

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO ALUMÍNIO NO  
TRIGO (Triticum vulgare L. ) CULTIVADO EM SOLUÇÃO  
NUTRITIVA

Aluizio Duarte Cruz

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUÍZ DE QUEIROZ"  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
P I R A C I C A B A

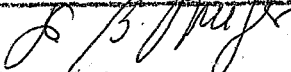

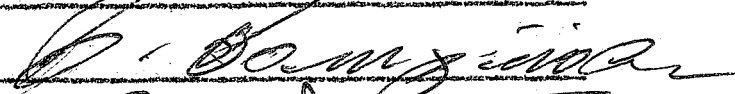
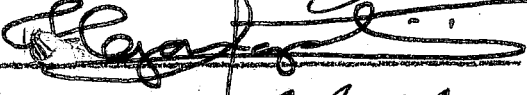
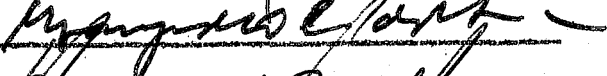

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO ALUMÍNIO NO  
TRIGO ( Triticum vulgare L. ) CULTIVADO EM SOLUÇÃO  
NUTRITIVA

TESE submetida ao Conselho Diretor dos Cursos  
Pós Graduados, como requisito parcial, pa  
ra obtenção do título de Magister Scien-  
tiae na Escola Superior de Agricultura

"Luiz de Queiroz"

Publicação autorizada

APROVADA:

PIRACICABA

DEDICATÓRIA

Aos meus pais  
À minha esposa  
À minha filha

## AGRADECIMENTOS

Expressamos nosso reconhecimento às seguintes pessoas e Instituições:

Prof. Dr. Walter Radamés Accorsi pela colaboração na parte botânica.

Dr. Clovis Pompilio Abreu pela colaboração na parte estatística.

Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> José Renato Sarruge pela colaboração referente a parte de radioisótopos.

Prof. Dr. Eurípedes Malavolta pelas sugestões apresentadas.

Docente Livre Dr. Henrique Paulo Haag pela orientação e dedicação sem as quais este trabalho não seria realizado.

Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas (I.I.C.A.) pela bolsa concedida.

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (E.S.A.L.Q.) pela colhida e facilidades concedidas.

## B I O G R A F I A

**ALUIZIO DUARTE CRUZ**, nasceu em Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil, a 5 de abril de 1934. Formou-se Eng. Agrônomo em 1953 pela Escola de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Rural do Sul, Pelotas, Rio Grande do Sul.

Exerce o cargo de assistente de ensino da Cadeira de Química Agrícola, da Escola de Agronomia Eliseu Maciel e técnico da Seção de Solos do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Sul, tendo exercido até 1965 o cargo de técnico da Seção de Química do referido Instituto.

INDICE DE FIGURAS

Figura

- |   |    |
|---|----|
| 1. Correlação entre os teores de alumínio (ppm) e N% (1); P% (2), K% (3), Ca% (4) Mg% (5); e peso da matéria seca (6), - nas folhas . . . . . | 26 |
| 2. Radioautógrafo (direita) e planta (esquerda) da variedade <u>Piratini</u> correspondente a testemunha. . . . .                             | 40 |
| 3. Radioautógrafo (direita) e planta (esquerda) da variedade <u>Piratini</u> correspondente ao tratamento com 0,2 ppm de alumínio . . . . .   | 41 |
| 4. Radioautógrafo (direita) e planta (esquerda) da variedade <u>Piratini</u> correspondente ao tratamento com 6,0 ppm de alumínio . . . . .   | 42 |
| 5. Radioautógrafo (direita) e planta (esquerda) da variedade <u>Colônias</u> correspondente a testemunha. . . . .                             | 43 |
| 6. Radioautógrafo (direita) e planta (esquerda) da variedade <u>Colônias</u> correspondente ao tratamento com 0,2 ppm de alumínio . . . . .   | 44 |
| 7. Radioautógrafo (direita) e planta (esquerda) da variedade <u>Colônias</u> correspondente ao tratamento com 6,0 ppm de alumínio . . . . .   | 45 |

## INDICE DE QUADROS

### Quadro

1. Pêso da matéria sêca das fôlhas, hastes, raízes mergulhadas na solução com alumínio (Raiz c/Al) e raízes mergulhadas na solução completa (Raiz s/Al). Média de quatro repetições . . . . .	17
2. Solubilidade do alumínio, sob a forma de hidróxido, entre pH 4,0 e 5,0.	19
3. Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio ppm, nas fôlhas. Média de quatro repetições. . . . .	21
4. Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e alumínio em ppm, nas hastes. Média de quatro repetições . . . . .	22
5. Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e alumínio em ppm, nas raízes mergulhadas na solução completa. Média de quatro repetições . . . . .	24
6. Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio em ppm, nas raízes mergulhadas nas soluções com alumínio. Média de quatro repetições . . . . .	25
7. Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio (ppm) e pêso da matéria sêca (pêso sêco) em gramas, nas fôlhas . . . . .	27
8. Teores em ppm de alumínio nas fôlhas e de fósforo nas fôlhas, hastes, raízes mergulhadas na solução com alumínio (Raiz c/Al) e raízes mergulhadas na solução com fósforo marcado (Raiz s/Al), Variedade <u>Piratini</u> (smacetivel) . . . . .	30

