

**TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE TRIGO (Triticum aestivum L.) AO
ALUMÍNIO E AO MANGANÊS: SUA DETERMINAÇÃO, INFLUÊNCIA
NA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES E ABSORÇÃO DE
CÁLCIO E FÓSFORO**

JORGE LUÍS BRAUNER

Orientador: **JOSÉ RENATO SARRUGE**

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Solos e Nutrição de Plantas

**PIRACICABA
ESTADO DE SÃO PAULO - BRASIL
FEVEREIRO, 1979**

A Neila, Daniela e André que
caminharam comigo e iluminaram al-
gumas etapas sombrias da jornada.

Ao Prof. José Renato Sarruge,
que propiciou todas as condições e
com quem muito aprendi, meu profun-
do agradecimento.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, nas pessoas dos Eng^{os}. Agr^{os}. Aroldo Gallon Linhares e Augusto Carlos Baier pelo fornecimento de sementes.

Ao Instituto Agronômico do Paraná, na pessoa do Eng^o. Agr^o. Milton Alcover, pelo fornecimento de sementes.

Ao Instituto Agronômico de Campinas pelo fornecimento de sementes.

Ao Prof. Gilberto Diniz de Oliveira, do Departamento de Química da ESALQ, pela colaboração nas análises químicas.

Ao Prof. Francisco Ferraz de Toledo do Departamento de Agricultura e Horticultura da ESALQ pela conservação das sementes.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da ESALQ, na pessoa do Prof. Virgílio Nascimento Filho, pelo fornecimento de Ca^{45} e P^{32} e detecção quantitativa das radiações nas amostras.

Aos Profs. João Baptista da Silva e Paulo Silveira Jr. do Instituto de Física e Matemática da UFPel pela execução de análises estatísticas em parte dos dados.

Ao Prof. Renato Rodrigues Peixoto da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da UFPel pela preparação do "Summary".

Ao Prof. Eduardo Algayer Osório da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da UFPel pelas varias informações prestadas.

Aos Profs. Victorino Piccinini e Carmem Lúcia M. Hernandorena pelas correções do português e das referências bibliográficas.

Ao Prof. Fernando Luis Cáprio da Costa, Pró-Reitor de Pós-Graduação e Pesquisa da UFPel, pelas facilidades concedidas na impressão dos exemplares.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de Pós-Graduação.

Ao Prof. Jonas Rodolfo B. Garcez da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da UFPel, pela colaboração.

INDICE

	Página
1. RESUMO.....	1
2. INTRODUÇÃO.....	6
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
3.1. Aspectos genéticos da tolerância das plantas ao alumínio e ao manganês.....	11
3.2. Métodos de determinação da tolerância de plantas ao alumínio e ao manganês.....	15
3.3. Concentração de nutrientes nas plantas.....	37
3.3.1. Influência do alumínio e do manganês.	37
3.3.2. Influência genética relacionada ao grau de tolerância ao alumínio e ao manganês.....	39
3.4. Absorção de cálcio e de fósforo pelas plan- tas.....	42
3.4.1. Fundamentos de absorção iônica.....	42
3.4.2. Influência do alumínio e do manganês..	46
3.4.3. Influência genética relacionada ao grau de tolerância ao alumínio e ao manganês.....	52
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	55
4.1. Cultivares.....	55
4.2. Determinação do grau de tolerância ao alumí- nio.....	57
4.3. Determinação do grau de tolerância ao manga- nês.....	59

	Página
4.4. Análises químicas.....	61
4.5. Cinética da absorção de cálcio e de fósforo na ausência e presença de alumínio e de man- ganês.....	62
4.5.1. Cultivares.....	62
4.5.2. Obtenção de raízes.....	63
4.5.3. Técnica experimental.....	64
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
5.1. Determinação da tolerância ao alumínio.....	71
5.2. Determinação da tolerância ao manganês.....	99
5.3. Influência do alumínio e do grau de tolerân- cia ao alumínio sobre a concentração de al- guns elementos na parte aérea.....	109
5.4. Influência do manganês e do grau de tolerân- cia ao manganês sobre a concentração de al- guns elementos nas partes aéreas e raízes...	120
5.5. Cinética de absorção de cálcio.....	136
5.5.1. Diferenças genéticas na absorção de cálcio na ausência de alumínio e de manganês.....	156
5.5.2. Influência do alumínio na absorção do cálcio.....	160
5.5.3. Influência do manganês na absorção do cálcio.....	165
5.5.4. Diferenças genéticas na absorção de cálcio na presença de alumínio.....	168
5.5.5. Diferenças genéticas na absorção de cálcio na presença de manganês.....	171
5.5.6. Efeitos comparativos do alumínio e do manganês na absorção do cálcio.....	173
5.6. Cinética de absorção de fósforo.....	174
5.6.1. Diferenças genéticas na absorção de	

	Página
fósforo na ausência de alumínio e de manganês.....	183
5.6.2. Influência do alumínio na absorção de fósforo.....	187
5.6.3. Influência do manganês na absorção de fósforo.....	188
5.6.4. Diferenças genéticas na absorção de fósforo na presença de alumínio.....	189
5.6.5. Diferenças genéticas na absorção de fósforo na presença de manganês.....	190
5.6.6. Efeitos comparativos do alumínio e do manganês na absorção do fósforo.....	191
6. CONCLUSÕES.....	193
6.1. Determinação da tolerância ao alumínio.....	193
6.2. Determinação da tolerância ao manganês.....	194
6.3. Concentração de nutrientes.....	194
6.4. Absorção de cálcio.....	195
6.5. Absorção de fósforo.....	197
7. SUMMARY.....	198
8. LITERATURA CITADA.....	203

LISTA DE TABELAS

		Página
TABELA 1	- Cultivares, países de origem, genealogias e instituições fornecedoras das sementes.	56
TABELA 2	- Concentrações das soluções experimentais de CaCl_2 e KH_2PO_4 utilizados nos ensaios de cinética da absorção e respectivas atividades, estimadas no início de cada série de ensaios.....	66
TABELA 3	- Comprimento das raízes das plantas de trigo em função de concentrações crescentes de alumínio (médias de 4 repetições).....	72
TABELA 4	- Análise da variância dos valores de comprimento das raízes das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de alumínio.....	73
TABELA 5	- Equações de regressão dos valores de comprimento das raízes das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio, e respectivos valores de F coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máximo e de mínimo.....	75
TABELA 6	- Peso de matéria seca das raízes das plantas de trigo em função de concentrações crescentes de alumínio (média de 4 repe-	

	Página
tições).....	77
TABELA 7 - Análise da variância dos valores de peso da matéria seca das raízes das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de alumínio.....	79
TABELA 8 - Equações de regressão dos valores de peso de matéria seca das raízes das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio e respectivos valores de F , coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máximo e de mínimo..	80
TABELA 9 - Peso de matéria seca das partes aéreas das plantas de trigo em função de concentrações crescentes de alumínio (média de 4 repetições).....	82
TABELA 10 - Análise da variância dos valores de peso de matéria seca das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de alumínio.....	84
TABELA 11 - Equações de regressão dos valores de peso de matéria seca das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio e respectivos valores de F , coeficientes de	

	Página
determinação (r^2) e pontos de máxima e de mínima.....	85
TABELA 12 - Comportamentos das cultivares de trigo, quanto ao comprimento das raízes e peso da matéria seca das raízes e partes aéreas, em função de concentrações crescentes de alumínio e representados por símbolos.....	87
TABELA 13 - Concentrações estimadas de alumínio na solução nutritiva necessárias para fornecer valores correspondentes a 80% do comprimento das raízes e pesos de matéria seca das raízes e partes aéreas das cultivares de trigo, considerando como 100% os valores correspondentes ao tratamento sem alumínio.....	95
TABELA 14 - Peso de matéria seca das raízes de plantas de trigo em função de concentrações crescentes de manganês (média de 4 repetições).....	100
TABELA 15 - Análise da variância dos valores de peso de matéria seca das raízes das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês.....	102

	Página
TABELA 16 - Equações de regressão dos valores de peso de matéria seca das raízes e das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidos em função de concentrações de manganês e respectivos valores de F , coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máximo e de mínimo.....	103
TABELA 17 - Peso de matéria seca das partes aéreas das plantas de trigo em função de concentrações crescentes de manganês (média de 4 repetições).....	105
TABELA 18 - Análise da variância dos valores de peso da matéria seca das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês.....	107
TABELA 19 - Concentrações de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de alumínio (média de 4 repetições).....	110
TABELA 20 - Análise da variância das concentrações de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes	

	Página
de alumínio.....	113
TABELA 21 - Equações de regressão dos valores de concentração de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio e respectivos valores de F , coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máxima e de mínima.....	115
TABELA 22 - Equações de regressão dos valores de concentração de fósforo das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio e respectivos valores de F e coeficientes de determinação (r^2).....	116
TABELA 23 - Concentrações de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês (médias de 4 repetições).....	121
TABELA 24 - Análise da variância das concentrações de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas na presença de concentrações crescentes de manganês.....	122
TABELA 25 - Equações de regressão dos valores de con-	

	Página
centração de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de manganês e respectivos valores de F e coeficientes de determinação	123
TABELA 26 - Concentrações de ferro, manganês, zinco e cobre das partes aéreas de plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês (médias de 4 repetições).....	125
TABELA 27 - Análise da variância das concentrações de ferro, manganês, zinco e cobre das partes aérea das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês.....	127
TABELA 28 - Equações de regressão dos valores de concentração de ferro, manganês, zinco e cobre das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidas em função das concentrações de manganês e respectivos valores de F , coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máxima e de mínima.	128
TABELA 29 - Concentrações de cálcio, ferro e manganês das raízes de plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações cres-	

	Página
centes de manganês (médias de 4 repetições).....	133
TABELA 30 - Análise da variância das concentrações de cálcio, ferro e manganês das raízes de plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês.....	135
TABELA 31 - Equações de regressão dos valores de concentração de ferro e manganês das raízes das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de manganês e respectivos valores de F , coeficientes de determinação (r^2) e ponto de máxima e de mínima.....	137
TABELA 32 - Absorção de cálcio (v) por cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio, em função de concentrações crescentes de cálcio (S), na presença e ausência de alumínio (médias de 4 repetições).....	139
TABELA 33 - Absorção de cálcio (v) por cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao manganês, em função de concentrações crescentes de cálcio (S), na presença e ausência de manganês (médias de 4 repeti-	

	Página
ções.....	140
TABELA 34 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de cálcio ($1/v$) da cultivar IAS 63, na presença e ausência de alumínio, nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6} M$ - $8 \times 10^{-5} M$ e $1,6 \times 10^{-4} M$ - $2,56 \times 10^{-3} M$	141
TABELA 35 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de cálcio ($1/v$) da cultivar Yecora, na presença e ausência de alumínio, nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6} M$ - $8 \times 10^{-5} M$ e $1,6 \times 10^{-4} M$ - $2,56 \times 10^{-3} M$	142
TABELA 36 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de cálcio ($1/v$) da cultivar Sonora 63 C, na presença e ausência de alumínio, nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6} M$ - $8 \times 10^{-5} M$ e $1,6 \times 10^{-4} M$ - $2,56 \times 10^{-3} M$	143
TABELA 37 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de cálcio ($1/v$) da cultivar IAS 55, na presença e ausência de manganês, nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6} M$ - $8 \times 10^{-5} M$ e $1,6 \times 10^{-4} M$ - $2,56 \times 10^{-3} M$	145

TABELA 38 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de cálcio ($1/v$) da cultivar Sonora 63 C, na presença e ausência de manganês, nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6} M$ - $8 \times 10^{-5} M$ - $1,6 \times 10^{-4} M$ - $2,56 \times 10^{-3} M$	146
TABELA 39 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de cálcio ($1/v$) da cultivar CNT ₁ , na presença e ausência de manganês, nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6} M$ - $8 \times 10^{-5} M$ e $1,6 \times 10^{-4} M$ - $2,56 \times 10^{-3} M$	147
TABELA 40 - Equações de regressão linear dos valores recíprocos de absorção de cálcio ($1/v$) em função dos valores recíprocos de concentração de cálcio ($1/S$) das cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio e respectivos valores de F (regressão e desvio da regressão) e coeficientes de determinação para os tratamentos com e sem Al nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6} M$ - $8 \times 10^{-5} M$ - $1,6 \times 10^{-4} M$ - $2,56 \times 10^{-3} M$	148

- TABELA 41 - Equações de regressão linear dos valores recíprocos de absorção de cálcio ($1/v$) em função dos valores recíprocos de concentração de cálcio ($1/S$) das cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao manganês e respectivos valores de F (regressão e desvio da regressão) e coeficientes de determinação para os tratamentos com e sem Mn nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6} M - 8 \times 10^{-5} M$ e $1,6 \times 10^{-4} M - 2,56 \times 10^{-3} M$ 150
- TABELA 42 - Valores de V_m e K_m das cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio e ao manganês obtidos nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6} M - 8 \times 10^{-5} M$ (faixa 1) e $1,6 \times 10^{-4} M - 2,56 \times 10^{-3} M$ (faixa 2), na presença e ausência de alumínio e manganês..... 152
- TABELA 43 - Valores de t para comparação dos parâmetros a e b dos pares de equações de regressão linear correspondentes às faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6} M - 8 \times 10^{-5} M$ (faixa 1) e $1,6 \times 10^{-4} M - 2,56 \times 10^{-3} M$ (faixa 2) para as cul-

	Página
tivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao Al e Mn e nos dois tratamentos dos citados elementos.....	153
TABELA 44 - Valores de t para comparação dos parâmetros <u>a</u> e <u>b</u> de pares de equações de regressão linear das cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao Al e Mn, na presença e ausência de Al e Mn e nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6} \text{M}$ - $8 \times 10^{-5} \text{M}$ (faixa 1) e $1,6 \times 10^{-4} \text{M}$ - $2,56 \times 10^{-3} \text{M}$ (faixa 2)....	157
TABELA 45 - Absorção de fósforo (v) por cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio em função de concentrações crescentes de fósforo (S), na presença e ausência de alumínio (médias de 4 repetições).....	175
TABELA 46 - Absorção de fósforo (v) por cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao manganês em função de concentrações crescentes de fósforo (S), na presença e ausência de manganês (médias de 4 repetições).....	176
TABELA 47 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de fósforo ($1/v$), obtidos	

	Página
em função de concentrações crescentes de fósforo, em presença e ausência de alumínio, das cultivares IAS 63, Yecora e Sonora 63 C.....	179
TABELA 48 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de fósforo ($1/v$), obtidos em função de concentrações crescentes de fósforo, na presença e ausência de manganês, das cultivares IAS 55, Sonora 63 C e CNT ₁	180
TABELA 49 - Equações de regressão linear dos valores recíprocos de absorção de fósforo ($1/v$) em função dos valores recíprocos de concentração de fósforo ($1/S$), obtidos na presença e ausência de alumínio e manganês, das cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio e ao manganês e respectivos valores de F (regressão e desvio da regressão) e coeficientes de determinação.....	181
TABELA 50 - Valores de V_m e K_m de absorção de fósforo das cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio e ao manganês, obtidos na presença e ausência de alumínio e de manganês.....	183

TABELA 51 - Valores de t para comparação dos parâmetros <u>a</u> e <u>b</u> de pares de equações de regressão linear de absorção de fósforo das cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao Al e Mn, na presença e ausência dos citados elementos.....	184
--	-----

1. RESUMO

Esta pesquisa foi realizada com vista aos seguintes objetivos:

a) identificar, em cultivares de trigo, o grau de tolerância ao alumínio e ao manganês;

b) avaliar os efeitos do alumínio sobre as concentrações de cálcio, magnésio e fósforo das partes aéreas de cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio;

c) avaliar os efeitos do manganês sobre as concentrações de cálcio, magnésio, fósforo, ferro, manganês, zinco e cobre das partes aéreas e cálcio, ferro e manganês das raízes de cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao manganês;

d) caracterizar a absorção de cálcio e de fósforo por cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio e ao manganês;

e) avaliar os efeitos do alumínio e do manganês na absorção de cálcio e de fósforo por cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio e ao manganês.

Para isto foram realizados dois experimentos em condições de casa de vegetação, onde plantas de 30 cultivares de trigo foram desenvolvidas em soluções nutritivas, contendo 0,0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 ppm de alumínio e 0, 8, 16 24 e 32 ppm de manganês, respectivamente.

No experimento com níveis crescentes de alumínio as plantas foram colhidas com 12 dias e o grau de tolerância ao alumínio de cada cultivar foi avaliado pela apreciação conjunta dos efeitos do alumínio, revelados por análise de regressão, sobre o comprimento das raízes, peso da matéria seca das raízes e peso da matéria seca das partes aéreas.

No experimento com níveis crescentes de manganês as plantas foram colhidas com 17 dias e o grau de tolerância ao manganês foi avaliado pela apreciação dos efeitos do manganês, revelados por análise de regressão, sobre o peso da matéria seca das partes aéreas e peso da matéria seca das raízes.

Nas partes aéreas de plantas de 10 cultivares de trigo, obtidas no experimento com níveis crescentes de alumínio e apresentando diferentes graus de tolerância ao elemento, foram determinados o fósforo, o cálcio e o magnésio.

Nas partes aéreas de plantas de 6 cultivares de trigo, obtidas no experimento com níveis crescentes de manganês e apresentando diferentes graus de tolerância ao elemento, foram determinados o fósforo, o cálcio, o magnésio, o ferro, o manganês, o zinco e o cobre e, nas raízes, o cálcio, o ferro e o manganês.

Com raízes destacadas de plantas com 7 dias de idade de três cultivares de trigo com tolerância diferencial ao alumínio (Sonora 63 C - suscetível; Yecora - tolerância intermediária e IAS 63 - tolerante) e de três cultivares de trigo com tolerância diferencial ao manganês (CNT₁ - suscetível; Sonora 63 C - tolerância intermediária e IAS 55 - tolerante) foram realizados ensaios de cinética de absorção de cálcio e de fósforo, na presença e na ausência de alumínio ou de manganês. As soluções experimentais utilizadas possuíam concentrações de $5 \times 10^{-6} \text{M}$, 10^{-5}M , $2 \times 10^{-5} \text{M}$, $4 \times 10^{-5} \text{M}$, $8 \times 10^{-5} \text{M}$, $1,6 \times 10^{-4} \text{M}$, $3,2 \times 10^{-4} \text{M}$, $6,4 \times 10^{-4} \text{M}$, $1,28 \times 10^{-3} \text{M}$ e $2,56 \times 10^{-3} \text{M}$ de CaCl_2 e 10^{-6}M , $1,2 \times 10^{-5} \text{M}$, $2,3 \times 10^{-5} \text{M}$, $3,4 \times 10^{-5} \text{M}$, $4,5 \times 10^{-5} \text{M}$, $5,6 \times 10^{-5} \text{M}$, $6,7 \times 10^{-5} \text{M}$, $7,8 \times 10^{-5} \text{M}$, $8,9 \times 10^{-5} \text{M}$ e 10^{-4} de KH_2PO_4 .

e estavam marcadas com ^{45}Ca e ^{32}P , respectivamente. As interpretações foram feitas com base nos parâmetros V_m e K_m através de procedimentos estatísticos.

Os resultados obtidos propiciaram as seguintes conclusões mais importantes:

a) O grau de tolerância ao alumínio das cultivares de trigo não está relacionado com as concentrações de P, Ca e Mg das partes aéreas.

b) O grau de tolerância ao manganês das cultivares de trigo não está relacionado com as concentrações de P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu das partes aéreas e Ca, Fe e Mn das raízes.

c) A absorção de cálcio se realiza através de 2 mecanismos.

d) O alumínio promove na absorção de cálcio:

- uma inibição competitiva (faixa de concentração correspondente a $5 \times 10^{-6}\text{M}$ - $8 \times 10^{-5}\text{M}$);

- uma inibição competitiva na cultivar Sonora 63 C e uma estimulação nas cultivares IAS 63 e Yecora (faixa de concentração correspondente a $1,6 \times 10^{-4}\text{M}$ - $2,56 \times 10^{-3}\text{M}$).

e) O manganês promove na absorção do cálcio:

- uma inibição competitiva nas cultivares Sonora 63C e CNT₁ e uma inibição provavelmente incompetitiva na cultivar IAS 55 (faixa de concentração correspondente a

$5 \times 10^{-6} \text{M} - 8 \times 10^{-5} \text{M}$;

- uma inibição competitiva nas cultivares IAS 55 e Sonora 63C e uma estimulação na cultivar CNT₁ (faixa de concentração correspondente a $1,6 \times 10^{-4} \text{M} - 2,56 \times 10^{-3} \text{M}$).

f) Na presença de alumínio:

- não existem diferenças genéticas na absorção do cálcio (faixa de concentração correspondente a $5 \times 10^{-6} \text{M} - 8 \times 10^{-5} \text{M}$);

- existem diferenças genéticas relacionadas ao grau de tolerância ao alumínio (faixa de concentração correspondente a $1,6 \times 10^{-4} \text{M} - 2,56 \times 10^{-3} \text{M}$);

g) A absorção do fósforo se realiza através de um único mecanismo;

h) Na ausência ou presença de alumínio ou de manganês existem diferenças genéticas na absorção do fósforo não relacionadas com o grau de tolerância aos dois elementos.

i) O alumínio e o manganês, mais aquele do que este, estimulam a absorção do fósforo.

2. INTRODUÇÃO

O trigo é considerado um dos produtos agrícolas mais importantes para a alimentação humana.

Na presente década a produção tritícola brasileira atendeu no máximo a 56,9% do consumo, correspondente à safra de 1974, tornando o país altamente dependente de importação do produto e comprometendo seriamente o balanço de pagamentos (TRITICULTURA, 1977). Em vista disso, um dos objetivos mais importantes da política agrícola do governo brasileiro é a obtenção de auto-suficiência na produção do cereal, no menor espaço de tempo possível.

Dentre os estados brasileiros produtores de trigo, o Rio Grande do Sul detém a liderança da produção, sendo o Estado com maior área utilizada para a cultura, 1 milhão e 900 mil hectares (52%), seguido do Paraná, com 1 milhão e 500 mil hectares (41%) (TRITICULTURA, 1977). Segundo

LEMOS et alii (1967), 90% da produção do cereal no Rio Grande do Sul é obtida no "Planalto Riograndense". Essa região está localizada entre os paralelos 27º e 30º de latitude sul, apresentando uma altitude variável de 400 a 800 metros acima do nível do mar (MARTINI et alii, 1977). Possui um clima subtropical úmido, com uma precipitação média anual de 1750 mm, predominando no inverno (julho e agosto) e uma temperatura média anual de 17,5ºC, ocorrendo geadas ocasionais durante o inverno (MARTINI et alii, 1977). Os solos, em sua maior parte desenvolvidos de basalto (triássico) com alguma contaminação de arenito, são classificados predominantemente como Oxissolos e Ultissolos, apresentam uma topografia ondulada (5 a 15% de declividade) e geralmente consistem de um epipédon ócrico e horizonte óxico (B latossólico) ou argílico (B textural) (MARTINI et alii, 1977). Segundo MACHADO (1974), esses solos não possuem limitação quanto ao uso de implementos agrícolas e à falta de ar, mas apresentam uma moderada limitação à erosão e moderada à forte limitação quanto à fertilidade natural. A limitação quanto à fertilidade natural é decorrência de intensa intemperização, a qual condiciona uma baixa disponibilidade de nutrientes, um teor normalmente baixo de matéria orgânica e valores de pH geralmente inferiores a 5,0, determinando normalmente concentrações tóxicas de manganês e de alumínio. Em uma parte ponderável desses solos, de acordo com CAMARGO (1976), os horizontes subsuperficiais apresentam valores de alumínio, ex-

pressos em relação à capacidade de troca de cátions efetiva, superiores a 50%.

O controle da toxidez de alumínio e de manganês, ocorrente em situações de elevada acidez do solo, é geralmente efetuada pela prática de calagem. No entanto, os efeitos benéficos da calagem se restringem a uma profundidade de no máximo 20 cm, ocasionando um desenvolvimento superficial do sistema radicular das plantas em solos em que a porcentagem de saturação de alumínio dos horizontes mais profundos é muito elevada, expondo-as a condições de deficiências hídricas nos períodos de baixa precipitação pluviométrica e como consequência baixas produções, conforme foi constatado por GONZALEZ ERICO et alii (1976).

Uma opção alternativa que gradualmente assume importância é o da adaptação de genótipos de plantas a solos com determinadas condições impróprias, através de um melhoramento genético. Esse programa conforme caracterizam BROWN et alii (1972), deve envolver a seleção de uma ampla variedade de material genético dentro de espécies, a determinação de natureza de tolerância e a combinação dessa tolerância com outras características desejáveis para a produção de uma variedade superior para uma condição de solo particular. Para isso o conhecimento de propriedades fisiológicas e bioquímicas associadas à tolerância a condições prejudiciais do

solo, como toxidez do alumínio e do manganês, fornecerá subsídios importantes para a identificação rápida de plantas com os caracteres desejados.

No Brasil, vários pesquisadores, como BRAUNER e VIANNA (1975), SILVA (1976) e MALAVOLTA et alii (1977) começaram a levar em consideração essa nova concepção de manejo de condições de toxidez propondo, inclusive, linhas de pesquisa a serem seguidas. No transcurso da primeira Reunião Latino-americana do Trigo realizada no Brasil em 1974, uma das recomendações plenárias dizia textualmente que "se realicem investigaciones cooperativas de acidez de los suelos, como asimismo com respecto a la toxicidad del aluminio y del manganeso, para orientar adecuadamente los trabajos de mejoramiento genetico" (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1974).

Na realização do presente estudo os seguintes objetivos são propostos:

a) identificar, em cultivares de trigo, o grau de tolerância ao alumínio e ao manganês;

b) avaliar os efeitos do alumínio sobre as concentrações de cálcio, magnésio e fósforo das partes aéreas de cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio;

c) avaliar os efeitos do manganês sobre as

concentrações de cálcio, magnésio, fósforo, ferro, manganês, zinco e cobre das partes aéreas e cálcio, ferro e manganês das raízes de cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao manganês;

d) caracterizar a absorção de cálcio e de fósforo por cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio e ao manganês;

e) avaliar os efeitos do alumínio e do manganês na absorção de cálcio e de fósforo por cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio e ao manganês.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Aspectos genéticos da tolerância das plantas ao alumínio e ao manganês.

Segundo PEARSON (1975), desde o início da prática da calagem conhecem-se diferenças entre espécies de plantas quanto à tolerância à acidez do solo.

McLEAN e GILBERT (1927), estudando o efeito de doses crescentes de alumínio sobre várias espécies de plantas, desenvolvidas em solução nutritiva, dividiram-nas, conforme suas respostas, em: espécies sensíveis, medianamente sensíveis e resistentes ao alumínio. No entanto, somente a partir de 1960 é que se avolumaram os trabalhos demonstrando diferenças de tolerância a nível varietal, embora no Brasil ARAÚJO (1953), em experimentos realizados de 1948 a 1952, visando determinar o modo de controle da doença de

trigo denominada "crestamento" e atribuída à toxidez do alumínio presente no solo, tivesse constatado que, de um grupo de sete variedades de trigo, três variedades tivessem apresentado maior resistência ao "crestamento".

Têm sido constatadas diferenças varietais quanto à tolerância ao alumínio em soja, trigo, cevada, algodão, batata doce, arroz, alfafa, azevém, batata, amendoim, girassol, feijão, mandioca e tomate (FOY, 1974; FOY et alii, 1974a; PEARSON, 1975; MUNN e McCOLLUM, 1976). Esse fenômeno, segundo PEARSON (1975), parece ser universal, no mínimo manifestando-se entre as espécies que se desenvolveram sob variáveis graus de acidez do solo. Com relação ao manganês, tem sido constatado que variedades de aveia, alfafa, trevo, trigo, cevada, batata, soja, algodão e arroz têm manifestado diferenças de tolerância (NEENAN, 1960; JACKSON, 1967; CARTER et alii, 1975; ISERMANN, 1975; NEENAN e CARTER, 1977).

O primeiro pesquisador, segundo KERRIDGE e KRONSTAD (1968), a sugerir a possibilidade de determinar a tolerância ao alumínio e desenvolver linhagens adaptadas a altas concentrações de alumínio solúvel do solo foi Neenan, em 1960.

Tem sido verificado que a tolerância ao alumínio é uma característica genética e, portanto, passível de

ser transferida através de técnicas de melhoramento genético. KERRIDGE e KRONSTAD (1968) cruzaram as variedades 'Druchamp' (considerada tolerante ao alumínio) e 'Brevor' (considerada suscetível ao alumínio), desenvolvendo plantas das gerações F_1 e F_2 em solução nutritiva com duas concentrações de alumínio (0 e 16 ppm). Utilizando o comprimento das raízes como critério para avaliação do grau de tolerância ao elemento, constataram que as plantas da geração F_2 manifestaram uma segregação da ordem de 155:54, entre as plantas tolerantes e as suscetíveis. Essa relação de 3:1, segundo KERRIDGE e KRONSTAD (1968), faz parecer que os pais diferem em sua reação à acidez por um gen simples, sendo a variedade 'Druchamp' possuidora de um gen dominante para a tolerância. Trabalhando com condições de campo, BECKMAN (1954) constatou que nos vários cruzamentos entre variedades resistentes e suscetíveis ao alumínio foram encontradas, dentre 812 plantas examinadas, 462 resistentes, 159 suscetíveis e 191 duvidosas. O autor enfatizou que em cruzamentos realizados entre variedades resistentes e suscetíveis parece dominar a resistência. Reid, citado por FOY (1974), obteve evidências de que a tolerância ao alumínio em certas populações de cevada de inverno é controlada por um gen ou fator dominante simples. No entanto, FOY et alii (1974a) salientam que existem evidências de que a tolerância ao alumínio no trigo não é herdada de uma maneira simples, pois existem dois ou três gens principais, bem como gens modificadores envolvidos.

MARTINI et alii (1977) consideram que a alta tolerância das variedades de trigo brasileiras não está relacionada a uma baixa capacidade de produção das mesmas e que algumas dessas variedades são capazes de produzir quase tão bem como as variedades mexicanas, altamente produtivas, se forem cultivadas sob condições de solo e de clima adequados. SILVA (1976), com relação ao trigo, também ressalta esse aspecto. Da mesma forma, Reid, citado por FOY, (1974), acentua que não existem evidências, até o momento, de que a tolerância ao alumínio em cevada de inverno esteja geneticamente relacionada com uma produção absoluta potencialmente baixa, na ausência de alumínio.

Segundo SLOOTMAKER (1974), existem indicações de que a tolerância à alta acidez do solo está correlacionada com a tolerância à seca pois o desenvolvimento do sistema radicular no sentido de maior profundidade torna a planta mais apta para a absorção de água.

MESDAG et alii (1970) estudaram uma possível ligação genética entre tolerância à acidez do solo e conteúdo de proteína do grão de trigo. A variedade de trigo Atlas 66, desenvolvida nos Estados Unidos, tem alto conteúdo de proteína no grão e elevada tolerância à acidez e ao alumínio. Os autores concluíram que essas duas características provavelmente diferem entre si geneticamente, embora ligadas

de alguma maneira.

3.2. Métodos de determinação da tolerância de plantas ao alumínio e ao manganês.

A determinação da tolerância de espécies ou cultivares de plantas ao alumínio ou manganês tem sido feita através de experimentos de campo ou casa de vegetação. Em casa de vegetação têm-se empregado, como substratos de crescimento, solo, solução nutritiva e, mais raramente, sílica.

Em condições de campo, SOUZA e GOMES (1971) estudaram o comportamento de uma coleção de 69 variedades de trigo, provenientes de vários países. Cada variedade foi semeada em uma parcela constituída de três filas de três metros de comprimento, distanciadas de 0,30 metros. O experimento foi estabelecido em um solo possuindo pH (H_2O) 4,5 e 2,9 e. mg Al/100 g. Foram feitas observações do desenvolvimento vegetativo das plantas e posteriormente do sistema radicular, sendo atribuídas notas de 1 a 5, de acordo com a seguinte escala: 1 - resistente; 2 - moderadamente resistente; 3 - moderadamente suscetível; 4 - suscetível; 5 - altamente suscetível. MARTINI et alii (1977), usando o mesmo critério de SOUZA e GOMES (1971), determinaram a tolerância ao alumínio de 83 cultivares de trigo originárias de vários países, em um experimento realizado num solo possuindo pH (H_2O) 4,5

e 3,8 e. mg Al/100 g, com dois tratamentos de calcário (0 e 14t/ha). HOWELER e CADAVID (1976) avaliaram a tolerância ao alumínio de 240 cultivares e linhagens de arroz (ano de 1972) e 980 linhagens de arroz (ano de 1973), em um solo possuindo um pH de 4,3 e 3,2 e. mg Al/100 g. No ano de 1972 o experimento foi realizado com dois tratamentos de calcário (0 e 0,5 t métrica/ha) e no ano de 1973 com dois tratamentos (0,5 e 6 t métricas/ha). A avaliação de tolerância foi feita inicialmente de acordo com a severidade dos sintomas de toxicidade devidos ao alumínio, porém segundo HOWELER e CADAVID (1976) foi notado que pequena contaminação de calcário nas bordas das parcelas e/ou variabilidade do solo tinham um grande efeito sobre a expressão dos sintomas e por isto a produção de grãos obtida no final dos experimentos, ao nível de calcário correspondente a 0,5 t métricas/ha, foi selecionada como o melhor indicador da tolerância ao alumínio, embora o acamamento e o ataque de pássaros afetassem bastante esse parâmetro.

Alguns pesquisadores que têm determinado a tolerância de plantas ao alumínio realizando experimentos em casa de vegetação, têm-se preocupado em usar solos com características químicas bem definidas e conhecimento prévio de respostas de espécies ou variedades ao fator em estudo. Assim, FOY et alii (1974a) salientam que o solo "Bladen" (pH 4,8 ou menos), originário de Fleming, Georgia - U.S.A., é um

meio de crescimento adequado para selecionar cultivares de trigo e cevada quanto à tolerância ao alumínio, pois possui uma elevada concentração de alumínio e, ao contrário de muitos solos fortemente ácidos, não contém concentrações tóxicas de manganês, pelo menos para o trigo. Com base em um trabalho preliminar de ESSEN e DANTUMA (1962), foi desenvolvido um método por MESDAG e SLOOTMAKER (1969), visando discriminar diferenças de comportamento de variedades de trigo e cevada em baixos valores de pH do solo, sem levar em consideração a toxidez do alumínio. De acordo com o método, uma camada de solo, possuindo um pH (KCl) de 3,4, é espalhada em tabuleiros localizados em casa de vegetação, de modo a perfazer 8 cm de espessura. A seguir, é adicionado ao solo um determinado volume de H_2SO_4 concentrado. O volume de H_2SO_4 necessário para permitir uma diferenciação no comportamento das variedades foi obtido através de testes preliminares, variando os volumes de ácido sulfúrico adicionados e verificando as respostas de variedades padrão, com graus de tolerância previamente conhecidos. O volume de H_2SO_4 (96%) selecionado foi o que mostrou uma diferença mais marcante no desenvolvimento do sistema radicular, sendo para cevada 185ml/ m^3 , e para trigo 390ml/ m^3 . Oito a dez sementes por variedade testada foram semeadas em fileiras de 45 cm de comprimento e 5 cm entre fileiras, na profundidade de 2 cm, usando três repetições. A temperatura da casa de vegetação foi de 15°C, sendo o solo conservado levemente úmido. Foi necessá-

rio incluir variedades padrão, tolerantes e suscetíveis em cada dez fileiras. Após 10 ou 15 dias da semeadura as plantas foram colhidas, sendo o comportamento de cada variedade avaliado através do comprimento, grossura e descoloração das raízes, comparativamente às variedades padrão. Uma escala de avaliação foi empregada variando de 0 e 9, na qual somente os números ímpares são usados e onde: 1 - muito tolerante e 9 = muito sensível.

NILNAN (1960) foi um dos poucos pesquisadores a realizar experimentos de determinação de tolerância a alumínio e manganês usando sílica grosseira, como meio de crescimento das plantas. Nesses experimentos uma solução nutritiva foi aplicada duas vezes por semana e os tratamentos com alumínio e manganês foram aplicados duas vezes por semana, na forma de solução e alternadamente, sendo que as testemu-

FOY et alii (1973) verificaram tolerância diferencial ao manganês em duas variedades de trigo, cultivando-as em solo possuindo pH 4,7, 0,16 e. mg Al/100 g e 72,9 ppm de manganês trocável, extraído com uma solução de acetato de amônio pH 7,0 e que em experimentos anteriores tinham produzido severa toxidez de manganês em alfafa e algodão.

A condução de ensaios visando a determinação

da tolerância de plantas ao alumínio e ao manganês, através da utilização do solo ou principalmente solução nutritiva, como substratos de crescimento, exige a consideração de certos aspectos fundamentais.

Conforme ressaltam REID et alii (1971), quando se emprega solução nutritiva em ensaios usando a seleção de plantas para tolerância ao alumínio, são de particular importância o pH e as concentrações de alumínio e de fósforo empregadas. RORISON (1958) acentua que o alumínio, em valores muito baixos de pH, está presente quase inteiramente como íon trivalente. Quando o pH se eleva, o íon gradualmente se precipita como hidróxido e, em condições muito alcalinas, torna novamente a aparecer em forma solúvel como íon aluminato. RORISON (1958) informa ainda que devido a esse comportamento, não existe sentido em se investigar a toxidez do alumínio em valores de pH superiores a 4,5 - 5,0, porque provavelmente não existirá concentração suficiente na solução para causar toxidez.

O pH exerce uma determinada influência sobre o crescimento das raízes, sendo demonstrado experimentalmente por Arnou e Johnson, citados por MOORE (1974), que num valor de pH igual a 3,0 plantas de tomate, alface e grama de São Paulo (Cynodon dactylon) tiveram ausência completa no crescimento de suas raízes. Isso fez com que, dependendo da es-

pécie estudada, diferentes valores de pH, compreendidos entre 4,0 e 5,0, tenham sido utilizados pelos vários pesquisadores que empregam soluções nutritivas. KERRIDGE et alii (1971) verificaram que a produção de matéria seca das partes aéreas e das raízes e o comprimento das partes aéreas das variedades de trigo "Atlas 66" (tolerante ao alumínio) e 'Thatcher' (suscetível ao alumínio) não foram reduzidas na solução possuindo pH 4,0, comparativamente à solução possuindo pH 5,0. No entanto, KERRIDGE et alii (1971) observaram que, embora o pH não tenha efeito sobre o crescimento na faixa de pH compreendida entre 4,0 e 5,0, existe um efeito da interação pH x alumínio nos parâmetros estudados. MOORE (1974) estudou o efeito dessa interação, conduzindo experimentos possuindo, como variáveis, concentrações de alumínio, valores de pH e duas variedades de trigo, uma tolerante e a outra suscetível ao alumínio. Foi constatado que, quando o pH aumenta de 4,0 até 4,5, a concentração de Al^{3+} diminui, a concentração de $AlOH^{2+}$ aumenta e também aumenta o grau de toxidez do alumínio para as plantas. MOORE (1974) com base nos resultados obtidos, salienta que é razoável concluir que o íon $AlOH^{2+}$ é responsável pelos efeitos adversos do alumínio em solução sobre as raízes das plantas. Ademais MOORE (1974), considerando uma solução com 6ppm de alumínio e assumindo um valor de pK igual a 32,3 para a reação $Al(OH)_3 \rightleftharpoons Al^{3+} + 3 OH^-$ e pK igual a 5,0 para a reação $Al^{3+} \rightleftharpoons AlOH^{2+} + H^+$, salienta que a citada solução a um valor de pH 4,0

possuirá todo o alumínio em solução e que a concentração de íons Al^{3+} será 10 vezes maior do que a concentração de íons $AlOH^{2+}$. Aumentando o pH, haverá uma diminuição da concentração de íons Al^{3+} e um aumento na concentração de íons $AlOH^{2+}$ e, ao ser atingido um valor de pH situado entre 4,4 e 4,5, o produto da solubilidade será atingido, havendo, como consequência, uma diminuição na concentração dos íons Al^{3+} e $AlOH^{2+}$. Com relação a esse comportamento, SPARKING (1967) informa que em uma solução possuindo pH 4,7 a máxima solubilidade do alumínio será de 1mg/l. Conforme observam KERRIDGE *et alii* (1971), devido a esses efeitos, é essencial manter o pH constante em qualquer experimento ou série de experimentos onde o alumínio seja uma das variáveis estudadas.

