronutrientes nos tecidos das plantas cultivadas nos diferentes solos foram pouco superiores aos limites críticos de deficiência citados para a cultura e, na média, não foram afetados pelos tratamentos (Tabelas 7, 8 e 9).

Os tratamentos que receberam calagem, de modo geral, diminuíram os teores de micronutrientes nos tecidos das plantas (Tabelas 10, 11 e 12) que ficaram dentro dos limites adequados, exceto o teor de Cu no solo B que ficou acima de 30 ppm (limite crítico de toxidez).

Os níveis mais baixos de Mn nos tratamentos 5, 6 e 7 poderiam ser a razão pela qual os teores de Fe foram mais elevados com a calagem. De acordo com Munch & Ottow, citados por Ottow et al. (1983), o Mn é usado como aceptor de elétrons, preferencialmente ao Fe, pelas bactérias. Assim, com a calagem, menos Mn estaria disponível e mais Fe seria reduzido pelas bactérias e absorvido pelas plantas.

5. Altura de plantas, peso da parte aérea e de raízes (Tabelas 13, 14 e 15).

As plantas do solo C apresentaram maior altura, peso da parte aérea e de raízes, o que pode ser atribuído aos níveis mais elevados de P, K e Ca deste solo. Por outro lado, o solo B, além de menor nível de P, parece ter problemas de toxidez de Cu, conforme foi mencionado no sub-ítem anterior, o que provocaria redução no desenvolvimento das plantas nele cultivadas.

A irrigação 40 dias antes do semeio, embora tenha reduzido o

teor de Fe nos tecidos, foi muito prejudicial ao desenvolvimento das plantas. Isto pode ser consequência de substâncias tóxicas geradas pela inundação (Ponnamperuma 1972), as quais teriam se acumulado antes do semeio, uma vez que o experimento foi realizado em vasos, e agido sobre as plantas numa fase muito sensível, que é a germinação e emergência das plântulas, comprometendo o desenvolvimento posterior.

Quando se considerada o efeito médio dos tratamentos, verifica-se que o retardamento da inundação ( $T_3$ ), a drenagem ( $T_4$ ) e a calagem ( $T_5$ ) reduziram o desenvolvimento das plantas, enquanto a calagem + P ( $T_5$ ) aumentou o peso da parte aérea, quando comparados à testemunha ( $T_1$ ). Algumas hipóteses podem ser levantadas para explicar estes resultados:

a) A inundação aumenta a disponibilidade de vários nutrientes como N e P. A irrigação mais tardia ( $T_3$ ) retardaria este benefício e as plantas estariam menos desenvolvidas aos 60 dias após emergência.

b) A drenagem periódica ( $T_4$ ) alterna períodos oxidados e reduzidos no solo, o que colocaria menor quantidade de nutrientes em disponibilidade, bem como provocaria a perda de N por desnitrificação resultando em plantas menos desenvolvidas.

c) A calagem diminuiria a disponibilidade de micronutrientes, retardando o desenvolvimento. A aplicação de P, contrabalançaria este efeito.

No solo C, a calagem + P não aumentou o peso da parte aérea em relação à testemunha, provavelmente em função do alto teor de P já existente neste solo.

## 6. Produção de grãos (Tabela 16).

A maior produção de grãos foi obtida no solo C, seguido pelo B e, por último, os solos A e D, que poderia ser atribuído às diferenças na fertilidade destes solos.

De modo geral, o efeito dos tratamentos sobre a produção de grãos é semelhante àquele sobre o desenvolvimento das plantas aos 60 dias após germinação, exceto no caso da irrigação mais tardia ( $T_4$ ). Este tratamento, apesar de resultar em plantas menos desenvolvidas aos 60 dias que a testemunha ( $T_1$ ), produziu tanto quanto esta. Isto sugere que a irrigação mais tardia, aos 40 dias após germinação, somente retarda o desenvolvimento inicial, sem prejuízo para a planta no final do ciclo e na produção de grãos.

As seguintes conclusões podem ser destacadas:

A antecipação ou retardamento da inundação, a calagem, a calagem + P e a calagem + P + K não corrigiram os problemas de toxidez de Fe.

A calagem elevou o pH dos solos e o teor de Fe e diminuiu o teor de micronutrientes nos tecidos das plantas.

A irrigação 40 dias antes do semeio diminuiu o teor de Fe nos tecidos mas resultou em plantas menos desenvolvidas, nas quais os sintomas de toxidez foram mais acentuados e a produção, menor.

Os resultados deste projeto não permitem fazer recomendações que possam ser empregadas a nível de produtor. Entretanto, recomenda-se que o problema deva ser melhor investigado. Aparentemente, o uso de adubações mais pesadas com P e K que

aquelas aqui realizadas, seria uma possível solução. Parece também que plantas melhor desenvolvidas toleram níveis mais elevados de Fe. Assim, novos estudos deveriam incluir o nitrogênio. É importante também atentar para a metodologia que possibilite avaliar, periodicamente, os níveis de Fe na solução do solo, de formas que os efeitos dos tratamentos sejam melhor explicados.

#### LITERATURA CITADA

DE DATTA, S.K. Principles and practices of rice production. New York, John Wiley, 1981. p.348-419.

OTTOW, J.C.G.; BENCKISER, G.; WATANABE, I.; SANTIAGO, S. Multiple nutritional soil stress as the prerequisite for iron toxicity of wetland rice. Trop. Agric., 60(2):102-6, 1983.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron., 24:29-96, 1972.

Tabela 1. Características físicas dos solos usados no experimento.

Solo	Areia grossa %	Areia fina %	Silte %	Argila %	Classificação textural
A	6	14	65	15	franco siltoso
B	39	6	25	30	franco argiloso-arenoso
C	24	36	10	30	franco argiloso-arenoso
D	67	22	-	10	areia franca

Tabela 2. Análise química dos solos usados no experimento.

Solo	pH	M.O. (%)	Fe <sub>1</sub>	Fe <sub>2</sub>	P		Ca	Mg	Al
					(ppm)				
A	5,0	1,0	133	3,280	8	22	0,6	1,5	0,1
B	5,8	0,5	52	0,625	7	159	1,1	3,0	0,0
C	5,0	0,4	178	1,875	96	295	1,5	1,6	0,1
D	4,7	0,5	88	5,460	20	74	0,1	1,1	0,3
Níveis críticos	-	-	-	2 (a)	-	78(b)	10(b)	2-5(b)	

(a) FONTE: Randhawa et al. (1978), citado por De Datta (1981).

(b) FONTE: IRRI Report (1969), Tanaka & Yoshida (1970), citados por Ottow et al. (1983).

Tabela 3. Recomendação de P e K pelo Laboratório de Solos da EMCAPA.

Teores de P no solo (ppm)	Quantidade de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> a usar (kg/ha)	Teor de K no solo (ppm)	Quantidade de K <sub>2</sub> O a usar (kg/ha)
0 - 4	60	0 - 46	40
4 - 8	30	46 - 150	20
> 8	0	> 150	0

Tabela 4. Doses de P e K, em kg/ha, usadas nos tratamentos 6 e 7, em cada um dos solos coletados.

Solo	Tratamento 6		Tratamento 7	
	P	K	P	K
A	60	40	60	80
B	60	0	60	20
C	30	0	30	20
D	30	20	30	40

Tabela 5. pH da solução do solo aos 60 dias após a germinação.

Solo	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Médias
A	6,2 b	6,7 a	6,4 ab	6,1 b	6,7 a	6,7 a	6,8 a	6,5 b
B	6,9 a	7,0 a	6,9 a	6,8 a	6,8 a	6,7 a	6,5 a	6,8 a
C	6,4 a	6,2 a	6,5 a	6,4 a	6,7 a	6,7 a	6,8 a	6,5 b
D	5,9 cd	6,3 bc	6,3 bc	5,5 d	6,6 ab	6,8 a	6,6 ab	6,3 c
Médias	6,3 bc	6,6 ab	6,5 ab	6,2 c	6,7 a	6,7 a	6,7 a	

C.V. = 4,1%.