- 9. Teores em ppm de alumínio nas folhas e de fósforo nas folhas, hastes e raízes mergulhadas na solução com alumínio (Raiz c/Al) e raízes mergulhadas na solução com fósforo marcado (Raiz s/Al). Variedade Piratini suscetível. . . . . 31
- 10. Correlação entre os teores de alumínio nas folhas e teores de fósforo nas folhas, hastes, raiz c/Al e raiz s/Al, em ppm. . . . . 32
- 11. Teores de alumínio (ppm) nas folhas novas e velhas, teores percentuais de fósforo nas folhas novas em relação ao total absorvido pela planta (P% do total), teores de fósforo (ppm) nas folhas novas e velhas, nas raízes mergulhadas na solução com alumínio (c/Al) e nas raízes mergulhadas na solução com fósforo marcado (s/Al). Variedade Piratini (suscetível). . . . . 34
- 12. Correlação entre os teores de alumínio (ppm) nas folhas novas e velhas com teores de fósforo (ppm) nas mesmas, hastes, raiz c/Al, raiz s/Al e com teores percentuais de fósforo nas folhas novas em relação ao total absorvido pela planta. Variedade Piratini (suscetível) 35
- 13. Teores de alumínio (ppm) nas folhas novas e velhas, teores percentuais de fósforo translocado (P% do total), teores de fósforo (ppm) nas folhas novas, nas folhas velhas, nas raízes mergulhadas na solução com fósforo marcado (s/Al) e nas raízes mergulhadas na solução com alumínio (c/Al). Variedade Colônias (resistente). . . . . 37
- 14. Correlação entre os teores de alumínio (ppm) nas folhas novas e velhas com os teores de fósforo (ppm) nas mesmas, hastes, raiz c/Al, raiz s/Al e com teores percentuais de fósforo nas folhas novas em relação ao total absorvido pela planta. Variedade Colônias (resistente) 38



ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	REVISÃO DA LITERATURA	3
3.	MATERIAL e MÉTODOS	9
3.1.	Variedades usadas	9
3.2.	Otensão e escolha das plântulas	9
3.3.	Solução estoque de alumínio	9
3.4.	Técnica de cultivo	10
3.5.	Sintomatologia e cortes histológicos	10
3.6.	Coleta das plantas para análise	10
3.7.	Radioautografia das plantas	11
3.8.	Análises químicas	11
3.9.	Determinação do fósforo marcado ( $P^{32}$ )	11
3.10.	Análise estatística	11
3.11.	Ensaio realizado	11
3.11.1.	Concentração de alumínio no subtrato	12
3.11.2.	Absorção do fósforo ( $P^{32}$ )	12
3.11.3.	Translocação do fósforo ( $P^{32}$ )	13
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1.	Sintomatologia	14
4.1.1.	Sintomas foliares morfológicos e anatômicos	15
4.1.2.	Sintomas radiculares morfológicos e anatômicos	16
4.2.	Ensaio de concentração de alumínio	16
4.2.1.	Peso da matéria seca das folhas, hastes e raízes	17
4.2.2.	Composição química das folhas	20
4.2.3.	Composição química das hastes	22

4.2.4.	Composição química das raízes	23
4.3.	Ensaio de absorção de fósforo ( $P^{32}$ )	29
4.3.1.	Primeiro ensaio de absorção	29
4.3.2.	Segundo ensaio de absorção	30
4.4.	Ensaio de translocação do fósforo	32
4.4.1.	Translocação do fósforo ( $P^{32}$ ) na variedade <u>Piratini</u> (susceptível)	33
4.4.2.	Translocação do fósforo ( $P^{32}$ ) na variedade <u>Colônias</u> (resistente)	35
4.4.3.	Radioautografias	39
5.	CONCLUSÕES	46
6.	RESUMO E SUMMARY	47
7.	LITERATURA CITADA	49
	ÍNDICE DE FIGURAS	IV
	ÍNDICE DE QUADROS	V

## 1. INTRODUÇÃO

A produção do trigo ( Triticum vulgare L. ) é das mais importantes para o Brasil particularmente para o Rio Grande do Sul, uma vez que este estado concorre com cerca de 75% da produção nacional (Boudevijh, C., 1960 - pg. - 258). Entretanto a produtividade da cultura é muito baixa considerando, que raramente ultrapassa de 900 kg por ha., enquanto que nos países europeus, produtores de trigo, dificilmente alcança valores menores que 2 800 kg por ha.