A coexistência do alumínio e do fósforo em solução depende do produto da solubilidade do $AlPO_4 \cdot 2H_2O$ que, de acordo com McILAN (1976), é da ordem de 28-32, expressos como pK_{sp} . Quando as concentrações das formas iônicas de fósforo e de alumínio em solução atingem aquela faixa de valores citada, há uma precipitação. MUNNS (1965) estudou a interação pH x $Al \times P$, determinando ao longo de vários dias as concentrações de fósforo e de alumínio em soluções contendo 9,92, 2,48, 0,62 e 0,31 ppm de fósforo, em presença de 2,7 ppm de alumínio e com dois valores de pH, a saber 4,0 e 4,5. Verificou que, após três semanas, as soluções possuindo concentrações de fósforo de 2,48, 0,62 e 0,31 ppm e pH 4,0

apresentavam o fósforo e o alumínio integralmente em formas solúveis. Dentre as soluções ajustadas a pH 4,5, somente a solução contendo 0,31 ppm de fósforo não apresentou precipitação do alumínio e do fósforo. KERRIDGE et alii (1971) salientam que a concentração de 12,8 ppm de alumínio se aproxima de sua solubilidade máxima quando em presença de 10 μ M de fosfato e pH 4,0. Em outro experimento, MUNNS (1965) determinou efeitos de pH e de concentrações de fósforo, em ausência de alumínio, sobre o crescimento da alfafa. Foi constatado que as variações de pH de 4,0 até 5,0 e de concentrações de fosfato de 0,025 ppm até 6,2 ppm determinaram efeitos mínimos no crescimento de alfafa, os quais não foram estatisticamente significativos. MUNNS (1965) ressaltou que a menor concentração de fósforo usada no experimento (0,025 ppm), embora 1 000 vezes menor do que as concentrações de fósforo usadas nas soluções nutritivas convencionais, foi adequada para o crescimento normal das plantas, desde que mantida constante.

A conveniência de se manterem baixas as concentrações de fósforo nas soluções nutritivas nos estudos onde o alumínio é uma das variáveis é mais reforçada pela informação de que o fósforo inibe o crescimento de algumas espécies (CLARK, 1977). Dessa forma, como observaram CLARK e BROWN (1974), raízes de milho tiveram seu crescimento prejudicado quando foram desenvolvidas em soluções nutritivas

possuindo concentrações de 2 até 4 ppm de fósforo. SALINAS e SANCHEZ (1976), num estudo com milho, feijão, sorgo e arroz, onde um dos objetivos era verificar diferenças entre espécies e entre variedades quanto à tolerância a altos níveis de alumínio e baixos níveis de fósforo, utilizaram soluções nutritivas em que a concentração de 0,2 ppm de fósforo foi considerada adequada, e 0,05 ppm deficiente.

O critério de seleção das concentrações de alumínio a serem utilizadas nas soluções nutritivas deve ser regida pela interação química entre o alumínio e o fósforo, conforme já foi salientado. Entretanto, LANGE e PEARSON (1969) salientam que a solução do solo raramente apresenta concentrações de alumínio superiores a 2-3 ppm e, no entanto, tem sido prática comum o emprego de soluções nutritivas possuindo concentrações de alumínio várias vezes maiores do que as existentes na solução do solo.

Na maior parte dos experimentos com soluções nutritivas contendo determinadas concentrações de alumínio, as sementes são germinadas em um substrato onde não existe alumínio, e as plântulas somente são submetidas aos tratamentos com o elemento após dias ou semanas. RORISON (1958) accentua que esse procedimento pode alterar os resultados, pois o efeito do alumínio é mais drástico às espécies suscetíveis logo após a emergência das radículas. Enfatiza, in-

clusivo que o transplante das plantas com várias semanas de idade tem permitido a elas resistirem à toxidez e completarem seu ciclo de vida. Atentando para essa informação, KERRIDGE et alii (1971) foram dos poucos pesquisadores a germinar as sementes diretamente nas soluções nutritivas onde os tratamentos de alumínio estão aplicados. No entanto, foi observado um leve efeito do alumínio e também do pH sobre a germinação das sementes de algumas linhagens de trigo.

O efeito do alumínio sobre as radículas imediatamente após a germinação das sementes (RORISON, 1958) torna possível a verificação dos efeitos do alumínio em poucos dias, permitindo a realização de experimentos com curta duração. Assim, MUNN e McCOLLUM (1976), determinando a tolerância ao alumínio por cultivares de batata doce efetuaram um experimento com somente 4 dias de duração.

Via de regra, nos estudos mais recentes, os vários pesquisadores submetem as raízes a um contato permanente com o alumínio durante o período de duração do experimento; porém MOORE (1974) adotou um procedimento diferente. Em seus experimentos, inicialmente as plantas de trigo desenvolveram-se em solução sem alumínio, até que o comprimento das raízes atingiu 3-5 cm (cerca de 48 horas após a germinação). As plantas foram então transferidas para soluções nutritivas contendo alumínio e deixadas durante 48 horas. As

soluções contendo alumínio tinham a mesma composição da solução nutritiva inicial, com exceção do fósforo, que foi omitido, e do ferro, que estava na forma de FeCl_3 , em vez de quelato. Após 48 horas de exposição ao alumínio, o comprimento da raiz primária foi medido e as plantas foram recolocadas em contato com a solução nutritiva inicial, sem alumínio. As plantas foram deixadas se recuperar durante 72 horas e o comprimento das raízes foi novamente medido. A elongação da raiz primária durante o período de recuperação foi usado como um indicador da toxidez do alumínio para as raízes.

Normalmente, as soluções nutritivas contendo as concentrações de alumínio selecionadas contém todos os elementos minerais considerados essenciais. Mas MUNN e McCOLLUM (1976) avaliando o grau de tolerância ao alumínio de variedades de batata doce, usaram uma solução com somente CaCl_2 0,25 mM e H_3BO_3 14 μM , além das concentrações de alumínio. Com esse procedimento, MUNN e McCOLLUM (1976) tentaram evitar os problemas de interação do alumínio com o fósforo e também com cátions básicos.

A avaliação da extensão dos danos causados pelo alumínio geralmente é feita na raiz, através de vários parâmetros, pois, como enfatiza RORISON (1958), a característica crítica da ação do alumínio é a falta de elongação da raiz, que deve ser atribuída à falta de divisão e elonga-

ção celular. Os parâmetros que têm sido utilizados são: número de raízes, peso de matéria seca, peso de matéria fresca, comprimento e comprimento relativo (MUNN e McCOLLUM, 1976; HOWLER e CADAVID, 1976; SPARLING, 1967; FOY *et alii*, 1974b). O comprimento relativo da raiz é obtido dividindo-se o comprimento da raiz referente ao tratamento com alumínio, pelo comprimento da raiz referente ao tratamento sem alumínio ou que forneceu maior comprimento (caso em que o alumínio exerceu um efeito favorável). Segundo HOWLER e CADAVID (1976), esse parâmetro permite eliminar diferenças varietais, quanto ao comprimento das raízes. SALINAS e SANCHEZ (1976) estudando diferenças entre espécies (milho, trigo, feijão, sorgo e arroz) e entre variedades, quanto à tolerância a altos níveis de alumínio e baixos níveis de fósforo, realizaram experimentos com dois níveis de alumínio e dois de fósforo, colhendo as plantas em duas épocas. Para interpretar seus resultados utilizaram os seguintes parâmetros: taxa de crescimento (TC, mg/dia = $(W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$); taxa de crescimento relativo médio (TCR, %/dia = $(\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1) \times 100$); taxa de extensão relativa média (TER, %/dia = $(\ln L_2 - \ln L_1) / (t_2 - t_1) \times 100$), onde W_2 e W_1 são os pesos de matéria seca das partes aéreas e das raízes nas épocas t_2 e t_1 , respectivamente, e L_2 e L_1 são os comprimentos das raízes nas épocas t_2 e t_1 , respectivamente.

Os equipamentos usados para a condução dos ex-

perimentos variam quanto à complexidade. SPARLING (1967), estudando o efeito de diversas variáveis, dentre elas o alumínio, no crescimento de Schoenus nigricans L., determinou a alongação das raízes, desenvolvendo plântulas em tubos de ensaio, possuindo aberturas de 3 cm de diâmetro, substituindo as soluções nutritivas em dias alternados. REID et alii (1971), estabelecendo um método para determinação de respostas de plantas de cevada ao alumínio, em solução nutritiva, utilizaram tanques usualmente empregados para aquários possuindo capacidade de 44 litros. Para arejar as soluções foram usadas as mesmas pedras de aeração (10 por tanque) utilizadas para a criação de peixes. HOWELER e CADAVID (1976) adaptaram formas para obtenção de cubos de gelo para suspender plântulas de arroz sobre as soluções nutritivas contendo as concentrações de alumínio selecionadas. SALINAS E SANCHEZ (1976) desenvolveram uma técnica em que o equipamento consistia de 12 unidades independentes, cada uma possuindo um reservatório de 5 litros, provido de uma pequena bomba, conectado por meio de tubos plásticos a 5 recipientes possuindo 5 litros de capacidade. Cada recipiente correspondia a uma variedade e nele eram desenvolvidas 6 a 20 plantas, dependendo da espécie em estudo. De acordo com SALINAS e SANCHEZ (1976), considerando-se o grande número de unidades experimentais usadas em um ensaio, essa técnica permite o controle do pH, de concentrações de fósforo e de alumínio na solução nutritiva, em cada dois dias, dentro de um aceitável

grau de precisão, em somente 12 amostras.

Os procedimentos de determinação do grau de tolerância das plantas ao alumínio, usando-se solos ou soluções nutritivas, em condições de campo ou casa de vegetação, têm sido apreciados comparativamente. RORISON (1958) salienta que, em solos, é virtualmente impossível, com os métodos analíticos disponíveis, saber-se qual a concentração de um dado elemento que está disponível a determinadas espécies, nem o balanço de íons na solução do solo e, provavelmente, o balanço é mais importante do que os níveis absolutos presentes. Usando-se areia como substrato de crescimento, existe algum grau de controle, mas somente a utilização de solução nutritiva permite um controle rígido do pH e dos íons da solução que está em contato com as raízes das plantas. HOWLER e CADAVID (1976) acentuaram que a seleção de variedades tolerantes ao alumínio em condições de campo exige um labor intensivo, requerendo de 4 a 5 meses até o final, e os resultados são geralmente afetados pela variabilidade do solo, resistência diferencial das cultivares a doenças, insetos, acamamento e ataque por passáros. KERRIDGE et alii (1971) sublinham que a determinação de importância relativa do alumínio como um fator tóxico ao crescimento das plantas, através do uso de solo, é geralmente um processo difícil e tedioso, devido à presença de outros fatores do complexo de acidez do solo, como o manganês solúvel, baixas concentra-

ções de cálcio e fósforo e toxidez de íon hidrogênio. Por outro lado, KERRIDGE et alii (1971) salientam que o emprego de soluções nutritivas é útil em estudos genéticos porque é possível distinguir claramente os diferentes graus de tolerância ao alumínio. Além disso, as medições do comprimento das raízes e das partes aéreas não são destrutivas e, após o experimento, as plântulas da população segregante podem ser transplantadas para o solo, visando subsequente avaliação e uso no programa de melhoramento. SLOOTMAKER e ARZADUM (1969) executaram uma pesquisa visando verificar se a seleção efetuada no início do desenvolvimento das plantas, através de um método expedito em populações agregantes de cevada, crescidas em solo altamente ácido, é um procedimento adequado para um programa de melhoramento. Nesse estudo, foram marcadas, em 4 populações de cevada originadas do cruzamento entre 4 variedades tolerantes e 4 variedades suscetíveis à acidez do solo e crescidas em um solo naturalmente ácido, 25 plantas com crescimento vigoroso e 25 plantas com mau crescimento, no estágio em que as plantas estavam com 3-4 folhas. Ao amadurecerem, as plantas foram colhidas manualmente, formando, por população, um grupo bom e um grupo mau. Em cada uma das plantas de cada grupo foram determinados o número de perfilhos, o comprimento da haste de cada perfilho, o número de grãos por espiga e o peso de 1 000 grãos. Também utilizando as sementes obtidas de cada planta das 8 populações resultantes, foi determinada a tolerância à acidez do

solo, conforme o método desenvolvido por MESDAG e SLOOTMAKER (1969). Com base nos resultados obtidos foi constatado que, nos grupos maus, comparados com os bons, houve uma diminuição, altamente significativa, de 60% no número médio de perfilhos por planta, 25% no comprimento médio das hastes, 35% no número médio de grãos por espiga e cerca de 12% no peso de 1 000 grãos. Em média, mais de 95% das plantas que constituíam os grupos bons mostraram elevada tolerância para a acidez do solo, indicando uma estreita correlação entre tolerância a baixo pH do solo e desempenho agrônômico. SLOOTMAKER e ARZADUM (1969) concluíram que a seleção da tolerância à acidez do solo dentro de populações segregantes durante o estágio inicial de desenvolvimento é um procedimento adequado.

Assim como acontece com relação ao alumínio, a determinação de tolerância ao manganês, utilizando solução nutritiva, pressupõe a consideração de certos fatores.

De acordo com MALAVOLTA et alii (1977), a disponibilidade do manganês para as plantas depende, dentre outros fatores, do pH. Em um experimento realizado por RORISON et alii (1958) foram verificados além de outros, os efeitos de níveis de pH (4,0; 5,0 e 6,0) e concentrações de manganês (0,5; 25,0 e 50,0 ppm) sobre o crescimento de plantas de alfafa. Foi constatado que nas menores concentrações de manga-

nês o crescimento foi muito melhor nos valores de pH 6,0 e 5,0 do que com pH 4,0. Por outro lado, a redução da produção, na concentração mais elevada de manganês (50,0 ppm), foi maior quando a solução possuía um pH igual a 6,0, comparativamente à solução possuindo um pH 5,0. A concentração de manganês das partes aéreas das plantas crescidas na solução contendo 50,0 ppm de manganês e com pH 6,0 foi maior do que a concentração das plantas crescidas na solução contendo a mesma concentração de manganês, mas possuindo pH 5,0. RORISSON et alii (1958) salientam que esses resultados de absorção de manganês são contrários aos obtidos usualmente quando as plantas são desenvolvidas em solos ácidos mas concordam com os resultados obtidos por Olsen, que constatou uma elevação na absorção de manganês em várias espécies quando o pH das soluções nutritivas se elevou de 3,5 até 6,5. MUNNS et alii (1963) ressaltaram que o manganês das soluções nutritivas arejadas se precipita na forma de óxidos hidratados quando o pH é neutro ou alcalino, enquanto que, com pH 4,0 e abaixo, as raízes da cevada se desenvolveram pouco e ficaram descoloridas, sendo a absorção de manganês muito retardada. Baseados nessas observações, MUNNS et alii (1963) realizaram um experimento obedecendo a um modelo fatorial, constando de duas variedades de aveia, 3 valores de pH (4,2, 5,2 e 6,2) e dois níveis de CaSO_4 (0 e 10 mmoles/l). As soluções nutritivas possuíam uma concentração de manganês de 5uM. Foi constatado que houve efeitos significativos decorrentes da inte-

ração pH x concentração de manganês x variedades. HEENAN e CARTER (1975), em um experimento com solução nutritiva com três níveis de pH (4,5, 5,5 e 6,5) e três concentrações de manganês (0,2, 5 e 15 ppm) determinaram o comportamento de duas cultivares de soja. Foi verificada precipitação de manganês nas soluções possuindo concentrações de 5 e 15 ppm e pH igual a 6,5. Houve decréscimos de produção pelo menos para uma cultivar, dentro de cada nível de manganês, e as concentrações de manganês das raízes, mas não das partes aéreas, aumentaram com a elevação do pH em ambas as cultivares, o que concorda, segundo os autores, com as observações de Munns, Johnson e Jacobson, que trabalharam com aveia, mas não com as constatações de Vlamis e Willian, com cevada, Truong, Andrew e Wilson, com trevo branco, ou Robson e Lone-ragan, com duas espécies de Medicago e duas cultivares de trevo branco.

De acordo com JACKSON (1967), o clima e a estação do ano influenciam as concentrações de manganês das plantas, tornando as expressões dos sintomas de toxidez de manganês muito significativas. Foi verificado por Lohnis, citado por JACKSON (1967), que as concentrações de manganês nas folhas de feijoeiro, desenvolvido nos mesmos solos, diferiram amplamente em anos sucessivos. No entanto, os sintomas de toxidez usualmente se manifestaram sem consideração do ano, se a concentração de manganês nas folhas excedia a

1 200 ppm. Quando as plantas de feijão foram desenvolvidas em casa de vegetação, com temperatura elevada, as plantas permaneceram saudáveis, mesmo quando a concentração foliar excedeu aquela que produziu manifestações tóxicas, em condições de campo. RORISON et alii (1958) não constataram diferenças de crescimento das partes aéreas de plantas de alfafa, relacionadas ao manganês, após 4 semanas de desenvolvimento em solução nutritiva, nas temperaturas de 15°C e 25°C. HEENAN e CARTER (1977) estudaram as respostas de duas variedades de soja, visando avaliação quanto à toxidez de manganês, usando solução nutritiva e dois regimes de temperatura. As produções de matéria seca de ambas as variedades foram muito reduzidas pelo regime de temperatura menos elevado (21°C dia/18°C noite). Nesta condição, no nível mais elevado de manganês na solução (15 ppm), os sintomas foliares de toxidez de manganês foram muito severos na cultivar considerada suscetível e moderadas na cultivar tolerante. Contudo, com o regime de 33°C dia/28°C noite, os sintomas de ambas as variedades foram completamente eliminados. Os autores acen- tuaram, baseados nos resultados, que a toxidez de manganês na soja pode ser agravado por períodos frios ou ondas de frio durante a estação de crescimento e, do mesmo modo, pode ser aliviada por períodos quentes.

A tolerância a elevadas concentrações de man- ganês pode ser influenciada pela variação da intensidade lu-

minosa. RORISON et alii (1958), estudando a manifestação da toxidez de manganês em dois níveis de intensidade luminosa, constatavam que os efeitos tóxicos do manganês foram maiores sob condições que normalmente produzem maiores taxas de crescimento.

Certas condições químicas do substrato de crescimento influenciam também a magnitude da toxidez do manganês e suas manifestações. RORISON et alii (1958) verificaram que uma elevada concentração de cálcio na solução nutritiva ocasionou uma redução da toxidez do manganês em plantas de alfafa. As análises químicas revelaram uma reduzida absorção de manganês nas maiores concentrações de cálcio existentes na solução nutritiva. JACKSON (1967) informou que a absorção de manganês, semelhante à absorção de cálcio e magnésio, é muito influenciada pela fonte de nitrogênio empregada. Quando as soluções nutritivas contêm íons nitrato em vez de íons amônio, consideravelmente maiores quantidades de manganês são absorvidas. O silício previne a acumulação de manganês altamente localizada nas folhas de cevada, mesmo que essa concentração não seja diminuída. (WILLIAMS e VLAMIS 1957).

Os experimentos com solução nutritiva, onde o manganês é a principal ou uma das variáveis em estudo, têm sido conduzidos de várias maneiras no que diz respeito à se-

leção e controle do pH, escolha de concentrações de manganês, fonte de nitrogênio, duração, órgãos utilizados para verificação dos efeitos, etc. Com relação à duração do ensaio RO-RISON (1958) enfatiza que os efeitos tóxicos do manganês, ao contrário do alumínio, são cumulativos e quanto mais tempo a planta for deixada crescer num meio contendo elevadas concentrações de manganês, mais será afetada. BENNETT (1974) e PEARSON (1974) salientaram que as partes aéreas e não as raízes são os órgãos que mais são afetados pelos efeitos tóxicos do manganês. FOY et alii (1973) desenvolveram duas variedades de trigo, durante 24 dias, em recipientes com 9 litros de capacidade (16 plantas por recipiente), contendo soluções com 0, 2, 4, 8, 16 e 32 ppm de manganês, com pH inicial ajustado a 4,6. A solução nutritiva empregada foi a de Steinberg 1/5 modificada, contendo íons nitrato e amônio, como fonte de nitrogênio. Os efeitos do manganês foram avaliados com base no peso da matéria seca das partes aéreas e raízes. TERRY et alii (1975) desenvolveram plantas de beterraba durante 21 dias em soluções nutritivas, tendo nitrato como fonte de nitrogênio e concentrações de manganês de 0,44, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 550 e 1 000 ppm. O pH foi ajustado a 6,0 e mantido através de ajustes realizados em intervalos de 3 dias. A temperatura de casa de vegetação foi $19 \pm 1^{\circ}\text{C}$, à noite e $26 \pm 6^{\circ}\text{C}$, durante o dia. HEENAN e CARTER (1975), através de dois experimentos, estudaram os efeitos de níveis de pH e de cálcio sobre o grau de toxidez de manganês em

duas cultivares de soja. A solução nutritiva utilizada foi de Hoagland nº 2, que contém íons nitrato e amônio, como fonte de nitrogênio. O pH foi ajustado diariamente até 5,5 com soluções de hidróxido de sódio ou ácido sulfúrico, no experimento com níveis de cálcio e até 4,5, 5,5 e 6,5, no experimento onde foram estudados os efeitos de pH. Em um dos experimentos foram utilizadas concentrações de manganês da ordem de 0,2, 5,0 e 15,0 ppm. Os autores observaram que a despeito dos ajustes diários de pH foi impossível manter os valores constantes. Em um dos experimentos as plantas foram colhidas com 18 dias e no outro com 19 dias. CARTER et alii (1975) determinaram em 30 genótipos de soja o grau de tolerância ao manganês, sendo as plantas desenvolvidas em casa de vegetação, a uma temperatura de 20°C. A solução nutritiva empregada foi a de Hoagland nº 2, possuindo metade da concentração de boro e fosfato. As concentrações de manganês empregadas foram 0,1, 3, 5, 7, 10 e 20 ppm, sendo o pH das soluções ajustado até 5,5, no início do experimento. Os autores salientaram que, em experimentos posteriores nos quais o pH foi ajustado diariamente, os resultados obtidos foram semelhantes. As respostas foram obtidas após 4 semanas, sendo usada uma classificação visual, com escalas de 0 a 3 para enrugamento da folha, 0 a 3 para clorose e 0 e 1 para necrose, dando um máximo possível de 7 pontos.

3.3. Concentração de nutrientes nas plantas.

3.3.1. Influência do alumínio e do manganês.

De acordo com as revisões de JACKSON (1967), KAMPRATH e FOY (1971), BROWN et alii (1972) e FOY (1974), embora o alumínio presente no substrato de crescimento em concentrações tóxicas afete a concentração de muitos elementos essenciais nos tecidos das plantas, um grande número de pesquisadores tem relacionado a toxidez causada pelo alumínio com uma diminuição na concentração de cálcio ou fósforo, nas raízes ou partes aéreas.

Algumas alterações na concentração de alguns elementos têm sido atribuídas à presença de elevadas concentrações do manganês no meio onde se desenvolvem as plantas. Vose e Jones, citados por JACKSON (1967), constataram, em três variedades de trevo branco, que o primeiro incremento de manganês, considerado tóxico, deprimiu a concentração de cálcio nas partes aéreas. Os dados de GUELLETTE e DESBUREAUX (1958) mostraram que o decréscimo percentual na concentração de cálcio das partes aéreas da alfafa, resultante de altas concentrações de manganês, foram menores do que o decréscimo relativo da concentração de cálcio verificado nas raízes. Com relação ao magnésio, JACKSON (1967) informa que o aumento da concentração de manganês tanto tem induzido acréscimos

como diminuições de magnésio nos tecidos. Maas, citado por JUSTE (1970), salienta que o manganês deprimiu muito fortemente a absorção de magnésio, sobretudo quando o nível de cálcio foi muito baixo. JUSTE (1970) constatou, em videiras intoxicadas por excesso de manganês, que a presença de elevadas concentrações de manganês em folhas e raízes estava associada a elevadas concentrações de fósforo. SCHUMAN e ANDERSON (1976) efetuaram um estudo objetivando verificar as interações das concentrações de manganês com outros elementos, nas partes aéreas de plantas de trigo e soja. Em ambas as espécies houve uma correlação Mn/Ca negativa. No trigo foi constatada uma correlação positiva entre as concentrações de manganês e as concentrações de ferro e boro, enquanto que na soja as concentrações de manganês estavam positivamente correlacionadas com as concentrações de fósforo e zinco. Os autores enfatizam que as interações entre os elementos minerais podem ser de natureza diversa para espécies diferentes e deve-se ter o cuidado quando se usam dados de uma cultura para predizer o que acontece com outra cultura. AGARWALA et alii (1977) estudando o efeito de elevadas concentrações de manganês, cobre, zinco, cobalto e níquel em plantas de cevada, constataram que os mesmos, além de produzirem uma redução na absorção de ferro, afetaram sua distribuição nas raízes e partes aéreas. Com relação a esse aspecto, JACKSON (1967,p.94) salienta que a toxidez do manganês pode ser expressa por duas maneiras diferentes. A pri-

meira é o efeito indireto, caracterizado por uma deficiência de ferro, enquanto que a segunda se manifesta por uma ação tóxica direta, resultante de uma quantidade excessiva de manganês nos tecidos.

3.3.2. Influência genética relacionada ao grau de tolerância ao alumínio e ao manganês

Considerável esforço tem sido despendido na procura de fundamentos para explicar as causas da tolerância das plantas ao manganês e, principalmente, ao alumínio, no âmbito da nutrição mineral das plantas.

ANDREW e VANDEN BERG (1973), estudando os efeitos do alumínio sobre a absorção do fósforo em seis espécies, sendo quatro consideradas tolerantes e duas suscetíveis ao alumínio, constataram que os tratamentos com alumínio, comparativamente aos tratamentos sem alumínio, aumentaram as quantidades de fósforo das partes aéreas das espécies tolerantes, enquanto que, nas espécies suscetíveis, houve uma diminuição. Os autores enfatizam que existe poucas referências sobre aumento nas quantidades de fósforo nas plantas, causadas pelo alumínio.

CLARK (1977), após verificar o crescimento e as concentrações de P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe e Cu em linha-

gens de milho tolerantes e suscetíveis ao alumínio, somente pôde concluir que, embora deficiências de cálcio e fósforo sejam comumente consideradas como sintomas de toxidez de alumínio, o magnésio pode também estar intimamente associado com a toxidez do alumínio, especialmente com relação às raízes.

Quanto ao manganês, foi observado por Duelllette, citado por DESSUREAUX (1958), que alguns genótipos de alfafa tolerantes ao citado elemento continham menos manganês nas partes aéreas do que os genótipos suscetíveis.

FOY et alii (1973) constataram, para todos os níveis de manganês estudados, que as plantas da variedade de trigo considerada tolerante ao manganês possuíam maiores concentrações de manganês do que as plantas consideradas suscetíveis. Foi salientado que a tolerância ao manganês, para o trigo, parece ser devida a uma maior capacidade de tolerar internamente elevadas concentrações de manganês nas partes aéreas e nas raízes e não a um decréscimo na absorção de manganês. FOY et alii (1973) observaram que as diferenças existentes nas concentrações de cálcio das partes aéreas das plantas não estavam relacionadas de modo consistente com a tolerância diferencial ao manganês. Com os tratamentos de manganês que produziram maiores diferenças no crescimento de ambas as variedades (8, 16, 32 ppm), as concentrações de

fósforo tenderam a ser menores nas partes aéreas e nas raízes da variedade tolerante ao manganês.

ISERMANN (1975), pesquisando as causas das diferenças de tolerância ao manganês de três variedades de arroz (tolerante, intermediária e suscetível ao manganês), verificou que, aumentando a concentração de manganês na solução nutritiva, houve uma diminuição na absorção e translocação do ferro, embora nos níveis tóxicos de manganês existente no substrato (50 - 100 ppm) a absorção e translocação do ferro fossem maiores nas variedades tolerantes e intermediárias ao manganês. Segundo ISERMANN (1975), as variedades de arroz tolerantes e intermediárias a elevadas concentrações de manganês podem manter uma relação Mn/Fe muito menor do que a variedade suscetível, especialmente nas partes aéreas.

BROWN e JONES (1977), em um estudo relacionando variedades de soja com toxidez de manganês e ferro, verificaram, através de processos de enxertia, que a tolerância a toxidez de manganês parece ser controlada nas partes aéreas das plantas. Constataram que as partes aéreas das variedades tolerantes e suscetíveis possuíam concentrações idênticas de manganês, porém as variedades tolerantes possuíam mais potássio e as raízes continham menos ferro do que as partes aéreas e raízes da variedade suscetível.

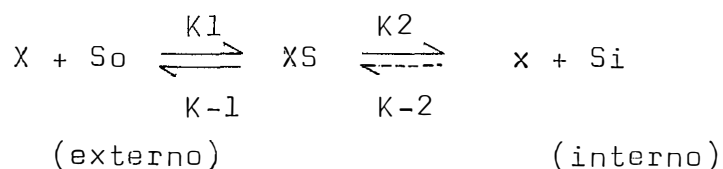
3.4. Absorção de cálcio e de fósforo pelas plantas

3.4.1. Fundamentos de absorção iônica

Geralmente, o termo absorção não é muito bem definido, podendo assumir significados diferentes. Como observou CRUZ (1973), absorção e transporte muitas vezes são usados indistintamente, embora o primeiro consista num processo mais específico que compreende um movimento ativo através de uma barreira limitante. HIATT e LEGGETT (1974), numa revisão sobre interações iônicas, conceituaram interações a nível de membrana como sendo aquelas resultantes de observações em períodos de absorção menores do que 1 hora. Ao contrário, quando os períodos de absorção utilizados nos estudos atingem várias horas, as interações foram consideradas por HIATT e LEGGETT (1974) como sendo a nível celular.

Segundo HIGINBOTHAM (1973), existem três hipóteses básicas para explicar a absorção iônica, quais sejam, teoria da membrana, teoria do carregador e teoria da ligação. De acordo com a primeira delas, as membranas, isto é, o plasmalema e o tonoplasto, constituem as principais barreiras. O movimento passivo é governado pelas leis de difusão reguladas pelos princípios eletroquímicos. O movimento ativo, que parece ser o caso da maior parte dos íons, necessita da energia metabólica, ocorrendo contra um gradiente de ener-

gia eletroquímica. Os locais responsáveis pela transferência são concebidos como parte da estrutura da membrana. HIGINBOTHAM (1973) enfatizou que os locais de troca iônica na membrana não são necessariamente carregadores no sentido de que eles promovam um transporte unidirecional ou que eles sejam móveis. Na teoria da ligação, a acumulação, retenção e seletividade iônicas são explicadas através da atração eletrostática, processos de adsorção e/ou sistemas Donnan. De acordo com a teoria do carregador, os íons combinam-se com uma substância orgânica específica e são transportados através da membrana, sendo libertados no outro lado. O modelo é:



onde: \underline{X} representa a molécula do carregador; S_o e S_i representam a concentração externa e interna dos íons, respectivamente, e K são as constantes de velocidade das reações. A constante $K-2$ é considerada negligenciável. Desse modo, a absorção de íons é similar cineticamente às reações enzimáticas caracterizadas pela equação de Michaelis - Menten:

$$v = \frac{S_o \cdot V_{max}}{S_o + K_m}$$

onde: \underline{v} é a velocidade (no caso, velocidade de absorção iô-

nica); S_0 - é a concentração do substrato (íon); V_{max} - é a velocidade máxima quando X (enzima ou carregador) está saturado; K_m - é a constante de Michaelis. Quando $v = 1/2 V_{max}$, $K_m = S_0$.

Experimentalmente, esses valores são obtidos pela determinação das velocidades de absorção de íons traçadores sob uma faixa de concentrações externas, devendo-se obedecer às seguintes condições: a) possuir o tecido objeto de estudo uma baixa concentração interna de íon (S_i), sendo esta condição preenchida pelo crescimento da planta, se for o caso, em uma solução de $CaSO_4$ 0,5 mM, na ausência de outros íons; b) utilizar curtos períodos de absorção (10 - 20 minutos) e c) usar grandes volumes de solução para evitar o empobrecimento do soluto.

Dentro da teoria do carregador um certo número de modelos tem sido proposto para a cinética de absorção de íons nas plantas superiores. EPSTEIN (1966) defendeu o modelo duplo, onde basicamente o processo de absorção é concebido como sendo realizado através de dois mecanismos. Segundo HIATT e LEGGETT (1974) ambos os mecanismos são identificados pela faixa de concentrações nas quais eles são operativos. No mecanismo I, componente de baixa concentração, as velocidades máximas de absorção são atingidas, aproximadamente, em concentrações de 0,1 a 1mM. O mecanismo II, componente de

alta concentração, contribui para a absorção iônica quando a concentração excede 1mM. HIGINBOTHAN (1973) informou que, na absorção do potássio, o mecanismo I tem uma alta afinidade para íons, alta seletividade e obedece à cinética de Michaelis e Menten. O mecanismo II tem baixa afinidade, baixa seletividade, possuindo múltiplos locais de absorção, não se ajustando perfeitamente à equação de Michaelis e Menten. NISSEN (1971) propôs o modelo multifásico, estudando a absorção de sulfato por raízes de cevada. Em uma faixa de concentração externa de sulfato variando de 10^{-5} a $2,5 \times 10^{-1}$ M, o referido autor obteve oito pontos de inflexão que foram interpretados como sendo fases diferentes do processo de absorção. Cada fase (ou propriedade do carregador) é identificada pela concentração externa e obedece a equação de Michaelis e Menten.

ERDEI e ZSOLDOS (1977) enfatizaram que não existe um modelo geralmente aceito para descrever a absorção iônica e que a razão básica desse insucesso se deve à heterogeneidade funcional e estrutural do material das plantas. NISSEN (1977) estabeleceu critérios para aceitação ou rejeição do modelo duplo de EPSTEIN (1966), modelo operativo de HODGE (1973) e modelo multifásico de NISSEN (1971), tendo concluído que a cinética de absorção iônica nas plantas superiores é consistente com o modelo multifásico de absorção, enquanto que os modelos duplo e cooperativo devem ser rejei-

tados.

3.4.2. Influência do alumínio e do manganês

MAAS (1969) salienta que, embora a influência do cálcio sobre a absorção iônica tenha sido intensamente estudada, conhece-se relativamente pouco a respeito das relações inversas. Lilanto Jacobson, Moore e Hanna, MAAS (1969) chama a atenção de que o cálcio exerceu efeitos muito diferentes sobre a absorção de cátions metálicos alcalinos em raízes destacadas de cevada. Esses efeitos variaram desde altamente estimulatório até completamente inibitório. Em vista desses diversos efeitos, torna-se interessante, segundo MAAS (1969), determinar como esses cátions afetam a absorção do cálcio.

JOHNSON e JACKSON (1964) efetuaram um estudo de absorção de cálcio radioativo por raízes destacadas de plantas de trigo com 6 dias de idade, onde o alumínio foi a principal variável estudada. Em um experimento foi estabelecida uma comparação dos efeitos inibitórios do alumínio, magnésio e potássio sobre a absorção do cálcio, durante um período de absorção de 6 horas com a solução experimental contendo uma concentração de CaCl_2 de 10^{-3}N . Os dois níveis de concentração usados para comparação, 10^{-4} e 10^{-3} equivalentes por litro, mostraram que o alumínio foi mais efetivo

do que o magnésio e potássio na redução de absorção do cálcio. Em outro experimento JOHNSON e JACKSON (1964) determinaram a absorção do cálcio, utilizando um período de absorção de 6 horas e soluções experimentais com concentrações de 2×10^{-4} N, 10^{-3} N, 5×10^{-3} N e 10^{-2} N, na ausência de Al e na presença de uma concentração de 3×10^{-4} N de alumínio. Foi constatado que a redução na absorção do cálcio, devida ao alumínio, não foi sobrepujada pelo aumento da concentração de cálcio das soluções experimentais, o que levou os autores a concluir, ao lado de outras evidências experimentais, que a absorção de cálcio influenciada pelas concentrações de alumínio estudadas não pode ser inteiramente explicada pelo fenômeno da competição iônica. De passagem, deve-se salientar que CRUZ et alii (1974) obtiveram alguns resultados contraditórios aos obtidos por JOHNSON e JACKSON (1964), pois constataram que o potássio, bem como o boro, induziram um efeito estimulatório sobre a absorção do cálcio, embora o magnésio tivesse exercido uma inibição de natureza não competitiva sobre o citado íon.

LANCE e PEARSON (1969), usando a técnica de raízes subdivididas, expuseram raízes de plantas de algodão (Gossypium hirsutum "Empire") com 8 dias de idade a soluções de Hoagland 1/4, possuindo concentrações de 0,15, 0,225 e 0,30 ppm de alumínio, durante períodos que variaram de 20 minutos até 12 horas. Foi constatado que a exposição das

raízes, durante 1 hora, à concentração de 0,30 ppm produziu reduções no peso das raízes e na absorção do cálcio. Nos períodos de exposição mais longos estudados, houve uma redução na absorção da água, cálcio, magnésio, potássio, fósforo e nitrato.

CLARKSON e SANDERSON (1971) estudaram o efeito do alumínio, escândio e ferro sobre a absorção do cálcio por plantas de cevada, com uma semana de idade, utilizando soluções experimentais com pH 4,0 - 4,2. Em um experimento os dados de absorção foram obtidos a partir de soluções experimentais contendo uma concentração de CaCl_2 0,1 mM, marcada com Sr^{85} e concentrações de alumínio, ferro e escândio correspondentes a 0, 0,1, 1,0, 10,0 e 100,0 μM . Com relação ao alumínio foram obtidas as seguintes taxas de absorção, quando foi estabelecido um valor 100 para a absorção correspondente à solução experimental sem alumínio: 0 μM Al - 100; 0,1 μM Al - 100 ± 7 ; 1,0 μM Al - 98 ± 5 ; 10,0 μM Al - 67 ± 3 e 100,0 μM Al - 21 ± 2 . Em outro experimento, a absorção de cálcio pelas raízes das plântulas de cevada foi determinada em soluções experimentais contendo concentrações de CaCl_2 de 0,1, 0,5, 1,0, 5,0 e 15 mM, na ausência de alumínio e na presença de 25 μM de sulfato de alumínio. Foi verificado que acréscimos na concentração de cálcio na solução experimental produziram reduções progressivas na percentagem de inibição de absorção do cálcio, conforme revelam as seguintes taxas

de absorção de cálcio, obtidas em presença de alumínio e expressas como porcentagem dos valores de absorção de cálcio obtidos na ausência de alumínio: 0,1 mM Ca-46%; 0,5 mM Ca-51%; 1,0 mM Ca-60%; 5,0 mM Ca-86%; 15 mM Ca-93%.

Conforme Viets, Biddulph e Woodridge e Tanada, referidos por RAGLAND e COLEMAN (1962), a absorção de ânions é geralmente aumentada por muitos cátions polivalentes. Especificamente para o caso do fósforo, tem sido constatado que o alumínio promove um aumento na concentração de fósforo das raízes. No entanto, o fenômeno é dependente das concentrações de fósforo e de alumínio existentes no meio de crescimento das raízes, como pode ser depreendido do trabalho de RAGLAND e COLEMAN (1962). Esses autores, estudando o assunto com raízes destacadas de feijão (Phaseolus vulgaris L.), realizaram três ensaios. No primeiro, foi determinada a absorção de ^{32}P por 0,5 g de raízes de plantas com 17 dias de idade, durante períodos de absorção de 1,3 e 5 minutos, nos seguintes tratamentos: A - solução de $\text{K H}_2 \text{PO}_4$ $2,5 \times 10^{-5}$ M; B - solução de $\text{K H}_2 \text{PO}_4$ $2,5 \times 10^{-5}$ M + $\text{Al Cl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 5×10^{-5} M; C - solução de $\text{K H}_2 \text{PO}_4$ $2,5 \times 10^{-5}$ M, com as raízes previamente imersas durante 1 hora na solução de $\text{Al Cl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 5×10^{-5} M; D - solução de $\text{K H}_2 \text{PO}_4$ 10×10^{-5} M + $\text{Al Cl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 5×10^{-5} M. No segundo experimento, foi estudado o efeito de níveis crescentes de alumínio em presença de um nível constante de fósforo. Foram usadas uma concentração de $\text{K H}_2 \text{PO}_4$

$2,5 \times 10^{-5}$ M e concentrações de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ variando de 0 até 5×10^{-4} M. Cada solução foi ajustada a pH 4,0 e foram utilizados períodos de absorção de 2 minutos. A influência do alumínio sobre a absorção do fósforo foi também estudada através de um terceiro experimento onde foram usados três níveis de KH_2PO_4 (5×10^{-6} M, $2,5 \times 10^{-5}$ M e 10^{-4} M), três níveis de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ausência, 10^{-4} M e 10^{-2} M) e três períodos de absorção (2,3 e 4 minutos), sendo o pH das soluções ajustado a 4,0. Foi constatado, a partir dos resultados do 2º e do 3º experimento que o aumento na concentração de alumínio de 0 até 1×10^{-4} M produz um aumento na concentração de fósforo das raízes de quase 6 vezes; de 1×10^{-4} M até 5×10^{-4} M de alumínio a concentração de fósforo nas raízes permanece inalterada, situando-se nesta faixa a absorção máxima de fósforo. Na concentração de alumínio de 10^{-2} M a absorção de fósforo é aproximadamente igual à absorção de fósforo obtida no tratamento sem alumínio indicando que, para alguma concentração de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ situada entre 5×10^{-4} M, e 10^{-2} M, a absorção de fósforo começa a decrescer. RAGLAND e COLLIMAN (1962) admitiram que a diminuição de absorção de fósforo no tratamento onde a concentração de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ era de 10^{-2} M foi devida à precipitação do fósforo na forma de fosfato de alumínio, enquanto que o aumento na absorção de fósforo observado na presença de concentrações inferiores a 5×10^{-5} M não podia ser atribuído à precipitação do alumínio na superfície das raízes.