Nas linhas e na última coluna, médias acompanhadas por uma mesma letra minúscula não se diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

- \* T<sub>1</sub> = irrigação aos 20 dias após semeio (I 20)  
 T<sub>2</sub> = irrigação aos 40 dias antes semeio  
 T<sub>3</sub> = irrigação aos 40 dias antes semeio  
 T<sub>4</sub> = I 20 + drenagem 10, 20 e 30 dias após  
 T<sub>5</sub> = I 20 + calagem  
 T<sub>6</sub> = I 20 + calagem + P  
 T<sub>7</sub> = I 20 + calagem + P + K

Tabela 6. Teor de Fe nos tecidos aos 60 dias após germinação.

Solo	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Médias p/ solo
A	1092	647	1071	804	1461	1376	1277	1104 b
B	1311	1002	1131	1486	1115	1654	1672	1339 a
C	1213	880	1157	1100	1345	1303	1486	1212 ab
D	303	275	250	202	346	367	315	294 c
Médias p/ tratamentos	980 ab	701 c	902 bc	898 bc	1067 ab	1175 a	1187 a	

C.V. = 24,3%.

Na última coluna e última linha, médias acompanhadas por uma mesma letra minúscula não se diferenciam pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Teor de K (%) nos tecidos aos 60 dias após germinação.

Solos	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Médias
A	1,7 a	1,9 a	1,9 a	1,8 a	1,6 a	1,3 b	1,9 a	1,7 c
B	2,4 ab	2,3 ab	2,4 ab	2,2 b	2,5 a	2,4 ab	2,3 ab	2,4 a
C	2,1 a	2,0 a	2,1 a	2,2 a	2,0 a	2,1 a	2,1 a	2,1 b
D	1,9 ab	1,7 ab	1,8 ab	1,8 ab	2,0 a	1,7 b	1,8 ab	1,8 c
Médias	2,0 a	2,0 a	2,1 a	2,0 a	2,0 a	1,9 a	2,0 a	

C.V. = 8,3%.

Tabela 8. Teor de Ca (%) nos tecidos aos 60 dias após germinação.

Solos	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Médias
A	0,39	0,48	0,40	0,48	0,51	0,34	0,36	0,42a
B	0,25	0,32	0,26	0,26	0,30	0,28	0,25	0,27bc
C	0,24	0,24	0,21	0,23	0,24	0,26	0,25	0,24c
D	0,29	0,25	0,28	0,31	0,41	0,34	0,30	0,31b
Médias	0,29	0,32	0,29	0,32	0,37	0,30	0,29	

C.V. = 26,0%.

Tabela 9. Teor de Mg (%) nos tecidos aos 60 dias após germinação.

Solos	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Médias
A	0,18bc	0,16c	0,22a	0,18bc	0,20ab	0,17c	0,18bc	0,18a
B	0,17a	0,19a	0,18a	0,19a	0,18a	0,20a	0,19a	0,18a
C	0,17a	0,15a	0,15a	0,14a	0,16a	0,16a	0,14a	0,15b
D	0,15ab	0,14b	0,14b	0,14ab	0,16ab	0,17a	0,16ab	0,15b
Médias	0,17a	0,16a	0,17a	0,16a	0,17a	0,17a	0,17a	

C.V. = 9,3%.

Nas linhas e na última coluna, médias acompanhadas por uma mesma letra não se diferenciam pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Tabela 10. Teor de Mn (ppm) nos tecidos aos 60 dias após germinação.

Solos	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Médias
A	1670b	1350b	1760b	2547a	778c	725c	760c	1370a
B	938ab	1115ab	1309a	644b	765ab	1008ab	1072ab	978b
C	1287a	1202a	975ab	1039ab	429c	646bc	514bc	870b
D	642ab	1041a	539ab	1045a	427b	324b	586b	629c

C.V. = 30,7%.

Tabela 11. Teor de Cu (ppm) nos tecidos aos 60 dias após germinação.

Solos	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Médias
A	17,1	17,7	14,8	15,8	17,1	13,5	13,9	15,7 b
B	43,0	53,9	40,0	31,3	47,4	38,4	39,1	41,9 a
C	32,3	19,7	14,8	17,4	16,8	15,1	14,8	18,7 b
D	16,8	17,7	18,1	17,1	16,4	13,5	12,9	16,1 b
Médias	27,3a	27,3a	21,9a	20,4b	24,4ab	20,2b	20,2b	

C.V. = 29,4%.

Tabela 12. Teor de Zn (ppm) nos tecidos aos 60 dias após germinação.

Solos	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Médias
A	78 a	57 abc	80 a	74 ab	50 bc	40 c	50 bc	61 c
B	76 ab	98 a	74 ab	61 b	82 ab	66 b	66 b	75 b
C	73 a	62 a	78 a	73 a	53 a	65 a	53 a	65 c
D	107 a	82 b	119 a	109 a	78 b	60 b	70 b	89 a
Médias	84 ab	74 bc	88 a	79 ab	66 cd	58 d	60 d	

C.V. = 20,1%.

Nas linhas e na última coluna, médias acompanhadas por uma mesma letra não se diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Tabela 13. Altura da planta (cm) aos 60 dias após germinação.

Solos	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Médias
A	55,0 a	42,6 b	52,2 ab	43,6 d	46,6 cd	50,0 abc	48,0 bcd	48,3 d
B	54,3 abc	49,3 c	53,6 bc	55,3 ab	54,0 abc	59,0 ab	59,3 a	55,0 b
C	64,3 a	56,3 b	57,3 b	56,6 b	57,0 b	60,3 ab	58,0 b	58,5 a
D	55,0 a	46,3 b	47,3 b	51,6 ab	50,3 ab	53,0 a	55,0 a	51,2 c
Médias	57,1 a	48,6 d	52,6 bc	51,8 c	52,0 c	55,5 a	55,0 ab	

C.V. = 5,6 %.

Tabela 14. Peso seco da parte aérea (g) aos 60 dias após germinação.

Solos	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Médias
A	5,9 ab	2,1 c	4,9 b	3,7*bc	5,9 ab	8,1 a	6,3 ab	5,3 c
B	5,1 bc	2,5 c	4,3 bc	5,6 b	4,8 bc	9,3 a	8,9 a	5,8 c
C	16,5 a	8,7 d	12,1 c	11,8 c	15,7 ab	15,1 ab	13,2 bc	13,3 a
D	8,1 ab	4,1 d	7,1 abc	6,2 bcd	5,2 cd	9,3 a	9,9 a	7,1 b
Médias	8,9 bc	4,4 c	7,1 d	6,8 d	7,9 cd	10,4 a	9,6 ab	

C.V. = 20,2%.

Tabela 15. Peso seco das raízes (g) aos 60 dias após germinação.

Solos	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Médias
A	2,55 a	1,08 b	1,39 b	1,53 b	2,70 a	2,96 a	2,44 a	2,09 b
B	1,45 abc	0,94 c	1,06 c	1,81 abc	1,34 bc	2,40 a	2,25 ab	1,61 c
C	3,83 ab	2,63 c	2,93 bc	2,27 c	3,19 abc	4,01 a	2,58 c	3,06 a
D	4,07 a	1,89 d	3,33 abc	2,87 bc	2,58 cd	3,65 ab	3,28 abc	3,10 a
Médias	2,98 ab	1,63 e	2,18 cd	2,12 d	2,45 cd	3,26 a	2,64 bc	

C.V. = 22,2%.

Nas linhas e na última coluna, médias acompanhadas por uma mesma letra não se diferenciam pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Tabela 16. Produção de grãos (g/vaso) .

Solos	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Médias
A	12,6 a	5,6 b	11,3 ab	7,3 ab	9,6 ab	13,3 a	12,0 ab	10,2 c
B	12,3 c	14,0 bc	21,0 a	18,6 abc	17,6 abc	20,0 ab	18,3 abc	17,4 b
C	22,0 ab	17,3 b	16,6 b	21,0 b	21,3 ab	19,6 b	27,3 a	20,7 a
D	12,6 ab	10,6 ab	15,0 a	13,0 ab	11,0 ab	7,6 b	12,0 ab	11,7 c
Médias	14,9 ab	11,9 b	16,7 a	15,0 ab	14,9 ab	15,1 a	17,4 a	

C.V. = 23,3%.

Nas linhas e na última coluna, médias acompanhadas por uma mesma letra não se diferenciam pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Richard E. Bacha

**1. Características da capa formada sobre as raízes de arroz em função de aplicações de Fe e Mn**

**Metodologia**

Estudo em vasos contendo areia lavada com HCl 6 N.