Um dos fatores responsáveis por esta baixa produtividade, é a acidez do solo, que em algumas áreas chega a ser tão intensa que ocasiona, o que técnicos e agricultores chamam de "CRESTAMENTO".

Este fenômeno se caracteriza, entre outros aspectos por sua influência negativa na produção, desenvolvimento e em casos mais acentuados na germinação.

A causa do "CRESTAMENTO" tem sido estudada e atribuída à acidez nociva, ou seja, ao alumínio trocável do solo.

Entretanto, desconhecemos na literatura nacional, um estudo sobre a influência direta do alumínio no trigo.

Daí o intuito de apresentarmos um trabalho, neste sentido, com os seguintes objetivos:

1 - Observar o desenvolvimento do trigo, cultivado em solução nutritiva com diversas concentrações de alumínio (0,25 a 60 ppm).

2 - Determinar os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio, nos órgãos das

plantas submetidas às condições anteriores.

3 - Obter, um quadro sintomatológico e histológico, das plantas submetidas às condições (1).

4 - Verificar efeitos do alumínio na absorção, - translocação e redistribuição do fósforo marcado ( $P^{32}$ ) - em plantas cultivadas em solução nutritiva, com diversas - concentrações de alumínio (0,2 a 60 ppm).

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Revisando a literatura, referente ao alumínio, observamos que numerosos são os trabalhos que tratam do assunto sob diversos aspectos.

Entretanto, citaremos apenas aqueles que consideramos importantes por se relacionarem, mais diretamente, com o tema da presente tese.

HUTCHINSON (1943) apresenta uma extensa revisão bibliográfica sobre o alumínio, abordando os mais diferentes aspectos, entre os quais: alumínio nas rochas, no solo, na hidrosfera, nos microorganismos e nos animais superiores. Na parte referente às plantas superiores a revisão é exaustiva, apresentando o teor de alumínio e outros dados correlatos em cerca de 50 famílias de plantas. Apresenta, igualmente, um estudo detalhado de correlação com outros elementos especialmente com o fósforo. O trabalho cita acima de 600 referências bibliográficas.

WALLIHAN (1948), trabalhando com trevo ( trifolium repens var. latum ) em solução nutritiva, estudou a absorção do alumínio e do fósforo pela planta e subsequente precipitação destes elementos, bem como a influência do alumínio sobre a atividade metabólica do fósforo. Constatou que a quantidade de fósforo, removida das raízes, quando tratadas durante 15 min. com uma solução de ácido-sulfúrico 0.1N, não estava relacionada com a quantidade de alumínio presente nas raízes. Além disso, pequenas

quantidades de ambos os elementos foram removidas das raízes por ácido sulfúrico 0.01N, o que levou o autor a concluir que o alumínio e o fósforo não poderiam se encontrar na forma de fosfato de alumínio ( $AlPO_4$ ). A suposição de que a presença de alumínio e fósforo indique a formação do precipitado de  $AlPO_4$ , não é válida. Parece, mais provável, que o alumínio e talvez o fósforo, sejam retidos à superfície da raiz por algum outro mecanismo, tal como troca iônica. Constatou o autor ainda, que o desenvolvimento das plantas, assim como a concentração do fósforo na parte aérea, não foram afetadas pela presença do alumínio na solução nutritiva. Conclui finalmente, que o alumínio não interfere na atividade metabólica do fósforo.

WRIGHT e DONAHUE (1953), cultivaram plântulas de cevada (Hordeum vulgare L.) em solução nutritiva com e sem alumínio, durante certo tempo. Posteriormente foram transferidas para soluções semelhantes contendo fósforo marcado ( $P^{32}$ ). Após permanecerem por quatro horas em contato com a solução radioativa, as raízes foram lavadas com água durante quinze minutos, sendo a seguir, submetidas a lavagem com soluções 0.1 e 0.01N de ácido sulfúrico para distinguir o fósforo ligado ao alumínio, do não ligado. Os autores, usando as mesmas plantas, montaram radioautógrafos que mostraram uma grande acumulação de fósforo nas raízes, contrastando com as cultivadas sem alumínio que apresentaram grande quantidade nas folhas. Desprezível foi a quantidade de fósforo extraída das raízes com água e ácido sulfúrico 0.01N, contudo o ácido sulfúrico 0.1N removeu quase a totalidade do fósforo marcado, o que indica que o fósforo estava ligado ao alumínio. Realizaram os autores cortes longitudinais e transversais nas raízes, e empregando corantes para a identificação do alu

mínio observaram acumulação deste elemento na superfície e na zona cortical da raiz. Entretanto pouco alumínio foi observado no tecido vascular. Os cortes mostraram que houve uma considerável modificação na estrutura interna. Os autores concluíram que o alumínio interfere no metabolismo do fósforo, inativando-o dentro das raízes.