FRANKLIN (1969) constatou que a taxa de absorção de fósforo por raízes destacadas de cevada (Hordeum vulgare), foi afetada quando elas foram submetidas a um pré-tratamento de 1 minuto com soluções de cloreto de vários cátions ou com água. A absorção de fósforo, variou estatisticamente, obedecendo à seguinte ordem: $Fe^{3+} = Al^{3+} > Fe^{2+} > Ca^{2+} = Sr^{2+} = Ba^{2+} = Mg^{2+} > H_2O > NH_4^+ = Na^+ = Li^+ = K^+ = H^+$.

A ocorrência da interação alumínio-fosfato na absorção de fosfato pelas raízes das plantas, segundo uma corrente de pesquisadores, é devida a uma reação de adsorção - precipitação associada com a parede celular e parte externa da membrana citoplasmática das células epidérmicas e corticais das raízes (McCORMICK e BORDEN, 1972 e 1974), enquanto que outra corrente propugna, com base em evidências experimentais, que o fenômeno é de natureza metabólica (RANDALL e VOSE, 1963). CLARKSON (1966), examinando a absorção de ^{32}P e suas incorporação até compostos fosforilados em raízes de plântulas de cevada (Hordeum vulgare) que foram submetidas a um pré-tratamento com alumínio, sugeriu a existência de reações entre o alumínio e o fósforo em dois locais: (1) na superfície da célula ou no espaço livre, resultando na fixação de fosfato por uma reação de adsorção - precipitação; (2) dentro da célula, possivelmente no interior da mitocôndria, a qual resulta em marcante decréscimo na taxa de fosforilação

do açúcar, provavelmente efetuada pela inibição da hexoquinase.

3.4.3. Influência genética relacionada ao grau de tolerância ao alumínio e ao manganês.

CACCO et alii (1976), citando Epstein e Jefferies, observaram que uma variabilidade genética, quanto à eficiência na absorção iônica, tem sido demonstrada para as várias espécies cultivadas. Enfatizaram que, embora a maioria das referências sobre variações na capacidade de absorção de nutrientes tenham sido baseadas em observações de plantas intatas em condições de campo, os estudos de cinética de absorção iônica por raízes imersas em solução nutritiva têm sido considerados como parâmetros indicadores do comportamento da planta frente a problemas de toxidez ou deficiência para íons particulares. CACCO et alii (1976) salientaram que a seleção natural em condições caracterizadas por baixas concentrações de nutrientes induz a um aumento no valor de V_{max} e um decréscimo no valor de K_m , obedecendo a uma estratégia de aumento na afinidade e na velocidade.

EPSTEIN (1968), tecendo considerações a respeito de espécies tolerantes a condições de solo salino, considera que existem duas características próprias desses solos, às quais os mecanismos de transporte celular devem

adaptar-se para que os nutrientes essenciais sejam adquiridos em quantidade fisiologicamente adequadas. Em primeiro lugar, mesmo em substratos salinos, as concentrações de alguns nutrientes minerais requeridos em grandes quantidades podem ser baixas. O mecanismo de absorção deve, portanto, ser capaz de transferir esses íons da região de baixa concentração, possibilitando concentrações internas muito maiores do que aquelas do meio externo. Em segundo lugar, estão presentes em tais meios outros íons em concentrações muito elevadas, constituindo-se competidores potenciais dos íons que são essenciais para as plantas. O mecanismo de transporte deve, portanto, possuir suficientemente alto grau de especificidade com relação ao íon essencial a fim de absorvê-lo seletivamente, pois, não sendo assim, ele seria excluído, através da competição, pelo íon quimicamente relacionado, presente no meio, em excesso.

Analogicamente, essas apreciações efetuadas por EPSTEIN (1968) podem ser válidas para espécies ou variedades adaptadas a condições de solo ácido, onde podem existir concentrações elevadas de alumínio e manganês e concentrações baixas de cálcio, fósforo e outros nutrientes. Segundo FOY (1974) e BROWN et alii (1972), a tolerância diferencial entre variedades e espécies parece estreitamente relacionada a uma absorção e transporte diferencial de cálcio e fósforo. CLARKSON (1969) enumerou as seguintes proprieda-

des de uma espécie hipoteticamente calcífuga, crescendo em um solo ácido: (1) habilidade de se desenvolver em situações onde o fósforo disponível está em baixo nível e frente à fixação do fósforo pelo alumínio nas superfícies das raízes; (2) habilidade de se desenvolver em baixas concentrações de cálcio e frente a uma alterada absorção e translocação de cálcio; (3) possessão de locais específicos dentro do citoplasma onde o alumínio possa ser acumulado sem se tornar prejudicial ou um modo específico para complexar o alumínio; (4) habilidade de prevenir a entrada do alumínio na célula por precipitação na superfície celular.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Cultivares

No presente estudo foram usadas 30 cultivares de trigo, as quais constam na Tabela 1, ao lado de informações como: país de origem, genealogia ⁽¹⁾ e instituições que forneceram as sementes.

Foram recebidas sementes da cultivar Sonora 63 do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo - Embrapa e do Instituto Agronômico de Campinas e, supondo-se que as mesmas foram obtidas por multiplicação em condições de solo e clima diferentes, ambas foram incluídas nos experimentos de determinação da tolerância ao alumínio e ao manganês. Dessa forma, daqui em diante, a notação Sonora 63 P se refere à cul-

(1) Informação pessoal fornecida pelo Professor Eduardo Al-gayer Osório - Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas

TABELA 1 - Cultivares, países de origem, genealogias e instituições fornecedoras das sementes

CULTIVAR	PAÍS	GENEALOGIA	INSTITUIÇÃO*
Sonora 63 P	México	Yaqui 54/ ⁵ / Norin 10/Brevor//Yactana 54	CNPT
Super X	México	Punjano 62 Sib/Gabo 55	IAC
Sonora 63 C	México	Yaqui 54/ ³ /Norin 10/Brevor//Yactana 54	IAC
Yecura	México	CIANO Sib/ ³ /Sonora 64/Klein Rendidor//Siete Cerros 66	IAPAR
LA 1549	México	Informação não obtida	IAPAR
IAS 20	Brasil	Colônias//Frontana/Kenya 58	CNPT
IAS 54	Brasil	IAS 16/ ⁴ /Nor 10 B17/453//Y 50/ ³ /Kt 54 B	CNPT
IAS 55	Brasil	Desconhecida	CNPT
IAS 57	Brasil	IAS 20/IAS-C 46	CNPT
IAS 58	Brasil	IAS-C 46/Cotiporã	CNPT
IAS 60	Brasil	IAS 20/I 56 - C46	CNPT
IAS 61	Brasil	IAS 20/ND 81// IAS 51	CNPT
IAS 63	Brasil	IAS 20 R/IAS 20 R	CNPT
IAS 64	Brasil	Kenya 338/IAS 7//IAS 20/ND 81	CNPT
C 33	Brasil	Veranópolis/IAS 45	CNPT
Toropi	Brasil	Petiblanco 8//Frontana 1971-37/Quaderna A	CNPT
Frontana	Brasil	fronteira/Mantana	CNPT
CNT ₁	Brasil	PF 11.1000 - 62/BH 1146	CNPT
CNT ₂	Brasil	IAS 16/Norin 76	CNPT
Nobre	Brasil	Colotana 296-52//Colotana 824/Yactana 54	CNPT
PF 70354	Brasil	IAS 55/IAS 20	CNPT
PF 70546	Brasil	IAS 51/IAS 20//ND 81	CNPT
Pel 72018	Brasil	IAS 46/IAS 49//IAS 46/Tokai 66	CNPT
Pel 72083	Brasil	IAS 51/Pel A2 - 62	CNPT
Maringá	Brasil	Frontana/Kenya//PC ₁	CNPT
Horto	Brasil	Seleção de BH 4041	CNPT
Coxilha	Brasil	Cáruá/Purplestraw	CNPT
Londrina	Brasil	IAS 16/ ⁴ /Nor 10 B 17/Y 53//Y 50/ ³ /Kt 54 B	CNPT
PAT 19	Brasil	S 12/ ⁴ /Veranópolis/ ³ /Yactana 54//Norin 10/B	CNPT
PAT 24	Brasil	Nt 67/C 25	CNPT

* CNPT - Centro Nacional de Pesquisa de Trigo.- Passo Fundo - Rio Grande do Sul;
 IAC - Instituto Agrônomo de Campinas - Campinas - São Paulo;
 IAPAR - Instituto Agrônomo Paraná - Londrina - Paraná.

tivar Sonora 63, cujas sementes procedem do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, e Sonora 63 C, à mesmo cultivar, mas cujas sementes procedem do Instituto Agronômico de Campinas.

4.2. Determinação do grau de tolerância ao alumínio

Foi realizado um ensaio em condições de casa de vegetação, sendo as plantas desenvolvidas em solução nutritiva prescrita por KERRIDGE et alii (1971).

Foi utilizado um delineamento experimental de parcelas inteiramente casualizadas com 30 cultivares de trigo, 5 níveis de alumínio (0,0, 2,5, 7,5 e 10,0 ppm), na forma de $KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$ e 4 repetições, totalizando 600 unidades experimentais.

As unidades experimentais foram distribuídas em 30 baldes de plástico, contendo 18,5 litros de solução nutritiva, de tal modo que em cada balde se desenvolveram plantas de 10 cultivares, com duas repetições (20 unidades experimentais).

As sementes foram germinadas em substrato de papel marca Xuga, umedecido com solução de $Ca(NO_3)_2$, contendo uma concentração de 4 mmoles por litro, usando-se a técnica empregada pelos laboratórios de semente para deter-

minação do poder germinativo. Três dias após a semeadura, 3 plântulas normais e uniformes, foram colocadas em três cortes radiais de um pedaço de espuma plástica de 2 cm de espessura, recortado em forma circular, possuindo 4 cm de diâmetro. O conjunto foi preso a um tubo de polietileno de 4,5 cm de comprimento e 4 cm de diâmetro, o qual, devido a um dobramento em forma de aba de sua extremidade superior, ficava suspenso em uma das 20 aberturas circulares de uma tampa de polietileno, que recobria a extremidade aberta do balde, propiciando a imersão das raízes na solução nutritiva.

As soluções nutritivas, contendo os vários tratamentos com alumínio, foram arejadas continuamente através de tubos de vidro, recurvados em L e em cujas extremidades mergulhadas nas soluções estavam inseridos cilindros de isopor que propiciavam a formação de diminutas borbulhas de ar.

Antes da adição dos tratamentos com alumínio, o pH das soluções foi ajustado até 4,0 e mantido nesse valor até o término do ensaio, através de ajustes diários, por meio de um potenciômetro.

Diariamente foi medida a temperatura do ar da casa de vegetação, tendo-se registrado um valor máximo médio de 35,4°C, e um valor mínimo médio de 21,5°C.

Após 12 dias de contato com os vários tratamentos as plantas foram colhidas e imediatamente medido o comprimento da raiz principal de cada uma. As partes aéreas e raízes foram secadas a 70-75°C e pesadas.

Procedeu-se à análise da variância para os dados de comprimento das raízes e peso da matéria seca das raízes e das partes aéreas. Para as cultivares em que o alumínio exerceu efeitos significativos, realizou-se uma análise de regressão até o 3º grau, considerando-se a equação significativa de maior grau, como representativa.

Através do primeiro critério foram colocadas em um mesmo grupo as cultivares que apresentavam o mesmo comportamento quanto ao comprimento das raízes, peso da matéria seca das raízes e peso da matéria seca das partes aéreas. Através do segundo critério foi estimada a concentração de alumínio necessária para produzir em cada cultivar 80% do peso de matéria seca das partes aéreas e das raízes e 80% do comprimento das raízes, considerando-se como 100% os valores correspondentes ao tratamento sem alumínio.

4.3. Determinação do grau de tolerância ao manganês.

O experimento realizado obedeceu a mesma técnica, delineamento, cultivares e repetições utilizadas para a

determinação do grau de tolerância ao alumínio. O manganês foi suprido na forma de $MnSO_4 \cdot H_2O$ e nas seguintes concentrações: 0,0, 8,0, 16,0, 24,0 e 32,0 ppm.

Às soluções nutritivas (HOAGLAND e ARNON, 1950) de cada balde foi adicionado 1 g de ácido silícico com a finalidade de dar rigidez estrutural às plantas.

O pH das soluções nutritivas foi ajustado a 4,5 antes da adição de manganês e reajustado periodicamente a 4,0 - 4,5, potenciométricamente, até o final do experimento.

A germinação das sementes obedeceu à mesma técnica utilizada no experimento de determinação do grau de tolerância ao alumínio.

As plantas foram submetidas aos tratamentos com manganês aos 4 dias de idade, sendo cada unidade experimental constituída de 10 plantas.

Transcorridos 11 dias procedeu-se a uma renovação das soluções nutritivas, face ao grande desenvolvimento das plantas. Após, estas foram deixadas mais 6 dias, sendo então colhidas, lavadas com duas porções de água destilada, separadas em partes aéreas e raízes, secadas a 70°-75°C

e pesadas.

No transcurso do ensaio a média das temperaturas máximas foi de 34,9°C, e a média das temperaturas mínimas foi de 22,1°C.

Os valores obtidos de peso da matéria seca das partes aéreas e das raízes foram submetidas a uma análise de variância e os efeitos significativos devido ao manganês, dentro de cada cultivar, foram desdobrados através de uma análise de regressão até 3º grau, considerando-se como representativa a de maior grau significativa.

4.4. Análises químicas

A partir dos resultados do experimento realizado para determinação do grau de tolerância ao alumínio, foram selecionadas as cultivares CNT1, Horto, Frontana, PAT 24, Maringá, Yecora, Pel 72083, IAS 64, Super x e Sonora 63 C, possuindo diferentes graus de tolerância ao citado elemento. Nas partes aéreas dessas cultivares foram determinados o fósforo, o cálcio e o magnésio.

Nas partes aéreas das plantas das cultivares CNT1, Maringá, Frontana, Sonora 63 C, IAS 55 e IAS 58, possuindo diferenças quanto à tolerância ao manganês, foram de-

terminados o fósforo, o cálcio, o magnésio, o ferro, o manganês, o zinco e o cobre, e nas raízes, o cálcio, o ferro e o manganês.

Os extratos foram obtidos via úmida, através de digestão nítrico-perclórica, segundo SARRUGE e HAAG (1974).

O fósforo foi determinado colorimetricamente, e o cálcio, o magnésio, o ferro, o manganês, o zinco e o cobre, por espectrofotometria de absorção atômica, de acordo com SARRUGE e HAAG (1974).

Os resultados foram submetidos a uma análise da variância e os efeitos significativos dentro de cada cultivar foram desdobrados através da análise de regressão até 3º grau, considerando-se como representativa a equação significativa de maior grau.

4.5. Cinética da absorção de cálcio e de fósforo na ausência e presença de alumínio e de manganês.

4.5.1. Cultivares

Para os experimentos abaixo referidos foram selecionadas as seguintes cultivares :

a) absorção de cálcio e de fósforo na ausência e presença de alumínio.

IAS 63 - tolerante ao Al, na faixa de concentração estudada;

Yecora - tolerância intermediária;

Sonora 63 C - suscetível ao Al;

b) absorção de cálcio e de fósforo na ausência e presença de manganês.

IAS 55 - tolerante ao Mn, na faixa de concentração estudada;

Sonora 63 C - tolerância intermediária;

CNT1 - suscetível ao Mn.

4.5.2. Obtenção de raízes

Duzentas e cinquenta a trezentas sementes, dependendo da cultivar, desinfectadas com um produto comercial à base de dissulfeto de tetrametiltiuram (Thiram), foram espalhadas sobre um pedaço de gaze esterelizada, com 14 cm de comprimento e 10 cm de largura, assentado sobre uma tela de aço inoxidável. Sobre as sementes colocou-se outro pedaço de gaze, 10 cm x 10 cm, molhando-se as sementes e a gaze com água destilada. O conjunto foi suspenso sobre um recipiente contendo 2 litros de uma solução de CaSO_4 2×10^{-4} N, de tal modo que as extremidades da gaze ficavam imersas na solução, a qual foi arejada continuamente.

A germinação das sementes e o desenvolvimento das plântulas ocorreu em uma câmara escura, a uma temperatura de $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$, nos ensaios de cinética de absorção de cálcio e $25 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$, nos ensaios de cinética de absorção de fósforo.

Todo o material utilizado para germinação das sementes e desenvolvimento das plântulas em cada ensaio, foi desinfetado com um produto comercial apresentando 5,2% de cloro ativo. A câmara utilizada para o crescimento das plântulas, antes de se iniciarem os ensaios de absorção de cálcio e, posteriormente, antes da realização dos ensaios de absorção de fósforo, sofreu o mesmo tratamento.

Foram usadas raízes de plântulas com sete dias de idade, contados a partir do momento de colocação das sementes para germinar. Nos ensaios de absorção de cálcio, 24 horas antes do início, a solução de CaSO_4 2×10^{-4} N foi substituída por água destilada.

4.5.3. Técnica experimental

As raízes foram seccionadas 0,5 - 1,0 cm abaixo da tela e lavadas consecutivamente com 3 porções de água desmineralizada.

Transferiram-se 1,0 - 1,5 g de raízes, parcialmente enxutas por papel absorvente, para cada um de uma série de 10 frascos de Erlenmeyer de 700 ml, contendo 495 ml de água desmineralizada, possuindo uma temperatura de 30°C, a qual foi mantida durante todo o ensaio, graças a um banho-maria de temperatura controlada. Ao conteúdo de cada frasco de Erlenmeyer foram adicionados 5 ml de soluções de CaCl_2 ou KH_2PO_4 , possuindo concentrações e atividades radioativas capazes de fornecer às soluções experimentais que banhavam as raízes as concentrações e atividades apresentadas na tabela 2.

Nos ensaios realizados para quantificar a influência do alumínio e do manganês na absorção do cálcio e do fósforo, foram adicionados 1 ml de soluções de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ou $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, de modo a fornecer às soluções experimentais concentrações de 10^{-4} M dos referidos sais.

Devido ao fenômeno de hidrólise do alumínio em solução, foram conduzidos ensaios preliminares, visando determinar os volumes de uma solução de HCl 0,2 N necessários para estabelecer nas soluções experimentais dos ensaios realizados na ausência de alumínio e também na presença de manganês, valores de pH aproximadamente iguais aos que apresentavam as soluções experimentais dos ensaios realizados com alumínio. Dessa forma, os ensaios de absorção de cálcio fo-

TABELA 2 - Concentrações das soluções experimentais de CaCl_2 e KH_2PO_4 utilizados nos ensaios de cinética da absorção e respectivas atividades, estimadas no início de cada série de ensaios

SOLUÇÃO EXPERI- MENTAL nº	CONCENTRAÇÃO (M)		ATIVIDADE (μCi)	
	Ca	P	Ca	P
1	5×10^{-6}	10^{-6}	0,1	0,35
2	10^{-5}	$1,2 \times 10^{-5}$	0,2	0,65
3	2×10^{-5}	$2,3 \times 10^{-5}$	0,3	1,00
4	4×10^{-5}	$3,4 \times 10^{-5}$	0,4	1,35
5	8×10^{-5}	$4,5 \times 10^{-5}$	0,6	1,70
6	$1,6 \times 10^{-4}$	$5,6 \times 10^{-5}$	1,2	2,00
7	$3,2 \times 10^{-4}$	$6,7 \times 10^{-5}$	1,8	2,35
8	$6,4 \times 10^{-4}$	$7,8 \times 10^{-5}$	3,2	2,70
9	$1,28 \times 10^{-3}$	$8,9 \times 10^{-5}$	6,0	3,00
10	$2,56 \times 10^{-3}$	10^{-4}	12,0	3,35

ram realizados com as soluções experimentais apresentando valores de pH próximos a 4,5.

Os ensaios de cinética de absorção de fósforo foram realizados com as soluções experimentais ajustadas a pH 4,0, tendo-se executado um estudo prévio destinado a determinar os volumes de uma solução de HCl 0,2 N a serem adicionados às diversas soluções experimentais, a fim de ser

atingido o valor supramencionado, nos vários tratamentos estudados.

Nos ensaios de absorção de cálcio as soluções de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ e HCl 0,2 N foram adicionados a cada frasco 30 segundos antes da adição dos volumes das soluções experimentais de CaCl_2 . Nos ensaios de absorção de fósforo o mesmo procedimento foi adotado, com exceção da adição dos volumes de solução de HCl 0,2 N, a qual foi realizada imediatamente após a adição dos 495 ml de água desmineralizada aos frascos de Erlenmeyer.

O período de absorção adotado foi de 1 hora, após o qual as soluções experimentais foram aspiradas, através de uma trompa de vácuo, e as raízes foram lavadas sucessivamente com três porções de soluções inertes de CaCl_2 $2,56 \times 10^{-3}$ M, nos ensaios de absorção de cálcio, e KH_2PO_4 5×10^{-4} M, nos ensaios de absorção de fósforo, com temperaturas inferiores a 10°C . Após, foram deixadas imersas em 300 ml das respectivas soluções, durante 30 minutos. Foram lavadas com água corrente da torneira durante 30 segundos e com água destilada durante 15 segundos.

As raízes foram secadas a uma temperatura de $70-80^\circ\text{C}$, pesadas até a quarta casa decimal e incineradas à temperatura de 500°C (ensaios de absorção de cálcio) e 450°C

(ensaios de absorção de fósforo), após verificação prévia de ausência de perdas de fósforo por volatilização na citada temperatura.

As cinzas foram dissolvidas com 1 ml de solução de HCl 0,01 N, e 0,9 ml de cada extrato foram transferidos para plaquetas de alumínio com o fundo umedecido com álcool etílico. Nos extratos resultantes dos ensaios de absorção de cálcio e contidos nas plaquetas, foram adicionadas duas gotas de uma solução de H_2SO_4 0,01 M. Todos os extratos contidos nas plaquetas foram secados sob luz infravermelha.

A determinação da radioatividade foi feita por meio de um sistema de detecção e contagem Geiger-Müller.

Cada ensaio foi repetido quatro vezes.

Para a interpretação dos resultados adotou-se a teoria do carregador e aceitou-se que a hipérbole resultante da relação entre as velocidades de absorção iônica e as concentrações dos íons é descrita pela equação de Michaelis e Menten.

Os parâmetros V_m e K_m , conforme foi descrito por CRUZ et alii (1974), foram obtidos pelo método desenvolvido por Lineweaver-Burk, através do qual os inversos dos

membros da equação de Michaelis e Menten dão como resultado a seguinte equação:

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{V_m} + \frac{K_m}{V_m} \cdot \frac{1}{S}$$

Relacionando-se com a equação de linha reta $y = a + bx$, pode-se constatar que:

$$\frac{1}{v} = y; \quad a = \frac{1}{V_m}; \quad b = \frac{K_m}{V_m} \quad \text{e} \quad x = \frac{1}{S}$$

Em cada ensaio procedeu-se a uma análise de variância e de regressão linear, invertendo-se os valores de \underline{v} e de \underline{S} , sendo que os parâmetros \underline{a} e \underline{b} de paros de equação foram comparados pelo teste \underline{t} , obedecendo-se à metodologia descrita por CRUZ et alii (1974) e SARRUGE et alii (1973).

A determinação da igualdade ou não de dois valores de V_m (V_{m_1} e V_{m_2}) e dois valores de K_m (K_{m_1} e K_{m_2} , a partir das comparações a_1 e a_2 e b_1 e b_2 de um par de equações lineares, de acordo com o teste \underline{t} , foi feita obedecendo-se à seguintes relações:

a_1	e	a_2	b_1	e	b_2	Vm_1	e	Vm_2	Km_1	e	Km_2
=			=			=			=		
≠			≠			≠			$Km_1 = Km_2$	ou	
									$Km_1 \neq Km_2$		
=			≠			=			≠		
≠			-			≠			≠		

Devido à possibilidade de existência de dois mecanismos, conforme o modelo duplo proposto por EPSTEIN (1966), cada ensaio foi subdividido arbitrariamente em duas faixas de concentração, conforme citado abaixo, nas quais se procedeu às análises de variância e de regressão:

cálcio-faixa 1 (5×10^{-6} M, 10^{-5} M, 2×10^{-5} M, 4×10^{-5} M e 8×10^{-5} M) e faixa 2 ($1,6 \times 10^{-4}$ M, $3,2 \times 10^{-4}$ M, $6,4 \times 10^{-4}$ M, $1,28 \times 10^{-3}$ M e $2,56 \times 10^{-3}$ M).

fósforo-faixa 1 (10^{-6} M, $1,2 \times 10^{-5}$ M, $2,3 \times 10^{-5}$ M, $3,4 \times 10^{-5}$ M e $4,5 \times 10^{-5}$ M) e faixa 2 ($5,6 \times 10^{-5}$ M, $6,7 \times 10^{-5}$ M, $7,8 \times 10^{-5}$ M, $8,9 \times 10^{-5}$ M e 10^{-4} M).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Determinação da tolerância ao alumínio

Na Tabela 3 estão apresentados os valores de comprimento das raízes das plantas das cultivares de trigo para cada tratamento com alumínio.

Observa-se que na ausência de alumínio existem diferenças varietais, conforme revela o teste de Tukey, de tal modo que a cultivar Sonora 63 P foi a que apresentou maior comprimento de raízes, e a cultivar IAS 60, o menor comprimento.

A análise da variância apresentada na Tabela 4 mostra que os comprimentos das raízes das cultivares IAS 20, IAS 54, IAS 55, IAS 60, Frontana, Nobre e PF 70546 não foram afetados pelo alumínio. Para as demais cultivares são apresentadas na Tabela 5 as equações de regressão, com os res-

TABELA 3 - Comprimento das raízes das plantas de trigo em função da concentrações crescentes do alumínio (médias de 4 repetições)

CULTIVAR	COMPRIMENTO DAS RAÍZES (cm)				
	0,0	2,5	ppm Al 5,0	7,5	10,0
Sonora 63 P	22,0	4,6	4,5	4,6	3,8
Super X	12,4	8,1	5,5	5,9	6,2
Sonora 63 C	20,5	5,9	5,6	4,6	5,3
Yucora	14,8	21,3	17,7	14,9	10,8
LA 1549	18,6	19,2	15,3	12,3	8,4
IAS 20	13,3	12,4	13,3	16,2	12,2
IAS 54	15,1	16,0	14,6	14,8	12,5
IAS 55	11,7	13,6	13,6	14,5	11,6
IAS 57	12,8	17,3	16,6	16,6	10,6
IAS 58	14,2	23,4	18,6	18,3	14,0
IAS 60	10,8	12,2	12,0	14,4	13,3
IAS 61	11,5	17,2	17,8	17,6	14,3
IAS 63	13,3	14,7	16,8	15,6	19,0
IAS 64	14,5	13,5	17,5	19,1	15,9
C 33	14,2	16,8	18,2	18,8	15,5
Toropi	16,7	24,7	19,6	19,4	14,7
Frontana	15,8	15,3	16,3	15,5	15,1
CNT ₁	15,4	18,3	19,5	21,6	21,2
CNT ₂	11,6	14,4	15,7	16,8	11,6
Nobre	14,9	14,5	15,2	13,2	14,5
PF 70354	18,0	15,0	15,2	14,6	13,5
PF 70546	15,5	13,5	17,5	16,1	15,1
Pe1 72018	12,4	16,8	16,2	13,7	9,9
Pe1 72083	14,7	15,6	18,8	14,4	11,1
Maringá	15,4	17,5	26,2	23,4	20,4
Horta	16,2	17,1	21,8	20,8	19,5
Coxilha	18,8	21,5	20,4	19,2	15,2
Londrina	15,9	15,7	19,3	14,6	12,7
PAT 19	16,2	21,3	19,2	21,2	17,7
PAT 24	17,6	21,0	20,2	21,5	18,5
d.m.s. (0,05)* Tukey			5,6		

* Comparação entre cultivares dentro de cada concentração

TABELA 4 - Análise da variância dos valores de comprimento das raízes das plantas do trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de alumínio

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Concentração de Al	4	606,728028	151,682007	33,62 **
Cultivares	29	6256,073858	215,726684	47,82 **
Conc. x Cult.	116	4150,766605	35,782470	7,93 **
<u>Concentrações dentro do Cultivar</u>				
Sonora 63 p	4	993,863007	248,465751	55,08 **
Super X	4	128,847006	32,211751	7,14 **
Sonora 63 C	4	741,802006	185,450501	41,11 **
Yecora	4	243,285019	60,821254	13,48 **
LA 1549	4	354,267029	88,566757	19,63 **
IAS 20	4	41,657014	10,414253	2,31 NS
IAS 54	4	26,537021	6,634255	1,47 NS
IAS 55	4	26,147012	6,536753	1,45 NS
IAS 57	4	136,868023	34,217005	7,58 **
IAS 58	4	238,923019	59,730754	13,24 **
IAS 60	4	30,037004	7,509251	1,66 NS
IAS 61	4	120,310020	30,077505	6,67 **
IAS 63	4	73,873024	18,468256	4,09 **
IAS 64	4	82,370025	20,592506	4,56 **
C 33	4	56,305015	14,076253	3,12 *
Toropi	4	228,603023	57,150755	12,69 **
Frontana	4	3,417018	0,854254	0,19 NS
CNT ₁	4	100,240020	25,060005	5,56 **
CNT ₂	4	90,325012	22,581253	5,00 **
Nobre	4	10,088016	2,522004	0,56 NS
PF 70354	4	43,978023	10,994505	2,44 *
PF 70546	4	33,458015	8,364503	1,85 NS
Pe1 72018	4	127,583021	31,895755	7,07 **
Pe1 72083	4	122,463016	30,615754	6,79 **
Maringá	4	303,415039	75,853759	16,81 **
Horto	4	92,457027	23,114256	5,12 **
Coxilha	4	90,463035	22,615758	5,01 **
Londrina	4	94,160022	23,540005	5,22 **
PAT 19	4	78,202030	19,550507	4,33 **
PAT 24	4	43,555034	10,888758	2,41 *
RESÍDUO	450	2030,030396	4,511178	
TOTAL	599	13043,598884		

C.V = 13,84%

NS - Não significativo

* - Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** - Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

pectivos valores de r^2 , coeficientes de determinação e pontos de máximo e mínimo comprimento das raízes e correspondentes concentrações de alumínio.

Pelos níveis de significância da Tabela 4 e através dos pontos de máximo e do mínimo das equações de regressão da Tabela 5, podem-se identificar os seguintes comportamentos, cuja descrição é antecipada por símbolos convencionais para clareza e simplificação:

(0) - o comprimento das raízes não foi afetado pelo alumínio;

(+) - o comprimento das raízes aumentou linearmente à medida que aumentou a concentração de alumínio;

($\overset{+}{+}$) - aumentou com a concentração de alumínio até certo nível e após diminuiu; porém o comprimento correspondente à concentração de 10 ppm de alumínio foi maior do que o comprimento na ausência de alumínio;

($\overset{-}{+}$) - aumentou com a concentração de alumínio até certo nível e após diminuiu; porém o comprimento correspondente à concentração de 10 ppm de alumínio foi menor do que o comprimento na ausência de alumínio;

($\bar{+}$) - diminuiu com a concentração de alumínio até certo nível e após aumentou; porém o comprimento correspondente à concentração de 10 ppm de alumínio foi maior do que o comprimento na ausência de alumínio;

TABELA 5 - Equações de regressão dos valores do comprimento das raízes das plantas do cultivares de trigo obtidos em função das concentrações do alumínio, e respectivos valores de r^2 , coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máximo e de mínimo

CULTIVAR	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F	r^2	Ponto de Máximo		Ponto de Mínimo	
				Al ppm	Comp. cm	Al ppm	Comp. cm
Sonora 63 P	$Y = -0,0981X^3 + 1,8526X^2 - 10,5324X + 21,7471$	30,02**	98,53	8,24	5,84	4,33	2,91
Super X	$Y = 0,1377X^2 - 1,9591X + 12,2514$	9,20**	97,92	-	-	7,11	5,28
Sonora 63 C	$Y = -0,0661X^3 + 1,3354X^2 - 8,2610X + 20,2978$	13,63**	97,60	8,64	5,96	4,81	4,10
Yecora	$Y = 0,0467X^3 - 0,9331X^2 + 4,2598X + 15,0107$	6,79**	96,03	2,92	20,65	10,40	10,88
LA 1549	$Y = -0,1011X^2 - 0,1126X + 19,2507$	4,96*	95,47	-0,55	19,28	-	-
IAS 57	$Y = -0,2320X^2 + 2,1200X + 12,8900$	26,10**	93,33	4,56	17,73	-	-
IAS 58	$Y = 0,0535X^3 - 1,0591X^2 + 5,2273X + 14,5632$	8,91**	82,33	3,28	22,20	9,92	14,38
IAS 61	$Y = -0,2154X^2 + 2,3963X + 11,7721$	22,50**	96,55	5,56	18,44	-	-
IAS 63	$Y = 0,4910X + 13,4350$	13,36**	81,59	-	-	-	-
IAS 64	$Y = -0,0523X^3 + 0,7060X^2 - 1,6883X + 14,4000$	8,52**	98,09	7,58	19,40	1,41	13,27
C 33	$Y = -0,1426X^2 + 1,6067X + 14,0128$	9,86**	93,52	5,63	18,54	-	-
Teropi	$Y = 0,0459X^3 - 0,9240X^2 + 4,4533X + 17,0900$	6,56*	81,36	3,14	23,38	10,28	15,05
CNT ₁	$Y = 0,5940X + 16,2300$	19,55**	88,00	-	-	-	-
CNT ₂	$Y = -0,1868X^2 + 1,9606X + 11,2043$	16,93**	86,90	5,24	16,35	-	-
PF 70354	$Y = -0,3760X + 17,4000$	7,83**	80,37	-	-	-	-
Pe1 72018	$Y = -0,2088X^2 + 1,7666X + 12,7893$	21,15**	95,25	4,22	16,52	-	-
Pe1 72083	$Y = -0,1828X^2 + 1,4926X + 14,3093$	16,71**	83,78	4,08	17,36	-	-
Maringá	$Y = -0,0356X^3 + 0,2854X^2 + 1,2082X + 14,9304$	3,95*	83,75	6,96	25,16	-1,62	13,87
Horto	$Y = -0,1148X^2 + 1,5666X + 15,5693$	6,40*	78,45	6,81	20,91	-	-
Coxilha	$Y = -0,1546X^2 + 1,1687X + 19,0128$	11,58**	97,05	3,78	21,22	-	-
Londrina	$Y = -0,1346X^2 + 1,0407X + 15,4928$	8,78**	66,77	3,86	17,50	-	-
PAT 19	$Y = -0,1497X^2 + 1,6111X + 16,6786$	10,87**	66,85	5,38	21,01	-	-
PAT 24	$Y = -0,1200X^2 + 1,2940X + 17,8050$	6,98**	77,39	5,39	21,29	-	-

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

(=) - diminuiu com a concentração de alumínio até certo nível e após aumentou; porém o comprimento correspondente à concentração de 10 ppm de alumínio foi menor do que o comprimento na ausência de alumínio;

(-) - o comprimento das raízes diminuiu linearmente à medida que aumentou a concentração de alumínio.

As cultivares estudadas distribuíram-se do seguinte modo nestas chamadas sub-classes:

(0) - IAS 20, IAS 54, IAS 55, IAS 60, Frontana, Nobre e PF 70546;

(+) - IAS 63 e CNT₁;

(\dagger) - Horto, PAT 19, C 33, CNT₂, PAT 24 e IAS 61;

(\ddagger) - Coxilha, Londrina, IAS 57, Yecora, LA - 1549, IAS 58, Toropi, Pel 72018 e Pel 72083;

($\bar{\dagger}$) - IAS 64 e Maringá;

(=) - Sonora 63 P, Sonora 63 C e Super X;

(-) - PF 70354;

Na Tabela 6 são mostrados os pesos de matéria seca das raízes das várias cultivares de trigo, obtidos nos cinco tratamentos com alumínio.

Na ausência de alumínio verifica-se que exis-

TABELA 6 - Peso da matéria seca das raízes das plantas de trigo em função de concentrações crescentes de alumínio (média de 4 repetições)

CULTIVAR	MATÉRIA SECA DAS RAÍZES (mg)				
	ppm Al				
	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0
Sonora 63 P	70	26	20	25	18
Super X	70	43	42	42	29
Sonora 63 C	58	32	19	19	16
Yocora	94	105	86	87	66
LA 1549	103	102	86	77	45
IAS 20	58	71	62	71	57
IAS 54	62	76	66	78	73
IAS 55	56	57	69	61	54
IAS 57	73	69	74	61	53
IAS 58	79	90	77	70	60
IAS 60	48	50	49	54	44
IAS 61	81	98	95	92	66
IAS 63	59	77	62	57	64
IAS 64	106	84	82	90	86
C 33	78	78	81	78	78
Toropi	74	76	70	69	48
Frontana	73	88	78	86	69
CNT ₁	86	107	96	102	107
CNT ₂	81	77	78	76	65
Nobre	71	56	70	66	60
PF 70354	69	66	66	72	65
PF 70546	72	74	80	88	72
Pe1 72018	80	78	65	67	48
Pe1 72083	92	76	96	90	73
Maringá	83	90	94	90	92
Horto	72	79	83	77	72
Coxilha	58	54	52	58	49
Londrina	78	78	79	83	73
PAT 19	50	51	58	61	56
PAT 24	61	62	60	64	63

d.m.s (0,05)*
Tukey

33

* Comparação entre cultivares dentro de cada concentração

tem diferenças varietais, conforme é indicado pelo teste de Tukey. A cultivar que apresentou maior peso de matéria seca de raízes foi a IAS 64, e o menor peso, a IAS 55.

A análise de variância apresentada em Tabela 7 permite constatar que 11 cultivares tiveram respostas significativas ao alumínio. A natureza dessas respostas é revelada pelas equações de regressão mostradas na Tabela 8, juntamente com os valores de F , coeficientes de determinação e pontos de máximo e de mínimo.