Aplicaram-se níveis de 0,5 a 50,5 ppm Fe e 0,1 a 12,5 ppm Mn.

Após 30 dias as plantas de arroz foram coletadas, separando-se raízes e parte aérea para análises.

1. Foram analisadas quimicamente teores de Fe, Mn, Ca, P, K, Mg nos tecidos da parte aérea e das raízes, após removida a capa formada pela deposição de óxidos.
2. Foram analisados quimicamente a capa de depósitos sobre as raízes, removidos c/DCB Ditionito, Citrato, Bicarbonato).
3. Análise de raio-X (diafratograma) da capa de depósito.
4. Fotomicrografia com microscópio eletrônico, de raízes cobertas e nuas.
5. Análise de solução extraída semanalmente dos vasos.

**Resultados**

a) Quantidades de Fe removidas por DCB variaram de 0,9mg Fe/g de raízes secas na testemunha até 24,3mg Fe/g quando 33,3 ppm Fe foram aplicados. Um aumento de 1 ppm de Fe em solução elevou o Fe na capa em 0,79mg/g raízes secas.

b) A coloração avermelhada (ferruginosa) foi observada quando pelo menos 3,3ppm Fe foram aplicados.

c) Mn foi removido nas capas das raízes quando 3,33 e 6,67 ppm Mn foram aplicados. A concentração de Mn nas capas de óxidos aumentou a medida que a concentração em solução aumentou. Um aumento de 3,33 a 6,67 ppm Mn aplicados resultaram em 2 vezes mais acúmulo de Mn nas capas.

d) A concentração de Fe depositado sobre as raízes foi 43 vezes maior que a de Mn.

e) A maior parte do Fe e Mn aplicados precipitaram no meio (areia).

f) A observação de microfotografias através de microscópio eletrônico evidenciou que capas de óxido eram mais espessas a medida que maiores concentrações de Fe foram adicionadas. As camadas precipitadas sobre as raízes de arroz cultivadas em solo ou areia, eram semelhantes (Fig. 1).

g) A análise de raios X (XRD) das capas de óxidos removidos de raízes de plantas cultivadas em solo mostraram picos de 6,26 Å, 3,29 Å, 2,47 Å e 1,94 Å, correspondendo ao mineral Lepidocrocita ( $\alpha$  - Fe OOH).

As capas removidas de plantas cultivadas em areia produziram somente picos de 6,26 Å (Fig. 2), o pico mais forte para o mineral Lepidocrocita.

## 2. Tratos Culturais em Solos Problemas

### Metodologia

1. Adubação química c/ N, P, K em níveis respectivamente de N: 30 e 60 kg/ha,  $P_2O_5$  = 60 e 120 kg/ha,  $K_2O$  = 60 e 120 kg/ha.
2. Adubação química com Zn = 5 kg/ha; S = 40 kg/ha.
3. Correção do solo com calcário dolomítico (12 t/ha) mais NPK + M.O.
4. Adubação orgânica (esterco de gado): 20 t/ha, mais 12 t/ha calcário mais Zn + PK.
5. Testemunha = 0-0-0.

### Resultados

Os melhores tratamentos	Media de 2 anos	
	1983/85	1985/86
	----- kg/ha -----	
60-120-120	2530	4050
60-120-120+Zn+M.O.+CaO	4280	6570
60-120-120+Zn+M.O.+CaO+S	4540	6170
Testemunha	660	200

### 3. Screening de Linhagens e Cultivares de Arroz para Resistência a Toxidez de Ferro

#### Metodologia

São efetuadas seleção de plantas com sintomas de toxidez de Fe.

Notas de 0-3, 4-5, 6-9, são dadas respectivamente aos germoplasmas de arroz com reação de resistência, tolerância e suscetibilidade, comparadas a germoplasmas resistentes e suscetíveis conhecidos.

São avaliados materiais procedentes dos programas de melhoramento da EMPASC, CPATB, CNPAF, IRGA e CIAT.

#### Resultados

Até o presente, em 4 anos de seleção, foram avaliados 1900 materiais.

É um método bastante seguro, quando se tem solos com bastante uniformidade que induzem os materiais testados a exibirem os sintomas característicos de toxidez direta e indireta de ferro.

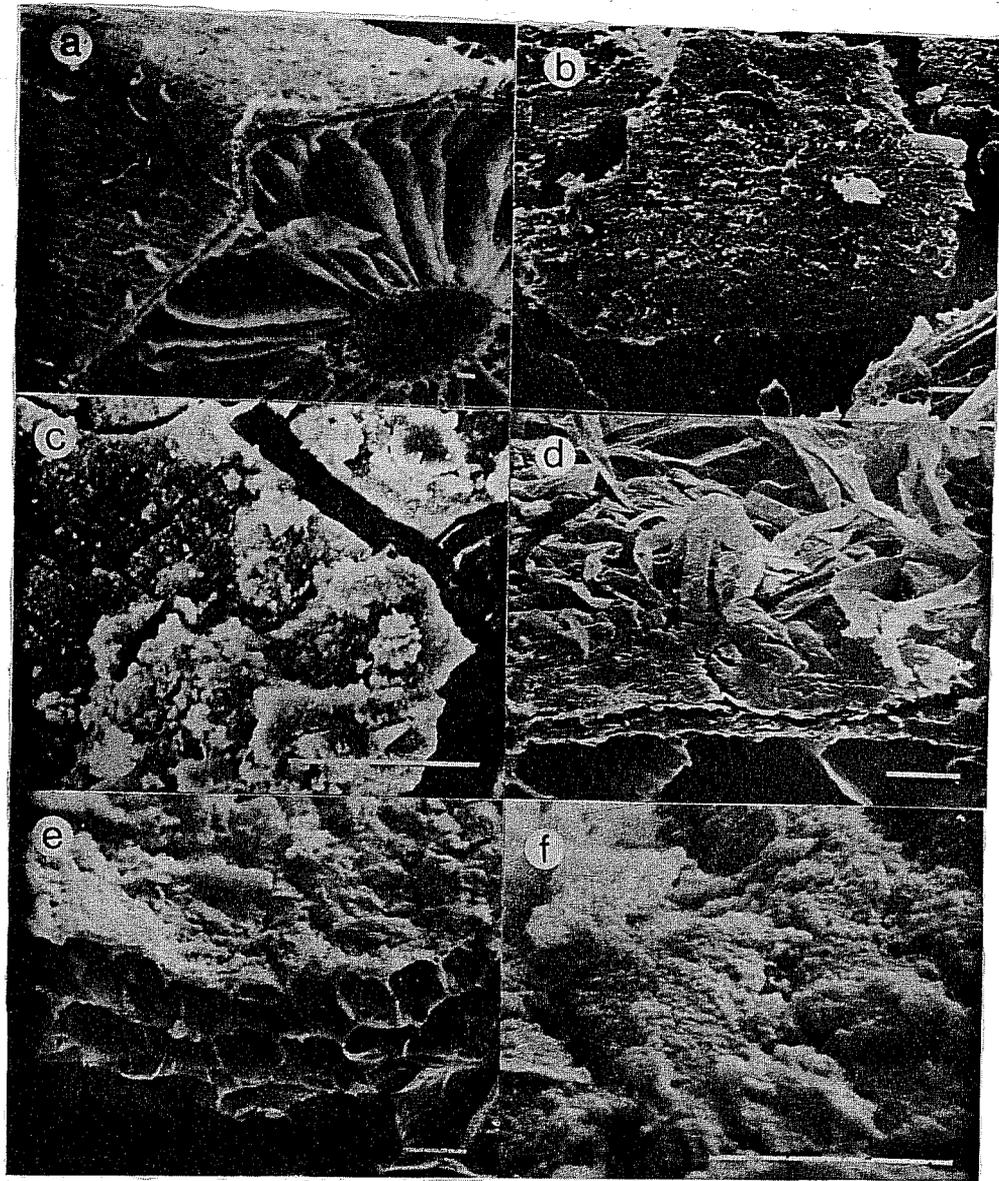


Fig. 1. Varredura de raízes de arroz por micrografia eletrônica. Cada linha de referência representa 20  $\mu\text{m}$ . (a) Raiz não revestida desenvolvida em areia-solução livre de ferro e manganês. (b) Revestimento formado em raiz de arroz quando o meio de cultura em areia foi adicionado de 3,3 ppm de Fe e 6,67 de Mn. (c) Revestimento formado em raiz de arroz desenvolvida em solo fsl de Crowley. (d) Pelos da raiz e revestimento na superfície da raiz do arroz desenvolvida em cultura de areia. (e) seção de raiz de arroz mostrando área ligeiramente revestida. (f) maior aumento de seção de raiz de arroz ligeiramente revestida.