Através dos níveis de significância da Tabela 7 e pelo exame dos pontos de máximo e de mínimo das equações de regressão da Tabela 8, identificaram-se os seguintes tipos de comportamento, com relação a esse parâmetro:

(0) - o peso da matéria seca das raízes não foi afetado pelo alumínio;

(\pm) - aumentou com a concentração de alumínio até certo nível e após diminuiu; porém o peso da matéria seca das raízes correspondente à concentração de 10 ppm de alumínio foi menor do que o peso da ausência de alumínio;

(=) - diminuiu com a concentração de alumínio até certo nível e após aumentou; porém o peso da matéria seca das raízes correspondente à concentração de 10 ppm de alumínio foi menor do que o peso na ausência de alumínio;

(-) - o peso da matéria seca das raízes dimi-

TABLETA 7 - Análise da variância dos valores de peso da matéria seca das raízes das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes do alumínio

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Concentração de Al	4	11652,777351	2913,194337	19,13**
Cultivares	29	160483,935729	5533,928817	36,34**
Conc.x Cult.	116	39087,722702	336,963126	2,21**
<u>Concentrações dentro do cultivar</u>				
Sonora 63 P	4	7432,800006	1858,200001	12,20**
Super X	4	3560,500021	890,075005	5,84**
Sonora 63 C	4	4760,500003	1190,125000	7,82**
Yecora	4	3146,700075	786,675018	5,16**
LA 1549	4	8916,300056	2229,075014	14,64**
IAS 20	4	742,500000	185,625000	1,22 ^{NS}
IAS 54	4	712,500000	178,125000	1,17 ^{NS}
IAS 55	4	590,000000	147,500000	0,97 ^{NS}
IAS 57	4	1218,800050	304,700012	2,00 ^{NS}
IAS 58	4	1980,299989	495,074997	3,25*
IAS 60	4	216,800018	54,200004	0,35 ^{NS}
IAS 61	4	2718,000001	679,500000	4,46**
IAS 63	4	1012,500000	253,125000	1,66 ^{NS}
IAS 64	4	1519,000000	379,750000	2,49*
C 33	4	31,699951	7,924987	0,05 ^{NS}
Toropi	4	1976,700013	494,175003	3,24*
Frontana	4	1052,199952	263,049988	1,73 ^{NS}
CNT ₁	4	1192,500000	298,125000	1,95 ^{NS}
CNT ₂	4	607,299988	151,824997	1,00 ^{NS}
Nobre	4	647,700012	161,925003	1,06 ^{NS}
PF 70354	4	134,800049	33,700012	0,22 ^{NS}
PF 70546	4	793,299988	198,324997	1,30 ^{NS}
Pel 72018	4	2625,700014	656,425003	4,31**
Pel 72083	4	1581,300050	420,325012	2,76*
Maringá	4	296,700073	74,175018	0,49 ^{NS}
Horto	4	342,699951	85,674987	0,56 ^{NS}
Coxilhã	4	215,299987	53,824996	0,35 ^{NS}
Londrina	4	205,199951	51,299987	0,34 ^{NS}
PAT 19	4	360,699982	90,174995	0,59 ^{NS}
PAT 24	4	49,700012	12,425003	0,08 ^{NS}
RESÍDUO	450	68528,750061	152,286111	
TOTAL	599	279753,185791		

C.V. 17,80%

NS - Não significativo

* - Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** - Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

TABLE B - Equações de regressão dos valores do peso da matéria seca das raízes das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio e respectivos valores de F , coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máximo e de mínimo

CULTIVAR	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F	r^2	Pontos de		Pontos de	
				Máximo Al	Mat.seca mg	Mínimo Al	Mat.Seca mg
Sonora 63 D	$Y = -0,2667X^3 + 4,9057X^2 - 20,3405X + 69,6714$	6,57*	99,98	8,07	25,51	4,38	18,78
Super X	$Y = -0,2120X^3 + 3,5057X^2 - 17,9321X + 69,5964$	4,15*	99,81	6,99	43,14	4,03	40,39
Sonora 63 C	$Y = 0,6686X^2 - 10,5257X + 56,3071$	6,42*	97,98	-	-	7,87	14,88
Yecora	$Y = -2,9000X + 102,0500$	13,81**	66,82	-	-	-	-
LA 1549	$Y = -0,6314X^2 + 0,7043X + 102,7571$	5,73*	98,02	0,55	102,95	-	-
IAS 58	$Y = -2,3300X + 87,0000$	8,91**	68,54	-	-	-	-
IAS 61	$Y = -0,9771X^2 + 8,3514X + 81,3857$	13,72**	95,59	4,27	99,23	-	-
IAS 64	$Y = 0,5457X^2 - 6,8271X + 103,4214$	4,28*	73,78	-	-	6,25	82,07
Toropi	$Y = -2,3500X + 79,3000$	9,06**	69,84	-	-	-	-
Pel 72018	$Y = -3,0300X + 82,8500$	15,07**	87,41	-	-	-	-
Pel 72083	$Y = -0,2493X^3 + 3,4286X^2 - 11,2774X + 91,3821$	5,74*	79,19	7,01	94,92	2,14	80,51

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

nuiu linearmente à medida que aumentou a concentração de alumínio

As cultivares de trigo distribuíram-se do seguinte modo nestas subclasses:

- (0) - IAS 20, IAS 54, IAS 55, IAS 57, IAS 60, IAS 63, C 33, Frontana, CNT₁, CNT₂, Nobre, PF 70354, PF 70546, Maringá, Horto, Coxilha, Londrina, Pat 19 e Pat 24;
- (±) - LA 1549 e IAS 61;
- (=) - Sonora 63 P, Sonora 63 C, Super x, IAS 64 e Pel 72083;
- (-) - Yecora, IAS 58, Toropi, Pel 72018

Na Tabela 9 são apresentados os pesos de matéria seca das partes aéreas das plantas das cultivares de trigo submetidas aos vários tratamentos com alumínio.

Conforme já foi observado com relação ao comprimento e peso da matéria seca das raízes na ausência de alumínio, o teste de Tukey demonstrou existirem diferenças varietais quanto ao peso da matéria seca das partes aéreas. A cultivar que apresentou maior peso de matéria seca das partes aéreas foi a IAS 64, e a que apresentou menor peso foi a PAT 19.

TABELA 9 - Peso da matéria seca das partes aéreas das plantas de trigo em função da concentração crescente de alumínio (média de 4 repetições)

CULTIVAR	MATÉRIA SECA DAS PARTES AÉREAS (mg)				
	ppm Al				
	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0
Sonora 63 P	128	114	73	73	56
Super X	154	119	128	123	87
Sonora 63 C	111	104	60	72	56
Yecora	170	151	112	129	103
LA 1549	172	151	125	116	106
IAS 20	130	134	116	126	135
IAS 54	141	147	130	129	134
IAS 55	128	122	126	111	94
IAS 57	151	129	137	111	113
IAS 58	173	170	120	120	107
IAS 60	106	100	93	98	86
IAS 61	186	191	165	155	117
IAS 63	130	150	121	116	114
IAS 64	214	160	148	165	135
C 33	204	185	168	163	155
Toropi	152	133	123	121	98
Frontana	183	192	180	178	141
CNT ₁	209	231	202	200	194
CNT ₂	168	144	146	134	115
Nobre	154	118	143	137	116
PF 70354	126	112	106	131	107
PF 70546	146	144	132	137	119
Pe1 72018	150	130	122	123	106
Pe1 72083	194	135	162	145	122
Maringá	205	172	161	172	195
Horto	168	156	160	166	142
Coxilha	120	90	92	101	82
Londrina	174	141	146	157	133
PAT 19	100	84	86	81	86
PAT 24	127	94	80	99	85

d.m.s. (0,05)*

Tukey

54

* Comparação entre cultivares dentro de cada concentração.

A análise de variância dos valores de peso da matéria seca das partes aéreas (Tabela 10) mostra que 11 cultivares não foram influenciadas pelas concentrações crescentes de alumínio na faixa estudada.

Assim como se procedeu na análise do comportamento do comprimento e do peso da matéria seca das raízes, a análise dos valores de \bar{F} (Tabela 10) e das equações de regressão (Tabela 11), através de seus pontos de máximo e mínimo, permitiu definir os seguintes padrões de comportamento do peso da matéria seca das partes aéreas do grupo de cultivares estudado:

(0) - o peso da matéria seca das partes aéreas não foi afetado pelo alumínio;

(+) - aumentou com a concentração de alumínio até certo nível e após diminuiu; porém o peso da matéria seca das partes aéreas correspondente à concentração de 10 ppm de alumínio foi menor do que o peso na ausência de alumínio;

(=) - diminuiu com a concentração de alumínio até certo nível e após aumentou; porém o peso da matéria seca das partes aéreas correspondente à concentração de 10 ppm de alumínio foi menor do que o peso na ausência de alumínio;

(-) - o peso da matéria seca das partes aéreas diminuiu linearmente à medida que aumentou a concentração de alumínio.

TABELA 10 - Análise da variância dos valores de peso de matéria seca das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de alumínio

CAUSAS DA VARIANÇA	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Concentração de Al	4	112547,718841	28146,929710	66,75**
Cultivares	29	517451,562744	17843,157333	42,32**
Conc. x Cult.	116	75877,281341	654,114494	1,55**
<u>Concentrações dentro de Cultivar</u>				
Sonora 63 P		14972,300056	3743,075014	8,88**
Super X		9120,000007	2280,000001	5,41**
Sonora 63 C		9374,800056	2343,700014	5,56**
Yecora		12225,200206	3056,300051	7,25**
LA 1549		11618,500007	2904,625001	6,89**
IAS 20		986,500000	246,625000	0,58 ^{NS}
IAS 54		925,300049	231,325012	0,55 ^{NS}
IAS 55		3103,800051	775,950012	1,84 ^{NS}
IAS 57		4610,300052	1152,575013	2,73*
IAS 58		15642,300056	3910,575014	9,27**
IAS 60		882,000000	220,500000	0,52 ^{NS}
IAS 61		13976,500007	3494,125001	8,29**
IAS 63		3562,300051	890,575012	2,11 ^{NS}
IAS 64		14761,200206	3690,300051	8,75**
C 33		6267,700201	1566,925050	3,72**
Toropi		6328,800052	1582,200013	3,75**
Frontena		6165,300296	1541,325074	3,66**
CNT ₁		3163,799807	790,949951	1,88 ^{NS}
CNT ₂		5883,700201	1470,925050	3,49**
Nobre		4346,800052	1086,700013	2,58*
PF 70354		2097,200197	524,300049	1,24 ^{NS}
PF 70546		1863,300050	465,825012	1,10 ^{NS}
Pel 72018		4033,300051	1008,325012	2,39*
Pel 72083		11883,799812	2970,949953	7,04**
Maringá		5316,700201	1329,175050	3,15*
Horto		1691,699952	422,924988	1,00 ^{NS}
Coxilha		3363,700075	840,925018	1,99 ^{NS}
Londrina		4051,799807	1012,949951	2,40*
PAT 19		894,700073	223,675018	0,53 ^{NS}
PAT 24		5351,700078	1337,925019	3,17*
RESÍDUO	450	189748,000122	421,662222	
TOTAL	599	895664,562988		

C.V. = 15,34%

NS - Não significativo

* - Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** - Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 11 - Equações de regressão dos valores de peso de matéria seca das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio e respectivos valores de F , coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máximo e do mínimo

CULTIVAR	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F	r^2	Ponto de		Ponto de	
				Máximo		Mínimo	
				Al ppm	Mat.seca mg	Al ppm	Mat.seca mg
Sonora 63P	$Y = -7,3900X + 126,1000$	32,38**	91,19	-	-	-	-
Super X	$Y = -0,4040X^3 + 5,8657X^2 - 24,9321X + 152,9464$	5,44*	98,16	6,52	127,77	3,15	119,98
Sonora 63C	$Y = -5,7200X + 110,7000$	19,40**	87,25	-	-	-	-
Yecora	$Y = -6,2200X + 164,0500$	22,93**	79,12	-	-	-	-
LA 1549	$Y = -6,6600X + 167,5500$	26,30**	95,44	-	-	-	-
IAS 57	$Y = -3,8100X + 147,2000$	8,61**	78,72	-	-	-	-
IAS 58	$Y = -7,3000X + 174,6000$	31,60**	85,17	-	-	-	-
IAS 61	$Y = -6,9300X + 197,4000$	28,47**	85,90	-	-	-	-
IAS 64	$Y = -0,4733X^3 + 7,9914X^2 - 40,5560X + 215,4678$	7,47**	98,22	7,39	161,16	3,86	150,77
C 33	$Y = -4,8400X + 199,1500$	13,89**	93,44	-	-	-	-
Toropi	$Y = -4,8600X + 149,9000$	14,00**	93,30	-	-	-	-
Frontana	$Y = -0,9486X^2 + 5,5857X + 182,2928$	4,67*	93,60	2,94	190,52	-	-
CNF ₂	$Y = -4,6300X + 164,7000$	12,71**	91,08	-	-	-	-
Nobre	$Y = -0,4088X^3 + 6,1408X^2 - 24,4008X + 152,09000$	5,55*	83,51	7,30	143,26	2,72	123,75
Pel 72018	$Y = -3,8100X + 145,4500$	8,61**	89,98	-	-	-	-
Pel 72083	$Y = -0,4933X^3 + 7,9457X^2 - 37,3238X + 192,2214$	8,12**	94,49	7,26	151,27	3,47	137,37
Maringá	$Y = 1,5257X^2 - 16,0971X + 204,3214$	12,08**	99,10	-	-	5,27	161,86
Londrina	$Y = -0,3893X^3 + 6,1208X^2 - 26,3667X + 174,4000$	5,06*	99,84	7,44	156,66	3,03	139,86
PAT 24	$Y = -3,1600X + 112,8500$	5,92*	46,65	-	-	-	-

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

As seguintes cultivares agruparam-se nestas subclasses:

- (0) - IAS 20, IAS 54, IAS 55, IAS 60, IAS 63, CNT₁, PF 70354, PF 70546, Horto, Coxilha e PAT 19;
- (\pm) - Frontana;
- (=) - Super X, Nobre, Pel 72083, Maringá, Londrina;
- (-) - Sonora 63 P, Sonora 63 C, Yecora, LA - 1549, IAS 57, IAS 58, IAS 61, IAS 64, C 33, Toropi, CNT₂, Pel 72018 e PAT 24.

As tendências de cada um dos parâmetros, para cada cultivar, revelada pelos símbolos (0), (+), (\ddagger), (\pm), ($\bar{\ddagger}$), (=), (-), estão agrupadas na Tabela 12.

Nota-se pela Tabela 12 que o alumínio exerceu um efeito benéfico sobre o comprimento das raízes das plantas de algumas cultivares.

As cultivares IAS 63 e CNT₁ exibiram acréscimos no comprimento de suas raízes à medida que aumentou a concentração de alumínio. As cultivares Horto, PAT 19, C 33, CNT₂, PAT 24, Pel 72083, Coxilha, Londrina, IAS 61, Yecora, LA 1549, IAS 57, IAS 58, Toropi, Pel 72018 tiveram também o comprimento de suas raízes aumentado, porém até certa con-

TADELA 12 - Comportamentos das cultivares de trigo, quanto ao comprimento das raízes e peso da matéria seca das raízes e partes aéreas, em função de concentrações crescentes de alumínio e representados por símbolos:

CULTIVAR	COMPORTAMENTO		
	RAÍZES		PARTES AÉREAS
	comp.	mat. seca	mat. seca
Sonora 63 P	=	=	-
Super X	=	=	=
Sonora 63 C	=	=	-
Yecora	±	-	-
LA 1549	±	±	-
IAS 20	0	0	0
IAS 54	0	0	0
IAS 55	0	0	0
IAS 57	±	0	-
IAS 58	±	-	-
IAS 60	0	0	0
IAS 61	±	±	-
IAS 63	+	0	0
IAS 64	-	=	-
C 33	±	0	-
Toropi	±	-	-
Frontana	0	0	±
CNT ₁	+	0	0
CNT ₂	±	0	-
Nobre	0	0	=
PF 70354	-	0	0
PF 70546	0	0	0
Pel 72018	±	-	-
Pel 72083	±	=	=
Maringá	-	0	=
Horto	±	0	0
Coxilha	±	0	0
Londrina	±	0	=
PAT 19	±	0	0
PAT 24	±	0	-

centração de alumínio.

Com relação ao peso da matéria seca das raízes, somente as cultivares LA 1549 e IAS 61 foram estimuladas pelo alumínio.

O peso da matéria seca das partes aéreas da cultivar Frontana aumentou até a concentração de 2,94 ppm de alumínio na solução nutritiva (Tabela 11).

Esses efeitos benéficos têm sido registrados em vários trabalhos, conforme informam JACKSON (1967) e FOY (1974), e, segundo JACKSON (1967), não podem ser considerados como indicativos da essencialidade do alumínio para as plantas.

Esses dois autores e Clark (1977) têm atribuído esses efeitos benéficos do alumínio: a) a liberação do ferro preso no interior da planta, aumentando a solubilidade e disponibilidade deste e melhorando sua distribuição; b) à diminuição do crescimento de microrganismos prejudiciais associados às raízes; c) à inativação do fósforo quando presente em concentrações tóxicas no meio de crescimento; d) à prevenção de efeitos tóxicos de outros íons, como hidrogênio, cobre e manganês.

As cultivares Horto, PAT 19, C 33, CNT₂, PAT 24, e, principalmente, IAS 63 e CNT₁ tiveram os comprimentos de suas raízes aumentados, na faixa de concentração estudada sem exibirem qualquer alteração no peso da matéria seca das mesmas. Isso sugere ter havido somente um aumento de alongação celular das raízes, portanto, uma relação entre alumínio e harmônios de crescimento. EDWARDS et alii (1976), verificando a influência de 0, 222, 666 e 2 000 µM de alumínio sobre plantulas de pessegueiro, sugeriram que a estimulação do crescimento das raízes e diminuição no número de raízes laterais, causadas pela concentração de 666 µM de alumínio, foram devidas a uma alteração na distribuição de um regulador de crescimento. Deve-se registrar que a cultivar PF 70354 apresentou uma diminuição linear no comprimento das raízes em resposta aos níveis crescentes de alumínio, sem que os pesos da matéria seca das raízes e partes aéreas sofressem quaisquer influências.

Essa particularidade apresentada por certas cultivares, especialmente IAS 63 e CNT₁, de aumentarem o comprimento de suas raízes em resposta ao alumínio, se reproduzida em condições naturais, poderia assumir considerável importância em situações especiais, como a que sugerem SILVA et alii (1976), de cultivar trigo em solos de cerrado, onde podem existir elevadas concentrações de alumínio (FERRI, 1976), na época de inverno e sob irrigação. Admite-se

que essas cultivares possam comportar-se como a cultivar de cevada Volla, que, segundo SLOOTMAKER (1974), é tanto tolerante à acidez elevada do solo como à deficiência hídrica.

Um comportamento peculiar apresentam as cultivares C 33, CNT₂ e PAT 24 que sofreram uma diminuição linear nos pesos de matéria seca das partes aéreas em resposta aos níveis crescentes de alumínio, enquanto que o peso de matéria seca das raízes não foi influenciado, e o comprimento das raízes foi maior em presença de alumínio do que na ausência. Alguns resultados semelhantes foram obtidos por LIEBIG et alii (1942), onde as concentrações de 93 e 185 uM de alumínio estimularam o crescimento das raízes, mas exerceram efeitos inibitórios no crescimento das partes aéreas de plantas de citrus.

É difícil determinar as causas desse comportamento, mas algumas são sugeridas. SALINAS e SANCHEZ (1976), estudando diferenças entre espécies e variedades em tolerar altos níveis de alumínio e baixos níveis de fósforo, dentre outros aspectos, constataram que o principal efeito da toxicidade de alumínio se traduziu por uma marcante redução no crescimento da raiz, enquanto que o principal efeito de deficiência de fósforo foi a redução do crescimento das partes aéreas. Outra hipótese, pouco explorada e estudada, é a que relaciona alumínio com fotossíntese, que é uma atividade in-

teiramente executada pelas partes aéreas. OTA (1968), pesquisando uma doença fisiológica de arroz, denominada "bronzing" e atribuída ao alumínio, constatou que a taxa fotossintética nas folhas doentes decresceu a cerca de 3/4 das folhas normais, a despeito do aumento da taxa respiratória.

Na avaliação do grau de tolerância ao alumínio existe forte tendência de os pesquisadores usarem o comprimento das raízes para averiguarem os efeitos do citado elemento (MESDAG e SLOOTMAKER, 1969; KERRIDGE et alii, 1971; HOWELER e CADAVID, 1976; SALINAS e SANCHEZ, 1976; LAFEVER et alii, 1977). No entanto, somente a consideração desse parâmetro pode levar a conclusões erráticas, como se pode constatar analisando o comportamento da cultivar PF 70354, que teve o comprimento de suas raízes diminuído, numa tendência linear, à medida que aumentou a concentração do alumínio, embora os pesos de matéria seca das raízes e das partes aéreas não fossem afetados. Usando-se o comprimento das raízes como único parâmetro de avaliação, a cultivar PF 70354 seria considerada suscetível; porém, levando-se em consideração o peso da matéria seca das raízes e das partes aéreas, a citada cultivar deverá situar-se entre as mais tolerantes.

Com vistas a uma classificação das cultivares quanto ao seu grau de tolerância ao alumínio, adotando-se o critério, denominado qualitativo, pode-se reunir as cultiva-

res que apresentam comportamento comum, quanto aos três parâmetros (comprimento das raízes, peso da matéria seca das raízes e peso da matéria seca das partes aéreas, conforme a Tabela 12), nas seguintes classes:

- 1 - (+00) - IAS 63 e CNT₁
- 2 - (†00) - Horto e PAT 19
- 3 - (000) - IAS 20, IAS 54, IAS 55, IAS 60 e
PF 70546
- 4 - (±00) - Coxilha
- 5 - (-00) - PF 70554
- 6 - (00±) - Frontana
- 7 - (†0-) - C 33, CNT₂ e PAT 24
- 8 - (00=) - Nobre
- 9 - (±0=) - Londrina
- 10 - (̄0=) - Maringá
- 11 - (±0-) - IAS 57
- 12 - (†±-) - IAS 61
- 13 - (±±-) - LA 1549
- 14 - (̄±-) - IAS 54
- 15 - (±=-) - Pel 72083
- 16 - (±--) - Yecora, IAS 58, Toropi e Pel 72018
- 17 - (===) - Super X
- 18 - (==-) - Sonora 63 P e Sonora 63 C.

Essas classes, quanto ao grau de tolerância, podem ser ordenadas do seguinte modo, sendo que a tolerância

tende a diminuir da esquerda para a direita:

1=2 \geq 3 \geq 4 \geq 5 \geq 6 > 7 \geq 8 \geq 9= 10= 11 > 12 \geq 13 > 14= 15= 16 \geq 17= 18

Nessa interpretação conferiu-se maior importância ao peso da matéria seca das raízes e das partes aéreas do que ao comprimento das raízes, admitindo-se o pressuposto de que decréscimos no peso da matéria seca das raízes ou das partes aéreas vão originar certamente comprometimento futuro do desenvolvimento das plantas e, por consequência, da produção, enquanto que os efeitos causados no desenvolvimento devido ao aumento ou diminuição do comprimento das raízes são desconhecidos. É admitida, porém, a possibilidade de que uma cultivar que apresente acréscimos no comprimento das raízes à medida que aumenta a concentração de alumínio possa ser mais tolerante do que uma cultivar que não apresente resposta ou que tenha o comprimento deprimido.

Supondo-se que as classes de 1 até 5, 7 até 11, 12 e 13 e 14 até 18 apresentem o mesmo grau de tolerância, pode-se reorganizar as cultivares em 5 grupos, diminuindo a tolerância de 1 para 5:

Grupo 1 (classes 1 até 5) - IAS 63, CNT₁, Horto, PAT 19, IAS 20, IAS 54, IAS 55, IAS 60, PF 70546, Coxilha e PF70354;

Grupo 2 (classe 6)	- Frontana;
Grupo 3 (classes 7 até 11)	- C 33, CNF ₂ , PAT24, Nobre, Londrina, Maringá e IAS 57;
Grupo 4 (classes 12 e 13)	- IAS 61, LA 1549;
Grupo 5 (classes 14 até 18)	- IAS 64, Pel 72083, Yecura, IAS 58, Toropi, Pel 72018, Sonora 63 P, Sono- ra 63 C e Super X.

Outra classificação do grau de tolerância das cultivares estudadas foi feita adotando-se o critério denominado quantitativo, através do qual, a partir das equações de regressão apresentadas nas Tabelas 5, 8 e 11, estimaram-se as concentrações de alumínio necessárias para produzir 80% do comprimento das raízes, peso da matéria seca das raízes e peso da matéria seca das partes aéreas, considerando-se 100% os valores correspondentes ao tratamento sem alumínio. Os valores assim obtidos estão apresentados na Tabela 13, e para os parâmetros que não tiveram significância estatística os valores aparecem como > 10 ppm.

Com base nos valores apresentados na Tabela 13, adotando-se os pressupostos abaixo descritos, as cultivares foram divididas em 4 grupos, diminuindo o grau de to-

TABELA 13 - Concentrações estimadas de alumínio na solução nutritiva necessárias para fornecer valores correspondentes a 80% do comprimento das raízes e pesos de matéria seca das raízes e partes aéreas das cultivares de trigo, considerando como 100% os valores correspondentes ao tratamento sem alumínio

CULTIVAR	Al ppm		
	RAÍZES		PARTES AÉREAS
	Comp.	Mat. seca	Mat. seca
Sonora 63 P	0,44	0,54	3,41
Super X	1,38	0,94	2,16
Sonora 63 C	0,54	1,15	3,87
Yecora	8,78	8,66	5,24
LA 1549	5,64	6,29	5,03
IAS 20	>10,00	>10,00	>10,00
IAS 54	>10,00	>10,00	>10,00
IAS 55	>10,00	>10,00	>10,00
IAS 57	10,23	>10,00	7,73
IAS 58	9,92 ⁽¹⁾	7,42	4,78
IAS 60	>10,00	>10,00	>10,00
IAS 61	12,03	10,18	5,70
IAS 63	linear h ⁺ (2)	>10,00	>10,00
IAS 64	11,00	5,14	1,43
C 33	12,81	>10,00	8,23
Toropi	10,28 ⁽³⁾	6,74	6,17
Frontana	>10,00	>10,00	9,81
CNT ₁	linear b ⁺ (2)	>10,00	>10,00
CNT ₂	11,54	>10,00	7,11
Nobre	>10,00	>10,00	9,66
PF 70354	9,12	>10,00	>10,00
PF 70546	>10,00	>10,00	>10,00
Pe1 72018	9,72	5,47	7,63
Pe1 72083	9,77	9,95	1,42
Maringá	11,58	>10,00	4,26
Horto	15,40	>10,00	>10,00
Coxilha	10,02	>10,00	>10,00
Londrina	10,04	>10,00	9,68
PAT 19	12,54	>10,00	>10,00
PAT 24	13,06	>10,00	2,75

(1) De acordo com a tabela 5 o ponto de mínimo (9,92 ppm Al) corresponde à 98,7% do comprimento de raízes sem Al.

(2) De acordo com a tabela 5 o comprimento das raízes aumenta em função das concentrações crescentes de Al.

(3) De acordo com a tabela 5 o ponto de mínimo (10,28 ppm Al) corresponde a 88,0% do comprimento das raízes sem Al.

lerância do grupo 1 para o grupo 4:

Grupo 1 - altas concentrações de alumínio foram necessárias para produzir valores de comprimento e de peso da matéria seca das raízes e partes aéreas correspondentes a 80% do tratamento sem alumínio;

Grupo 2 - baixas ou médias concentrações de alumínio foram necessárias para produzir valores de peso da matéria seca das partes aéreas correspondentes a 80% do tratamento sem alumínio. No entanto, altas concentrações de alumínio foram necessárias para produzir o mesmo efeito com relação aos valores de comprimento e peso da matéria seca das raízes;

Grupo 3 - baixas ou médias concentrações de alumínio foram necessárias para produzir valores de peso de matéria seca das raízes e das partes aéreas correspondentes a 80% do tratamento sem alumínio. No entanto, altas ou médias concentrações de alumínio foram necessárias para produzir o mesmo efeito com relação aos valores de comprimento das raízes;

Grupo 4 - baixas concentrações de alumínio foram suficientes para produzir valores de comprimento das raízes, peso da matéria seca das raízes e das partes aéreas correspondentes a 80% do tratamento sem alumínio.

Para a presente finalidade, consideram-se al-

tas concentrações de alumínio aquelas superiores a 10,00ppm; médias, as concentrações situadas entre 5,00 e 10,00 ppm, e baixas, as concentrações inferiores a 5,00 ppm de alumínio.

Observando-se os dados da Tabela 13 e obedecendo aos critérios descritos, enquadraram-se em cada grupo as seguintes cultivares:

Grupo 1 - IAS 20, IAS 54, IAS 55, IAS 60, IAS 63, CNT₁, PF 70354, PF 70546, Horto, Coxilha e PAT 19;

Grupo 2 - IAS 57, IAS 61, C 33, Frontana, CNT₂, Nobre, Maringá, Londrina e PAT 24;

Grupo 3 - Yecora, LA 1549, IAS 58, IAS 64, Toropi, Pel 72018 e Pel 72083;

Grupo 4 - Sonora 63 P, Sonora 63 C e Super X

Comparando-se os dois modos de classificação empregados constata-se que, embora os dois critérios (qualitativo e quantitativo) permitam separar de modo bastante semelhante as várias cultivares quanto ao seus graus de tolerância, a classificação quantitativa tem maior capacidade discriminatória. Na classificação qualitativa as cultivares IAS 64, Pel 72083, Yecora, IAS 58, Toropi, Pel 72018, Sonora 63 P, Sonora 63 C e Super X se situaram no grupo 5, de maior suscetibilidade ao alumínio, enquanto que, pela classificação quantitativa, as cultivares IAS 64, Pel 72083, Yecora,

IAS 58, Toropi e Pel 72018 se localizaram no grupo 3, e as cultivares Sonora 63 P, Sonora 63 C e Super X no grupo 4, de maior suscetibilidade ao alumínio. Essa discriminação concorda com as observações visuais efetuadas no transcurso do experimento na casa de vegetação.

Algumas cultivares usadas no presente estudo também foram incluídas em outras pesquisas, onde se procedeu a avaliação do grau de tolerância ao alumínio.

FOY et alii (1965) classificaram 27 cultivares de trigo de acordo com o peso das partes aéreas após um período de crescimento de 50 dias em solos ácidos contendo elevadas concentrações de alumínio. Os resultados obtidos possibilitaram distinguir 5 grupos: o grupo das cultivares muito tolerantes incluía a cultivar Frontana, além da Fronteira e Frondoso.

MESDAG e SLOOTMAKER (1969), através de seu método de determinação de tolerância à acidez do solo, usando os grupos 1, 3, 5, 7 e 9, onde o grupo 1 corresponde ao mais tolerante e o 9 ao mais suscetível, classificou a cultivar Frontana no grupo 3, e a cultivar Sonora 63 no grupo 9.

SOUZA e GOMES (1971), testando uma coleção de 69 cultivares de trigo de vários países quanto à tolerância

ao alumínio em condições de campo, em uma escala de 1 a 5 (1 = resistente e 5 = altamente suscetível), classificaram a cultivar Nobre no grupo 1, IAS 54 no grupo 2, e Super X no grupo 4.

SALINAS e SANCHEZ (1976), trabalhando com solução nutritiva e usando como critério de avaliação o comprimento das raízes, verificaram que as cultivares Maringá e Toropi foram mais tolerantes ao alumínio do que a cultivar Sonora 63.

MUZILLI et alii (1978), através de um experimento em condições de campo, utilizando três níveis de calagem e adotando como critério de avaliação de tolerância de 20 cultivares de trigo a porcentagem da saturação de alumínio do solo necessária para ocasionar 80% da produção máxima de grãos obtida através da análise de regressão, classificaram as cultivares em 5 grupos (muito tolerante, tolerante, medianamente tolerante, sensível e muito sensível). As cultivares Maringá, IAS 20 e IAS 54 foram classificadas como muito tolerantes; PF 70546 como tolerante; IAS 58 medianamente tolerante, e Londrina, sensível.

5.2. Determinação da tolerância ao manganês

Na Tabela 14 apresentam-se os valores da matéria seca das raízes das plantas submetidas aos vários trata-

TABELA 14 - Peso da matéria seca das raízes de plantas de trigo em função de concentrações crescentes de manganês (média de 4 repetições)

CULTIVAR	MATÉRIA SECA DAS RAÍZES (mg)				
	0	8	ppm Mn 16	24	32
Sonora 63 P	170	173	156	198	152
Super X	247	224	232	292	209
Sonora 63 C	152	256	146	154	160
Yecora	265	226	232	233	236
LA 1549	246	250	219	264	229
IAS 20	196	226	195	238	190
IAS 54	191	198	166	202	172
IAS 55	141	140	128	158	152
IAS 57	174	176	199	200	200
IAS 58	144	149	166	172	165
IAS 60	137	188	144	163	156
IAS 61	260	235	260	256	285
IAS 63	165	130	209	172	181
IAS 64	155	136	170	166	159
C 33	196	174	208	249	184
Tropi	172	129	136	152	131
Frontana	243	159	165	194	156
CNT ₁	224	177	236	265	224
CNT ₂	179	160	174	212	168
Nobre	172	148	166	202	171
PF 70354	166	169	169	194	182
PF 70546	206	234	204	265	225
Pe1 72018	152	168	168	171	196
Pe1 72083	202	219	182	224	186
Maringá	172	248	227	211	206
Horto	188	182	202	199	164
Coxilha	118	146	149	153	139
Londrina	156	188	198	192	183
PAT 19	132	130	173	140	169
PAT 24	128	151	125	139	135

d.m.s. (0,05)*

Tukey

122

* Comparação entre cultivares dentro de cada concentração

mentos com manganês, e na Tabela 15 os resultados da análise de variância. Verifica-se que somente as cultivares Sonora 63 C e Frontana tiveram seus pesos de matéria seca das raízes influenciadas pelo manganês.

Algumas cultivares, principalmente Super X e CNT₁, apresentaram valores de \underline{F} relativamente altos e próximos do valor de \underline{F} tabulado, sendo possível que se, o experimento tivesse maior duração, a significância se manifestasse, pois, como salientou RORISON (1958), os efeitos tóxicos do manganês sobre as plantas são cumulativos e quanto mais tempo elas são mantidas num meio contendo alta concentração de manganês mais são prejudicadas.

A natureza das respostas do peso de matéria seca das raízes das plantas das cultivares Sonora 63 C e Frontana é indicada pelas equações de regressão apresentadas na Tabela 16. Na cultivar Sonora 63 C as respostas, expressas por uma equação do 3º grau, caracterizaram-se por um aumento no peso da matéria seca até 7,68 ppm de manganês no substrato e após diminuindo até 25,98 ppm de manganês, sendo que, a partir dessa concentração, novamente o peso da matéria seca das raízes tornou a ascender. Esse comportamento parece indicar que a concentração de 0,5 ppm de manganês existente no tratamento considerado sem manganês é insuficiente para o máximo crescimento das raízes das plantas des-

TABELA 15 - Análise da variância dos valores do peso de matéria seca das raízes das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Concentração de Mn	4	32802,109409	8200,527521	3,88**
Cultivares	29	643743,884480	22198,063590	10,49**
Conc. x Cult.	116	200304,203247	1726,760375	0,82 ^{NS}
<u>Concentrações dentro do Cultivar</u>				
Sonora 63 P	4	5321,500003	1330,375000	0,63 ^{NS}
Super X	4	16287,300788	4071,825197	1,92 ^{NS}
Sonora 63 C	4	34570,800338	8642,700084	4,08**
Yecora	4	3657,800784	914,450196	0,43 ^{NS}
LA 1549	4	4967,700201	1241,925050	0,59 ^{NS}
IAS 20	4	7386,299808	1846,574952	0,87 ^{NS}
IAS 54	4	4222,300296	1055,575074	0,50 ^{NS}
IAS 55	4	2087,500001	521,875000	0,25 ^{NS}
IAS 57	4	2986,200197	746,550049	0,35 ^{NS}
IAS 58	4	2436,799807	609,199951	0,29 ^{NS}
IAS 60	4	6154,500003	1538,625000	0,73 ^{NS}
IAS 61	4	5001,700201	1250,425050	0,59 ^{NS}
IAS 63	4	13209,200206	3302,300051	1,56 ^{NS}
IAS 64	4	2702,500001	675,625000	0,32 ^{NS}
C 33	4	13335,200206	3333,800051	1,58 ^{NS}
Toropi	4	5155,300052	1288,825013	0,61 ^{NS}
Frontana	4	21449,800315	5362,450076	2,53*
CNT ₁	4	16189,699718	4047,424929	1,91 ^{NS}
CNT ₂	4	6380,200201	1595,050050	0,75 ^{NS}
Nobre	4	6003,300296	1500,825074	0,71 ^{NS}
PF 70354	4	2106,300295	526,575073	0,25 ^{NS}
PF 70546	4	10027,000007	2506,750001	1,18 ^{NS}
Pel 72018	4	4068,200197	1017,050049	0,48 ^{NS}
Pel 72083	4	5540,700201	1385,175050	0,65 ^{NS}
Maringá	4	12560,799812	3140,199953	1,48 ^{NS}
Horto	4	3629,500001	907,375000	0,43 ^{NS}
Coxilha	4	2937,700197	734,425049	0,35 ^{NS}
Londrina	4	4191,500003	1047,875000	0,50 ^{NS}
PAT 19	4	6893,699956	1723,424989	0,81 ^{NS}
PAT 24	4	1645,300050	411,325012	0,19 ^{NS}
RESÍDUO	450	952181,250488	2115,958333	
TOTAL	599	1829031,407226		

C.V. = 24,69%

NS - Não significativo

* - Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** - Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 16 - Equações de regressão dos valores de peso de matéria seca das raízes e das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidos em função de concentrações de manganês e respectivos valores de F , coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máximo e mínimo

CULTIVAR	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F	r^2	Ponto de Máximo		Ponto de Mínimo	
				Mn ppm	Mat.seca mg	Mn ppm	Mat.seca mg
RAÍZES							
Sonora 63 C	$Y = 0,0344X^3 - 1,7388X^2 + 20,6272X + 159,0286$	9,46**	65,46	7,68	230,48	25,98	124,91
Frontana	$Y = -0,0257X^3 + 1,3619X^2 - 19,9996X + 243,5964$	4,70*	99,84	24,95	193,61	10,40	154,02
PARTES AÉREAS							
CNT ₁	$Y = -0,1024X^3 + 5,8510X^2 - 88,1748X + 1285,0786$	8,17**	98,58	27,72	1154,42	10,34	885,65
Maringá	$Y = -0,7034X^2 + 20,2808X + 890,8143$	5,85*	68,15	14,41	1037,00	-	-

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

sa cultivar.

As respostas às concentrações crescentes de manganês dos pesos da matéria seca das raízes das plantas da cultivar Frontana foram também expressas por uma equação do 3º grau, caracterizando-se por uma diminuição nesse parâmetro até 10,40 ppm de manganês na solução nutritiva e a partir deste nível tornando a elevar-se até a concentração de 24,95 ppm. No entanto, verifica-se que a produção de matéria seca das raízes em qualquer concentração de manganês estudada é inferior àquela obtida no tratamento sem manganês.

As plantas da cultivar Sonora 63, originadas das sementes oriundas de Campinas, apresentaram raízes sofrendo influência do manganês, ao passo que as raízes das plantas provenientes de sementes de Passo Fundo não foram afetadas. Não se conhece a causa desse comportamento.

Na Tabela 17 estão apresentados os pesos da matéria seca das partes aéreas das plantas das várias cultivares submetidas a concentrações crescentes de manganês, enquanto que a análise de variância desses mesmos dados aparece na Tabela 18.

Nessa Tabela observa-se que somente as cultivares CNT₁ e Maringá apresentaram valores de F significati-

TABELA 17 - Peso da matéria seca das partes aéreas das plantas de trigo em função da concentrações crescentes do manganês (média de 4 repetições)

CULTIVAR	MATÉRIA SECA DAS PARTES AÉREAS (mg)				
	ppm Mn				
	0	8	16	24	32
Sonora 63 P	890	938	883	946	841
Super X	974	956	919	938	860
Sonora 63 C	835	965	827	813	810
Yocuta	977	925	934	974	930
LA 1549	934	1082	996	1047	980
IAS 20	930	928	893	1017	819
IAS 54	924	949	828	898	808
IAS 55	691	711	647	699	688
IAS 57	766	763	818	747	844
IAS 58	739	793	808	791	771
IAS 60	805	848	812	794	806
IAS 61	1372	1252	1411	1322	1367
IAS 63	974	794	964	895	844
IAS 64	772	635	792	659	677
C 33	1135	937	1049	1134	931
Toropi	852	725	707	770	664
Frontana	1021	810	891	962	795
CNT ₁	1281	919	926	1140	1093
CNT ₂	830	694	764	882	729
Nobre	1000	788	853	924	888
PI 70354	800	818	708	792	741
PF 70546	868	955	970	971	889
Pe1 72018	751	781	778	805	812
Pe1 72083	906	914	860	856	837
Maringá	850	1097	1013	913	853
Horto	950	867	921	900	836
Coxilha	608	723	639	594	628
Londrina	821	801	903	872	823
PAT 19	748	718	740	788	821
PAT 24	704	784	726	678	659
d.m.s. (0,05)* Tukey			370		

* Comparação entre cultivares dentro de cada concentração

vos a nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. As cultivares C 33 e Frontana exibiram valores de F relativamente elevados e próximos de atingirem significância a nível de 5% de probabilidade, a qual, se o experimento tivesse uma duração maior, provavelmente seria atingida.

Confrontando-se os valores de peso da matéria seca das partes aéreas da cultivar Frontana (Tabela 17) constata-se que os correspondentes aos níveis de 8, 16, 24 e 32 ppm de manganês foram inferiores ao obtido no tratamento Q , sugerindo um efeito prejudicial do manganês, tal como acontece com relação as raízes.

Analisando-se a equação de regressão que representa o comportamento do peso da matéria seca das partes aéreas da cultivar CNT₁, inserida na Tabela 16, constata-se que a mesma é de natureza cúbica e se caracteriza por possuir valores de peso de matéria seca correspondentes aos pontos de máximo e de mínimo (1154,42 mg e 885,65 mg) inferiores ao que foi obtido no nível Q de manganês (1285,08 mg). Dessa forma, pode-se afirmar que a referida cultivar é suscetível ao manganês.

As respostas da cultivar Maringá, conforme revela a Tabela 16, são expressas por equação do 2º grau. Essa cultivar caracteriza-se por apresentar uma certa exigência

TABLA 10 - Análise da variância dos valores de peso da matéria seca das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês

CAUSAS DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Concentração do Mn	4	226040,000122	56510,000030	2,91*
Cultivares	29	10903237,261710	375973,690052	19,37**
Conc. x Cult.	116	1784741,250976	15385,700443	0,79 ^{NS}
<u>Concentrações dentro de cultivar</u>				
Sonora 63 P	4	29776,195327	7444,048831	0,38 ^{NS}
Super X	4	31075,312522	7768,028130	0,40 ^{NS}
Sonora 63 C	4	68287,296966	17071,824241	0,88 ^{NS}
Yucora	4	10046,703136	2511,675784	0,13 ^{NS}
LA 1549	4	54196,703170	13549,175792	0,70 ^{NS}
IAS 20	4	81824,703186	20456,175796	1,05 ^{NS}
IAS 54	4	59398,695358	14849,673839	0,76 ^{NS}
IAS 55	4	9365,500007	2341,375001	0,12 ^{NS}
IAS 57	4	27356,304710	6839,076177	0,35 ^{NS}
IAS 58	4	11322,203136	2830,550784	0,14 ^{NS}
IAS 60	4	6692,500003	1673,125000	0,09 ^{NS}
IAS 61	4	59353,312530	14838,328132	0,76 ^{NS}
IAS 63	4	94983,500091	23745,875022	1,22 ^{NS}
IAS 64	4	78991,203216	19747,800804	1,02 ^{NS}
C 33	4	161192,500122	40298,125030	2,08 ^{NS}
Toropi	4	82285,703216	20571,425804	1,06 ^{NS}
Frontana	4	150937,296997	37734,324249	1,94 ^{NS}
CNT ₁	4	372925,312866	93231,328216	4,80**
CNT ₂	4	92016,000061	23004,000015	1,18 ^{NS}
Nobre	4	99869,296966	24967,324241	1,29 ^{NS}
PF 70354	4	12988,703136	3247,175784	0,17 ^{NS}
PF 70546	4	37925,500045	9481,375011	0,49 ^{NS}
Pe1 72018	4	9326,500007	2331,625001	0,12 ^{NS}
Pe1 72083	4	17845,195327	4461,298831	0,23 ^{NS}
Maringá	4	185163,703308	46290,925827	2,38*
Horto	4	31901,695327	7975,423831	0,41 ^{NS}
Coxilha	4	40759,296905	10189,824226	0,52 ^{NS}
Londrina	4	28498,695327	7124,673831	0,37 ^{NS}
PAT 19	4	27011,304710	6752,826177	0,35 ^{NS}
PAT 24	4	37463,804733	9365,951183	0,48 ^{NS}
RESÍDUO	450	8733110,761718	19406,912803	
TOTAL	599	21647129,273437		

C.V. = 16,05%

NS - Não significativo

* - Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** - Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

em manganês, pois o peso da matéria das partes aéreas é aumentado até a concentração de 14,41 ppm de manganês na solução nutritiva, onde, a partir deste nível, o citado elemento passa a exercer um efeito prejudicial. Com 32 ppm de manganês na solução nutritiva a produção da matéria seca das partes aéreas foi inferior à produção que corresponde ao nível 0.

Dentro das condições do presente estudo e com base nas Tabelas 15, 16 e 18, pode-se classificar as cultivares, quanto à sua tolerância ao manganês, da seguinte maneira:

tolerante - Sonora 63 P, Super X, Yecora, LA 1549, IAS 20, IAS 54, IAS 55, IAS 57, IAS 58, IAS 60, IAS 61, IAS 63, IAS 64, C 33, Toropi, CNT₂, Nobre, PF 70354, PF 70546, Pel 72083, Horto, Coxilha, Londrina, PAT 19 e PAT 24; Pel 72018.

tolerância intermediária - Sonora 63 C e Maringá;

suscetíveis - CNT₁ e Frontana.

FOY et alii (1973) verificaram que a cultivar de trigo Monon, suscetível ao alumínio, foi mais tolerante

ao manganês do que a cultivar Atlas 66, considerada tolerante ao alumínio. Esse comportamento não deve ser considerado como uma regra, pois, embora as cultivares Sonora 63 P e Super X tenham demonstrado serem suscetíveis ao alumínio e tolerantes ao manganês, somente as cultivares CNT₁ e Frontana foram tolerantes ao alumínio e suscetíveis ao manganês.

5.3. Influência do alumínio e do grau de tolerância ao alumínio sobre a concentração de alguns elementos na parte aérea.

Na Tabela 19 são mostradas as concentrações de fósforo, cálcio e magnésio encontradas nas partes aéreas de algumas cultivares de trigo possuindo diferentes graus de tolerância ao alumínio.

No tratamento 0 de alumínio não houve diferenças de concentração de fósforo nas partes aéreas das várias cultivares. O mesmo não aconteceu com relação ao cálcio, onde a cultivar PAT 24 foi a que apresentou menor concentração, sendo inferior às concentrações de cálcio que possuem as plantas das cultivares Pel 72083 e CNT₁. Quanto ao magnésio, a cultivar IAS 64 apresentou concentrações inferiores às concentrações exibidas pelas cultivares CNT₁, Frontana, Super X, Pel 72083, Yecora, Horto, Sonora 63 C, PAT 24 e Marunga.

TABELA 19 - Concentrações de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de alumínio (médias de 4 repetições)

CULTIVAR	% P						% Ca						% Mg								
	ppm Al		ppm Al		ppm Al		ppm Al		ppm Al		ppm Al		ppm Al		ppm Al		ppm Al				
	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	
CIT1	0,19	0,19	0,19	0,16	0,18	0,18	0,16	0,43	0,38	0,43	0,32	0,30	0,19	0,20	0,19	0,20	0,21	0,20	0,21	0,19	0,19
Frontana	0,18	0,20	0,18	0,17	0,18	0,18	0,40	0,37	0,39	0,34	0,34	0,29	0,18	0,20	0,20	0,20	0,23	0,20	0,23	0,24	0,22
Super X	0,14	0,10	0,13	0,17	0,18	0,18	0,52	0,35	0,34	0,39	0,47	0,29	0,24	0,22	0,22	0,33	0,33	0,22	0,33	0,33	0,39
Fel 72053	0,18	0,15	0,16	0,15	0,19	0,19	0,58	0,38	0,37	0,37	0,33	0,37	0,25	0,25	0,22	0,21	0,22	0,25	0,22	0,22	0,21
Vecora	0,22	0,22	0,16	0,17	0,19	0,19	0,50	0,33	0,29	0,33	0,33	0,29	0,20	0,18	0,18	0,22	0,24	0,18	0,24	0,24	0,22
Horto	0,16	0,19	0,16	0,17	0,17	0,17	0,54	0,38	0,40	0,34	0,35	0,35	0,23	0,19	0,19	0,22	0,24	0,19	0,24	0,24	0,22
Score 63 C	0,14	0,18	0,17	0,19	0,19	0,19	0,54	0,39	0,34	0,31	0,35	0,38	0,30	0,28	0,29	0,36	0,29	0,28	0,29	0,29	0,36
PAT 24	0,18	0,23	0,22	0,24	0,20	0,33	0,21	0,21	0,26	0,24	0,24	0,24	0,15	0,14	0,12	0,13	0,12	0,14	0,12	0,12	0,13
Maringá	0,15	0,17	0,17	0,19	0,24	0,41	0,29	0,34	0,42	0,24	0,24	0,29	0,18	0,18	0,21	0,14	0,18	0,18	0,21	0,21	0,14
IAS 64	0,19	0,21	0,24	0,18	0,22	0,51	0,32	0,36	0,44	0,26	0,26	0,09	0,18	0,16	0,17	0,21	0,18	0,16	0,17	0,17	0,21
c.m.s(0,05) [*]	0,09						0,21						0,12								
Tukey																					

* Comparação entre cultivares dentro de cada concentração

Esse tipo de variação, de provável natureza genética, tem sido detectado. KLEESE et alii (1968) desenvolveram 12 variedades de cevada, 12 variedades de trigo e 10 variedades de soja, durante 2 anos e em 2 locais para assegurar variação genética e ambiental na acumulação de 12 elementos minerais. A análise feita em folhas e sementes permitiu a verificação de que havia diferenças varietais na acumulação de P, K, Mg, Na, Ca, Mn, B e Sr na maioria dos materiais. Por outro lado, as diferenças na acumulação devidas a anos e locais foram geralmente pequenas e não significativas. KLEESE et alii (1968) acreditam que a manipulação genética na acumulação de elementos oferece um instrumento promissor e adicional para a obtenção da produção máxima das plantas cultivadas. Em milho, NAISMITH et alii (1974), usando técnicas de marcação de gens e translocações super numerárias puderam responsabilizar o cromossoma 9 pela acumulação de Ca, P e Mn. Os estudos indicaram que não existe um mecanismo genético comum para o controle da acumulação de Ca, P e Mn.

A análise das diferenças existentes entre as concentrações de fósforo, cálcio e magnésio das 10 cultivares, nas concentrações 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 ppm de alumínio, através do d.m.s. (Tukey), não permitiu estabelecer qualquer relação entre as concentrações de fósforo, cálcio, e magnésio e o grau de tolerância ao alumínio das mesmas cultivares.

GALLO et alii (1972), aproveitando a realização de um ensaio de seleção de cerca de 3 000 variedades de trigo, instalado em um solo possuindo pH 4,70 e 1,20 c. mg Al/100g, escolheram 20 variedades com plantas em bom desenvolvimento, 20 com plantas em regular desenvolvimento e 20 com plantas em mau desenvolvimento e coletaram amostras constituídas de 50 a 100 plantas, nas quais foram feitas determinações de alumínio, manganês, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. A partir dos resultados obtidos foi constatado que as plantas com mau desenvolvimento apresentaram uma concentração média de fósforo menor do que as plantas com desenvolvimento regular e bom; as plantas com mau desenvolvimento apresentaram uma concentração média de cálcio menor do que as plantas com desenvolvimento regular, e estas, menor do que as plantas com bom desenvolvimento; com relação ao magnésio, as plantas com mau desenvolvimento apresentaram, uma menor concentração média do que as plantas com desenvolvimento regular, e estas, menor do que as plantas com bom desenvolvimento.

Na Tabela 20 é apresentada a análise da variância efetuada nos valores de concentração de fósforo, cálcio e magnésio das partes aereas das 10 cultivares de trigo submetidas a concentrações crescentes de alumínio.

De acordo com os valores de F, somente a cul-

TABELA 20 - Análise da variância das concentrações de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações cruzadas do alumínio

ELEMENTO	CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.D.	Q.M.	
P	Concentração de Al	4	0,010797	0,002699	1,86 ^{NS}
	Cultivares	9	0,064444	0,007160	4,94 ^{**}
	Conc. x Cult.	36	0,073582	0,002043	1,41 ^{NS}
	<u>Concentrações dentro de Cultivar</u>				
	CNT ₁	4	0,002420	0,000605	0,42 ^{NS}
	Frontana	4	0,001720	0,000430	0,30 ^{NS}
	Super X	4	0,018180	0,004545	3,14 [*]
	Pol 72083	4	0,004430	0,001107	0,76 ^{NS}
	Yecora	4	0,013150	0,003287	2,27 ^{NS}
	Horta	4	0,005130	0,001282	0,88 ^{NS}
	Sonora 63	4	0,010020	0,002505	1,73 ^{NS}
	PAT 24	4	0,010680	0,002670	1,84 ^{NS}
	Maringá	4	0,010280	0,002570	1,77 ^{NS}
	IAS 64	4	0,008370	0,002092	1,44 ^{NS}
	RESÍDUO	150	0,217374	0,001449	
TOTAL	199	0,366199			
C.V. = 20,85%					
Ca	Concentração de Al	4	0,765626	0,191406	22,27 ^{**}
	Cultivares	9	0,568461	0,063162	7,35 ^{**}
	Conc. x Cult.	36	0,404063	0,011223	1,31 ^{NS}
	<u>Concentrações dentro de Cultivar</u>				
	CNT ₁	4	0,223980	0,055995	6,52 ^{**}
	Frontana	4	0,031880	0,007970	0,93 ^{NS}
	Super X	4	0,101730	0,025432	2,96 [*]
	Pol 72083	4	0,158450	0,039612	4,61 ^{**}
	Yecora	4	0,105750	0,026437	3,08 [*]
	Horta	4	0,107480	0,026870	3,13 [*]
	Sonora 63 C	4	0,132330	0,033082	3,85 ^{**}
	PAT 24	4	0,043800	0,010950	1,27 ^{NS}
	Maringá	4	0,099570	0,024892	2,90 [*]
	IAS 64	4	0,164720	0,041180	4,79 [*]
	RESÍDUO	150	1,288998	0,008593	
TOTAL	199	3,027150			
C.V. = 24,43%					
Mg	Concentração de Al	4	0,194892	0,048723	17,20 ^{**}
	Cultivares	9	0,490352	0,054483	19,23 ^{**}
	Conc. x Cult.	36	0,241447	0,006706	2,37 ^{**}
	<u>Concentrações dentro de Cultivar</u>				
	CNT ₁	4	0,037920	0,009480	3,35 ^{**}
	Frontana	4	0,026930	0,006732	2,38 [*]
	Super X	4	0,066280	0,016570	5,85 ^{**}
	Pol 72083	4	0,065930	0,016482	5,82 ^{**}
	Yecora	4	0,029630	0,007407	2,62 [*]
	Horta	4	0,061900	0,015475	5,46 ^{**}
	Sonora 63 C	4	0,032970	0,008242	2,91 [*]
	PAT 24	4	0,036170	0,009042	3,19 [*]
	Maringá	4	0,049880	0,012470	4,40 ^{**}
	IAS 64	4	0,028730	0,007182	2,54 [*]
	RESÍDUO	150	0,424899	0,002832	
TOTAL	199	1,351592			
C.V. = 23,12%					

NS - Não significativo
 * - Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade
 ** - Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

tivar Super X teve as concentrações de fósforo de suas partes aéreas afetadas pelo alumínio.

As concentrações de cálcio das partes aéreas das cultivares CNI₁, Super X, Pel 72083, Yecora, Horto, Sonora 63 C, Maringá e IAS 64 foram afetadas pelo alumínio, enquanto que, as concentrações de magnésio foram influenciadas pelo alumínio em todas as 10 cultivares estudadas.

Verificou-se que, embora os valores de F inseridos na Tabela 20 não houvessem sido significativos para as concentrações de fósforo de 9 cultivares, o desdobramento dos graus de liberdade através da análise de regressão possibilitou o aparecimento da significância para alguma equação, nas cultivares Yecora, Sonora 63 C, PAT 24 e Maringá. Dada a importância da relação Al/P, essas equações estão apresentadas na Tabela 22, juntamente com os valores de F e coeficientes de determinação.

A natureza do efeito do alumínio sobre a concentração de fósforo das partes aéreas das cultivares Super X, Yecora, Sonora 63 C, PAT 24 e Maringá é revelada pelas equações de regressão apresentadas nas Tabelas 21 e 22. Pode-se verificar que, apesar dos coeficientes de determinação serem baixos, excluando-o da cultivar Maringá, as concentrações de fósforo das partes aéreas das cultivares Super X, Sonora 63 C, PAT 24 e Maringá aumentaram à medida que a con-

TABUJA 21 - Equações de regressão dos valores de concentração do fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio e respectivos valores de \bar{x} , coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máxima e de mínima

CULTIVAR	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F	r^2	Ponto de Máxima		Ponto de Mínima	
				Al ppm	Conc. %	Al ppm	Conc. %
FÓSFORO							
Super X	$Y = 0,0063X + 0,1145$	6,85**	54,58	-	-	-	-
CÁLCIO							
CNT ₁	$Y = -0,0033X^3 + 0,0504X^2 - 0,2037X + 0,6151$	17,75**	99,15	7,43	0,53	2,77	0,37
Super X	$Y = 0,0065X^2 - 0,0677X + 0,5209$	10,80**	92,90	-	-	5,19	0,33
Pel 72083	$Y = -0,0201X + 0,5080$	11,75**	63,74	-	-	-	-
Yecora	$Y = 0,0050X^2 - 0,0631X + 0,4816$	6,29*	93,57	-	-	6,34	0,28
Horto	$Y = -0,0170X + 0,4890$	8,41**	67,22	-	-	-	-
Sonora 63 C	$Y = 0,0054X^2 - 0,0703X + 0,5424$	7,42**	98,39	-	-	6,50	0,31
Maringá	$Y = -0,0023X^3 + 0,0339X^2 - 0,1228X + 0,4128$	8,91**	97,76	7,26	0,41	2,41	0,28
IAS 64	$Y = -0,0027X^3 + 0,0415X^2 - 0,1686X + 0,5144$	12,11**	99,37	7,37	0,44	2,80	0,31
MAGNÉSIO							
CNT ₁	$Y = -0,0090X + 0,2670$	7,15**	53,40	-	-	-	-
Frontana	$Y = -0,0009X^3 + 0,0158X^2 - 0,0754X + 0,2897$	4,08*	99,91	8,33	0,24	3,32	0,18
Super X	$Y = 0,0038X^2 - 0,0281X + 0,2884$	11,32**	87,62	-	-	3,66	0,24
Pel 72083	$Y = -0,0142X + 0,3295$	17,80**	76,46	-	-	-	-
Yecora	$Y = 0,0027X^2 - 0,0308X + 0,2789$	5,69*	65,94	-	-	5,68	0,19
Horto	$Y = 0,0033X^2 - 0,0439X + 0,3393$	8,63**	84,02	-	-	6,57	0,19
Sonora 63 C	$Y = 0,0038X^2 - 0,0401X + 0,3788$	11,32**	99,71	-	-	5,23	0,27
PAT 24	$Y = -0,0099X + 0,2040$	8,65**	67,74	-	-	-	-
Maringá	$Y = -0,0011X^3 + 0,0183X^2 - 0,0835X + 0,2879$	6,53*	99,89	7,34	0,21	3,30	0,17
IAS 64	$Y = 0,0085X + 0,1215$	6,38*	62,87	-	-	-	-

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 22 - Equações de regressão dos valores de concentração de fósforo das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio e respectivos valores de F e coeficientes de determinação (r^2)

CULTIVAR	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F	r^2
Yecora	$-0,0059X + 0,2195$	$6,00^x$	66,18
Sonora 63 C	$0,0056X + 0,1515$	$5,41^x$	78,24
PAT 24	$0,0052X + 0,1925$	$4,66^x$	63,00
Maringá	$0,0062X + 0,1500$	$6,63^{x^x}$	93,48

^x Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade.

^{x*} Valor significativo ao nível de 1% de probabilidade.

concentração de alumínio da solução nutritiva aumentou. Somente a cultivar Yecora apresentou tendência exatamente contrária. RANDALL e VOSCI (1963) também constataram que a quantidade total e a concentração de fósforo das partes aéreas e raízes de plantas de azevém foram aumentadas quando as mesmas foram desenvolvidas em soluções nutritivas contendo concentrações de fósforo de $4,5 \times 10^{-4}$ M ou $22,5 \times 10^{-4}$ M e concentração de alumínio de $1,85 \times 10^{-4}$ M. Porém, quando as plantas cresceram em soluções nutritivas contendo as mesmas concentrações de fósforo mas uma concentração mais elevada de alumínio ($18,5 \times 10^{-4}$ M), RANDALL e VOSCI (1963) observaram que houve uma diminuição na quantidade total de fósforo das partes aéreas e das raízes, embora a concentração fosse aumen-

tada devido a uma redução global no crescimento.

Não existe relação entre o grau de tolerância ao alumínio e o modo de ação exercido pelo alumínio sobre as concentrações de fósforo das partes aéreas das várias cultivares, pois o alumínio não influenciou as concentrações de fósforo das partes aéreas das cultivares CNT₁, Frontana, Pel 72083, Horto e IAS 64 que pertencem, respectivamente, aos grupos 1, 2, 3, 2 e 3 (critério quantitativo); deprimiu linearmente a concentração de fósforo da cultivar Yecora, que pertence ao 3º grupo e ocasionou acréscimos, obedecendo a uma tendência linear, nas cultivares Super X (4º grupo), Sonora 63 C (4º grupo), PAT 24 (2º grupo) e Maringá (2º grupo).

Na Tabela 21 pode-se verificar através das equações de regressão, o comportamento das concentrações de cálcio das partes aéreas das cultivares que sofreram influência do alumínio. Independentemente das tendências linear, quadrática ou cúbica obtidas para as várias cultivares, nota-se que o alumínio exerceu uma influência depressiva sobre as concentrações de cálcio das partes aéreas. Uma vez mais verifica-se a inexistência de qualquer relação entre grau de tolerância ao alumínio e a forma de ação do mesmo sobre as concentrações de cálcio das partes aéreas.

Os valores de F obtidos na análise de variância constantes da Tabela 20 revelam que as concentrações de magnésio das partes aéreas de todas as cultivares estudadas foram afetados pelo alumínio. Alguns trabalhos recentes têm dado ênfase à relação Al/Mg na problemática de toxidez do alumínio para as plantas. CLARK (1977) desenvolveu plantas de milho de duas linhagens, uma eficiente e outra ineficiente na absorção de magnésio, em soluções nutritivas possuindo 0,0, 2,5, 5,0, 10,0 e 20,0 ppm de alumínio. Nas partes aéreas e raízes foram determinadas as concentrações de Mg, P, Ca, K, Fe, Mn, Zn e Cu. Foi constatado que as plantas da linhagem ineficiente na absorção do magnésio foram mais sensíveis ao alumínio do que as plantas da linhagem eficiente e que, embora o alumínio tenha inibido a absorção e acumulação de todos os elementos minerais, as concentrações e quantidades de magnésio e manganês decresceram mais acentuadamente do que qualquer outro elemento mineral, quando o alumínio aumentou na solução. CLARK (1977) acentuou que, embora deficiências de cálcio e de fósforo sejam comumente consideradas como sintomas de toxidez de alumínio, o magnésio pode estar estreitamente associado com toxidez do alumínio, especialmente nas raízes. KAMPRATH e FOY (1971) salientaram que, na maioria dos solos ácidos (pH acima de 4,2), o efeito primário de baixos valores de pH sobre a disponibilidade de magnésio é provavelmente de natureza indireta, através de sua influência sobre o nível de alumínio trocável ou solúvel, o

qual reduz a absorção de magnésio. Os dados de MARTINI (1977), que testou um método de campo para calibrar resultados da análise do solo no Rio Grande do Sul, reforçam essa assertiva, pois o milho cultivado em trinta locais somente mostrou sintomas de deficiência de magnésio em quatro locais, os quais, como característica comum, possuíam elevadas concentrações de alumínio.

Através das equações de regressão inseridas na Tabela 21, pode-se ver que, a despeito das várias tendências, o alumínio deprimiu a concentração de magnésio das partes aéreas das cultivares CNT₁, Frontana, Super X, Pol 72083, Yecora, Horto, Sonora 63, PAT 24 e Maringá. No entanto, a cultivar IAS 64 mostrou um aumento de tendência linear na concentração de magnésio em resposta aos níveis de alumínio. Através da Tabela 19 comprova-se que essa cultivar apresentou no tratamento sem alumínio a menor concentração de magnésio, a qual é diferente da concentração apresentada por todos os demais cultivares, na mesma condição.

Não se conseguiu vislumbrar qualquer relação dessas tendências com o grau de tolerância ao alumínio manifestado pelas cultivares.

5.4. Influência do manganês e do grau de tolerância ao manganês sobre a concentração de alguns elementos nas partes aéreas e raízes.

Na Tabela 23 apresentam-se as concentrações de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de trigo de 6 cultivares, possuindo diferentes graus de tolerância ao manganês, desenvolvidas na presença de concentrações crescentes deste.

A análise de variância mostrada na Tabela 24 revela que houve influência do manganês sobre a concentração de fósforo da cultivar IAS 58, sobre a concentração de cálcio da cultivar Maringá e sobre a concentração de magnésio da cultivar IAS 55.

Pelas equações de regressão apresentadas na Tabela 25 constata-se que o manganês promoveu uma diminuição linear na concentração de fósforo da cultivar IAS 58, produziu um aumento de tendência linear na concentração de cálcio da cultivar Maringá e ocasionou uma diminuição de tendência linear em concentração de magnésio da cultivar IAS 55, embora a variação da concentração de magnésio devida ao manganês tenha um baixo grau de explicação (55%).

Comparando-se os efeitos do alumínio e do man-

TABELA 23 - Concentrações de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês (médias de 4 repetições)

CULTIVAR	% P				% Ca				% Mg					
	ppm Mn				ppm Mn				ppm Mn					
	0	8	16	32	24	32	40	48	0	8	16	24	32	
CHI	0,72	0,77	0,71	0,68	0,70	0,68	0,41	0,45	0,42	0,39	0,39	0,24	0,22	0,20
Frontena	0,82	0,74	0,78	0,71	0,76	0,71	0,41	0,38	0,42	0,38	0,39	0,26	0,25	0,24
Sonora 63 C	0,74	0,72	0,74	0,66	0,70	0,66	0,46	0,41	0,46	0,38	0,38	0,26	0,26	0,23
I-S 56	0,84	0,89	0,82	0,68	0,71	0,68	0,40	0,47	0,40	0,37	0,38	0,25	0,29	0,24
I-S 55	0,72	0,71	0,68	0,65	0,61	0,65	0,43	0,39	0,42	0,40	0,38	0,25	0,23	0,22
Maringá	0,61	0,76	0,74	0,76	0,73	0,76	0,27	0,34	0,36	0,37	0,44	0,23	0,25	0,22
d.m.s. (0,05) Tukey														
									0,14					0,06

*Comparação entre cultivares dentro de cada concentração.

TABELA 24 - Análise da variância das concentrações de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas na presença de concentrações crescentes de manganês

ELEMENTO	CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
P	Concentração de Mn	4	0,094897	0,023724	3,32*	
	Cultivares	5	0,152948	0,030589	4,28**	
	Conc. x Cult.	20	0,189842	0,009492	1,33 ^{NS}	
	<u>Concentrações dentro de cultivar</u>					
	CNT ₁	4	0,017030	0,004257	0,60 ^{NS}	
	Frontana	4	0,031230	0,007807	1,09 ^{NS}	
	Sonora 63 C	4	0,017930	0,004482	0,63 ^{NS}	
	IAS 58	4	0,125400	0,031350	4,39**	
	IAS 55	4	0,031030	0,007757	1,09 ^{NS}	
	Maringá	4	0,062120	0,015530	2,17 ^{NS}	
	RESÍDUO	90	0,642699	0,007141		
TOTAL	119	1,080388				
C.V. = 11,58%						
Ca	Concentração de Mn	4	0,013555	0,003388	0,76 ^{NS}	
	Cultivares	5	0,046637	0,009327	2,10 ^{NS}	
	Conc. x Cult.	20	0,118804	0,005940	1,34 ^{NS}	
	<u>Concentrações dentro de cultivar</u>					
	CNT ₁	4	0,010100	0,002525	0,57 ^{NS}	
	Frontana	4	0,005370	0,001342	0,30 ^{NS}	
	Sonora 63 C	4	0,028480	0,007120	1,60 ^{NS}	
	IAS 58	4	0,023570	0,005892	1,32 ^{NS}	
	IAS 55	4	0,006820	0,001705	0,38 ^{NS}	
	Maringá	4	0,058020	0,014505	3,26*	
	RESÍDUO	90	0,400149	0,004446		
TOTAL	119	0,579146				
C.V. = 16,77%						
Mg	Concentração de Mn	4	0,008791	0,002197	2,85	
	Cultivares	5	0,023594	0,004718	6,11**	
	Conc. x Cult.	20	0,024118	0,001205	1,56 ^{NS}	
	<u>Concentrações dentro de cultivar</u>					
	CNT ₁	4	0,003770	0,000942	1,22 ^{NS}	
	Frontana	4	0,001580	0,000395	0,51 ^{NS}	
	Sonora 63 C	4	0,005180	0,001295	1,68 ^{NS}	
	IAS 58	4	0,007570	0,001892	2,45 ^{NS}	
	IAS 55	4	0,008380	0,002095	2,71*	
	Maringá	4	0,006430	0,001607	2,08 ^{NS}	
	RESÍDUO	90	0,069474	0,000771		
TOTAL	119	0,125979				
C.V. = 11,48%						

NS - Não significativo

* - Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** - Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 25 - Equações de regressão dos valores de concentração de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de manganês e respectivos valores de F e coeficientes de determinação

CULTIVAR	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F	r ²
<u>FÓSFORO</u>			
IAS 58	$Y = -0,0062X + 0,8875$	14,00 ^{x x}	79,74
<u>CÁLCIO</u>			
Maringá	$Y = 0,0045X + 0,2825$	11,98 ^{x x}	91,85
<u>MAGNÉSIO</u>			
IAS 55	$Y = -0,0013X + 0,2430$	5,99 ^x	55,16

* Valor significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

ganês sobre a concentração de cálcio das partes aéreas da cultivar Maringá (Tabelas 21 e 25), observa-se que o alumínio exerceu um efeito depressivo e o manganês estimulatório.

Não foi encontrada relação entre o grau de tolerância ao manganês das cultivares estudadas e o modo de ação exercido pelo mesmo elemento sobre as concentrações de fósforo, cálcio ou magnésio das partes aéreas.

As concentrações de ferro, manganês, zinco e cobre existentes nas partes aéreas das plantas das 6 cultivares de trigo submetidas a concentrações crescentes de manganês são mostradas na Tabela 26.

Considerando-se as diferenças entre cultivares no tratamento sem manganês, para os 4 micronutrientes analisados, observa-se que somente para o ferro existe uma variação da provável natureza genética. Dessa forma a concentração de ferro das partes aéreas das plantas da cultivar IAS 58 foi maior do que as concentrações apresentadas pelas cultivares CNT₁, Frontana, IAS 55 e Maringá.

Comparando-se os valores de concentração de manganês das partes aéreas das plantas das cultivares consideradas tolerantes (IAS 55 e IAS 58) e suscetíveis (CNT₁ e Frontana) obtidos no tratamento com 32 ppm de manganês, um aspecto torna-se evidente. A cultivar IAS 58 apresentou maior concentração de manganês do que as cultivares CNT₁ e Frontana, enquanto que as concentrações de manganês dessas duas últimas cultivares foram superiores à concentração de manganês existente nas partes aéreas da cultivar IAS 55. JACKSON (1967, p.58), em sua revisão acerca dos efeitos fisiológicos de acidez do solo sobre as plantas salienta que a tolerância à alta concentração de manganês no substrato pode ser resultado de uma baixa capacidade de absorção ou,

FIGURA 26 - Concentrações de ferro, manganês, zinco e cobre das partes aéreas de plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês (médias de 4 repetições)

Cultivar	ppm Fe				ppm Mn				ppm Zn				ppm Cu							
	0		8		16		24		32		0		8		16		24		32	
	8	16	24	32	0	8	16	24	32	0	8	16	24	32	0	8	16	24	32	
Wheat	98	114	61	76	80	249	386	781	830	791	64	50	38	44	42	18	24	23	22	19
Forêtana	76	104	137	97	101	193	455	492	717	974	42	48	52	42	58	14	14	14	11	11
Wheat 63 C	111	91	107	84	104	222	466	706	792	905	68	60	56	48	47	16	16	18	16	16
Wheat 55	162	155	152	91	156	264	579	987	1045	1198	44	53	47	47	32	18	25	22	20	17
Wheat 53	94	74	92	89	154	192	262	430	681	500	46	50	47	39	38	11	18	19	14	12
Wheat 52	94	84	100	129	131	142	360	582	719	835	41	56	54	44	73	18	13	11	15	20

Wheat (0,05)*

53

236

24

8

* Concentração entre cultivares dentro de cada concentração

alternativamente, habilidade de suportar grandes acumulações de manganês no tecido sem efeitos prejudiciais nos processos de crescimento. FOY et alii (1973) postularam que a maior tolerância da cultivar de trigo Monon parecia ser devida a maior tolerância interna a elevados níveis de manganês dentro das partes aéreas e raízes e não a decréscimos na capacidade de absorção de manganês. De acordo com essas hipóteses, a cultivar IAS 55 parece apresentar tolerância devido a um mecanismo de exclusão do manganês das raízes ou impedimento de translocação, enquanto que a cultivar IAS 58 na maior capacidade de suportar elevadas concentrações de manganês em suas partes aéreas.

Pela análise da variância da Tabela 27, verifica-se que houve influência do manganês sobre a concentração de ferro das partes aéreas das plantas das cultivares Frontana, IAS 58, IAS 55 e Maringá. As concentrações de manganês das partes aéreas das plantas de todas as cultivares foram afetadas pelas concentrações de manganês presentes no substrato de crescimento. As concentrações de zinco foram influenciadas nas cultivares CNT₁ e Maringá, e as de cobre nas cultivares IAS 58, IAS 55 e Maringá.

Na Tabela 28 a natureza das influências do manganês sobre as concentrações de ferro, manganês, zinco e cobre é revelada pelas equações de regressão.

TABELA 27 - Análise de variância das concentrações de ferro, manganês, zinco e cobre das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês

ELEMENTO	CAUSAS DA VARIACÃO	C.L.	S.O.	Q.M.	F	
Fe	Concentração de Mn	4	9355,715831	2338,928957	3,58	
	Cultivares	5	34748,574264	6949,714849	10,63**	
	Conc. x Cult.	20	40628,384796	2031,419239	3,11**	
	<u>Concentrações dentro de cultivar</u>					
	CNT ₁	4	3997,300051	999,325012	1,53 ^{NS}	
	Frontona	4	7774,299930	1943,574982	2,97*	
	Sonoro 63 C	4	2080,700075	520,175018	0,80 ^{NS}	
	IAS 58	4	13815,300056	3453,825014	5,28**	
	IAS 55	4	15075,800056	3768,950014	5,77**	
	Maringá	4	7240,699956	1810,174989	2,77*	
	RESÍDUO	90	58814,250030	653,491666		
	TOTAL	119	143546,924987			
	C.V. = 23,84%					
	Mn	Concentração de Mn	4	7170247,818359	1792561,954589	136,75**
Cultivares		5	1745719,720214	349143,943969	26,64**	
Conc. x Cult.		20	779483,313232	38974,165649	2,97**	
<u>Concentrações dentro de cultivar</u>						
CNT ₁		4	1164349,298339	291087,324584	22,21**	
Frontona		4	1384694,302246	346173,575561	26,41**	
Sonoro 63 C		4	1200870,500976	300217,625244	22,90**	
IAS 58		4	2353571,307617	588392,826904	44,89**	
IAS 55		4	603843,000488	150960,750122	11,52**	
Maringá		4	1242402,704101	310600,676025	23,70**	
RESÍDUO		90	1179715,750976	13107,952793		
TOTAL		119	10875166,601562			
C.V. = 19,36%						
Zn		Concentração de Mn	4	1026,833009	256,708252	1,81 ^{NS}
	Cultivares	5	2325,041506	465,008301	3,28**	
	Conc. x Cult.	20	6401,666996	320,083349	2,26**	
	<u>Concentrações dentro de cultivar</u>					
	CNT ₁	4	1603,700013	400,925003	2,83*	
	Frontona	4	692,200012	173,050003	1,22 ^{NS}	
	Sonoro 63 C	4	1219,299989	304,824997	2,15 ^{NS}	
	IAS 58	4	943,500000	235,875000	1,66 ^{NS}	
	IAS 55	4	432,500000	108,125000	0,76 ^{NS}	
	Maringá	4	2537,299990	634,324997	4,48**	
	RESÍDUO	90	12753,250007	141,702777		
	TOTAL	119	22506,791526			
	C.V. = 24,31%					
	Cu	Concentração de Mn	4	136,633331	34,158332	2,12 ^{NS}
Cultivares		5	1048,600007	209,720001	13,02**	
Conc. x Cult.		20	666,566681	33,328334	2,07*	
<u>Concentrações dentro de cultivar</u>						
CNT ₁		4	115,200004	28,800001	1,79 ^{NS}	
Frontona		4	43,299999	10,824999	0,67 ^{NS}	
Sonoro 63 C		4	24,300003	6,075000	0,38 ^{NS}	
IAS 58		4	168,700004	42,175001	2,62*	
IAS 55		4	220,700000	55,175000	3,42**	
Maringá		4	231,000000	57,750000	3,58**	
RESÍDUO		90	1449,500000	16,105555		
TOTAL		119	3301,300021			
C.V. = 23,82%						

NS - Não significativo

* - Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** - Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade.

TABELA 20 - Equações de regressão dos valores de concentração de ferro, manganês, zinco e cobre das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidas em função das concentrações de manganês e respectivos valores de F , coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máxima e de mínima

CULTIVAR	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F	r^2	Ponto de Máxima		Ponto de Mínima	
				Mn ppm	Conc. ppm	Mn ppm	Conc. ppm
FERRO							
Frontana	$Y = -0,1359X^2 + 4,0826X + 76,9071$	6,48*	63,88	17,96	120,77	-	-
IAS 58	$Y = 0,0197X^3 - 0,8493X^2 + 6,7749X + 159,0107$	9,00**	75,32	4,78	174,14	23,90	105,20
IAS 55	$Y = 0,1646X^2 - 3,5004X + 94,6714$	9,51**	89,59	-	-	10,87	75,20
Maringá	$Y = 1,4875X + 83,6500$	8,67**	78,23	-	-	-	-
MANGANÊS							
CNT ₁	$Y = -0,7790X^2 + 44,0348X + 201,7357$	10,62**	92,22	28,26	824,01	-	-
Frontana	$Y = 22,8000X + 201,5500$	101,52**	96,10	-	-	-	-
Sonora 63 C	$Y = 21,1469X + 279,9000$	87,34**	95,33	-	-	-	-
IAS 58	$Y = -0,7531X^2 + 53,2701X + 251,4571$	9,92**	98,09	35,36	1193,50	-	-
IAS 55	$Y = -0,0862X^3 + 3,6691X^2 - 19,5513X + 199,3928$	8,56**	97,63	25,40	657,67	2,97	171,43
Maringá	$Y = 21,8031X + 178,9500$	92,84**	97,95	-	-	-	-
ZINCO							
CNT ₁	$Y = -0,6156X + 57,3000$	6,85*	60,50	-	-	-	-
Maringá	$Y = 0,0092X^3 - 0,4188X^2 + 4,9851X + 40,7428$	9,01**	97,16	8,12	58,53	22,23	45,62
COBRE							
IAS 58	$Y = -0,0206X^2 + 0,5732X + 19,21$	6,07*	69,58	13,88	23,18	-	-
IAS 55	$Y = -0,0284X^2 + 0,8732X + 11,7571$	11,54**	85,81	15,34	18,46	-	-
Maringá	$Y = 0,0296X^2 - 0,8527X + 17,7857$	12,46**	96,59	-	-	14,41	11,64

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

Conforme a tabela 28, as cultivares Frontana e IAS 58 tiveram suas concentrações de ferro aumentadas quando a concentração de manganês da solução nutritiva aumentou até 17,96 e 4,78 ppm, respectivamente; a partir desses níveis, as concentrações de ferro de ambas as cultivares decresceram sendo que a concentração de ferro da cultivar Frontana, correspondente ao tratamento com 32 ppm de manganês foi superior à concentração verificada na ausência de manganês, enquanto que a concentração de ferro da cultivar IAS 58, na mesma condição, foi inferior. A concentração de ferro das partes aéreas das plantas da cultivar Maringá aumentou de modo linear a medida que aumentou a concentração de manganês da solução nutritiva. Com relação à cultivar IAS 55 nota-se uma diminuição na concentração de ferro das partes aéreas em função dos acréscimos de manganês da solução nutritiva, pelo menos até o nível de 10,87 ppm, a partir do qual a concentração de ferro ascendeu, porém a concentração correspondente ao tratamento com 32 ppm de manganês foi superior à concentração obtida na ausência de manganês.

O comportamento apresentado pelas concentrações de ferro das partes aéreas das várias cultivares, quando se variam as concentrações de manganês das soluções nutritivas, não sugere qualquer relação com o fenômeno descrito por JACKSON (1967, p.94), que caracteriza a deficiência de ferro como uma das manifestações de toxidez de manganês.