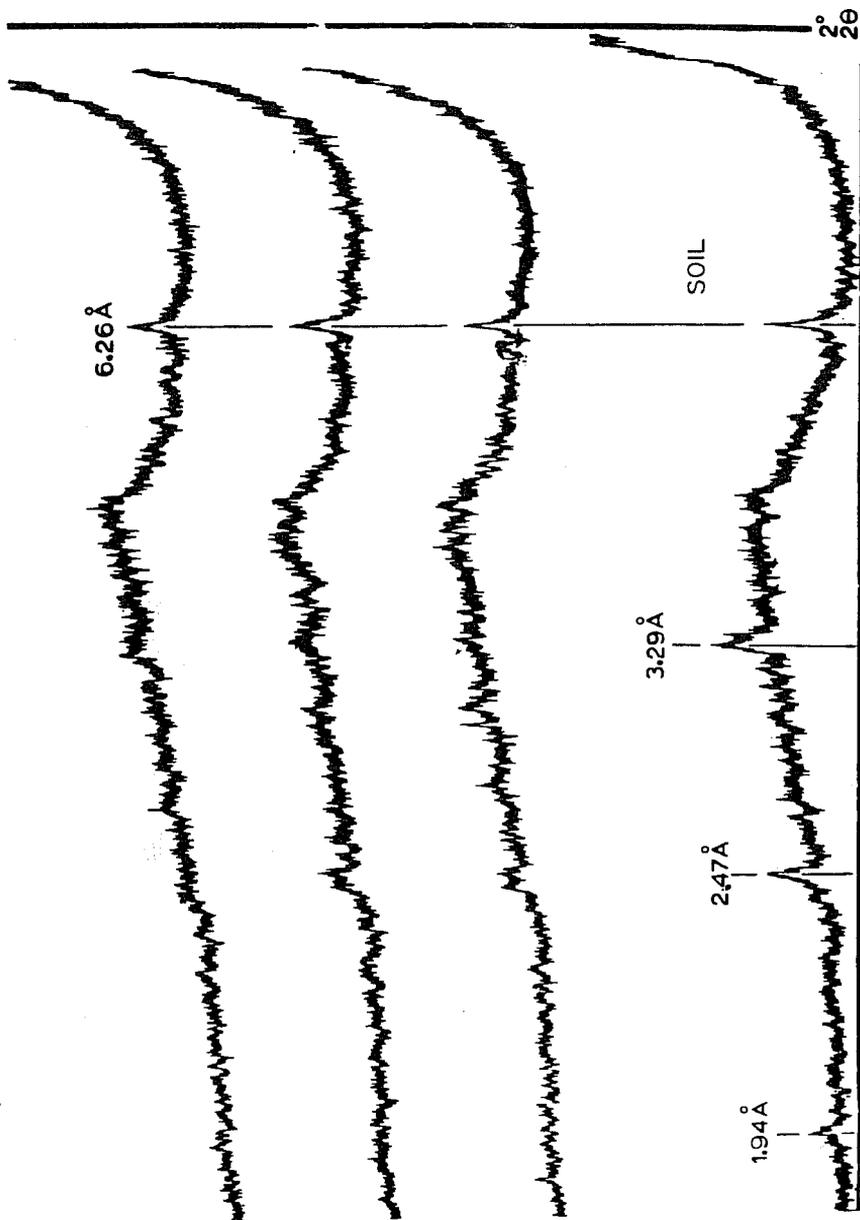


Fig. 2. Padrões de difração de raio X obtidas de revestimentos de epiderme das raízes de plantas de arroz desenvolvidas em solo "fsl" de Crowley e de três experimentos separados da cultura.

Marlene Souza Lopes

## Introdução

O aparecimento do sintoma de alaranjamento, na lavoura gaúcha, parece que está relacionada com a introdução de cultivares modernas, como a BR IRGA 409 e BR IRGA 410.

A princípio esta ocorrência não foi generalizada em todo o Estado e, nas lavouras o sintoma aparecia em manchas não prejudicando o rendimento final dessas cultivares.

Em recente levantamento de dados feito pelo IRGA, através de seus agrônomos do interior, ficou claro que o sintoma de toxidez de ferro está presente em pelo menos 95% dos municípios arrozeiros, com intensidade maior na zona da Campanha e Fronteira Oeste.

No ano agrícola 86/87 fez-se visitas a lavouras da fronteira oeste e constatou-se que o sintoma foi bastante intenso. Segundo informações, dos agrônomos locais, nesta safra, a intensidade do sintoma deve-se, em parte, a irrigação permanente, o que não é comum na região. A topografia irregular e a falta de recursos hídricos em quantidade suficiente não possibilita a manutenção de uma lâmina de água permanente.

No município de Uruguaiana, na localidade de Plano Alto, o solo predominante é da Unidade Pedregal (Solo Litólico de origem basáltica) as lavouras apresentavam-se com sintoma intenso. Em visita a uma destas lavouras coletou-se amostra de solo em vários

pontos e os resultados de ferro, pelo método do oxalato de amônio, mostrou teores que variaram de 4000 a 8000 ppm. Os dados de produção, fornecidos pelo agricultor, estão abaixo.

1o. ano de cultivo - safra 85/86 - área 95 ha

cultivar - BR IRGA 409

produção - 7.030 kg/ha

adubação - 200 kg/ha 2-28-20 e 50 kg de N/  
ha no DPF

irrigação - banho

2o. ano de cultivo - safra 86/87 - área 95 ha

cultivar - BR IRGA 409

produção - 3.715 kg/ha

adubação - 200 kg/ha 2-20-20 e 50 kg de N/  
ha no DPF

No município de Alegrete foram feitas coletas de solos e plantas em lavouras com sintoma forte de toxidez. O solo pertence a Unidade Virginia (Brunizem Hidromórfico) e os resultados das análises constam das Tabelas 1 e 2. Os dados de produção fornecidos pelos agricultores são:

amostra no. 21 e 22 - cultivar BR IRGA 409

safra 85/86 - 6.900 kg/ha

safra 86/87 - 5.800 kg/ha

amostra no. 23 - cultivar BR IRGA 409

safra 85/86 - 6.400 kg/ha

safra 86/87 - 3.700 kg/ha

amostra no. 24

- cultivar BR IRGA 410

safra 85/86 - 7.200 kg/ha

safra 86/87 - 5.800 kg/ha

O problema da ocorrência de toxidez de ferro, no Estado, é uma preocupação já algum tempo e principalmente nesta última safra quando se verificou prejuízos bastante acentuados.

Na intenção de buscar a curto prazo uma técnica que auxiliasse o agricultor a minimizar esse problema, o IRGA e CPATB desenvolveram o trabalho "Efeito da adubação e calagem sobre a produtividade e toxidez de ferro na cultivar BR IRGA 409". O objetivo do trabalho foi avaliar quais os efeitos destas práticas no controle da toxidez de ferro, na absorção de nutrientes e na produtividade da cultivar BR IRGA 409. O solo em estudo foi um Planossolo cujos resultados de análise são: pH água = 4,5; P = 7 ppm; K = 12 ppm; Fe = 2200 ppm; S = 11,5 ppm; Mn = 4ppm; Zn = 6,3 ppm; Cu = 0,2 ppm; M.O. = 3,4%; Ca + Mg = 0,4 me/dl; Al = 1,5 me/dl e CTC = 1,6 me/100g. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições e os tratamentos como seguem:

1. Testemunha
2.  $N_1P_1K_1$  (40 + 60 + 60)
3.  $N_2P_2K_2$  (80 + 120 + 120)
4.  $N_2P_2K_2$  + Zn (Zn = 5,0 kg/ha)
5. Idem + Zn + Cal (Cal = 1/2 SMP)
6. Idem + Zn + Cal + M.O. (M.O. = 20 t/ha)
7. Idem + Zn + Cal + M.O. + S (S = 40 kg/ha)

## Resultados e Discussão

Os resultados da safra 84/85 (Tabelas 3 e 4) mostram que a adubação mais elevada poderá diminuir o sintoma de alaranjamento, entretanto, no ano agrícola 85/86 (Tabelas 5 e 6) este aspecto não foi visualizado, pelo menos, após a fase do florescimento. Nessa safra as condições climáticas (alta temperatura e radiação solar), diferentes do ano anterior, aparentemente possibilitaram um maior desequilíbrio na planta. Nos tratamentos com maior adubação o sintoma de toxidez foi mais intenso que na testemunha, contribuindo, em parte, para diminuição do rendimento. Esse desequilíbrio foi observado, inclusive, em relação a incidência de brusone. Nas parcelas testemunhas o sintoma da doença foi leve e nas demais a intensidade foi maior, contribuindo, também, para afetar o rendimento.

## Conclusões

a) Os resultados dos dois anos não permitem considerar esta prática como eficaz no controle de toxidez de ferro.

b) Há necessidade de identificar os efeitos isolados de cada prática e também conhecer melhor os mecanismos que favorecem o aparecimento de toxidez.

Tabela 1. Resultados das análises de solos.

Caracterização	Análise básica							Análise auxiliar			
	Area ha	Text (%arg)	pH	Ind SMP	P ppm	K ppm	M.O. %	Al	Ca	Mg mg/dl	CTC
21	nd	2(22)	5.4	6.3	8	22	2.5	0.1	3.7	1.4	6.45
22	nd	2(30)	5.5	6.5	9	34	4.0	0.0	14.8	6.7	22.6
23	nd	2(32)	5.6	6.0	5	36	4.6	0.0	15.2	9.9	26.9
24	nd	2(24)	5.4	5.7	6	84	4.9	0.1	11.4	6.2	20.1

ENXOFRE E MICRONUTRIENTES						
Amostra no.	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	B ppm	Mn ppm	Fe %
21	21.7	1.5	5.8	0.4	615	0.24
22	19.2	2.1	5.3	0.7	98	0.11
23	30.8	2.6	9.8	0.5	506	0.56
24	34.2	4.5	7.0	0.7	433	0.36

Tabela 2. Resultados das análises de plantas de arroz.

Amostra no.	Macronutr. - %			Nutr. Secund. - %				Micronutrientes			
	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	
21	-	0,10	0,92	0,24	0,14	-	41	3	747	2972	
22	-	0,25	1,65	0,24	0,32	-	32	5	1065	760	
23	-	0,17	1,79	0,17	0,28	-	32	7	722	1523	
24	-	0,08	1,74	0,16	0,16	-	99	7	1102	1516	

Tabela 3. Reação da cultivar BR IRGA 409 a efeitos tóxicos de ferro, no ano agrícola 84/85 em Santo Antonio da Patrulha. Estação Experimental do Arroz, IRGA, Cachoeirinha-RS.

Tratamentos	Leitura	Repetições		
		I	II	III
1 - Testemunha	1	1	1	2
	2	2	2	2
	3	7	7	7
	4	5	5	5
2 - N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	1	1	1	1
	2	2	2	3
	3	5	4	5
	4	3	2	3
3 - N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	1	1	1	2
	2	2	2	2
	3	3	2	3
	4	3	2	3
4 - N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + Zn	1	1	1	-
	2	1	1	-
	3	2	3	-
	4	2	3	-
5 - N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + Calcário + Zn	1	1	2	1
	2	5	5	5
	3	3	4	5
	4	3	3	3
6 - N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + Calcário + Zn + M.O.	1	1	2	3
	2	1	3	3
	3	4	4	4
	4	3	3	3
7 - N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + Calcario + Zn + M.O. + S	1	1	2	2
	2	2	3	3
	3	2	3	3
	4	2	3	3

Leitura: 1a. 07.02.85 (34 dias); 2a. 22.02.85 (49 dias)  
3a. 12.03.85 (67 dias); 4a. 01.04.85 (87 dias)

Notas (de 0 a 9): (0-3) crescimento normal  
(4-5) com leves sintomas  
(6-9) sintoma intenso e crescimento retardado.

Tabela 4. Concentração de nutrientes no tecido da cultivar BR IRGA 409 no ano agrícola 84/85, na localidade de Santo Antonio da Patrulha - RS. Estação Experimental do Arroz, IRGA, Cachoeirinha - RS.

Elementos	Tratamentos						
	1	2	3	4	5	6	7
N %	1,27	1,38	1,38	1,04	1,30	1,27	1,42
P	0,33	0,34	0,36	0,34	0,35	0,35	0,38
K	1,26	1,50	1,34	1,31	1,37	1,50	1,31
Ca	0,21	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,32
Mg	0,27	0,29	0,27	0,22	0,29	0,29	0,34
S	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11
Cu ppm	3	3	3	2	3	2	3
B	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
Zn	22	22	22	45	40	36	43
Fe	343	222	221	277	217	262	190
Mn	285	262	308	293	263	275	313

Tabela 5. Reação da cultivar BR IRGA 409 a efeitos tóxicos de ferro no ano agrícola 85/86, em Santo Antonio da Patrulha. Estação Experimental do Arroz, IRGA. Cachoeirinha-RS.

Tratamentos	Leitura	Repetições		
		I	II	III
1 - Testemunha	1	1	1	1
	2	3	2	2
	3	7	7	7
2 - N <sup>1</sup> P <sup>1</sup> K <sup>1</sup>	1	1	1	1
	2	3	3	4
	3	5	4	5
3 - N <sup>2</sup> P <sup>2</sup> K <sup>2</sup>	1	1	1	1
	2	3	3	4
	3	4	4	4
4 - N <sup>2</sup> P <sup>2</sup> K <sup>2</sup> + Zn	1	1	1	1
	2	3	3	3
	3	4	4	5
5 - N <sup>2</sup> P <sup>2</sup> K <sup>2</sup> + Calcário + Zn	1	1	1	1
	2	2	2	3
	3	5	4	5
6 - N <sup>2</sup> P <sup>2</sup> K <sup>2</sup> + Calcário + Zn + M.O.	1	1	1	1
	2	1	1	1
	3	4	4	5
7 - N <sup>2</sup> P <sup>2</sup> K <sup>2</sup> + Calcário + Zn + M.O. + S	1	1	1	1
	2	4	4	5
	3	5	6	5

Leitura: 1a. (20.01.86) 2a. (13.02.86) 3a. (05.03.86)

Notas (0 a 9): (0-3) crescimento normal  
(4-5) com leves sintomas  
(6-9) crescimento retardado.

Tabela 6. Efeito da adubação e da calagem sobre a produtividade e a toxidez de ferro na cultivar BR IRGA 409. 85./86.

Tratamento	Rend. graos t/ha	Estat. cm	Est. das espiguetas %	Teor de ferro no tecido ppm
Testemunha	2,6	71,8	17,2	668
N <sup>1</sup> P <sup>1</sup> K <sup>1</sup>	2,3	75,3	17,5	836
N <sup>2</sup> P <sup>2</sup> K <sup>2</sup>	1,5	76,9	23,9	881
N <sup>2</sup> P <sup>2</sup> K <sup>2</sup> + Zn	1,5	75,1	38,4	878
N <sup>2</sup> P <sup>2</sup> K <sup>2</sup> + Cal + Zn	1,9	76,2	21,7	812
N <sup>2</sup> P <sup>2</sup> K <sup>2</sup> + Cal + Zn + Mo	2,1	77,3	17,2	755
N <sup>2</sup> P <sup>2</sup> K <sup>2</sup> +Cal+Zn+Mo+S	2,0	78,6	18,5	683

ESTUDOS PRELIMINARES SOBRE A DINÂMICA DO FE (II) EM TRÊS SOLOS  
UTILIZADOS COM ARROZ IRRIGADO NO RS<sup>1</sup>

Algenor da Silva Gomes  
Rogério Oliveira de Sousa  
Paulo Henrique Alquati  
Mauri Onofre Machado  
Eloi Antônio Pauletto

**1. Diagnóstico do problema**

Nos estados do Sul do Brasil, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, a toxidez de ferro na cultura do arroz irrigado era raramente observada até fins da década de setenta, quando predominavam as cultivares do tipo tradicional e/ou intermediário. Havia referências de técnicos da pesquisa e da extensão a respeito de sintomas similares ao alaranjamento, observados em lavouras da Fronteira do Oeste do RS.