Pelas equações de regressão mostradas na Tabela 28, observa-se uma tendência das concentrações de manganês das partes aéreas das cultivares CNT₁, Frontana, Sonora 63 C, IAS 58 e Maringá, de aumentarem em resposta às elevações de manganês das soluções nutritivas. No entanto, as equações que expressam o fenômeno não possuem o mesmo comportamento, pois a variação das concentrações de manganês das partes aéreas das plantas das cultivares Frontana, Sonora 63 C e Maringá foi representada por equações do 1º grau, enquanto que, para as cultivares CNT₁ e IAS 58, por equações do 2º grau, com pontos de máxima e de mínima de 28,26 e 35,36 ppm, de manganês, respectivamente, com a peculiaridade de todos os coeficientes de determinação serem muito elevados. A variação da concentração de manganês das partes aéreas da cultivar IAS 55 em resposta às concentrações de manganês contidas nas soluções nutritivas foi representada por uma equação do 3º grau, onde se verifica pela Tabela 28 que a concentração de manganês no tecido diminuiu até o nível de manganês na solução de 2,97 ppm (ponto de mínima) e tornou a aumentar até o ponto de máxima que corresponde a 657,67 ppm no tecido e 25,40 ppm em solução. Esse comportamento, diametralmente diferente das outras cultivares, reforça a hipótese formulada de que nessa cultivar foi acionado um mecanismo de exclusão ou de bloqueio de translocação do manganês quando a concentração de manganês do substrato de crescimento aumentou. Aparentemente esse mecanismo pode

regular a acumulação de ferro das partes aéreas, pois a concentração de ferro das partes aéreas da cultivar IAS 55 foi deprimida por efeito dos acréscimos iniciais de manganês das soluções nutritivas, conforme se vê na Tabela 28.

Nessa Tabela constata-se que o manganês deprimiu, de modo linear, a concentração de zinco das partes aéreas das plantas da cultivar CNT₁, enquanto que, na cultivar Maringá, o manganês estimulou a acumulação de zinco, a despeito de tendência cúbica revelada pela curva que descreve o fenômeno, onde as concentrações de zinco do tecido correspondentes aos pontos de máxima e mínima são superiores à concentração de zinco estimada no tratamento sem manganês.

Na Tabela 28 observa-se que os aumentos de concentração de manganês em solução nutritiva até 13,88 ppm e 15,34 ppm induziram acréscimos na concentração de cobre das cultivares IAS 58 e IAS 55, respectivamente. O mesmo não aconteceu com a cultivar Maringá, que teve a concentração de cobre de suas partes aéreas deprimidas até ser atingida a concentração de 14,41 ppm de manganês na solução nutritiva.

Voltando-se a considerar a equação de regressão apresentada na Tabela 16 e que revela a natureza do efeito do manganês sobre o peso de matéria seca das partes aéreas das plantas da cultivar Maringá, constata-se que esse

parâmetro aumentou até que o nível de manganês na solução nutritiva atingisse 14,41 ppm (ponto de máxima), passando a diminuir a partir dessa concentração. Tal coincidência sugere a possibilidade de que concentrações de cobre nas partes aéreas superiores a 11,64 ppm estejam exercendo efeitos prejudiciais sobre as plantas da referida cultivar e, assim acontecendo, o efeito benéfico exercido pelo manganês sobre o peso da matéria seca das partes aéreas da cultivar Maringá seria de natureza indireta.

Na Tabela 29 são apresentadas as concentrações de cálcio, ferro e manganês existentes nas raízes das plantas das cultivares de trigo apresentando diferenças quanto à tolerância ao manganês e desenvolvidas na presença da concentrações crescentes de manganês.

Comparando-se as concentrações de cálcio das raízes (Tabela 29) com as concentrações do mesmo elemento das partes aéreas (Tabela 26) constata-se que estas últimas acumularam mais cálcio do que as raízes. A situação inverteu-se quando se consideraram as concentrações de ferro e manganês, que foram mais elevadas nas raízes do que nas partes aéreas. No entanto, em quanto as concentrações de manganês foram mais elevadas do que as de ferro nas partes aéreas (Tabela 26), as concentrações de ferro foram mais elevadas do que as de manganês nas raízes (Tabela 29). FOY et alii

TABELA 29 - Concentrações de cálcio, ferro e manganês das raízes de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês (médias de 4 repetições)

CULTIVAR	% Ca				ppm Fe*				ppm Mn						
	ppm Mn				ppm Mn				ppm Mn						
	0	8	16	24	32	0	8	16	24	32	0	8	16	24	32
CNT1	0,16	0,13	0,14	0,15	0,13	2104	2595	2551	1627	1316	776	1208	1761	1525	951
Frontana	0,14	0,12	0,10	0,13	0,11	1772	2200	1876	1717	1809	978	1442	1488	1187	1389
Sonora 63 C	0,11	0,11	0,09	0,08	0,10	1874	1095	1941	1554	2023	678	1510	2284	1805	2046
IAS 58	0,13	0,12	0,15	0,09	0,12	2850	2093	2262	1664	2192	1452	1525	1718	1633	1712
IAS 55	0,13	0,09	0,10	0,10	0,14	2894	2878	3016	1996	2296	1402	1706	1792	1746	2119
Maringá	0,18	0,15	0,15	0,17	0,20	2800	1609	1929	1640	2089	1154	1338	1282	1182	1248
d.m.s. (0,05) [*]								1276							832
Tukey															

* Comparação entre cultivares dentro de cada concentração

(1973), determinando as respostas de duas cultivares ao manganês também verificaram que as concentrações de cálcio das partes aéreas foram mais elevadas do que as concentrações de cálcio das raízes e que as concentrações de manganês das raízes foram mais elevadas do que as concentrações das partes aéreas. No entanto, as concentrações de cálcio e de manganês das partes aéreas e raízes obtidas nos tratamentos 0, 8, 16 e 32 ppm de manganês em solução nutritiva foram muito mais elevadas do que as concentrações dos mesmos elementos obtidas nos tratamentos correspondentes do presente trabalho.

Observa-se na Tabela 30, que mostra a análise da variância das concentrações de cálcio, ferro e manganês das raízes das plantas de trigo, que nenhuma cultivar de trigo apresentou as concentrações de cálcio de suas raízes afetadas pelo manganês. Somente as concentrações de ferro das raízes das plantas da cultivar CNT₁ foram afetadas pelo manganês, enquanto que as cultivares CNT₁ e Sonora 63 C tiveram as concentrações de manganês influenciadas pela presença de quantidades crescentes de manganês nas soluções nutritivas.

A existência de tão pequeno número de casos de efeitos do manganês sobre as concentrações de cálcio, ferro e manganês nas 6 cultivares deveu-se, provavelmente, aos

TABLELA 30 - Análisa da variância das concentrações de cálcio, ferro e manganês das raízes de plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de manganês

ELEMENTO	CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Ca	Concentração de Mn	4	0,009370	0,002342	1,91 ^{NS}	
	Cultivares	5	0,059627	0,011925	9,71 ^{**}	
	Conc. x Cult.	20	0,022359	0,001117	0,91 ^{NS}	
	<u>Concentrações dentro de cultivar</u>					
	CNT ₁	4	0,002970	0,000742	0,60 ^{NS}	
	Frontana	4	0,002770	0,000692	0,56 ^{NS}	
	Sonora 63 C	4	0,002930	0,000732	0,60 ^{NS}	
	IAS 58	4	0,008530	0,002132	1,74 ^{NS}	
	IAS 55	4	0,007430	0,001857	1,51 ^{NS}	
	Maringá	4	0,007100	0,001725	1,44 ^{NS}	
	RESÍDUO	90	0,110574	0,001228		
TOTAL	119	0,201932				
C.V. = 27,33%						
Fe	Concentração de Mn	4	6840969,503906	1710242,375976	4,48 ^{**}	
	Cultivares	5	9987899,507812	1997579,901367	5,23 ^{**}	
	Conc. x Cult.	20	10939284,011718	546964,200195	1,43 ^{NS}	
	<u>Concentrações dentro de Cultivar</u>					
	CNT ₁	4	5070695,318359	1267673,829589	3,32 [*]	
	Frontana	4	582845,250732	145711,312683	0,38 ^{NS}	
	Sonora 63 C	4	2320690,690429	580172,672607	1,52 ^{NS}	
	IAS 58	4	2894707,252929	723676,813232	1,90 ^{NS}	
	IAS 55	4	3172342,627929	793085,656982	2,08 ^{NS}	
	Maringá	4	3738972,689453	934743,172363	2,45 ^{NS}	
	RESÍDUO	90	34348701,046075	381652,235764		
TOTAL	119	62116854,046075				
C.V. = 29,77%						
Mn	Concentração de Mn	4	5612094,378906	1403023,594726	8,64 ^{**}	
	Cultivares	5	5442699,128906	1088539,825683	6,71 ^{**}	
	Conc. x Cult.	20	5210207,255859	260510,362731	1,60 ^{NS}	
	<u>Concentrações dentro de Cultivar</u>					
	CNT ₁	4	2567436,189453	641859,047363	3,96 ^{**}	
	Frontana	4	719126,000408	179781,500122	1,11 ^{NS}	
	Sonora 63 C	4	6186379,003906	1546594,750976	9,53 ^{**}	
	IAS 58	4	218861,000122	54715,250030	0,34 ^{NS}	
	IAS 55	4	1040935,281738	260233,820434	1,60 ^{NS}	
	Maringá	4	89564,000061	22391,000015	0,14 ^{NS}	
	RESÍDUO	90	14603808,757812	162264,541748		
TOTAL	119	30860809,523437				
C.V. = 27,46%						

NS - Não significativo

* - Valor significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

elevados coeficientes de variação, conforme mostra a análise de variância da Tabela 30.

A equação de regressão inserida na Tabela 31 indica que o manganês promoveu um aumento na concentração de ferro das raízes da cultivar CNT₁ até que seu nível na solução nutritiva atingisse o valor de 10,26 ppm, com uma correspondente concentração de ferro no tecido de 2484,54 ppm, sendo que a partir dessa concentração de manganês houve um decréscimo na concentração de ferro.

Analisando-se as tendências reveladas pelas equações de regressão da Tabela 31 das concentrações de manganês das raízes das cultivares CNT₁ e Sonora 63 C, verifica-se que elas aumentaram até 17,30 ppm e 22,96 ppm, respectivamente, decrescendo a partir desses níveis, com a particularidade de que as concentrações de manganês no tecido obtidas no tratamento com 32 ppm de manganês na solução foram superiores às correspondentes ao tratamento sem manganês.

5.5. Cinética de absorção de cálcio

Na Tabela 32 são apresentados os valores de absorção de cálcio das raízes destacadas de plantas de cul-

TABELA 31 - Equações de regressão dos valores de concentração do ferro e manganês das raízes das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de manganês e respectivos valores de E , coeficientes de determinação (r^2) o ponto de máxima e do mínima

CULTIVAR	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F	r^2	Ponto de Máxima		Ponto de Mínima		
				Mn ppm	Conc. ppm	Mn ppm	Conc. ppm	
FERRO								
CNT ₁	$Y = -2,7723X^2 + 56,9330X + 2192,2428$	4,62*	85,76	10,26	2484,54	-	-	
MANGANÊS								
CNT ₁	$Y = -3,1038X^2 + 107,4339X + 712,9642$	13,62**	92,63	17,30	1642,64	-	-	
Sonora 63 C	$Y = -2,7193X^2 + 124,9116X + 710,1286$	10,45**	86,84	22,96	2144,58	-	-	

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

livares de trigo, manifestando diferenças de tolerância quanto ao alumínio, quando imersas em soluções possuindo concentrações crescentes de cálcio, contendo ou não alumínio, enquanto que na Tabela 33 se vêem os valores de absorção de cálcio obtidos por cultivares de trigo, com diferentes graus de tolerância ao manganês, na presença ou ausência do citado elemento.

As análises das variâncias feitas nos valores inversos ($1/v$) de absorção de cálcio, referentes às duas faixas de concentração de cálcio estudadas (5×10^{-6} M até 8×10^{-5} M e $1,6 \times 10^{-4}$ até $2,56 \times 10^{-3}$ M), na presença ou ausência de alumínio, são mostradas nas Tabelas 34 - cultivar IAS 63 (tolerante ao alumínio); 35 - cultivar Yecora (tolerância intermediária ao alumínio) e 36 - cultivar Sonora 63 C (suscetível ao alumínio).

Pode-se notar, através dos coeficientes de variação das Tabelas 34, 35 e 36, que a precisão dos ensaios foi bastante variável, situando-se entre um valor máximo de 29,24% e um valor mínimo 10,55%. Embora não se possa identificar a maioria dos fatores causadores dessa variação, pode-se indicar o fator varietal como um dos responsáveis, pois os coeficientes de variação dos experimentos realizados com a cultivar Sonora 63 C, comparativamente, foram maiores do que os coeficientes de variação das demais cultivares, em condi-

TABELA 32 - Absorção de cálcio (v) por cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio, em função de concentrações crescentes de cálcio (S), na presença e ausência de alumínio (médias de 4 repetições)

CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO M (S)	(v) ug Ca/g/h					
	IAS 63		YECORA		SONORA 63 C	
	s/Al	c/Al	s/Al	c/Al	s/Al	c/Al
5×10^{-6}	30,64	7,35	30,44	8,24	25,17	6,61
10^{-5}	33,77	10,29	37,36	12,71	27,87	8,45
2×10^{-5}	48,52	17,98	52,68	24,54	48,72	15,91
4×10^{-5}	60,75	35,83	52,62	44,44	63,83	26,45
8×10^{-5}	73,22	50,98	84,24	68,38	67,28	47,76
$1,6 \times 10^{-4}$	82,74	79,43	118,42	98,66	84,12	58,52
$3,2 \times 10^{-4}$	104,56	113,93	120,59	136,27	110,97	105,98
$6,4 \times 10^{-4}$	127,36	179,93	162,74	224,38	133,25	143,85
$1,28 \times 10^{-3}$	171,62	189,03	208,46	241,82	191,99	183,49
$2,56 \times 10^{-3}$	223,52	231,00	233,71	266,22	188,75	186,52

ções similares.

Como é previsível, os valores de F da única causa de variação estudada nos experimentos em presença ou ausência de alumínio foram significativos ao nível de 1% de

TABELA 33 - Absorção de cálcio (v) por cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao manganês, em função de concentrações crescentes de cálcio (S), na presença e ausência de manganês (médias de 4 repetições)

CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO M (S)	(v) ug Ca/g/h					
	IAS 55		Sonora 63 C		CNT ₁	
	s/Mn	c/Mn	s/Mn	c/Mn	s/Mn	c/Mn
5×10^{-6}	33,75	10,90	25,17	9,03	29,00	7,08
10^{-5}	42,20	12,90	27,87	11,52	35,51	11,51
2×10^{-5}	53,54	21,00	48,72	17,64	49,80	23,34
4×10^{-5}	75,51	31,61	63,83	25,88	61,35	30,52
8×10^{-5}	76,52	43,70	67,28	33,53	75,06	41,73
$1,6 \times 10^{-4}$	90,75	72,77	84,12	52,23	113,40	66,79
$3,2 \times 10^{-4}$	128,57	90,56	110,97	78,48	114,22	115,28
$6,4 \times 10^{-4}$	167,68	159,96	133,25	121,36	152,58	152,65
$1,28 \times 10^{-3}$	224,65	190,76	191,99	169,52	199,66	202,12
$2,56 \times 10^{-3}$	239,00	243,69	188,75	174,57	194,11	212,24

probabilidade.

As análises das variâncias dos experimentos de absorção de cálcio das cultivares IAS 55 (tolerante ao manganês), Sonora 63 C (tolerância intermediária ao manganês) e

TABELA 34 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de cálcio (1/v) de cultivar IAS-63, na presença e ausência de alumínio, nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$ e $1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
$s/A1 - 5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$				
Concentração de Ca	4	0,001103540	0,000275885	47,82**
Resíduo	15	0,000086537	0,000005769	
TOTAL	19	0,001190077		
C.V. = 10,55%				
$s/A1 - 1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$				
Concentração de Ca	4	0,000147715	0,000036928	29,03**
Resíduo	15	0,000019082	0,000001272	
TOTAL	19	0,000166797		
C.V. = 13,97%				
$c/A1 - 5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$				
Concentração de Ca	4	0,042095467	0,010523866	25,35**
Resíduo	15	0,006227574	0,000415171	
TOTAL	19	0,048323042		
C.V. = 29,20%				
$c/A1 - 1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$				
Concentração de Ca	4	0,000187775	0,000046943	70,68**
Resíduo	15	0,000009962	0,000000664	
TOTAL	19	0,000197737		
C.V. = 11,05%				

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

TABELLA 35 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de cálcio ($1/v$) da cultivar Ye - cora, na presença e ausência de alumínio, nas faixas de concentração de cálcio compreendida entre $5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$ e $1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
$s/A1 - 5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$				
Concentração de Ca	4	0,001025043	0,000256260	15,92**
Resíduo	15	0,000241522	0,000016101	
TOTAL	19	0,001266565		
C.V. = 17,88%				
$s/A1 - 1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$				
Concentração de Ca	4	0,000066318	0,000016579	11,02**
Resíduo	15	0,000022569	0,000001504	
TOTAL	19	0,000088888		
C.V. = 18,76%				
$c/A1 - 5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$				
Concentração de Ca	4	0,032135653	0,008033913	127,98**
Resíduo	15	0,000941594	0,000062772	
TOTAL	19	0,033077248		
C.V. = 14,09%				
$c/A1 - 1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$				
Concentração de Ca	4	0,000125775	0,000031443	46,41**
Resíduo	15	0,000010162	0,000000677	
TOTAL	19	0,000135937		
C.V. = 13,66%				

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 36 - Análise de variância dos valores recíprocos de absorção de cálcio (1/v) de cultivar Sonora 63 C, na presença e ausência de alumínio, nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$ e $1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.l.	S.Q.	Q.M.	F
$s/A1 - 5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$				
Concentração de Ca	4	0,002501953	0,000625488	14,78**
Resíduo	15	0,000634712	0,000042314	
TOTAL	19	0,003136665		
C.V. = 24,72%				
$s/A1 - 1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$				
Concentração de Ca	4	0,000137405	0,000034351	15,59**
Resíduo	15	0,000033044	0,000002202	
TOTAL	19	0,000170450		
C.V. = 18,67%				
$c/A1 - 5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$				
Concentração de Ca	4	0,055597217	0,013899304	24,19**
Resíduo	15	0,008617644	0,000574509	
TOTAL	19	0,064214862		
C.V. = 29,24%				
$c/A1 - 1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$				
Concentração de Ca	4	0,000395165	0,000098791	26,39**
Resíduo	15	0,000056154	0,00003743	
TOTAL	19	0,000451320		
C.V. = 21,26%				

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

CNT₁ (susctível ao manganês), na presença ou ausência de manganês e nas duas faixas de concentração de cálcio, são apresentadas nas Tabelas 37, 38 e 39, respectivamente.

Os coeficientes de variação mostrados nas Tabelas 37, 38 e 39 situaram-se entre 5,90% e 33,57% e, uma vez mais, comparando-se os valores entre cultivares, e para condições experimentais similares, verifica-se que os experimentos de menor precisão foram aqueles realizados com a cultivar Sonora 63 C.

Todos os valores de F foram significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Na Tabela 40 são apresentadas as equações de regressão linear dos valores recíprocos de absorção de cálcio ($1/v$) em função dos valores recíprocos de concentração de cálcio ($1/S$), correspondentes às três cultivares de trigo, possuindo diferenças quanto à tolerância ao alumínio, nas duas faixas de concentração de cálcio e na presença ou ausência de alumínio.

Verifica-se que a linha reta exprimiu melhor a relação existente entre as duas variáveis ($1/v$ e $1/S$), pois os valores de F referentes a cada regressão linear obtida foram significativos ao nível de 1% de probabilidade. Não obs-

TABELA 37 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de cálcio (1/v) de cultivar IAS-55, na presença e ausência de mangonês, nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$ e $1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
$s/Mn - 5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$				
Concentração de Ca	4	0,000863032	0,000215758	28,77**
Resíduo	15	0,000112477	0,000007498	
TOTAL	19	0,000975509		
C.V. = 13,79%				
$s/Mn - 1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$				
Concentração de Ca	4	0,000127887	0,000031971	68,46**
Resíduo	15	0,000007004	0,000000466	
TOTAL	19	0,000134892		
C.V. = 10,17%				
$c/Mn - 5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$				
Concentração de Ca	4	0,014703800	0,003675950	79,60**
Resíduo	15	0,001862999	0,000124199	
TOTAL	19	0,016566800		
C.V. = 20,01%				
$c/Mn - 1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$				
Concentração de Ca	4	0,000276442	0,000069110	89,52**
Resíduo	15	0,000011579	0,000000771	
TOTAL	19	0,000288022		
C.V. = 10,81%				

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 38 - Análise da variância dos valores recíprocos do absorção do cálcio (1/v) de cultivar Senora 63 C, na presença e ausência de manganês, nas faixas de concentração do cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$ e $1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$

CAUSAS DA VARIAÇÃO	C.L.	S.Q.	Q.M.	F
$s/Mn - 5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$				
Concentração de Ca	4	0,002501953	0,000625488	14,78**
Resíduo	15	0,000634712	0,000042314	
TOTAL	19	0,003136665		
C.V. = 24,72%				
$s/Mn - 1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$				
Concentração de Ca	4	0,000137405	0,000034351	15,59**
Resíduo	15	0,000033044	0,000002202	
TOTAL	19	0,000170450		
C.V. = 18,67%				
$c/Mn - 5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$				
Concentração de Ca	4	0,025551912	0,006387978	11,66**
Resíduo	15	0,008218899	0,000547926	
TOTAL	19	0,033770812		
C.V. = 33,57%				
$c/Mn - 1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$				
Concentração de Ca	4	0,000527477	0,000131869	61,04**
Resíduo	15	0,000032404	0,000002160	
TOTAL	19	0,000559882		
C.V. = 14,03%				

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

TABLA 39 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de cálcio (1/v) de cultivar CNT₁, na presença e ausência de manganês, nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$ e $1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
$s/Mn - 5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$				
Concentração de Ca	4	0,001323547	0,000330886	11,92**
Resíduo	15	0,000416442	0,000027762	
TOTAL	19	0,001739989		
C.V. = 22,62%				
$s/Mn - 1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$				
Concentração de Ca	4	0,000057713	0,000014428	18,13**
Resíduo	15	0,000011934	0,000000795	
TOTAL	19	0,000069648		
C.V. = 12,85%				
$c/Mn - 5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$				
Concentração de Ca	4	0,039839273	0,009959818	54,94**
Resíduo	15	0,002718984	0,000181265	
TOTAL	19	0,042558258		
C.V. = 20,09%				
$c/Mn - 1,6 \times 10^{-4} - 2,56 \times 10^{-3}M$				
Concentração de Ca	4	0,000286478	0,000071619	322,85**
Resíduo	15	0,000003327	0,000000221	
TOTAL	19	0,000289805		
C.V. = 5,90%				

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 40 - Equações de regressão linear dos valores recíprocos de absorção de cálcio (1/v) em função dos valores recíprocos de concentração de cálcio (1/S) dos cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio e respectivos valores de \bar{F} (regressão e desvio da regressão) e coeficiente de determinação para os tratamentos, com e sem Al nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M - 1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$.

CULTIVAR	TRATAMENTO	FAIXA DE CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F		F ² %
				REGRESSÃO	DESVIO DA REGRESSÃO	
IAS 63	s/Al	$5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$	$Y = 0,014895 + 0,1017.10^{-6}X$	166,66**	9,21**	97,13
	s/Al	$1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$	$Y = 0,005114 + 0,1222.10^{-5}X$	106,67**	3,15**	91,97
	c/Al	$5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$	$Y = 0,018814 + 0,6575.10^{-6}X$	96,84**	1,52**	95,51
	c/Al	$1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$	$Y = 0,003914 + 0,1429.10^{-5}X$	279,33**	1,13**	98,50
Yecora	s/Al	$5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$	$Y = 9,014861 + 0,9772.10^{-7}X$	55,16**	2,83**	86,84
	s/Al	$1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$	$Y = 0,004738 + 0,7438.10^{-6}X$	33,40**	3,56*	75,77
	c/Al	$5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$	$Y = 0,011121 + 0,5822.10^{-6}X$	502,14**	3,26**	98,09
	c/Al	$1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$	$Y = 0,003206 + 0,1164.10^{-5}X$	181,59**	1,35**	97,81
Sonora 63 C	s/Al	$5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$	$Y = 0,014374 + 0,1541.10^{-6}X$	52,18**	2,32**	88,24
	s/Al	$1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$	$Y = 0,005926 + 0,1207.10^{-5}X$	60,09**	0,76**	96,34
	c/Al	$5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$	$Y = 0,024190 + 0,7456.10^{-6}X$	59,96**	2,25**	92,98
	c/Al	$1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$	$Y = 0,004077 + 0,2074.10^{-5}X$	104,35**	0,40**	98,86

NS - não significativo

* - valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** - valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

tante, os valores de F para os desvios de regressão correspondente a IAS 63 - s/Al - faixa de concentração de cálcio 5×10^{-6} até 8×10^{-5} M e Yecora-s/Al - faixa de concentração de cálcio $1,6 \times 10^{-4}$ M até $2,56 \times 10^{-3}$ M foram significativos ao nível de, pelo menos, 5% de probabilidade. Isso significa que existe uma outra equação de maior grau que se ajusta melhor do que a equação do 1º grau às duas variáveis estudadas, nas referidas situações experimentais.

Os coeficientes de determinação das equações de regressão linear da Tabela 40 foram superiores a 90%, com exceção de três casos, e os valores de F das equações de regressão linear, que foram altamente significativos em todos os casos, justificam o emprego do método de Lineweaver - Burk para obtenção dos parâmetros V_m e K_m .

Na Tabela 41 são mostradas as equações de regressão linear obtidas para as várias situações experimentais às quais foram submetidas as cultivares IAS 55, Sonora 63 C e CNT₁, bem como os valores de F, referentes às regressões e desvios das regressões e coeficientes de determinação.

Analisando-se os dados da Tabela 41, constata-se que todos os valores de F, relativos às regressões lineares, são significativos, enquanto que os valores de F para os desvios das regressões das cultivares IAS 55 - c/Mn, nas duas

TÁBELA 41 - Equações de regressão linear dos valores recíprocos de absorção de cálcio (1/v) em função dos valores recíprocos de concentração de cálcio (1/s) das cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao manganês e respectivos valores de F (regressão e desvio da regressão) e coeficientes de determinação para os tratamentos com e sem Mn nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$ e $1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$

CULTIVAR	TRATAMENTO	FAIXA DE CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F		r ² %
				REGRESSÃO	DESVIO DA REGRESSÃO	
IAS 55	s/Mn	$5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$	$Y = 0,012570 + 0,9400.10^{-7}X$	109,59**	1,83 ^{NS}	95,22
	s/Mn	$1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$	$Y = 0,003860 + 0,1181.10^{-5}X$	271,12**	0,91 ^{NS}	99,00
	c/Mn	$5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$	$Y = 0,026684 + 0,3744.10^{-6}X$	104,96**	4,48*	88,65
	c/Mn	$1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$	$Y = 0,004031 + 0,1692.10^{-5}X$	336,95**	7,04**	94,10
Sonora 63 C	s/Mn	$5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$	$Y = 0,014374 + 0,1541.10^{-6}X$	52,18**	2,32 ^{NS}	88,24
	s/Mn	$1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$	$Y = 0,005026 + 0,1207.10^{-5}X$	60,09**	0,76 ^{NS}	96,34
	c/Mn	$5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$	$Y = 0,030199 + 0,5099.10^{-6}X$	44,14**	0,83 ^{NS}	94,65
	c/Mn	$1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$	$Y = 0,004660 + 0,2399.10^{-5}X$	241,91**	0,75 ^{NS}	99,08
CHT1	s/Mn	$5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$	$Y = 0,014337 + 0,1156.10^{-6}X$	44,75**	0,97 ^{NS}	93,87
	s/Mn	$1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$	$Y = 0,005275 + 0,6875.10^{-6}X$	53,95**	6,20**	74,38
	c/Mn	$5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$	$Y = 0,016435 + 0,6526.10^{-6}X$	218,49**	0,43 ^{NS}	99,41
	c/Mn	$1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$	$Y = 0,003698 + 0,1770.10^{-5}X$	1282,85**	2,85 ^{NS}	99,34

NS - Não significativo

* - Valor significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

faixas de concentração de cálcio e $CNT_1 - s/Mn$, na faixa de concentração de cálcio correspondente a $1,6 \times 10^{-4}$ M até $2,56 \times 10^{-3}$ M foram também significativos, pelo menos ao nível de 5% de probabilidade. Os coeficientes de determinação foram superiores a 90%, com exceção de três casos.

A partir dos parâmetros \underline{a} e \underline{b} de cada equação de regressão linear apresentada nas Tabelas 40 e 41 e considerando-se as igualdades $a = \frac{1}{V_m}$ e $b = \frac{K_m}{V_m}$ foram calculados os valores de V_m e K_m de absorção de cálcio, em cada uma das faixas de concentração de cálcio e na ausência ou presença de alumínio ou de manganês, os quais são mostrados na Tabela 42.

Na Tabela 43 são apresentados os valores de \underline{t} utilizados para comparar os parâmetros \underline{a} e \underline{b} dos pares de equações de regressão linear correspondentes as faixas de concentração de cálcio 1 (5×10^{-6} M até 8×10^{-5} M) e 2 ($1,6 \times 10^{-4}$ M até $2,56 \times 10^{-3}$ M) de cada cultivar e tratamentos de alumínio e de manganês estudados. Essa comparação teve a finalidade de demonstrar ou não a existência de dois mecanismos de absorção de cálcio, conforme propugnou EPSTEIN (1966).

Constata-se na Tabela 43 que os valores de \underline{a} dos pares de equações de regressão testados não foram iguais entre si a níveis de significância de 20% (4 casos), 5% (2 casos) e 1% (5 casos). Da mesma forma, os valores de \underline{b} dos

TABELA 42 - Valores de Vm e Km das cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio e ao manganês obtidos nos faixas de concentração do cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$ (faixa 1) e $1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$ (faixa 2), na presença e ausência de alumínio e manganês

CULTIVAR	TRATAMENTO	Vm - $\frac{\mu gCa}{g/h}$		Km - M	
		FAIXA 1	FAIXA 2	FAIXA 1	FAIXA 2
IAS 63	a/Al	67,14	195,5A	$6,83 \times 10^{-6}$	$2,39 \times 10^{-4}$
IAS 63	c/Al	53,15	255,49	$3,49 \times 10^{-5}$	$3,65 \times 10^{-4}$
Yecora	a/Al	67,29	211,06	$6,58 \times 10^{-6}$	$1,57 \times 10^{-4}$
Yecora	c/Al	89,92	311,92	$5,24 \times 10^{-5}$	$3,63 \times 10^{-4}$
Sonora 63 C	a/Al ou Mn	69,57	198,96	$1,07 \times 10^{-5}$	$2,40 \times 10^{-4}$
Sonora 63 C	c/Al	41,34	245,28	$3,08 \times 10^{-5}$	$5,09 \times 10^{-4}$
Sonora 63 C	c/Mn	33,11	214,59	$1,69 \times 10^{-5}$	$5,13 \times 10^{-4}$
IAS 55	a/Mn	79,55	259,07	$7,48 \times 10^{-6}$	$3,06 \times 10^{-4}$
IAS 55	c/Mn	37,48	248,08	$1,40 \times 10^{-5}$	$4,20 \times 10^{-4}$
CNT ₁	a/Mn	69,75	189,57	$8,06 \times 10^{-6}$	$1,30 \times 10^{-4}$
CNT ₁	c/Mn	60,8A	270,42	$3,97 \times 10^{-5}$	$4,79 \times 10^{-4}$

TABELA 43 - Valores de t para comparação dos parâmetros \underline{a} e \underline{b} dos pares de equações de regressão linear correspondentes às faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6}M$ - $8 \times 10^{-5}M$ (faixa 1) e $1,6 \times 10^{-4}$ - $2,56 \times 10^{-3}M$ (faixa 2) para os cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao Al e Mn e nos dois tratamentos dos citados elementos

PARES DE EQUAÇÕES DE REGRESSÃO COMPARADOS	Valores de t	
	a	b
IAS 63 - s/Al - faixa 1 x IAS 63 - s/Al - faixa 2	7,25**	-2,84**
Yecora - e/Al - faixa 1 x Yecora - s/Al - faixa 2	4,75**	-1,04
Son 63 C - s/Al ou Mn - faixa 1 x Son 63 C s/Al ou Mn - faixa 2	2,98**	-1,06
CNT ₁ - s/Mn - faixa 1 x CNT ₁ - s/Al - faixa 2	3,34**	-0,72
IAS 55 - s/Mn - faixa 1 x IAS 55 - s/Al - faixa 2	6,07**	-2,59*
IAS 63 - c/Al - faixa 1 x IAS 63 - c/Al - faixa 2	1,44***	-0,25
Yecora - c/Al - faixa 1 x Yecora - c/Al - faixa 2	1,95***	-0,49
Son 63 C - c/Al - faixa 1 x Son 63 C - c/Al - faixa 2	1,64***	-0,37
IAS 55 - c/Mn - faixa 1 x IAS 55 - c/Mn - faixa 2	3,99*	-0,79
Son 63 C - c/Mn - faixa 1 x Son 63 C - c/Mn - faixa 2	2,14*	-0,54
CNT ₁ - c/Mn - faixa 1 x CNT ₁ - c/Mn - faixa 2	1,86***	-0,56

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade
 ** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade
 *** Valores significativos ao nível de 20% de probabilidade

pares de equações de regressão testados não foram iguais entre si em dois casos. Em face disso e a partir das relações tabuladas na p. 70 deve-se aceitar a hipótese, com as probabilidades discriminadas na Tabela 43 para cada par comparado, de que as velocidades máximas (V_m) e os parâmetros K_m são diferentes entre si e que, portanto, existem dois mecanismos de absorção de cálcio, um operando numa faixa de menor concentração de cálcio (5×10^{-6} M até 8×10^{-5} M) e outro operando numa faixa de maior concentração de cálcio ($1,6 \times 10^{-4}$ M até $2,56 \times 10^{-3}$ M).

Para íons como rubídio, potássio, sódio e estrôncio, onde se demonstrou que a absorção obedecera a um padrão duplo, as velocidades máximas na faixa de baixa concentração foram atingidas aproximadamente em concentrações de 0,1 a 1 mM e na faixa de alta concentração, quando as concentrações excedem a 1 mM (HEATT e LEGGETT, 1974), o que concorda com o que foi obtido no presente trabalho.

MAAS (1969), estudando a absorção de cálcio por raízes destacadas de milho, através de ensaios de curta duração, obteve um padrão duplo de absorção. A interpretação baseada em uma análise gráfica mostrou um mecanismo operativo na faixa de concentração situada entre 0,01 e 1,0 c. mg/l e o outro operativo na faixa delimitada pelas concentrações 1,0 - 10,0 c. mg/l.

DUNLOP (1973) procedeu a uma investigação sobre a absorção de cálcio radioativo por raízes destacadas de Hordeum vulgare L., Trifolium subterraneum L. e Phaseolus aureus Roxb. Foi constatado que existem duas fases distintas na absorção do cálcio: uma fase inicial de absorção rápida de 1 hora de duração (fase I) e uma fase de acumulação lenta, desenvolvendo-se numa velocidade constante durante cerca de 12 horas (fase II). Os íons absorvidos através do mecanismo da fase I, mas não da fase II, podiam ser removidos das raízes por lavagem a frio com soluções inertes de CaCl_2 e KCl . As relações entre absorção e concentração externa de cálcio foram analisadas pelo método gráfico de Hofstee e foi constatado que a fase II consistia de um mecanismo simples de absorção com $K_m = 0,077 \text{ mM}$ e $V_{\text{max}} = 0,15 \text{ ue./g matéria fresca/h}$.

CRUZ et alii (1974) estudaram a absorção de cálcio por tecidos foliares de cafeeiro, objetivando determinar o mecanismo e os efeitos de K, Mg e B. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente e uma das conclusões foi que a absorção de cálcio é descrita por um mecanismo único de absorção.

5.5.1. Diferenças genéticas na absorção de cálcio na ausência de alumínio e de manganês.

Analisando-se os níveis de significância dos valores de t que permitem a comparação dos parâmetros a e b entre os 10 primeiros pares de equação de regressão linear, correspondentes à faixa 1 de concentração de cálcio ($5 \times 10^{-5} M$ até $8 \times 10^{-5} M$), apresentados na Tabela 44, constata-se que os referidos parâmetros não foram diferentes, nos níveis de probabilidade adotados e, portanto, consultando-se as relações apresentadas na p. 70, podem-se identificar as seguintes igualdades entre os parâmetros V_m e K_m , os quais são mostrados na Tabela 42:

Faixa 1 de concentração de cálcio (5×10^{-6} até $8 \times 10^{-5} M$)

CNT ₁ (s/Mn)	$V_m (69,75)$ $K_m (8,06 \times 10^{-6})$	=	$V_m (67,14)$ $K_m (6,83 \times 10^{-6})$		IAS 63 (s/Al)
CNT ₁ (s/Mn)	$V_m (69,75)$ $K_m (8,06 \times 10^{-6})$	=	$V_m (69,57)$ $K_m (1,07 \times 10^{-5})$		Son 63 C (s/Al ou Mn)
CNT ₁ (s/Mn)	$V_m (69,75)$ $K_m (8,06 \times 10^{-6})$	=	$V_m (67,29)$ $K_m (6,58 \times 10^{-6})$		Yecora (s/Al)
CNT ₁ (s/Mn)	$V_m (69,75)$ $K_m (8,06 \times 10^{-6})$	=	$V_m (79,55)$ $K_m (7,48 \times 10^{-6})$		IAS 55 (s/Mn)
IAS 63	$V_m (67,14)$	=	$V_m (69,57)$		Son 63 C

TADELA 44 - Valores de t para comparação dos parâmetros \underline{a} e \underline{b} de pares de equações de regressão linear das cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao Al e Mn, na presença e ausência de Al e Mn e nas faixas de concentração de cálcio compreendidas entre $5 \times 10^{-6}M$ - $8 \times 10^{-5}M$ (faixa 1) e $1,6 \times 10^{-4}M$ - $2,56 \times 10^{-3}M$ (faixa 2)

PARES DE EQUAÇÕES DE REGRESSÃO COMPARADOS	Valores de t			
	Parâmetro \underline{a}		Parâmetro \underline{b}	
	FAIXA 1	FAIXA 2	FAIXA 1	FAIXA 2
CNT ₁ - s/Mn x IAS 63 s/Al	0,19	-0,22	-0,37	1,77***
CNT ₁ - s/Mn x Son 63 C s/Al ou Mn	0,01	-0,28	0,70	1,43***
CNT ₁ - s/Mn x Yecora s/Al	0,16	-0,70	-0,41	0,18
CNT ₁ - s/Mn x IAS 55 s/Mn	0,58	2,48*	0,55	-2,09*
IAS 63 - s/Al x Son 63 C s/Al ou Mn	-0,15	-0,09	1,15	-0,04
IAS 63 - s/Al x Yecora - s/Al	0,01	0,44	0,13	1,37***
IAS 63 - s/Al x IAS 55 s/Mn	1,26	1,87***	0,32	0,15
Son 63 C - s/Al ou Mn x Yecora - s/Al	-0,12	0,29	1,12	1,15
Son 63 C - s/Al ou Mn x IAS 55 - s/Mn	0,50	1,40***	1,30	0,08
Yecora - s/Al x IAS 55 - s/Mn	0,93	1,23	0,12	-1,48***
IAS 63 - s/Al x IAS 63 c/Al	-0,38	1,70***	-4,13**	-0,71
Yecora - s/Al x Yecora c/Al	0,63	2,04*	-8,32**	-1,35***
Son 63 C - s/Al x Son 63 C - c/Al	-0,78	0,76	-3,63**	-1,69***
IAS 55 - s/Mn x IAS 55 - c/Mn	2,42*	-0,30	3,72**	-2,19*
Son 63 C - s/Mn x Son 63 C - c/Mn	-1,28	0,34	-2,23*	-2,23*
CNT ₁ - s/Mn x CNT ₁ - c/Mn	-0,28	3,08**	-5,66**	-5,11**
Son 63 C - c/Al x Son 63 C - c/Mn	-0,35	-0,47	1,07	-0,64
IAS 63 - c/Al x Yecora - c/Al	0,69	1,20	0,52	1,09
IAS 63 - c/Al x Son 63 C - c/Al	0,34	0,15	0,43	1,46***
Yecora - c/Al x Son 63 C - c/Al	1,02	0,81	0,99	2,06*
IAS 55 - c/Mn x Son 63 C - c/Mn	0,27	0,72	0,80	1,96***
IAS 55 - c/Mn x CNT ₁ - c/Mn	-1,15	-0,66	2,43*	0,37
Son 63 C - c/Mn x CNT ₁ - c/Mn	1,00	1,23	-0,80	1,94***

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

*** Valores significativos ao nível de 20% de probabilidade

(s/A1)	$Km (6,83 \times 10^{-6})$	=	$Km (1,07 \times 10^{-5})$	(s/A1 ou Mn)
IAS 63	$Vm (67,14)$	=	$Vm (67,29)$	Yecora
(s/A1)	$Km (6,83 \times 10^{-6})$	=	$Km (6,58 \times 10^{-6})$	(s/A1)
IAS 63	$Vm (67,14)$	=	$Vm (79,55)$	IAS
(s/A1)	$Km (6,83 \times 10^{-6})$	=	$Km (7,48 \times 10^{-6})$	(s/Mn)
Son 63 C	$Vm (69,57)$	=	$Vm (67,29)$	Yecora
(s/A1 ou Mn)	$Km (1,07 \times 10^{-5})$	=	$Km (6,58 \times 10^{-6})$	(s/A1)
Son 63 C	$Vm (69,57)$	=	$Vm (79,55)$	IAS 55
(s/A1 ou Mn)	$Km (1,07 \times 10^{-5})$	=	$Km (7,48 \times 10^{-6})$	(s/Mn)
Yecora	$Vm (67,29)$	=	$Vm (79,55)$	IAS 55
(s/A1)	$Km (6,58 \times 10^{-6})$	=	$Km (7,48 \times 10^{-6})$	(s/Mn)

Todas as comparações de Vm e Km , daqui em diante, serão feitas utilizando-se esta técnica interpretativa, não mais fazendo-se menção aos valores de \underline{t} da Tabela 44 e às relações tabuladas na pag. 70. As diferenças existentes entre os parâmetros Vm e Km terão os níveis de probabilidade indicados na Tabela 44.

Na faixa de maior concentração de cálcio ($1,6 \times 10^{-4} M - 2,56 \times 10^{-3} M$) observam-se as seguintes relações entre os parâmetros Vm e Km dos pares de cultivares:

faixa 2 de concentração de cálcio ($1,6 \times 10^{-4}$ M - $2,56 \times 10^{-3}$ M)

CNT ₁ (s/Mn)	Vm (189,57) Km ($1,30 \times 10^{-4}$)	<	Vm (195,54) Km ($2,39 \times 10^{-4}$)	IAS 63 (s/Al)
CNT ₁ (s/Mn)	Vm (189,57) Km ($1,30 \times 10^{-4}$)	= <	Vm (198,96) Km ($2,40 \times 10^{-4}$)	Son 63 C (s/Al ou Mn)
CNT ₁ (s/Mn)	Vm (189,57) Km ($1,30 \times 10^{-4}$)	= =	Vm (211,06) Km ($1,57 \times 10^{-4}$)	Yecora (s/Al)
CNT ₁ (s/Mn)	Vm (189,57) Km ($1,30 \times 10^{-4}$)	< <?	Vm (259,07) Km ($3,06 \times 10^{-4}$)	IAS 55 (s/Mn)
IAS 63 (s/Al)	Vm (195,54) Km ($2,39 \times 10^{-4}$)	= =	Vm (198,96) Km ($2,40 \times 10^{-4}$)	Son 63 C (s/Al ou Mn)
IAS 63 (s/Al)	Vm (195,54) Km ($2,39 \times 10^{-4}$)	= >	Vm (211,06) Km ($1,57 \times 10^{-4}$)	Yecora (s/Al)
IAS 63 (s/Al)	Vm (195,54) Km ($2,39 \times 10^{-4}$)	< <	Vm (259,07) Km ($3,06 \times 10^{-4}$)	IAS 55 (s/Mn)
Son 63 C (s/Al ou Mn)	Vm (198,96) Km ($2,40 \times 10^{-4}$)	= =	Vm (211,06) Km ($1,57 \times 10^{-4}$)	Yecora (s/Al)
Son 63 C (s/Al ou Mn)	Vm (198,96) Km ($2,40 \times 10^{-4}$)	< <	Vm (259,07) Km ($3,06 \times 10^{-4}$)	IAS 55 (s/Mn)
Yecora (s/Al)	Vm (211,06) Km ($1,57 \times 10^{-4}$)	= <	Vm (259,07) Km ($3,06 \times 10^{-4}$)	IAS 55 (s/Mn)

Na faixa de menor concentração de cálcio todas as 5 cultivares apresentaram a mesma eficiência na absorção do cálcio, pois os seus parâmetros V_m e K_m não foram diferentes.

Na faixa de maior concentração de cálcio constatou-se um comportamento genético diferencial no que diz respeito à absorção de cálcio. A cultivar IAS 55 apresentou um valor de V_m maior do que os valores de V_m apresentados pelas cultivares CNT₁, IAS 63 e Sonora 63 C; porém, em contrapartida, possuía um K_m maior do que o K_m das cultivares CNT₁, IAS-63 e Sonora 63 C, necessitando, como consequência, uma concentração de cálcio mais elevada para que metade de sua velocidade máxima de absorção fosse atingida. Por outro lado, a cultivar IAS 63 apresentou menor eficiência na absorção do cálcio do que as cultivares CNT₁ e Yecora, pois possuía um valor de K_m superior ao das citadas cultivares e, por extensão, um carregador com menor afinidade pelo cálcio do que aquelas. A cultivar Sonora 63 C tem menor eficiência na absorção do cálcio do que a cultivar CNT₁, pois apresentou um maior valor de K_m , bem como a cultivar IAS 55 com relação à cultivar Yecora.

5.5.2. Influência do alumínio na absorção do cálcio

Nas comparações pertinentes, os seguintes com-

portamentos quanto aos parâmetros V_m e K_m , foram detectados nas duas faixas de concentração de cálcio:

Faixa 1 de concentração de cálcio

IAS 63 (s/A1)	V_m (67,14)	=	V_m (53,15)		IAS 63 (c/A1)
	K_m ($6,83 \times 10^{-6}$)	<	K_m ($3,49 \times 10^{-5}$)		
Yecora (s/A1)	V_m (67,29)	=	V_m (89,92)		Yecora (c/A1)
	K_m ($6,58 \times 10^{-6}$)	<	K_m ($5,24 \times 10^{-5}$)		
Son 63 C (s/A1)	V_m (69,57)	=	V_m (41,34)		Son 63 C (c/A1)
	K_m ($1,07 \times 10^{-5}$)	<	K_m ($3,08 \times 10^{-5}$)		

Faixa 2 de concentração de cálcio

IAS 63 (s/A1)	V_m (195,54)	<	V_m (255,49)		IAS 63 (c/A1)
	K_m ($2,39 \times 10^{-4}$)	<	K_m ($3,65 \times 10^{-4}$)		
Yecora (s/A1)	V_m (211,06)	<	V_m (311,92)		Yecora (c/A1)
	K_m ($1,57 \times 10^{-4}$)	<?	K_m ($3,63 \times 10^{-4}$)		
Son 63 C (s/A1)	V_m (198,96)	=	V_m (245,28)		Son 63 C (c/A1)
	K_m ($2,40 \times 10^{-4}$)	<	K_m ($5,09 \times 10^{-4}$)		

Visando identificar os mecanismos mediante os quais o alumínio e o manganês interferem com a absorção do cálcio face ao comportamento dos parâmetros biológicos V_m e K_m , recorre-se às informações de FRIED e BROESHART (1967, p. 98, 99 e 101). Os citados autores afirmam que um íon pode interagir com outro através de três maneiras ou combinação das

três: (1) uma interação com o carregador de modo que a quantidade total deste não é alterada, mas, sim, a quantidade do carregador, que se combinará com o outro íon; (2) uma interação com o sistema produtor do carregador, de maneira que maior ou menor quantidade do carregador será produzida; (3) uma interação com o sistema de conversão ("turnover"), de modo a alterar alguma constante biológica da fase limitante do processo.

Segundo FRIED e BROESHART (1967, p. 98, 99 e 101), as denominadas inibição competitiva, inibição não competitiva e inibição incompetitiva pertencem ao primeiro tipo de interação. A inibição competitiva refere-se à situação em que o íon estranho compete com o íon substrato pelos mesmos centros ativos do carregador. A ação do íon estranho sobre o íon substrato não ocasiona uma alteração no parâmetro V_m , embora o parâmetro K_m seja modificado. A inibição não competitiva é caracterizada por envolver uma reação reversível do íon inibidor com o carregador, em locais diferentes dos centros ativos. A combinação do íon substrato com o carregador não é afetada, mas a dissociação do complexo íon-carregador é parcialmente ou totalmente prevenida, dependendo da concentração e da constante K_i do inibidor. Como resultado, há uma alteração no parâmetro V_m , mas não no parâmetro K_m . A inibição incompetitiva considera-se envolver somente a combinação do inibidor com o complexo íon-carregador-inibidor. Caracte-

riza-se por uma diminuição nas constantes V_m e K_m .

O segundo e terceiro tipo de interação são considerados por FRIED e BROESHART (1967, p. 98, 99 e 101) de difícil distinção, no atual estágio de conhecimentos, embora tentativas tenham sido feitas para identificá-las.

Face ao exposto, na faixa 1 de concentração de cálcio, o efeito do alumínio sobre a absorção de cálcio, em cada uma das cultivares testadas, configura-se como sendo uma inibição competitiva.

Na faixa 2 de concentração de cálcio, as relações entre os parâmetros V_m e K_m , na ausência e na presença de alumínio, sugerem o envolvimento de pelo menos dois tipos de mecanismo. Na cultivar Sonora 63 C o alumínio exerceu uma inibição de natureza competitiva na absorção do cálcio e nas cultivares IAS 63 e Yecora, um efeito estimulatório (sinergismo), pois, embora diminuindo a afinidade do carregador pelo cálcio (maior K_m), aumentou a velocidade de absorção do citado íon (maior V_m).

Dessa forma, pelo menos na faixa de concentração mais elevada de cálcio, parece existir uma relação entre absorção de cálcio e o grau de tolerância ao alumínio, pois nas cultivares IAS 63 (tolerante) e Yecora (tolerância inter-

mediária) o alumínio promoveu um efeito sinérgico na absorção de cálcio e na cultivar Sonora 63 C (suscetível) um efeito inibitório.

Confrontando-se os resultados apresentados na Tabela 32 com os obtidos por JOHNSON e JACKSON (1964), constatase que não existe uma concordância total, pois JOHNSON e JACKSON (1964) verificaram um nítido efeito depressivo do alumínio na absorção do cálcio. No entanto, há concordância com a conclusão a que chegaram esses autores, de que a redução na acumulação do cálcio produzida pelas concentrações de alumínio estudadas não pode ser inteiramente explicada pelo fenômeno de competição iônica.

LANCE e PEARSON (1969) estudaram o efeito de 4 concentrações de alumínio sobre a absorção de cálcio por raízes de plantas de algodão (Gossypium hirsutum 'Empire'), com 8 dias de idade, desenvolvidas em solução de Hoagland 1/4, usando a técnica de raízes subdivididas e períodos de absorção de 20 minutos até 12 horas. Foi observado que a inibição de absorção de cálcio após uma exposição das raízes a uma concentração de 0,30 ppm de alumínio, foi prevenida aumentando-se a concentração de cálcio da solução de Hoagland até 600 ppm. Em face desses resultados, LANCE e PEARSON (1969) enfatizaram que o efeito do alumínio sobre a absorção de cálcio pode ser explicada postulando-se a existência de dois meca-

nismos de absorção de cálcio, um operando em menores concentrações e outro em maiores concentrações, de tal modo que a absorção do cálcio é inibida pelo alumínio na faixa de baixa concentração, mas não na faixa de alta concentração, onde o plasmalema não é provavelmente a barreira limitante da absorção. Os resultados obtidos no presente estudo, conforme foi discutido e como demonstra claramente a Tabela 32, confirmaram o postulado proposto por LANCE e PEARSON (1969), mas somente para as cultivares IAS 63 e Yecora.

Por outro lado, ainda que PRICE (1970, p. 225) saliente que o mecanismo de baixa afinidade pareça ser de interesse secundário, desde que é improvável que as plantas se desenvolvam em solos com altas concentrações, os resultados alcançados na faixa de concentração mais elevada de cálcio (alumínio causando sinergismo na absorção de cálcio das cultivares mais tolerantes e inibição no cultivar mais suscetível) podem ter interesse prático, pois PATELLA (1972) observou que o teor de alumínio no solo deixa de ser um fator limitante na produção das atuais cultivares de trigo recomendadas para o Rio Grande do Sul - Brasil, quando a relação $Ca + Mg/Al$ do solo for superior a 2,0.

5.5.3. Influência do manganês na absorção do cálcio

Em ambas as faixas de concentração de cálcio

foram detectados as seguintes variações nos parâmetros V_m e K_m das três cultivares estudadas, devidas à presença de manganês nas soluções experimentais:

Faixa 1 de concentração de cálcio

IAS 55 (s/Mn)	$V_m (79,55)$ $K_m (7,48 \times 10^{-6})$	$>$ $<$	$V_m (37,48)$ $K_m (1,40 \times 10^{-5})$	IAS 55 (c/Mn)
Son 63 C (s/Mn)	$V_m (69,57)$ $K_m (1,07 \times 10^{-5})$	$=$ $<$	$V_m (33,11)$ $K_m (1,69 \times 10^{-5})$	Son 63 C (c/Mn)
CNT ₁ (s/Mn)	$V_m (69,75)$ $K_m (8,06 \times 10^{-6})$	$=$ $<$	$V_m (60,84)$ $K_m (3,97 \times 10^{-5})$	CNT ₁ (c/Mn)

Faixa 2 de concentração de cálcio

IAS 55 (s/Mn)	$V_m (214,59)$ $K_m (3,06 \times 10^{-4})$	$=$ $<$	$V_m (259,07)$ $K_m (4,20 \times 10^{-4})$	IAS 55 (c/Mn)
Son 63 C (s/Mn)	$V_m (198,96)$ $K_m (2,40 \times 10^{-4})$	$=$ $<$	$V_m (245,28)$ $K_m (5,09 \times 10^{-4})$	Son 63 C (c/Mn)
CNT ₁ (s/Mn)	$V_m (189,57)$ $K_m (1,30 \times 10^{-4})$	$<$ $<$	$V_m (270,42)$ $K_m (4,79 \times 10^{-4})$	CNT ₁ (c/Mn)

Na faixa de menor concentração de cálcio comprova-se que o manganês exerceu um efeito de inibição, segundo FRIED e BROESHART (1967, p. 98,99 e 101), de natureza competitiva, sobre a absorção de cálcio das cultivares Sonora 63 C e CNT₁ e provavelmente, incompetitiva na absorção do

cálcio da cultivar IAS 55. Assim sendo, pode-se sustentar que, nesta faixa de concentração de cálcio, o alumínio e o manganês agiram praticamente da mesma maneira na absorção do citado elemento.

Na faixa de concentração de cálcio mais elevada o manganês exerceu na absorção do citado elemento um efeito inibitório de natureza competitiva nas cultivares IAS 55 e Sonora 63 C e um efeito sinérgico sobre a cultivar CNT₁, pois promoveu um aumento no parâmetro Vm, embora a custo de uma diminuição de afinidade do carregador.

Comparando-se os efeitos do alumínio e do manganês na absorção do cálcio e relacionando-os com o grau de tolerância aos dois elementos, percebe-se um comportamento inteiramente antagônico, pois nas cultivares mais tolerantes ao alumínio (IAS 63 e Yecora), este último elemento citado produziu um efeito sinérgico na absorção de cálcio e nas cultivares mais tolerantes ao manganês (IAS 55 e Sonora 63 C), este produziu um efeito inibitório na absorção. Por outro lado, a cultivar mais suscetível ao alumínio teve sua absorção de cálcio inibida pelo alumínio, enquanto que na cultivar mais tolerante ao manganês a absorção de cálcio foi estimulada pelo manganês.

5.5.4. Diferenças genéticas na absorção de cálcio na presença de alumínio

Nas faixas de concentração de cálcio estudadas e na presença de alumínio existem as seguintes relações entre os parâmetros V_m e K_m das cultivares IAS 63, Yecora e Sonora 63 C:

Faixa 1 de concentração de cálcio

IAS 63 (c/A1)	$V_m (53,15)$ $K_m (3,49 \times 10^{-5})$	=	$V_m (89,92)$ $K_m (5,24 \times 10^{-5})$	Yecora (c/A1)
IAS 63 (c/A1)	$V_m (53,15)$ $K_m (3,49 \times 10^{-5})$	=	$V_m (41,34)$ $K_m (3,08 \times 10^{-5})$	Son 63 C (c/A1)
Yecora (c/A1)	$V_m (89,92)$ $K_m (5,24 \times 10^{-5})$	=	$V_m (41,34)$ $K_m (3,08 \times 10^{-5})$	Son 63 C (c/A1)

Faixa 2 de concentração de cálcio

IAS 63 (c/A1)	$V_m (255,49)$ $K_m (3,65 \times 10^{-4})$	=	$V_m (311,92)$ $K_m (3,63 \times 10^{-4})$	Yecora (c/A1)
IAS 63 (c/A1)	$V_m (255,49)$ $K_m (3,65 \times 10^{-4})$	<	$V_m (245,28)$ $K_m (5,09 \times 10^{-4})$	Son 63 C (c/A1)
Yecora (c/A1)	$V_m (311,92)$ $K_m (3,63 \times 10^{-4})$	<	$V_m (245,28)$ $K_m (5,09 \times 10^{-4})$	Son 63 C (c/A1)

Não existem diferenças nos parâmetros Vm e Km, na faixa de menor concentração de cálcio, o que também aconteceu quando se fizeram essas mesmas comparações na situação de ausência de alumínio.

Não obstante, na faixa 2 de concentração de cálcio, manifestaram-se diferenças que, relacionadas com as que foram detectadas na ausência de alumínio, consubstanciaram-se como sendo de caráter genético e ligadas à tolerância ao alumínio.

Observando-se os parâmetros Vm e Km do par IAS 63 x Yecora - faixa 2 de concentração de cálcio, onde a absorção de cálcio foi estudada na ausência de alumínio (p.159) constata-se que, embora os parâmetros Vm não sejam diferentes, o valor de Km da cultivar IAS 63 foi maior do que o valor de Km da cultivar Yecora, demonstrando que nessa condição o carregador desta última cultivar tem maior afinidade pelo cálcio do que o carregador da cultivar IAS 63. No entanto, na presença do alumínio, os valores de Vm das duas cultivares continuam não sendo diferentes e também os valores de Km, indicando que a cultivar IAS 63 não perdeu de modo tão marcante a afinidade do seu carregador pelo cálcio como a cultivar Yecora, de tolerância intermediária.

Com relação ao par IAS 63 x Sonora 63 C - faixa

2 de concentração de cálcio, constata-se que, na ausência de alumínio, os parâmetros Vm e Km não foram diferentes (p.159); porém na presença de alumínio, o maior valor de Km da cultivar Sonora 63 C sugere que a perda de afinidade do carregador do cultivar IAS 63, na presença de alumínio, foi de menor intensidade do que a perda de afinidade do carregador da cultivar Sonora 63 C.

Analisando-se o par Yecora x Sonora 63 C - faixa 2 de concentração de cálcio, verifica-se o mesmo comportamento descrito para o par IAS 63 x Sonora 63 C.

Diante desse quadro, postula-se que, embora o alumínio exerça uma diminuição na afinidade do carregador pelo cálcio, esta é gradual, de tal modo que quanto mais suscetível for a cultivar maior é a perda de afinidade do carregador pelo cálcio, pelo menos na faixa de concentração mais elevada de cálcio.

Na faixa 2 de concentração de cálcio, a variação genética ligada à tolerância ao alumínio, conforme propugnado, é reforçada pela observação já feita de que o alumínio exerceu efeito inibitório na absorção do cálcio efetuada pela cultivar Sonora 63 C e um efeito sinérgico na absorção realizada pelas cultivares IAS 63 e Yecora.

5.5.5. Diferenças genéticas na absorção de cálcio na presença de manganês

Nas cultivares apresentando tolerância diferencial ao manganês foram identificadas as seguintes relações entre os parâmetros V_m e K_m , quando a absorção de cálcio foi determinada na presença de manganês:

Faixa 1 de concentração de cálcio

IAS 55 (c/Mn)	$V_m (37,48)$ $K_m (1,40 \times 10^{-5})$	=	$V_m (33,11)$ $K_m (1,69 \times 10^{-5})$	Son 63 C (c/Mn)
IAS 55 (c/Mn)	$V_m (37,48)$ $K_m (1,40 \times 10^{-5})$	=	$V_m (60,84)$ $K_m (3,97 \times 10^{-5})$	CNT ₁ (c/Mn)
Son 63 C (c/Mn)	$V_m (33,11)$ $K_m (1,69 \times 10^{-5})$	=	$V_m (60,84)$ $K_m (3,97 \times 10^{-5})$	CNT ₁ (c/Mn)

Faixa 2 de concentração de cálcio

IAS 55 (c/Mn)	$V_m (248,08)$ $K_m (4,20 \times 10^{-4})$	=	$V_m (214,59)$ $K_m (5,13 \times 10^{-4})$	Son 63 C (c/Mn)
IAS 55 (c/Mn)	$V_m (214,59)$ $K_m (5,13 \times 10^{-4})$	=	$V_m (270,42)$ $K_m (4,79 \times 10^{-4})$	CNT ₁ (c/Mn)
Son 63 C (c/Mn)	$V_m (214,59)$ $K_m (5,13 \times 10^{-4})$	>	$V_m (270,42)$ $K_m (4,79 \times 10^{-4})$	CNT ₁ (c/Mn)

Na faixa 1 de concentração de cálcio, a presença de manganês não propiciou alterações nos parâmetros V_m e K_m dos pares IAS 55 x Sonora 63 C e Sonora 63 C x CNT₁, a exemplo do que aconteceu na ausência de manganês. No entanto, com relação ao par IAS 55 x CNT₁, embora o manganês exercesse uma diminuição na afinidade dos carregadores de ambas as cultivares pelo cálcio (p. 166), a grandeza de diminuição parece ser maior na cultivar CNT₁ (suscetível) do que na cultivar IAS 55 (tolerante), pois, como pode ser visto na p. 156, na ausência de manganês as duas cultivares não apresentaram diferenças em seus valores de K_m e, portanto, nas afinidades de seus carregadores pelo cálcio. Essa variação sugere ser de natureza genética e relacionada com a tolerância ao manganês.

Na faixa 2 de concentração de cálcio, considerando-se o par IAS 55 x Sonora 63 C, vê-se que o parâmetro K_m da cultivar IAS 55 (tolerante) foi menor do que a do cultivar Sonora 63 C (tolerância intermediária), embora na ausência de manganês (p. 159) o referido parâmetro da cultivar IAS 55 fosse maior. Sabendo-se que o manganês ocasiona uma diminuição na afinidade dos carregadores pelo cálcio das duas cultivares (p. 166), o mesmo raciocínio empregado na consideração do par IAS 55 x CNT₁, faixa 1 de concentração de cálcio, autoriza afirmar que as características genéticas da cultivar IAS 55, na presença de manganês, não permitiram que a perda de afinidade do seu carregador pelo cálcio fosse tão intensa como

aquele da cultivar Sonora 63 C. No entanto, o carregador da cultivar Sonora 63 C, de acordo com a mesma linha de raciocínio, perdeu mais intensamente a afinidade pelo cálcio, na presença de manganês, do que a cultivar CNT₁ (suscetível), o que compromete a possibilidade de o caráter genético determinante desses efeitos estar ligado à tolerância ao manganês.

Dessa forma, parece existir uma influência da tolerância das cultivares ao manganês sobre a eficiência de absorção de cálcio somente quando se analisa o mecanismo 1 de absorção de cálcio.

5.5.6. Efeitos comparativos do alumínio e do manganês na absorção do cálcio.

A comparação foi efetuada a partir dos valores de V_m e K_m obtidos nos ensaios efetuados com o cultivar Sonora 63 C, onde a absorção de cálcio foi determinada na presença de alumínio e na presença de manganês. As seguintes relações foram obtidas:

$$\begin{array}{c} \text{Faixa 1 de concentração de cálcio} \\ \text{Son 63 C} \\ \text{(c/Al)} \end{array} \left| \begin{array}{l} V_m (41,34) \\ K_m (3,08 \times 10^{-5}) \end{array} \right. = \begin{array}{l} V_m (33,11) \\ K_m (1,69 \times 10^{-5}) \end{array} \left| \begin{array}{l} \text{Son 63 C} \\ \text{(c/Mn)} \end{array} \right.$$

Faixa 2 de concentração de cálcio

$$\begin{array}{c} \text{Son 63 C} \\ (\text{c/Al}) \end{array} \left| \begin{array}{cc} V_m (245,28) & V_m (214,59) \\ K_m (5,09 \times 10^{-4}) & = K_m (5,13 \times 10^{-4}) \end{array} \right| \begin{array}{c} \text{Son 63 C} \\ (\text{c/Mn}) \end{array}$$

Em ambas as faixas de concentração, a igualdade entre os valores de V_m e K_m indica que os efeitos do manganês e do alumínio sobre a absorção de cálcio, pelo menos para a cultivar Sonora 63 C, foram de mesma magnitude e sentido. Essa constatação é compatível com a comparação de que o alumínio e o manganês, nas duas faixas de concentração de cálcio, inibiram de modo competitivo a absorção conforme se verifica nas p. 161, 166.

5.6. Cinética de absorção de fósforo

Na Tabela 45 apresentam-se os valores de absorção de fósforo das cultivares de trigo que possuem diferentes graus de tolerância ao alumínio, determinados nas soluções experimentais contendo concentrações crescentes de fósforo, na presença ou ausência de alumínio.

Na Tabela 46 mostram-se os valores de absorção de fósforo das cultivares de trigo possuindo tolerância diferencial ao manganês, obtidos na presença ou ausência de manganês.

TABELA 45 - Absorção de fósforo (v) por cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância a alumínio em função de concentrações crescentes de fósforo (S), na presença e ausência de alumínio (médias de 4 repetições)

CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO M (S)	• (v) ug P/g/h					
	IAS 63		Vecora		Sonora 63 C	
	s/A1	c/A1	s/A1	c/A1	s/A1	c/A1
10^{-6}	38,12	49,86	30,98	55,85	34,95	47,03
$1,2 \times 10^{-5}$	209,02	305,22	182,24	284,80	152,74	235,36
$2,3 \times 10^{-5}$	253,02	443,37	226,42	442,58	182,27	394,36
$3,4 \times 10^{-5}$	284,85	532,78	261,25	540,33	198,84	474,86
$4,5 \times 10^{-5}$	301,95	672,35	265,95	642,55	202,42	669,40
$5,6 \times 10^{-5}$	299,68	708,84	260,76	667,40	199,49	699,48
$6,7 \times 10^{-5}$	328,68	933,47	274,67	848,96	220,13	998,61
$7,8 \times 10^{-5}$	343,88	969,82	277,25	937,92	229,41	1065,28
$8,9 \times 10^{-5}$	354,28	1269,90	290,13	1210,15	236,30	1336,38
10^{-4}	367,49	1306,04	284,18	1250,62	248,33	1167,90

TABLEIA 46 - Absorção de fósforo (v) por cultivares do trigo com diferentes graus de tolerância ao manganês em função de concentrações crescentes de fósforo (S), na presença e ausência de manganês (médias de 4 repetições)

CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO M. (S)	(v) ug P/g/h					
	IAS 55		Sonora 63 C		CNT ₁	
	s/Mn	c/Mn	s/Mn	c/Mn	s/Mn	c/Mn
10 ⁻⁶	29,34	40,50	34,95	48,98	33,53	47,60
1,2 x 10 ⁻⁵	159,33	200,81	152,74	226,44	175,50	213,20
2,3 x 10 ⁻⁵	199,10	255,22	182,27	280,22	225,28	250,73
3,4 x 10 ⁻⁵	212,67	267,46	198,84	285,35	242,47	305,56
4,5 x 10 ⁻⁵	240,22	273,45	202,42	312,65	252,36	289,91
5,6 x 10 ⁻⁵	243,30	273,71	199,49	302,81	243,81	314,92
6,7 x 10 ⁻⁵	242,51	310,19	220,13	326,32	209,97	309,80
7,8 x 10 ⁻⁵	263,30	316,68	229,41	324,36	308,07	340,46
8,9 x 10 ⁻⁵	257,17	327,61	236,30	343,34	311,54	350,77
10 ⁻⁴	278,35	351,25	248,33	374,10	301,39	356,74

A exemplo do que foi feito com os ensaios de absorção de cálcio, as 10 concentrações de fósforo das soluções experimentais foram divididas em duas faixas de concentração - 10^{-6} M até $4,5 \times 10^{-5}$ M e $5,6 \times 10^{-5}$ M até 10^{-4} visando verificar se a existência de dois mecanismos, usando-se a mesma técnica estatística empregada nos ensaios de absorção do cálcio. Os valores de t , resultantes da comparação dos parâmetros a e b das equações de regressão linear de cada faixa de concentração de fósforo, não foram significativas dentro dos níveis de probabilidade admitidos, não permitindo que seja aceita a hipótese de existência de dois mecanismos na absorção de fósforo. Dessa forma, todas as considerações serão doravante feitas na faixa global de concentração de fósforo estudada (10^{-6} M até 10^{-4} M).

No entanto, BIELESKI (1973) salienta que a curva que relaciona a velocidade de absorção de fósforo por tecidos de plantas submetidas a concentrações crescentes do mesmo elemento usualmente apresenta dois componentes e às vezes três ou mais. Segundo BIELESKI (1973), esse fato pode significar: (a) cada componente poderia ser característico de um tipo de célula diferente que constitui o tecido complexo que está sendo estudado; (b) dois componentes poderiam resultar das duas formas aniônicas $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-} que podem coexistir em um dado pH fisiológico; (c) contaminação bacteriana do tecido poderia causar o aparecimento de uma segunda fase; (d)

poderiam existir dois carregadores presentes em uma célula, agindo juntos em paralelo no plasmalema ou separadamente, em série, no plasmalema e tonoplasto.

A análise da variância efetuada nos valores recíprocos de absorção de fósforo ($1/v$), das três cultivares possuindo diferentes graus de tolerância ao alumínio, na ausência e presença de alumínio, revela que a variação desses valores, causada pelas concentrações crescentes de fósforo nas soluções experimentais foi altamente significativa (Tabela 47). Os coeficientes de variação indicam que os ensaios efetuados possuem uma precisão variável, situando-se numa faixa cujos extremos são 11,96% e 29,30%.

Na Tabela 48 comprova-se que os valores recíprocos de absorção de fósforo ($1/v$) das três cultivares de trigo exibindo diferentes graus de tolerância ao manganês foram afetadas, ao nível de 1% de probabilidade, pelas concentrações crescentes de fósforo, quer na presença, quer na ausência de manganês. Os coeficientes de variação mostram que a precisão dos ensaios variou de 8,58% até 17,87%.

As equações de regressão linear das cultivares apresentando diferentes graus de tolerância ao alumínio e ao manganês, nos dois tratamentos de alumínio e de manganês estão inseridas na Tabela 49, bem como os valores de F das re-

TABELA 47 - Análise de variância dos valores recíprocos de absorção de fósforo (1/v), obtidos em função de concentrações crescentes de fósforo, em presença e ausência de alumínio, das cultivares IAS 63, Yecora e Sonora 63 C

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
IAS 63 - s/A1				
Concentração de P	9	0,001903907	0,000211545	458,47**
Resíduo	30	0,000013842	0,000000461	
TOTAL	39	0,001917749		
C.V. = 11,96%				
IAS 63 - c/A1				
Concentração de P	9	0,001260477	0,000140053	649,15**
Resíduo	30	0,000006472	0,000000216	
TOTAL	39	0,001266949		
C.V. = 13,65%				
Yecora - s/A1				
Concentração de P	9	0,002957116	0,000328568	242,02**
Resíduo	30	0,000040727	0,000001358	
TOTAL	39	0,002997843		
C.V. = 17,10%				
Yecora - c/A1				
Concentração de P	9	0,001008551	0,000112061	180,33**
Resíduo	30	0,000018642	0,000000621	
TOTAL	39	0,001027193		
C.V. = 24,16%				
Sonora 63 C - s/A1 ou Mn				
Concentração de P	9	0,002107182	0,000234131	135,81**
Resíduo	30	0,000051717	0,000001724	
TOTAL	39	0,002158899		
C.V. = 17,87%				
Sonora 63 C - c/A1				
Concentração de P	9	0,001473916	0,000163768	138,55**
Resíduo	30	0,000035460	0,000001182	
TOTAL	39	0,001509375		
C.V. = 29,30%				

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

TABLELA 48 - Análise da variância dos valores recíprocos de absorção de fósforo (1/v), obtidos em função de concentrações crescentes de fósforo, na presença ou ausência de manganês, dos cultivares IAS 55, Sonora 63 C e CNT₁

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
IAS 55 - s/Mn				
Concentração de P	9	0,003219117	0,000357680	633,72**
Resíduo	30	0,000016952	0,000000564	
TOTAL	39	0,003236049		
C.V. = 10,18%				
IAS 55 - c/Mn				
Concentração de P	9	0,001064471	0,000118274	573,68**
Resíduo	30	0,000006185	0,000000206	
TOTAL	39	0,001070655		
C.V. = 8,58%				
Sonora 63 C - s/Mn				
Concentração de P	9	0,002107182	0,000234131	135,81**
Resíduo	30	0,000051717	0,000001724	
TOTAL	39	0,002158899		
C.V. = 17,87%				
Sonora 63 C - c/Mn				
Concentração de P	9	0,001077130	0,000119681	402,18**
Resíduo	30	0,000008927	0,000000298	
TOTAL	39	0,001086057		
C.V. = 10,87%				
CNT ₁ - s/Mn				
Concentração de P	9	0,002407359	0,000267484	658,83**
Resíduo	30	0,000012180	0,000000406	
TOTAL	39	0,002419538		
C.V. = 9,50%				
CNT ₁ - c/Mn				
Concentração de P	9	0,001145559	0,000127284	321,42**
Resíduo	30	0,000011880	0,000000396	
TOTAL	39	0,001157438		
C.V. = 12,21%				

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

TABLETA 49 - Equações de regressão linear dos valores recíprocos de absorção de fósforo (1/v) em função dos valores recíprocos de concentração do fósforo (1/S), obtidos na presença e ausência de alumínio e manganês, das cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio e ao manganês e respectivos valores do F (regressão e desvio da regressão) e coeficientes de determinação

CULTIVAR	TRATAMENTO	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F		r ² %
			REGRESSÃO	DESVIO DA REGRESSÃO	
IAS 63	s/Al	$Y = 0,002742 + 0,2357.10^{-7}X$	4124,40**	0,23 ^{NS}	99,23
	c/Al	$Y = 0,001018 + 0,1915.10^{-7}X$	5819,64**	2,83*	99,10
Yecora	s/Al	$Y = 0,003153 + 0,2939.10^{-7}X$	2177,98**	0,03 ^{NS}	98,63
	c/Al	$Y = 0,001133 + 0,1710.10^{-7}X$	1611,75**	1,40 ^{NS}	97,50
Sonora 63 C	s/Al ou Mn	$Y = 0,004260 + 0,2479.10^{-7}X$	1221,06**	0,16 ^{NS}	97,50
	c/Al	$Y = 0,001140 + 0,2064.10^{-7}X$	1234,16**	1,60 ^{NS}	96,65
	c/Mn	$Y = 0,002810 + 0,1773.10^{-7}X$	3617,03**	0,32 ^{NS}	99,11
IAS 55	s/Mn	$Y = 0,003560 + 0,3066.10^{-7}X$	5701,91**	0,19 ^{NS}	99,45
	c/Mn	$Y = 0,003096 + 0,1761.10^{-7}X$	5152,94**	1,28 ^{NS}	99,22
	s/Mn	$Y = 0,003408 + 0,2648.10^{-7}X$	5912,89**	2,07 ^{NS}	99,22
	c/Mn	$Y = 0,002879 + 0,1828.10^{-7}X$	2888,79**	0,50 ^{NS}	98,84

NS - Não significativo

* - Valor significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

gressões e desvios das regressões e coeficientes de determinação. Percebe-se que todos os valores de F das regressões foram altamente significativos e somente o desvio da regressão correspondente à cultivar IAS 63 - c/A1 foi significativo ao nível de 5% de probabilidade. Esse fato sugere a possibilidade de que a cultivar IAS 63 C, nessa condição experimental, apresenta mais de um mecanismo de absorção de fósforo.

Os elevados coeficientes de determinação apresentados na Tabela 49, superiores a 96%, indicam que a transformação de Lineweaver-Burk é um artifício válido, justificando sua utilização como um meio prático de estimativa dos parâmetros V_m e K_m .

A partir dos valores a e b das equações de regressão linear mostrados na Tabela 49, obtiveram-se os parâmetros V_m e K_m apresentados na Tabela 50 e que quantificam a absorção de fósforo efetuada pelos cultivares estudados, nas várias condições experimentais.

TABELA 50 - Valores de V_m e K_m de absorção de fósforo das cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao alumínio e ao manganês, obtidos na presença e ausência de alumínio e de manganês

CULTIVAR	TRATAMENTO	V_m ug P/g/h	K_m M
IAS 63	s/Al	364,70	$8,60 \times 10^{-6}$
IAS 63	c/Al	982,32	$1,88 \times 10^{-5}$
Yecora	s/Al	317,16	$9,32 \times 10^{-6}$
Yecora	c/Al	882,61	$1,51 \times 10^{-5}$
Sonora 63 C	s/Al e Mn	234,74	$5,82 \times 10^{-6}$
Sonora 63 C	c/Al	877,19	$1,81 \times 10^{-5}$
Sonora 63 C	c/Mn	355,87	$6,31 \times 10^{-6}$
IAS 55	s/Mn	280,90	$8,61 \times 10^{-6}$
IAS 55	c/Mn	323,00	$5,69 \times 10^{-6}$
CNT ₁	s/Mn	293,43	$7,77 \times 10^{-6}$
CNT ₁	c/Mn	347,34	$6,34 \times 10^{-6}$

5.6.1. Diferenças genéticas na absorção de fósforo na ausência de alumínio e de manganês

A partir dos valores de t apresentados na Tabela 51 e obtidos na comparação dos parâmetros a e b de pares de equações de regressão linear, cujas médias possuem variância homogêneas, e das relações tabuladas na p.70, obtiveram -

TABELA 51 - Valores de t para comparação dos parâmetros a e b do par de equações de regressão linear de absorção do fósforo dos cultivares de trigo com diferentes graus de tolerância ao Al e Mn, na presença e ausência dos citados elementos

PARES DE EQUAÇÕES DE REGRESSÃO COMPARADOS	Valores de t	
	a	b
CNT ₁ - s/Mn x IAS 63 - s/Al	VNH	VNH
CNT ₁ - s/Mn x Son 63 C - s/Al ou Mn	3,19**	2,95**
CNT ₁ - s/Mn x Yecora - s/Al	VNH	VNH
CNT ₁ - s/Mn x IAS 55 - s/Mn	VNH	VNH
IAS 63 - s/Al x Son 63 C - s/Al ou Mn	13,04**	3,68**
IAS 63 - s/Al x Yecora - s/Al	2,72**	28,09**
IAS 63 - s/Al x IAS 55 - s/Mn	3,35**	28,29**
Son 63 C - s/Al ou Mn x Yecora - s/Al	VNH	VNH
Son 63 C - s/Al ou Mn x IAS 55 - s/Mn	0,07 ^{NS}	17,58**
Yecora - s/Al x IAS 55 - s/Mn	5,23**	6,06**
IAS 63 - c/Al x IAS 63 - c/Al	VNH	VNH
Yecora - s/Al x Yecora - c/Al	VNH	VNH
Son 63 C - s/Al x Son 63 C - c/Al	VNH	VNH
IAS 55 - s/Mn x IAS 55 - c/Mn	2,24*	39,50**
Son 63 C - s/Mn x Son 63 C - c/Mn	4,57**	21,58**
CNT ₁ - s/Mn x CNT ₁ - c/Mn	VNH	VNH
Son 63 C - c/Al x Son 63 C - c/Mn	VNH	VNH
IAS 63 - c/Al x Yecora - c/Al	0,59 ^{NS}	3,11**
IAS 63 - c/Al x Son 63 C - c/Al	1,16 ^{NS}	1,74***
Yecora - c/Al x Son 63 C - c/Al	1,25 ^{NS}	3,93**
IAS 55 - c/Mn x Son 63 C - c/Mn	2,95**	0,35 ^{NS}
IAS 55 - c/Mn x CNT ₁ - c/Mn	1,18 ^{NS}	1,80***
Son 63 C - c/Mn x CNT ₁ - c/Mn	1,50 ^{NS}	1,86***

VNH - Variância não homogênea

* - Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** - Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade

*** - Valores significativos ao nível de 20% de probabilidade

se as seguintes relações entre os parâmetros V_m e K_m :

CNT_1 (s/Mn)	V_m (293,43) K_m ($7,77 \times 10^{-6}$) ^{VNH}	V_m (364,70) K_m ($8,60 \times 10^{-6}$)	IAS 63 (s/A1)
CNT_1 (s/Mn)	V_m (293,43) > K_m ($7,77 \times 10^{-6}$) >?	V_m (234,74) K_m ($5,82 \times 10^{-6}$)	Son 63 C (s/A1 ou Mn)
CNT_1 (s/Mn)	V_m (293,43) K_m ($7,77 \times 10^{-6}$) ^{VNH}	V_m (317,16) K_m ($9,32 \times 10^{-6}$)	Yecora (s/A1)
CNT_1 (s/Mn)	V_m (293,43) K_m ($7,77 \times 10^{-6}$) ^{VNH}	V_m (280,90) K_m ($8,61 \times 10^{-6}$)	IAS 55 (s/Mn)
IAS 63 (s/A1)	V_m (364,70) > K_m ($8,60 \times 10^{-6}$) >?	V_m (234,74) K_m ($5,82 \times 10^{-6}$)	Son 63 C (s/A1 ou Mn)
IAS 63 (s/A1)	V_m (364,70) > K_m ($8,60 \times 10^{-6}$) =?	V_m (317,16) K_m ($9,32 \times 10^{-6}$)	Yecora (s/A1)
IAS 63 (s/A1)	V_m (367,70) > K_m ($8,60 \times 10^{-6}$) =?	V_m (280,90) K_m ($8,61 \times 10^{-6}$)	IAS 55 (s/Mn)
Son 63 C (s/A1 ou Mn)	V_m (234,74) K_m ($5,82 \times 10^{-6}$) ^{VNH}	V_m (317,16) K_m ($9,32 \times 10^{-6}$)	Yecora (s/A1)
Son 63 C (s/A1 ou Mn)	V_m (234,74) = K_m ($5,82 \times 10^{-6}$) <	V_m (280,90) K_m ($8,61 \times 10^{-6}$)	IAS 55 (s/Mn)
Yecora (s/A1)	V_m (317,16) > K_m ($9,32 \times 10^{-6}$) =?	V_m (280,90) K_m ($8,61 \times 10^{-6}$)	IAS 55 (s/Mn)

As comparações efetuadas entre os pares de cultivares permitem destacar algumas diferenças, quanto aos parâmetros Vm e Km, dentro das probabilidades indicadas na Tabela 51.