Morel & Machado (1978), todavia, foram os que pela primeira vez caracterizaram e descreveram os sintomas típicos de toxidez direta de ferro observados no sul do País, em lavouras de arroz no município de Camburil, SC, onde foram constatados teores de Fe de até 1300 ppm nas folhas, por ocasião do início da diferenciação do primórdio floral (IDP) e na maturação.

Entretanto, com o surgimento das cultivares modernas, notadamente no início da década de oitenta, os produtores, pesquisadores e extensionistas começaram a observar esse fenômeno com maior frequência e intensidade, principalmente na cultivar

BR-IRGA 409, que, em Santa Catarina e em algumas regiões do Rio Grande do Sul, teve sua produtividade reduzida de forma significativa. Segundo observações realizadas por técnicos de instituições de pesquisa, que atuam nesses Estados, tratava-se na maioria dos casos de toxidez indireta de Fe, pois o sistema radicular apresentava-se, em tais circunstâncias, com uma fina camada de coloração avermelhada, característica do acúmulo de óxido de ferro e as folhas apresentavam, na fase de perfilhamento, níveis de Fe comumente inferiores a 300 ppm, considerado como nível crítico.

Na atualidade, no Estado do RS, da área correspondente a 730 mil ha cultivados com arroz irrigado, 54% o é com a cultivar BR IRGA 409, genótipo tido como o mais suscetível à fitoxidez de ferro, entre os atualmente recomendados para cultivo. Outro percentual, correspondente a 23% da área total é cultivado com a BR IRGA 410, cultivar que, embora em menor grau, também se apresenta suscetível.

Por outro lado, duas cultivares recentemente lançadas, as BR IRGA 412 e 413 também apresentam suscetibilidade a toxidez de ferro, notadamente a 412.

Ademais de toda esse problemática, adiciona-se o fato de que o predomínio do cultivo da BR IRGA 409 verifica-se na Fronteira Oeste, Campanha e Depressão Central, onde os solos, principalmente da 1ª. região apresentam altos teores de ferro.

Por tudo isso, o fenômeno é considerado no RS, preocupante, embora ainda seja difícil de se fazer um diagnóstico dos prejuízos que a fitoxidez de ferro possa acarretar na

produtividade do arroz no RS.

## 2. Apresentação de resultados

Inicialmente foram coletadas amostras de três solos cultivados com arroz irrigado, os quais foram denominados de solo A, solo B e solo C.

O solo A, pertence a unidade de mapeamento Pelotas (Planossolo) e foi coletado na área física do CPATB, o solo B, foi coletado em Alegrete, distante 15 km da sede do município, cuja lavoura de arroz em desenvolvimento no local, apresentava na época sintomatologia típica de toxidez indireta de Fe. Provavelmente, dado aos aspectos geomorfológicos do local de coleta, o solo pertence à unidade Pedregal (Litólico Eutrófico) e o solo C foi coletado em Itapuã, município de Viamão, a 60 km da cidade de Porto Alegre, apresentando características típicas de solo orgânico (teores de matéria orgânica variando de 10 a 50%).

De cada amostra de solo, foram tomadas duas sub-amostras de 8 kg cada e colocadas em baldes onde foram mantidas submersas com uma lâmina de água de  $\pm 3$  cm de altura. Visando a coleta da solução do solo, foi introduzida verticalmente em cada balde, no momento da colocação das amostras de solo uma cápsula porosa (cápsulas utilizadas na construção de tensiômetros), já anexada a um tubo de PVC com diâmetro de 1,5 cm e altura de  $\pm 25$  cm. Para facilitar a extração da solução, foi utilizado o vácuo como procedimento auxiliar; produzido a partir de um amostrador de água do solo com pressão à vácuo (Soilmisture). Este método de coleta de solução do solo é uma adaptação do método descrito por

Hossner & Phillips (1973).

Na solução do solo, coletada de 7 em 7 dias, foram determinados o Fe (II), colorimetricamente, utilizando-se o método descrito por Jackson (1970) e o pH. Na 14a. semana de submersão do solo também foi determinado o Fe (II) total no solo, seguindo-se o método Mehlich ( $H_2SO_4$  0,025N + HCl 0,05N). Para a coleta da solução do solo, extraía-se, inicialmente, a solução existente nas cápsulas, a qual era desprezada; aplicando a seguir vácuo no sistema. Decorrido o período de duas horas então era extraída a solução para análise.

Antes da inundação dos solos, foi determinado, também, colorimetricamente, para cada solo, o Fe-ativo, utilizando-se como extrator o DCB (Mehra & Jackson 1960).

A partir da análise dos resultados contidos na Tabela 1, verifica-se que os três solos considerados apresentam teores de Fe-ativo (Fe-livre) diferenciados. O solo B supera em muito os outros dois solos. Estas diferenças seguramente estão relacionadas ao material de origem desses solos (Brasil 1973).

Em termos de Fe(II) na solução constata-se que o solo C (solo orgânico), foi o que apresentou menores valores durante o período de inundação considerado. O solo A, por sua vez, embora possuindo um teor de Fe-ativo muito inferior ao solo B, apresentou até a 12a. semana de submersão valores de Fe(II) na solução superiores aos constatados no solo B e foi o único solo onde se verificou, durante o período de análise, um declínio nos teores de Fe(II) na solução, com o tempo de submersão.

De forma geral, as concentrações de Fe(II) na solução do

solo podem atingir um máximo entre uma a três semanas após a submergência, segundo Ponnampertuma (1972), ou levar até cinco semanas de acordo com León (1981). A não constatação, no presente trabalho, da diminuição dos teores de Fe(II) na solução dos solos em um espaço de tempo esperado, pode estar relacionada às condições de baixas temperaturas em que foi conduzido o ensaio, ao grau de cristalização dos óxidos de Fe e, em relação ao solo C, acrescenta-se, ainda, aos baixos valores de pH (Tabela 2) (Ponnampertuma 1972).

Na Tabela 1 também se encontram os valores de Fe(II) total para cada um dos solos, determinados na 14a. semana. Em termos quantitativos são inferiores a valores encontrados em solos cultivados com arroz irrigado em Minas Gerais (Lins et al. 1982). Todavia, o teor total de Fe(II) determinado para o solo B assemelha-se a valores mencionados por Ponnampertuma (1985).

O Fe(II) solúvel total define o fator capacidade, ou seja, permite avaliar o potencial que tem o solo de manter na solução determinado nível de Fe(II). Assim, potencialmente o solo B é o que poderá apresentar problemas mais sérios e mais prolongados de toxidez de ferro.

### **3. Recomendações atuais**

Em função da complexidade que envolve o problema da fitotoxicidade de ferro em arroz irrigado, conforme caracteriza a literatura, e do conhecimento ainda pequeno gerado pela pesquisa, a nível local, as recomendações do CPATB para a solução do problema, nas áreas mais afetadas, restringem-se ao uso de

cultivares tolerantes, como as de porte tradicional e intermediário, ao retardamento do início da inundação do solo e à irrigação intermitente, especialmente nos períodos críticos do ciclo da cultura. Sabe-se que o incremento da adubação NPK e da calagem pode minimizar os efeitos negativos de toxidez de ferro, mas em realidade ainda não existem resultados de pesquisa que possam indicar a quantificação desse incremento.

#### LITERATURA CITADA

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. Boletim Técnico, no. 30. 431p.

HOSSNER, L.R. & PHILLIPS, D.P. Extraction of soil solution from flooded soil using a porous plastic filter. Soil Sci., 115(1):87-8, 1973.

JACKSON, M.L. Análisis químicas de suelos. Barcelona, Omega, 1970. 526p.

LEON, L.A. Química de los suelos inundados; guía de estudio. Cali, CIAT 1981. 35p.

LINS, I.D.G.; POTTKER, D.; CURUO, J.B.E. Efeito da época de inundação do solo e da calagem sobre a toxidez de ferro na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.). Campo Grande, EMPAER, 1982. 46p. (EMPAER. Boletim de Pesquisa, 2).

MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE CLAYS & CLAY MINERALS, 7., Ottawa, 1960. Proceedings. s.d., s.ed., 1960. p.317-27.

MOREL, D.A. & MACHADO, M.O. Ocorrência de toxidez de ferro em arroz irrigado no Estado de Santa Catarina. In: REUNIAO ANUAL DO ARROZ, 8., Porto Alegre, 1978. anais. Porto Alegre, IRGA, 1978. p.131-8.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemical of submerged soils. Adv. Agron., 24:29-96, 1972.

PONNAMPERUMA, F.N. Chemickal Kinetics of wetland rice soils relative to soil fertility. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Wetland soils: characterization, classification and utilization. Los Baños, 1985. p.71-89.

Tabela 1. Concentração de Fe (ppm) em três solos utilizados com arroz irrigado no RS.

Solos*	Fe-ativo no solo arado	Fe(II) na solução do solo							Fe(II) solúvel total
		Semanas após a submersão							
		2	4	6	8	10	12	14	
Solo A	2.853	9,19	26,36	56,16	94,66	91,58	82,34	79,3	1065
Solo B	34.438	1,50	11,82	25,39	70,02	54,62	75,81	116,2	4376
Solo C	1.477	1,23	3,23	3,23	1,07	2,84	6,54	7,6	459

\* Solo A - Unidade Pelotas (Planossolo) - coletada em Pelotas;

Solo B - Unidade Pedregal, provavelmente (Litólico Eutrófico) - coletado em Alegrete;

Solo C - Solo orgânico (M.O. variando de 10 a 50%).

Tabla 2. Mudança no pH de três solos cultivados com arroz no Rio Grande do Sul em função do período de alagamento.

Solos*	pH do solo arado	pH da solução do solo						
		2	4	6	8	10	12	14
Solo A	4,45	5,12	6,03	6,39	6,05	6,00	6,10	6,24
Solo B	4,93	6,12	6,50	6,50	6,30	6,50	6,42	6,62
Solo C	4,10	4,14	4,32	4,52	4,69	4,32	4,40	4,44

\* Solo A - Unidade Pelotas (Planossolo) - coletado em Pelotas;

Solo B - Unidade Pedregal, provavelmente (Litolítico Eutrófico) - coletado em Alegrete;

Solo C - Solo orgânico (M.O. de 10 a 50%).

PARTE IV

TENTATIVA DE PADRONIZAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA  
ESTUDOS DE TOXIDEZ DE FE

TENTATIVA DE PADRONIZAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA ESTUDOS DE TOXIDEZ  
DE FERRO

1. SOLO

a) Caracterização das várzeas

Ponto crítico: variabilidade

- Identificação do solo (classificação brasileira)

- Análise química

Fe -  $H_2SO_4$  1.1 ou HF +  $H_2SO_4$  + HClO<sub>4</sub>

Fe - CDB (mínimo 2 vezes)

Fe - Oxalato  $NH_4^+$

Fe - Mehlich

Fe - HCl 0,1 N

Liberção Fe e Mn via oxidação da M.O., conforme sugestão do Prof. Liovando Marciano da Costa

- Amostragem de solo

Profundidade: 0-20, 20-40 cm

No. sub-amostras: mínimo 20 por parcela

- Amostragem em experimentos de vasos: a critério do pesquisador.

2. SOLUÇÃO

- Extração: com cápsula porosa, segundo método proposto por Hossner & Phillips (1972)\*, com modificações necessárias.

-----  
\*HOSSNER, L.R. & PHILLIPS, D.P. Extraction of soil solution from flooded soil using a porous plastic filter. *Soil Science*, 115(1):87-8, 1972.

- Determinação: absorção atômica com a solução acidificada no momento da coleta.

Determinar os cátions que o volume coletado possibilitar.

### 3. PLANTA

- Amostragem

Época: . máximo perfilhamento, mas antes da diferenciação do primórdio floral (DPF)

. floração (no início da emissão da panícula)

Parte da planta: aérea

No. planta: variável

No caso de amostragem de raízes, deve ser feita nas mesmas épocas anteriormente mencionadas.

- Análise

Raízes: retirada dos óxidos que envolvem as raízes, segundo metodologia de Bacha & Hossner (1977)\*.

Parte aérea e raízes: extração com ácido nítrico - perclórico.

Experimentos em vasos: adubação = 4 vezes a adubação recomendada para campo.

No. plantas: 1 planta/1 kg solo.

-----  
\*BACHA, R.E. & HOSSNER, C.R. Characteristics of coatings formed on rice roots as affected by iron and manganese additions. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 41(5):931-5, 1977.

PARTE V

PROPOSTAS E SUGESTÕES PARA PESQUISA

## PROPOSTAS E SUGESTÕES PARA PESQUISA

### PROPOSTAS DE PESQUISA

#### 1. CPATB

- a) Efeito do manejo de água sobre a toxicidade de ferro em arroz irrigado.

##### Objetivo:

Avaliar o efeito de diferentes épocas de início de irrigação e manejo com irrigação intermitente sobre a toxidez de ferro.

##### Metodologia:

O experimento será realizado em casa de vegetação, utilizando-se baldes com 10 kg de solo como unidade experimental. O solo a ser utilizado será coletado em local que tenha mostrado problema de toxidez de ferro.

Serão utilizadas duas cultivares de arroz, comprovadamente suscetível e tolerante.

- b) Efeito da calagem e da adubação sobre a toxicidade de ferro em arroz irrigado.

##### Objetivo:

Avaliar os efeitos de diferentes níveis de calagem e adubação no controle de toxidez de ferro na cultura do arroz.

### Metodologia:

O experimento também será conduzido em casa de vegetação, usando-se baldes com 10 kg de solo como unidade experimental. O solo utilizado será coletado em local que tenha sido observado problema de toxidez de ferro em arroz irrigado. Serão testadas duas cultivares, uma tolerante e outra suscetível.

c) Caracterização de parâmetros do solo que permita prever a ocorrência de toxidez do ferro em arroz irrigado através de análise de solo.

### Objetivo:

Estabelecer a relação entre a ocorrência da toxidez de ferro no arroz e parâmetros de solo analisados em condições de sequeiro, tais como MO, Fe (óxido), pH, textura e disponibilidade de nutrientes.

### Metodologia:

Entre os solos a serem estudados estarão incluídas as seguintes unidades:

Unidades	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
1 - Pelotas	1,2
2 - Vacacai	2,0
3 - Uruguaiana	2,5
4 - Escobar	8,0
5 - Pedregal	14,0
6 - Virginia	6,5

Serão efetuadas análises de Fe, Ca, Mg, P, K, Zn e Mn na solução do solo inundado, bem como no solo em condições

aeróbicas; análise foliar, para se definir quantitativamente os macro e micronutrientes na planta.

Serão utilizadas duas cultivares de arroz irrigado, uma tolerante e outra suscetível.

O experimento será conduzido em casa de vegetação, tendo como unidade experimental baldes com 10 kg de solo.

## 2. EPAMIG/ESAL

- a) Efeitos da toxidez de Fe na produção de matéria seca e absorção de nutrientes em arroz irrigado.

Condições: casa de vegetação e campo.

Solos: Orgânico, Aluvial, Gley Húmico e Gley pouco Húmico.

Tratamentos: serão utilizadas três cultivares (INCA, MG 1, MG 2 e uma linhagem reconhecidamente tolerante (CNA 4978).

Extração de Fe: Fe total, Fe solúvel, Fe ditionito e Fe oxalato.

- b) Avaliação do efeito do gesso no controle da toxidez de ferro em solos de várzea inundados.

Solos: Orgânico, Gley Húmico, Gley pouco Húmico, Aluvial.

Incubação: 30 dias com 300 ppm de Fe.

Doses de gesso: 0, 0,5, 1,0 e 2,0 kg/ha + duas doses de calcário, para fornecer a quantidade de Ca fornecida por 1 e 2 toneladas de gesso (incubação com 30 dias).

As plantas serão cultivadas em vasos com 5 litros de capacidade até o final do ciclo.

Até os 30 dias serão mantidas 0-15 plantas por vaso.

O desbaste será para 3 plantas/vaso e o material retirado será usado para diagnose foliar.

Serão medidas além da produção, a absorção de Zn, Fe e Mn.

### 3. EMPASC

- a) Avaliação de genótipos de arroz irrigado para tolerância à toxidez de ferro.

#### Objetivo:

Identificar linhagens/cultivares que apresentem diferentes graus de sensibilidade ao Fe. A EMPASC vem realizando este trabalho desde 1983 (o trabalho proposto é apenas uma continuação).