A cultivar IAS 63 possui um valor de Vm superior aos valores do Vm das cultivares Sonora 63 C, Yecora e IAS 55, embora seja possível que, com relação ao Km, este seja superior ao que apresenta a cultivar Sonora 63 C. Isso sugere que, embora a cultivar IAS 63 possua maior velocidade de absorção de fósforo do que a cultivar Sonora 63 C, seu carregador possui menor afinidade pelo fósforo.

A cultivar CNT₁ possui um valor de Vm mais elevado do que a cultivar Sonora 63 C, embora, a exemplo do que ocorreu com a cultivar IAS 63, seja possível que a afinidade de seu carregador seja inferior à que possui a cultivar Sonora 63 C.

A cultivar Yecora também possui velocidade de absorção de fósforo maior do que a velocidade de absorção da cultivar IAS 55.

Ainda que os valores de Vm das cultivares Sonora 63 C e IAS 55 não sejam diferentes, a primeira cultivar citada apresenta um Km inferior ao que apresenta a cultivar

IAS 55, o que caracteriza uma maior afinidade de seu carregador.

Admitindo que essas diferenças sejam de natureza genética, não se vislumbra nenhuma ligação com tolerância a alumínio e manganês.

5.6.2. Influência do alumínio na absorção de fósforo

Na Tabela 51 observa-se que as variâncias das médias componentes dos pares que interessam (IAS 63 - s/Al x IAS 63 - c/Al, Yecora - s/Al x Yecora - c/Al e Sonora 63 C - s/Al x Sonora 63 C - c/Al) não foram homogêneas e, portanto, não é possível estabelecerem-se comparações entre os parâmetros a e b de cada equação de regressão linear correspondente a cada um dos componentes dos citados pares.

No entanto, através da Tabela 45, percebe-se claramente que o alumínio promoveu um aumento na absorção de fósforo de cada cultivar. Esse fenômeno foi constatado por muitos pesquisadores nos últimos anos e foi muito bem estudado por RAGLAND e COLEMAN (1962).

5.6.3. Influência do manganês na absorção de fósforo

Foram obtidas as seguintes relações entre os parâmetros V_m e K_m das três variedades testadas, na presença e ausência de manganês:

IAS 55 (s/Mn)	$\left \begin{array}{l} V_m (280,90) < V_m (323,00) \\ K_m (8,61 \times 10^{-6}) >? K_m (5,69 \times 10^{-6}) \end{array} \right $	IAS 55 (c/Mn)
Son 63 C (s/Mn)	$\left \begin{array}{l} V_m (234,74) < V_m (355,87) \\ K_m (5,82 \times 10^{-6}) =? K_m (6,31 \times 10^{-6}) \end{array} \right $	Son 63 C (c/Mn)
CNT ₁ (s/Mn)	$\left \begin{array}{l} V_m (293,43) < V_m (347,34) \\ K_m (7,77 \times 10^{-6}) \overset{V_{NH}}{=} K_m (6,34 \times 10^{-6}) \end{array} \right $	CNT ₁ (c/Mn)

Pelo menos para as cultivares IAS 55 e Sonora 63 C, o manganês exerceu um efeito sinérgico sobre a absorção do fósforo, pois na presença de manganês os parâmetros V_m de ambas as cultivares foram aumentados.

Embora não se possa fazer uma apreciação estatística para a cultivar CNT₁, os dados de velocidade de absorção de fósforo nas várias concentrações de fósforo estudadas, na presença ou ausência de manganês, apresentados na Tabela 46, demonstram que o manganês também propiciou um efeito de sinergismo sobre a absorção de fósforo.

5.6.4. Diferenças genéticas na absorção de fósforo na presença de alumínio

Os parâmetros V_m e K_m dos pares que interessam comportaram-se do seguinte modo:

IAS 63 (c/A1)	$V_m (982,32)$ $K_m (1,88 \times 10^{-5})$	= >	$V_m (882,61)$ $K_m (1,51 \times 10^{-5})$	Yecora (c/A1)
IAS 63 (s/A1)	$V_m (982,32)$ $K_m (1,88 \times 10^{-5})$	= >	$V_m (877,19)$ $K_m (1,81 \times 10^{-5})$	Son 63 C (c/A1)
Yecora (c/A1)	$V_m (882,61)$ $K_m (1,51 \times 10^{-5})$	= <	$V_m (877,19)$ $K_m (1,81 \times 10^{-5})$	Son 63 C (c/A1)

Nessa situação experimental constata-se que as velocidades máximas de absorção de fósforo não foram diferentes nas três cultivares.

Contudo, as cultivares IAS 63 e Sonora 63 C possuem carregadores com menor afinidade pelo fósforo do que o carregador da cultivar Yecora. Da mesma forma, a afinidade do carregador da cultivar Sonora 63 C foi maior do que a do cultivar IAS 63.

Essas diferenças de possível natureza genética não sugerem qualquer relação com o mecanismo de tolerância

apresentado pelas cultivares IAS 63 e Yecora.

5.6.5. Diferenças genóticas na absorção de fósforo na presença de manganês

Foram verificadas as seguintes igualdades entre os parâmetros V_m e K_m nas comparações de interesse:

IAS 55 (c/Mn)	$V_m (323,00)$ $K_m (5,69 \times 10^{-6})$	$<$ $=$	$V_m (355,87)$ $K_m (6,31 \times 10^{-6})$	Son 63 C (c/Mn)
IAS 55 (c/Mn)	$V_m (323,00)$ $K_m (5,69 \times 10^{-6})$	$=$ $<$	$V_m (347,34)$ $K_m (6,34 \times 10^{-6})$	CNT ₁ (c/Mn)
Son 63 C (c/Mn)	$V_m (355,87)$ $K_m (6,31 \times 10^{-6})$	$=$ $<$	$V_m (347,34)$ $K_m (6,34 \times 10^{-6})$	CNT ₁ (c/Mn)

Na presença de manganês a cultivar Sonora 63 C manifestou uma maior eficiência na absorção do fósforo do que a cultivar IAS 55, conforme indicam as diferenças verificadas nos seus valores de V_m .

A cultivar CNT₁ apresentou um valor de K_m superior aos valores exibidos pelas cultivares IAS 55 e Sonora 63 C, demonstrando que seu carregador tem menor afinidade pelo fósforo, na presença de manganês, do que os carregadores das cultivares IAS 55 e Sonora 63 C. Supõe-se que essa evidência seja suficientemente forte para justificar alguma re-

lação com o grau de tolerância ao manganês apresentado por essas cultivares.

5.6.6. Efeitos comparativos do alumínio e do manganês na absorção do fósforo

As variâncias das médias obtidas nos ensaios de absorção de fósforo dos tratamentos Sonora 63 C - c/Al e Sonora 63 C - c/Mn não são homogêneas e, portanto, não foi possível utilizar-se o teste t para comparação dos parâmetros a e b das equações de regressão linear dos referidos tratamentos (Tabela 51).

Entretanto, observando-se as tendências dos dados das Tabelas 45 e 46 e comparando-se a magnitude das influências do alumínio e do manganês sobre a absorção do fósforo das várias cultivares e mais especificamente da cultivar Sonora 63 C, percebe-se que o alumínio induziu um maior aumento na absorção do fósforo do que o manganês.

Essa constatação concorda com os resultados a que chegou FRANKLIN (1969), que demonstrou que, quanto maior a valência do cátion, maior é o efeito estimulatório do mesmo sobre a absorção de fósforo pelas raízes.

FRANKLIN (1970) desenvolveu uma teoria para ex-

plicar as causas determinantes desses efeitos. Segundo ele, o aumento na absorção de fósforo associado à substituição de um cátion de menor valência por outro de maior valência nas paredes celulares deverá ser governado por dois fatores: (a) tamanho dos poros e (b) densidade de carga elétrica negativa dos poros. Quanto maior a densidade de carga elétrica negativa existente na superfície das membranas, maior será a diminuição da absorção do íon H_2PO_4^- e essa densidade diminuirá, com relação aos cátions K^+ , Ca^{2+} e Al^{3+} , na ordem $\text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Al}^{3+}$.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo propiciou as seguintes conclusões:

6.1. Determinação da tolerância ao alumínio

As cultivares estudadas se distribuem em pelo menos 4 grupos de tolerância ao alumínio (tolerância diminui de 1 para 4).

Grupo 1 - IAS 20, IAS 54, IAS 55, IAS 60, IAS 63
CNT₁, PF 70354, PF 70546, Horto, Coxilha e PAT 19;

Grupo 2 - IAS 57, IAS 61, C 33, Frontana, CNT₂
Nobre, Maringá, Londrina e PAT 24;

Grupo 3 - Yecora, LA 1549, IAS 58, IAS 64, Toropi, Pel 72013 e Pel 72083;

Grupo 4 - Sonora 63 P, Sonora 63 C e Super X.

6.2. Determinação da tolerância ao manganês

As cultivares estudadas se distribuem em 3 grupos de tolerância ao manganês:

Tolerantes- Sonora 63 C, Super X, Yecora, LA 1549, IAS 20, IAS 54, IAS 55 IAS 57, IAS 58, IAS 60, IAS 61, IAS 63, IAS 64, C 33, Toropi, CNT₂, Nobre, PF 70354, PF 70546, Pel 72018, Pel 72083, Horto, Coxilha, Londrina, PAT 19 e PAT 24.

Tolerância intermediária - Sonora 63 C e Maringá.

Suscetíveis - CNT₁ e Frontana.

6.3. Concentração de nutrientes

a) O grau de tolerância ao alumínio das cultivares de trigo não está relacionado com as concentrações de P, Ca e Mg das partes aéreas.

b) As concentrações de P, Ca e Mg das partes aéreas das cultivares se comportam diferentemente em função

das concentrações de Al na solução.

c) O grau de tolerância ao manganês das cultivares de trigo não está relacionado com as concentrações de P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu das partes aéreas e Ca, Fe e Mn das raízes.

d) As concentrações de P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu das partes aéreas e Ca, Fe e Mn das raízes das cultivares se comportam diferentemente em função das concentrações de Mn na solução.

6.4. Absorção de cálcio

a) A absorção de cálcio se realiza através de dois mecanismos.

b) Na ausência de alumínio e de manganês existem diferenças genéticas na absorção de cálcio somente na faixa de concentração correspondente a $1,6 \times 10^{-4}M$ - $2,56 \times 10^{-3}M$ e estas não estão relacionadas com o grau de tolerância ao alumínio e ao manganês.

c) O alumínio promove na absorção do cálcio:

- uma inibição competitiva (faixa de concentração correspondente a $5 \times 10^{-6}M$ - $8 \times 10^{-5}M$;

- uma inibição competitiva na cultivar Sonora 63 C e uma estimulação nas cultivares IAS 63 e Yecora

(faixa de concentração correspondente a $1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$).

d) O manganês promove na absorção do cálcio:

- uma inibição competitiva nas cultivares Sonora 63 C e CNT₁ e uma inibição, provavelmente incompetitiva, na cultivar IAS 55 (faixa de concentração correspondente a $5 \times 10^{-5}M - 8 \times 10^{-5}M$);

- uma inibição competitiva nas cultivares IAS 55 e Sonora 63 C e uma estimulação na cultivar CNT₁ (faixa de concentração correspondente a $1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$).

e) Na presença de alumínio:

- não existem diferenças genéticas na absorção (faixa de concentração correspondente a $5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$);

- existem diferenças genéticas relacionadas ao grau de tolerância ao alumínio (faixa de concentração correspondente a $1,6 \times 10^{-4}M - 2,56 \times 10^{-3}M$).

f) Na presença de manganês:

- existem diferenças genéticas na absorção relacionadas ao grau de tolerância ao manganês (faixa de concentração correspondente a $5 \times 10^{-6}M - 8 \times 10^{-5}M$);

- existem diferenças genéticas na absorção não relacionadas ao grau de tolerância ao manganês (faixa de

concentração correspondente a $1,6 \times 10^{-4}M$ - $2,56 \times 10^{-3}M$).

g) Na cultivar Sonora 63 C a absorção de cálcio é influenciada do mesmo modo pelo alumínio e pelo manganês.

6.5. Absorção de fósforo

a) A absorção de fósforo se realiza através de um único mecanismo.

b) Na ausência ou presença de alumínio e de manganês existem diferenças genéticas na absorção do fósforo não relacionadas com o grau de tolerância aos dois elementos.

c) O alumínio e o manganês, mais aquele do que este, estimulam a absorção do fósforo.

7. SUMMARY

This research work was carried out aiming the following objectives:

a) to identify, in wheat cultivars, the degree of tolerance to aluminum and manganese;

b) to evaluate aluminum effect on aerial parts concentrations of calcium, magnesium, and phosphorus from cultivars of wheat with different degree of tolerance to aluminum;

c) to evaluate manganese effect on aerial parts concentrations of calcium, magnesium, phosphorus, iron, manganese, zinc and copper, and roots concentrations of calcium, iron and manganese from cultivars of wheat with different degrees of tolerance to manganese;

d) to characterize the calcium and phosphorus type of absorption by cultivars of wheat with different de-

degrees of tolerance to aluminum and manganese;

e) to evaluate the aluminum and manganese effects on absorption of calcium and phosphorus by cultivars of wheat with different degrees of tolerance to aluminum and manganese.

For these purposes, it was carried out two greenhouse experiments, when plants from 30 cultivars of wheat were grown on nutritive solutions containing 0, 2,5, 5,0, 7,5 and 10,0 ppm of aluminum and 0, 8, 16, 24 and 32 ppm of Mn, respectively.

In the experiment with increasing levels of aluminum plants were harvested with twelve days of age and the degree of tolerance to aluminum from each cultivar was evaluated through the joint appreciation of aluminum effects, shown by regression analysis, on roots length, roots dry matter weight and aerial parts dry matter weight.

In the experiment with increasing levels of manganese plants were harvested with seventeen days of age and the degree of tolerance to manganese was evaluated through appreciation of manganese effects, shown by regression analysis on aerial parts dry matter weight and roots dry matter weight.

Phosphorus, calcium and magnesium were determined in the aerial parts of plants of ten wheat cultivars, harvested in the experiment with increasing levels of aluminum and presenting different degrees of tolerance to that element.

Phosphorus, calcium, magnesium, iron, manganese, zinc and copper in the aerial parts and calcium, iron and manganese in the roots were determined in six wheat cultivars, whose plants were harvested in the experiment with increasing levels of manganese and presenting different degrees of tolerance to that element.

It were run experiments of calcium and phosphorus absorption kinetics, in the presence or absence of aluminum or manganese. This was done with excised roots from 7 day old plants from three cultivars of wheat with differential tolerance to aluminum (Sonora 63 C susceptible; Yecora - intermediate tolerance, and IAS 63 - tolerant), and from three cultivars of wheat with differential tolerance to manganese (CNT₁ - susceptible; Sonora 63 C - intermediate tolerance, and IAS 55 - tolerant). The used experimental solutions had CaCl₂ concentrations of $5 \times 10^{-6} \text{M}$, 10^{-5}M , $2 \times 10^{-5} \text{M}$, $4 \times 10^{-5} \text{M}$, $8 \times 10^{-5} \text{M}$, $1,6 \times 10^{-4} \text{M}$, $3,2 \times 10^{-4} \text{M}$, $6,4 \times 10^{-4} \text{M}$, $1,28 \times 10^{-3} \text{M}$ and $2,56 \times 10^{-3} \text{M}$ and K₂HPO₄ concentrations of 10^{-6}M , $1,2 \times 10^{-5} \text{M}$, $2,3 \times 10^{-5} \text{M}$, $3,4 \times 10^{-5} \text{M}$, $4,5 \times 10^{-5} \text{M}$, $5,6 \times 10^{-5} \text{M}$, $6,7 \times 10^{-5} \text{M}$, $7,8 \times 10^{-5} \text{M}$, $8,9 \times 10^{-5} \text{M}$ and 10^{-4}M . These solutions were labeled with ⁴⁵Ca and

^{32}P , respectively. Interpretations were done based on V_m and K_m values as parameters, through statistical procedures.

The data obtained made possible the following more important conclusions:

a) The degree of tolerance to aluminum of wheat cultivars is not related to the aerial parts concentrations of P, Ca, or Mg.

b) The degree of tolerance to manganese of wheat cultivars is not related to the aerial parts concentrations of P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn or Cu and to the roots concentrations of Ca, Fe or Mn.

c) Ca absorption occurs through two mechanisms.

d) Aluminum acts on Ca absorption through:

- a competitive inhibition (area of concentration corresponding to $5 \times 10^{-6}\text{M}$ - $8 \times 10^{-5}\text{M}$);

- a competitive inhibition on cultivar Sonora 63 C and a stimulus on cultivars IAS 63 and Yecora (area of concentration corresponding to $1,6 \times 10^{-4}\text{M}$ - $2,56 \times 10^{-4}\text{M}$).

e) Manganese acts on Ca absorption through:

- a competitive inhibition on cultivars Sonora 63 C and CNT₁ and a probably uncompetitive inhibition on cultivars IAS 55 (area of concentration corresponding to $5 \times 10^{-6}\text{M}$ - $8 \times 10^{-5}\text{M}$);

- a competitive inhibition on cultivars IAS 55 and Sonora 63 C and a stimulus on cultivars CNT₁ (area of concentration corresponding to $1,6 \times 10^{-4} \text{M}$ - $2,56 \times 10^{-3} \text{M}$).

f) In the presence of aluminum:

- there are no genetic differences on calcium absorption (area of concentration corresponding to $5 \times 10^{-6} \text{M}$ - $8 \times 10^{-5} \text{M}$);

- there are genetic differences related to degree of tolerance to aluminum (area of concentration corresponding to $1,6 \times 10^{-4} \text{M}$ - $2,56 \times 10^{-3} \text{M}$).

g) Phosphorus absorption occurs through only one mechanism.

h) There are genetic differences in the absorption of phosphorus not related to the degree of tolerance to aluminum and manganese either in the absence or presence of both elements.

i) Aluminum and manganese more the former than the latter, stimulate phosphorus absorption.

8. LITERATURA CITADA

- AGARWALA, S.C., S.S. BISHT e C.P. SHARMA, 1977. Relative effectiveness of certain heavy metals in producing toxicity and symptoms of iron deficiency in barley. Can. J. Bot. Ottawa, 55:1299-1307.
- ANDREW, C.S. e P.J. VANDEN BERG, 1973. The influence of aluminium on phosphate sorption by whole plants and excised roots of some pasture legumes. Aust. J. Agric. Res. Melbourne, 24:341-351.
- ARAÚJO, J. E. C., 1953. Ensaio de campo para correção do "crestamento" do trigo. Anais da IV Reuniao Brasileira de Ciência do Solo. Belo Horizonte, p.153-158.
- BECKMAN, I., 1954. Sobre o cultivo e melhoramento do trigo. (Triticum vulgare, Vill) no sul do Brasil. Agronomia sul-riograndense. Porto Alegre, 1:64-72.
- BENNETT, A.C., 1974. Toxic effect of aqueous ammonia, copper, zinc, lead, boron and manganese on root growth. In: CARSON, E.W., Ed. The Plant Root and its Environment. Charlottesville, University Press of Virginia, p.669-683.
- BIELESKI, R.L., 1973. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. Ann. Rev. Plant. Physiol. Palo Alto, 24:225-252.
- BRAUNER, J.L. e A.C.T. VIANNA, 1975. Efeitos do alumínio e do manganês, absorvidos por resina sintética e complexados pelo EDTA sobre duas variedades de trigo. Ciência e Cultura. São Paulo, 27:637-641.

- BROWN, J.C., J.E. AMBLER, R.L. CHANEY e C.D. FOY, 1972. Differential responses of plant genotypes to micronutrients. In: DINAUER, R.C., Ed. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Sci. Soc. Amer., Inc., p.389-418.
- BROWN, J.C. e W.E. JONES, 1977. Manganese and iron toxicities dependent on soybean variety. Commun. in Soil Sci. and Plant Anal. New York, 8:1-15.
- CACCO, G., G. FERRARI e G.C. LUCCI, 1976. Uptake efficiency of roots in plants at different ploidy levels. J. Agric. Sci. London, 87:585-589.
- CAMARGO, M.N., 1976. Incidência de Alumínio permutável nos solos e proporção de ocorrência em diversas regiões do Brasil. Anais do XV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Campinas, p.603-613.
- CARTER, O.G., I.A. ROSE e P.F. READING, 1975. Variation in susceptibility to manganese toxicity in 30 soybean genotypes. Crop Sci. Madison, 15:730-732.
- CLARK, R.B. e J.C. BROWN, 1974. Differential phosphorus uptake by phosphorus stressed corn imbeds. Crop Sci. Madison, 14:505-508.
- CLARK, R.B., 1977. Effects of aluminium on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn. Plant and Soil. The Hague, 47:653-662.
- CLARKSON, D.T., 1966. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. Plant Physiol. Maryland, 41:165-172.
- CLARKSON, D.T., 1969. Metabolic aspects of aluminium toxicity and some possible mechanisms of resistance. In: RORISON, I.H., Ed. Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants. A Symposium of the British Ecological Society. Oxford and Edinburg, Blackwell Scientific Publications, p. 381-397.
- CLARKSON, D.T. e J. SANDERSON, 1971. Inhibition of the uptake and long-distance transport of calcium by aluminium and other polyvalent cations. J. Exp. Bot. Oxford, 22:837-851.
- CRUZ, A.D., J.R. SARRUGE e H.P. HAAG, 1974. Absorção de cálcio pelos tecidos de folha de cafeeiro. (Coffea arabica L. var. Mundo Novo) Anais da E. S. A. "Luiz de Queiroz. Piracicaba, 31:105-131.

- CRUZ, A.L., 1973. Absorção de cálcio pelos tecidos da folha de cafeeiro (Coffea arabica L., var. Mundo Novo). Piracicaba, ESALQ/USP, 43 p. (Tese de Doutorado).
- DESSUREAUX, L., 1958. The selection of lucerne for tolerance to manganese toxicity. In: HALLSWORTH, C. G., Ed. Nutrition of the Legumes. London, Butterworths Scientific Publication, p.247-279. *
- DUNLOP, J., 1973. The kinetics of calcium uptake by roots. Planta. Berlim, 112:159-167.
- EDWARDS, J.H., B.D. HORTON e H.C. KIRKPATRICK, 1976. Aluminum toxicity symptoms in peach seedlings. J. Amer. Soc. Hort. Sci. Michigan, 101:139-142.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 1974. Reunião Latinoamericana do Trigo, Porto Alegre, 446 p.
- EPSTEIN, E., 1966. Dual pattern of ion absorption by plant cells and by plants. Nature. London, 212:1324-1327.
- EPSTEIN, E., 1968. Mineral metabolism of halophytes. In: RORISON, I.H., Ed. Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants. A Symposium of the British Ecological Society. Oxford and Edinburg, Blackwell Scientific Publications, p.345-355.
- ERDEI, L. e F. ZSOLDOS, 1977. Potassium absorption by rice at different levels of organization. I. Effects of temperature and calcium on K^+ fluxes and content. Physiol. Plant. Lund, 41:99-104.
- ESSEN, A. van e G. DANTUMA, 1962. Tolerance to acid soil conditions in barley. Euphytica. Wageningen, 11:282-286.
- FERRI, M.G., 1976. Ecologia dos Cerrados. In: FERRI, M.G., Coord. IV Simpósio sobre o Cerrado. Belo Horizonte, Ed. Itatiaia, p.15-36.
- FOY, C.D., W.H. ARMIGER, L.W. BRIGGLE e D.A. REID, 1965. Differential aluminum tolerance of wheat and barley varieties in acid soil. Agron. J. Madison, 57:413-417.
- FOY, C.D., A.L. FLEMING e J.W. SCHWARTZ, 1973. Opposite aluminum and manganese tolerances of two wheat varieties. Agron. J. Madison, 65:123-126.
- FOY, C.D., 1974. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E. W., Ed. The Plant-Root and its Environment.

- Charlottesville, University Press of Virginia, p.601-642.
- FOY, C.D., H.N. LAFEVER, J.H. SCHWARTZ e A.L. FLEMING, 1974a. Aluminum tolerance of wheat cultivars related to region of origin. Agron. J. Madison, 66:751-758.
- FOY, C.D., R.G. DRILLIANA, J.W. SCHWARTZ e A.L. FLEMING, 1974b. Responses of sunflower genotypes to aluminum in acid soil and nutrient solution. Agron. J. Madison, 66:293-296.
- FRANKLIN, R.E., 1969. Effect of adsorbed cations on phosphorus uptake by excised roots. Plant. Physiol. Maryland, 44:697-700.
- FRANKLIN, R.E., 1970. Effect of adsorbed cations on phosphorus absorption by various plant species. Agron. J. Madison, 62:214-216.
- FRIED, M. e H. BROESHART, 1967. The Soil - Plant System in Relation to Inorganic Nutrition. New York . Academic Press, 358p.
- GALLO, J.R., R. HIROCE, O.C. BATAGLIA e M. ALCOVER, 1972. Teores de alumínio, manganês, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em sessenta variedades de trigo e sua relação com o "crestamento". Bragantia. Campinas, 31:XXXV-XLI.
- GONZALEZ ERICO, E., E.J. KAMPRATH, G.C. NADERMAN, W.V. SOARES e E. LOBATO, 1976. Efeito da profundidade de incorporação de calcário na cultura de milho, em solo ácido de cerrado do Brasil Central. Anais do XV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Campinas, p.299-302.
- HEENAN, D.P. e O.G. CARTER, 1975. Response of two soybean cultivars to manganese toxicity as affected by pH and calcium levels. Aust. J. Agric. Res. Melbourne, 26:967-974.
- HEENAN, D.P. e O.G. CARTER, 1977. Influence of temperature on the expression of manganese toxicity by soybean varieties. Plant and Soil. The Hague, 47:219-227.
- HIATT, A.J. e J.E. LEGGETT, 1974. Ionic interactions and antagonism in plants. In: CARSON, E.W., Ed. The Plant-Root and its Environment. Charlottesville, University Press of Virginia, p.101-134.
- HIGINBOTHAM, N., 1973. The mineral absorption process in plants. The Botanical Review. New York, 39:15-69.
- HOAGLAND, D.R. e D.I. ARNON, 1950. The water - culture method for growing plants without soil. Berkeley, Calif. Agric. Exp. Stn. (Circular, 347).

- HODGES, T.K., 1973. Ion absorption by plant roots. Adv. Agron. New York, 25:163-207.
- HOWELER, R.H. e L.F. CADAVID, 1976. Screening of rice cultivars for tolerance to Al-toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. Agron. J. Madison, 68:551-555.
- ISERMANN, K., 1975. ["]Mögliche ursachen der manganese-toleranz bestimmter reis - sorten. Z. Pflanzener. Bodenkunde. Leipzig, 2:235-247.
- JACKSON, W.A., 1967. Physiological effects of soil acidity. In: PEARSON, R.W. e F. ADAMS, Ed. Soil Acidity and Liming. Madison, American Society of Agronomy Publisher, p.43-123.
- JOHNSON, R.E. e W.A. JACKSON, 1964. Calcium uptake and transport by wheat seedlings as affected by aluminum. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 28:381-386.
- JUSTE, C., 1970. Actions toxiques des oligo - éléments. Ann. Agron. França, 21:549-571.
- KAMPRATH, E.J. e C.D. FOY, 1971. Lime-Fertilizer-Plant interactions in acid soils. In: DINAUER, R.C., Ed. Fertilizer Technology & Use, 2a. ed. Madison, Soil Sci. Soc. Amer. Inc., p.105-151.
- KERRIDGE, P.C., M.D. DAWSON e D.P. MOORE, 1971. Separation of degrees of aluminum tolerance in wheat. Agron. J. Madison, 63:586-591.
- KERRIDGE, P.C. e W.E. KRONSTAD, 1968. Evidence of genetic resistance to aluminum toxicity in wheat (Triticum aestivum Vill. Host) Agron. J. Madison, 60:710-711.
- KLEESE, R.A., D.C. RASMUSSEN e L.H. SMITH, 1968. Genetic and environment variation in mineral element accumulation in barley, wheat, and soybeans Crop Sci. Madison, 8:591-593.
- LAFAEVER, H.N., L.G. CAMPBELL e C.D. FOY, 1977. Differential responses of wheat cultivars to Al. Agron. J. Madison, 69:563-568.
- LANCE, J.C. e R.W. PEARSON, 1969. Effect of low concentrations of aluminum on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 33:95-98.
- LEMONS, R.C., P.U.R. ABRÃO, M.A.D. AZOLIM, A.P. CARVALHO e M. C.L. SANTOS, 1967. O solo na cultura do trigo no Brasil.

Serviço de Informação Agrícola, Ministério da Agricultura.
Rio de Janeiro. 80p. (Estudos Técnicos, 37).

- LIEBIG, G.F., Jr. A.P. VANSELOW e H.D. CHAPMAN, 1942. Effects of aluminum on copper toxicity, as revealed by solution - culture and spectrographic studies of citrus. Soil Sci. Maryland, 53:341-351.
- MAAS, E.V., 1969. Calcium uptake by excised maize-roots and interactions with alkali cations. Plant. Physiol. Maryland, 44:985-989.
- MACHADO, M.O., 1974. Solos para soja RS e SC - Tipos adubação e correção, preparo, peltização. Pelotas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 20p. (Circular, 68).
- MALAVOLTA, E., J.R. SARRUGE e V.C. BITTENCOURT, 1977. Toxicidade de alumínio e de manganês. In: FERRI, M.G., Coord. IV Simpósio sobre o cerrado - bases para utilização agropecuária. Belo Horizonte, Editora Itatiaia, p.275-301.
- MARTINI, J.A., R.A. KOCHHANN, E.P. GOMES e F. LANGER, 1977. Response of wheat cultivars to liming in some high Al Oxisols of Rio Grande do Sul, Brasil. Agron. J. Madison, 69: 612-616.
- MARTINI, J.A., 1977. A field method for soil test calibration in developing countries. Soil Sci. Maryland, 123:165-170.
- MCCORMICK, L.H. e F.Y. BORDEN, 1972. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 36:799-802.
- MCCORMICK, L.H. e F.Y. BORDEN, 1974. The occurrence of aluminum - phosphate precipitate in plant roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 38:931-934.
- MCLEAN, E.D., 1976. Chemistry of soil aluminum. Commun. in Soil Sci. and Plant Anal. New York, 7:619-636.
- MCLEAN, F.T. e B.G. GILBERT, 1927. The relative aluminum tolerance of crop plants. Soil Sci. Maryland, 24:163-175.
- MESDAG, J.C. e L.A.J. SLOOTMAKER, 1969. Classifying wheat varieties for tolerance to high soil acidity. Euphytica. Wageningen, 18:36-42.
- MESDAG, J., L.A.J. SLOOTMAKER e J. POST Jr., 1970. Linkage between tolerance to high soil acidity and genetically high protein content in the kernel of wheat and its pos-

- sible use in breeding. Euphytica. Wageningen, 19:163-174.
- MOORE, D.P., 1974. Physiological effects of pH on roots. In: CARSON, E.W., Ed. The Plant-Roots and its Environment. Charlottesville, University Press of Virginia, p.134-151.
- MUNN, D.A. e R.E. McCOLLUM, 1976. Solution culture evaluation of sweet potato cultivar tolerance to aluminum. Agron. J. Madison, 68:989-991.
- MUNNS, D.N., C.M. JOHNSON e L. JACOBSON, 1963. Uptake and distribution of manganese in oat plants. I. Varietal variation. Plant and Soil. The Hague 19:115-126.
- MUNNS, D.N., 1965. Soil acidity and growth of a legume. II. Reactions of aluminium and phosphate solution and effects of aluminium, phosphate, calcium, and pH on Medicago sativa L. and Trifolium subterraneum L. in solution culture. Aust. J. Agric. Res. Melbourne, 16:743-755.
- MUZILLI, O., SANTOS, J.B. PALHANO, J. MANETTI F., A. F. LANTMANN, A. GARCIA e A. CATANEO, 1978. Tolerância de cultivares de soja e de trigo a acidez do solo. R. Bras. Ci. Solo. Campinas, 2:34-40.
- NAISMITH, R.W., M.W. JOHNSON e W. I. THOMAS, 1974. Genetic control of relative calcium, phosphorus, and manganese accumulation on chromosome 9 in maize. Crop. Sci. Madison, 14:845-849.
- NEENAN, M., 1960. The effects of soil acidity on the growth of cereals with particular reference to the differential reaction varieties thereto. Plant and Soil. The Hague, 12:324-338.
- NISSEN, P., 1971. Uptake of Sulfate by roots and leaf slices of barley: Mediated by single multiphasic mechanisms. Physiol. Plant. Lund, 24:315-324.
- NISSEN, P., 1977. Ion uptake in higher plants and KCl stimulation of plasmalema adenosine triphosphate Comparison of models. Physiol. Plant. Lund, 40:205-214.
- OTA, Y., 1968. Mode of the occurrence of bronzing in rice plant. JARQ. Tokyo, 1:1-5.
- QUELLETTE, G.J. e L. DESSUREAUX, 1958. Chemical Composition of alfafa as related to degree of tolerance to manganese and aluminum. Can. J. Plant Sci. Ottawa, 38:206-214.

- PATILLA, J.F., 1972. Sugestões para adubação-Rio Grande do Sul. In: Centro de Treinamento e Informação do Sul (CENTREISUL). I Curso de Fertilidade do Solo. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 7p.
- PEARSON, R.W., 1974. Significance of rooting pattern to crop production and some problems of root research. In: CARSON, E.W., Ed. The Plant-Root and its Environment. Charlottesville University Press of Virginia, p.247-270.
- PEARSON, R.W., 1975. Soil acidity and liming in the humid tropics. New York, New York College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University. 66p. (International Agriculture Bulletin, 30).
- PRICE, C.A., 1970. Molecular Approaches to Plant Physiology. New York, McGraw-Hill Book Company. 398p.
- RAGLAND, J.L. e N.T. COLEMAN, 1962. Influence of aluminum on phosphorus uptake by snap bean roots Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 26:88-90.
- RANDALL, P.J. e P.V. VOSE, 1963. Effect of aluminum on uptake & translocation of phosphorus³² by perennial ryegrass. Plant. Physiol. Maryland, 38:403-409.
- REID, D.A., A.L. FLEMING e C.D. FOY, 1971. A method for determining aluminum response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al-toxic soil. Agron. J. Madison, 63:600-603.
- RORISON, I.H., C.D. SUTTON e E.G. HALLSWORTH, 1958. The effect of climatic conditions on aluminium and manganese toxicities. In: HALLSWORTH, E.G., Ed. Nutrition of the Legumes. London, Butterworths Scientific Publications, p. 62-68.
- RORISON, I.H., 1958. The effect of aluminium on legume nutrition. In: HALLSWORTH, E.G., Ed. Nutrition of the legumes. London, Butterworths Scientific Publications, p.43-61.
- SALINAS, J.G., P.A. SANCHEZ, 1976. Tolerance to aluminum toxicity and available soil phosphorus. In: Soil Science Department. Agronomic Economic Research on Tropical Soils - Annual Report for - 1975. Raleigh, North Carolina State University, p.40-65.
- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG, 1974. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ/USP, 55p.
- SARRUGE, J.R., J.BIASI, P.R.C. CASTRO, B.V. DEFELIPO, C. FEITOSA, F.J. KRUG e M. MORELLI, 1973. Cinética da absorção

- de cálcio na presença de magnésio em células foliares de cafeeiro (Coffea arabica L. var. Mundo Novo). Anais da E. S.A. "Luiz de Queiroz" Piracicaba, 30:441-456.
- SHUMAN, L.M. e O.E. ANDERSON, 1976. Interactions of Mn with other ions in wheat and soybeans. Commun. in Soil Sci. and Plant Anal. New York, 7:547-557.
- SILVA, A.R., J.C. LECITE, J.C.A.J. MAGALHÃES e N. NEUMAIER, 1976. A cultura do trigo irrigada nos cerrados do Brasil Central. Brasília, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. 70p. (Circular Técnica, 1).
- SILVA, A.R., 1976. Melhoramento genético para resistência à toxidez de alumínio e manganês no Brasil: Antecedentes, necessidades e possibilidades. Tópicos para discussão e pesquisas. Ciência e Cultura. São Paulo, 2:147-149.
- SLOOTMAKER, L.A.J., 1974. Aims and objectives in breeding cereal varieties. Outlook on Agriculture. London, 8:133-140.
- SLOOTMAKER, L.A.J. e J.F. ARZADUM, 1969. Selection of young barley plants for tolerance to high soil acidity in relation with some agronomic characteristics of mature plants. Euphytica. Wageningen, 18:157-162.
- SOUZA, C.N.A. e E.P. GOMES, 1971. Reação de variedades de Trigo ao crestamento em condições de campo. In: III Reunião Anual Conjunta de Pesquisa do Trigo. Curitiba, Ministério da Agricultura, 5p. Mimeografado.
- SPARLING, J.H., 1967. The occurrence of Schoenus nigricans L. in blanket bogs. II. Experiments on the growth of S. nigricans under controlled conditions. J. Ecol. London, 55:15-31.
- TERRY, N., P.S. EVANS e D.E. THOMAS, 1975. Manganese toxicity effects on leaf cell multiplication and expansion and on dry matter yield of sugar beets. Crop. Sci. Madison, 15:205-208.
- TRITICULTURA em expansão, 1977. Conjuntura Econômica. Rio de Janeiro, 31:128-134.
- WILLIAMS, D. E. e J. VLAMIS, 1957. Manganese toxicity in standard culture solutions. Plant and Soil. The Hague, 8:183-193.