#### Solos:

Será instalado em solo Gley Pouco Húmido distrófico da Estação Experimental de Itajaí, com 290 ppm de Fe pelo método de

Mehlich.

**Material Genético:**

Provenientes dos programas de melhoramento da EMPASC, IRGA, CNPAF, CPATB e CIAT.

**Parcela:**

Constituída de 3 linhas em sequência, comuns a duas linhas com as cultivares sensível (BR IRGA 409) e tolerante (Bluebelle).

**Avaliação:**

Visual atribuindo notas de 0 (zero) a 9 (nove), de acordo com o sistema utilizado pelo IRRI (1976), no mínimo em duas idades das plantas.

**4. CNPAF**

- a) Uso de nitrato como fonte de elétrons em solos submersos.

**Objetivo:**

Verificar o efeito do  $\text{NO}_3^-$  como fonte de elétrons e como meio de recuperação das plantas, das consequências do processo de redução do solo.

**Solos:**

Serão utilizados três solos de várzea com altos teores de Fe.

### Tratamentos:

Em vasos com 3 kg de terra serão aplicados diferentes níveis de  $\text{NO}_3^-$  como  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  p.a. Toda vez que o potencial redox atingir 120-150 mV, será feita uma segunda adição de  $\text{NO}_3^-$ .

### Parâmetros:

pH, potencial redox, teores de  $\text{Fe}^{++}$  e  $\text{Mn}^{++}$  no solo e plantas, condutividade elétrica.

Após plantio do arroz, será cultivado feijão em quatro relações Fe/Mn nos solos.

### b) Dinâmica de nutrientes em solos submersos.

#### Objetivo:

Conhecer a dinâmica de  $\text{Fe}^{++}$  e  $\text{Mn}^{++}$  em 10 solos de várzea, em função das propriedades físicas, químicas e mineralógicas.

#### Solos:

A serem coletados, em diversas localidades do país.

#### Caracterização:

Os solos serão caracterizados quanto as suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas, as quais serão correlacionadas com produção de matéria seca. Semanalmente, será coletada a solução do solo para as análises referidas no experimento(a).

Após o plantio do arroz, será feito um estudo de calibração de análise química de fósforo para feijão.

c) Efeitos da calagem e matéria orgânica sobre a disponibilidade de micronutrientes em solos de várzea.

Objetivo:

Estudar os efeitos da calagem e da matéria orgânica na dinâmica e disponibilidade de Fe, Mn, Cu e Zn para as culturas de arroz e feijão, cultivadas em sucessão.

Solo:

Gley Pouco Húmico.

Tratamentos:

Dois níveis de calcário e dois de matéria orgânica em esquema fatorial, em vasos.

Parâmetros:

Serão analisados macro e micronutrientes, no solo, na solução do solo e na planta, além do potencial redox.

A matéria orgânica será adicionada na forma de palha de arroz a 0,5% com base no peso seco do solo.

SUGESTOES

Sugestão: Dr. Ady Raul da Silva

Estabelecer campos pilotos de observação com objetivo de testar práticas culturais já conhecidas que possam amenizar o problema de toxidez de Fe. Fazer plantios em áreas mais ou menos

extensas para tentar avaliar as reduções de produção em função do problema.

Sugestão: Dr. Euripedes da Silva

Não usar fórmulas de adubação, mas elementos simples, visando separar os efeitos de cada um.

Sugestão: Dr. Richard E. Bacha

Trabalhar com número de repetições suficiente para compensar a variação entre plantas, entre e dentro de vasos.

Sugestão: Dr. Nestor Kampf

Avaliar a acidificação do solo em estudos com gesso (formação de  $H_2SO_4$ ), após reoxidação ( $H_2S \rightarrow H_2SO_4$ ).

## PARTICIPANTES

01. Ady Raul da Silva  
Pesquisador/  
PROVARZEAS/PROFIR  
Ministério da Agricultura  
Coordenador Geral do PROVARZEAS NACIONAL  
Esplanada dos Ministérios  
Bloco "H" - s/276, Anexo 2o. andar  
70043 Brasília, DF  
Telefone: (061) 223.5350 - 226.9575 (PABX) ramal 149
  
02. Alaides Puppim Ruschel  
Pesquisador/Microbiologia do Solo  
EMBRAPA/CNPAF - Caixa Postal 179  
74000 Goiânia, GO.  
Telefone: (062) 261-3022.
  
03. Algenor da Silva Gomes  
Pesquisador/Fertilidade de Solo  
EMBRAPA/CPATB - Caixa Postal 553  
96100 Pelotas, RS
  
04. Arinda Moreira de Carvalho  
Professora/Fertilidade de Solo  
EMBRAPA/CNPAF - Caixa Postal 179  
74000 Goiânia, GO.  
Telefone: (062) 261-3022.
  
05. Benedito Gomes dos Santos Filho  
Professor/Fisiologia de Plantas  
Universidade Federal de Pelotas/IB/Dept. Botânica  
Campus Universitário  
96100 Pelotas, RS.
  
06. Eneas Zaborowsky Galvão  
Pesquisador/Fertilidade de Solo  
EMBRAPA/CPAC - Caixa Postal 700023  
Planaltina, DF.  
Telefone: (061) 596-1171 (ramal 133)
  
07. Euripedes da Silva  
Pesquisador Fertilidade e Nutrição de Plantas  
EMBRAPA/CPAC - Caixa Postal 700023  
Planaltina, DF.  
Telefone (061) 596-1171 (ramal 191).

08. Itamar Pereira de Oliveira  
Pesquisador/Fertilidade e Nutrição de Plantas  
EMBRAPA/CNPAF - Caixa Postal 179  
74000 Goiânia, GO.  
Telefone: (062) 261.3022
09. Janice Guedes de Carvalho  
Professora/Fertilidade e nutrição de plantas  
DCS/ESAL - Caixa Postal 37  
37200 Lavras, MG.  
Telefone: (035) 821-3700 (ramal 334)
10. José Flávio Dynia  
Pesquisador/Fertilidade de Solo  
EMBRAPA/CNPAF - Caixa Postal 179  
74000 Goiânia, GO.  
Telefone: (062) 261.3022.
11. Liovando Marciano da Costa  
Professor/Manejo e química do solo  
UFV  
36570 Viçosa, MG.  
Telefone: (031) 891-1790 (ramal 285).
12. Luis Fernando Stone  
Pesquisador/Irrigação  
Chefe Adjunto Técnico  
EMBRAPA/CNPAF - Caixa Postal 179  
74000 Goiânia, GO.  
Telefone: (062) 261.3022.
13. Marlene Souza Lopes  
Pesquisador/Fertilidade do Solo  
IRGA  
Av. Bonifácio Carvalho Bernardes, 1494  
Cachoeirinha, RS
14. Miralda Bueno de Paula  
Pesquisador/Fertilidade e Nutrição de Plantas  
CRSM - Lavras - EPAMIG  
Caixa Postal 176  
Campus da ESAL  
37200 Lavras, MG

15. Morel Pereira Barbosa Filho  
Pesquisador/Fertilidade e nutrição de plantas  
EMBRAPA/CNPAP - Caixa Postal 179  
74000 Goiânia, GO.  
Telefone: (062) 261.3022
  
16. Nestor Kampf  
Professor/Solos  
Faculdade de Agronomia, UFRGS  
Caixa Postal 776  
90001 Porto Alegre, RS  
Telefone: (0512) 36-2011
  
17. Pedro Marques da Silveira  
Pesquisador/Física do solo/irrigação  
EMBRAPA/CNPAP - Caixa Postal 179  
74000 Goiânia, GO.  
Telefone: (062) 261.3022
  
18. Reinaldo de Paula Ferreira  
Pesquisador/Melhoramento  
EMBRAPA/CNPAP - Caixa Postal 179  
74000 Goiânia, GO.  
Telefone: (062) 261.3022
  
19. Richard E. Bacha  
Pesquisador/Química de Solo  
E.E. Itajai/EMPASC - Programa Arroz  
Caixa Postal 277  
88300 Itajai, SC
  
20. Sammy Fernandes Soares  
Pesquisador/Fitotecnia  
EMCAPA/Est. Exp. Bananal do Norte  
Rod. Pacotuba - Burarama, km. 2,5  
29300 Cachoeiro de Itapemirim, ES