ROBINSON (1958 - pg. 43-61), apresenta um estudo, bastante ilustrativo, referente ao efeito do alumínio na nutrição das leguminosas. O autor apresenta, com ênfase, dados referentes ao efeito do alumínio na produção, observações quanto a tolerância ao alumínio pelas diversas espécies vegetais, fatores que afetam a absorção, sintomas visuais de toxidez e alterações histológicas.

REES e SIDRAK (1961), cultivaram (Atriplex hasbata var. deltoides), espinafre (Spinacea oleracea) e a cevada (Hordeum vulgare L.) em solução de areia, aos quais adicionaram quantidades variáveis de alumínio (10-60 ppm) e manganês (5 a 100 ppm), isoladamente e em conjunto. A precipitação dos fosfatos pelo alumínio foi evitada pelo emprego da técnica do cultivo alternado e pelo emprego de EDTA-Al. Os tratamentos, contendo alumínio sob a forma de sulfato, causaram uma redução no crescimento dos três gêneros de plantas além de clorose no espinafre e na cevada. As raízes da cevada tiveram seu crescimento afetado. O uso do EDTA-Al foi benéfico para o Atriplex mas prejudiciais ao espinafre e à cevada. Nos três gêneros estudados o EDTA-Al favoreceu a absorção de fósforo e de ferro. Os efeitos tóxicos do alumínio foram correlacionados com a relação potássio/cálcio na planta e seu possível efeito no protoplasma e na parede celular. A diferença de comportamento do Atriplex com relação ao espinafre e a cevada, tratadas com EDTA-Al, consideram os autores que é

devido ao aumento no teor de magnésio causado por aquele composto no Atriplex, e a diminuição deste nutriente no espinafre e na cevada.

HORTENSTINE e FISKELL (1961), utilizaram o girasol (Helianthus annuus L.), cultivado em solução nutritiva, para constatar o efeito de diversas concentrações de alumínio (2 a 16 ppm) no crescimento e na absorção do boro e do cálcio. O alumínio nas concentrações acima de 4 ppm inibiu acentuadamente o peso das folhas e raízes. O teor de boro nas folhas e nas raízes não foi modificado pelos diferentes níveis de alumínio na solução nutritiva. Entretanto o teor de cálcio nas raízes decresceu com o aumento da concentração de alumínio. O alumínio se acumulou em grande quantidade nas raízes, enquanto que nas folhas não observaram influência dos diversos níveis de alumínio na solução.

RAGLAND e COLEMAN (1962), estudaram o efeito do alumínio na absorção do fósforo ( $P^{32}$ ) em raízes das plantas de feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) e constataram que a presença do alumínio, em baixas concentrações no substrato, aumentou a absorção do fósforo, o mesmo ocorrendo com raízes pretratadas com cloreto de alumínio. Observaram ainda que concentrações de alumínio ( $10^{-2}M$ ) no substrato, reduziram a absorção de fósforo.

RANDALL e VOSE (1963), trabalhando com soluções nutritivas contendo fósforo marcado ( $P^{32}$ ) e empregando aveia (Lolium perenne L. var. Donish) com dois meses de idade, observaram que baixos níveis de alumínio ( $1.85 \times 10^{-4}M$ ) aumentaram o conteúdo total e a concentração de fósforo nas raízes e hastes das plantas. Altos níveis ( $18.5 \times 10^{-4}M$ ) de alumínio diminuíram o teor total de fós



foro, mas aumentaram a concentração como consequência da redução dos crescimentos. Baixos níveis de alumínio, quando fornecidos durante o período de crescimento aumentaram a assimilação de  $P^{32}$ , fato que não ocorreu quando o alumínio foi fornecido em níveis altos. Ensaios conduzidos com cianeto de potássio mostraram uma marcante inibição dos efeitos do alumínio sobre a absorção do fósforo. Com o emprego de 2,4 dinitrofenol (DNP)  $5 \times 10^{-6} M$  observaram, que não havia inibição dos efeitos do alumínio no transporte do fósforo para as hastes. Concluíram os autores, que o aumento na absorção do fósforo induzido pelo alumínio, é um processo parcialmente metabólico, embora não possam ser desprezados os efeitos da precipitação nas raízes. Baseados no efeito do 2,4 DNP, sugerem os autores que posteriormente ao processo de absorção, o fósforo é ligado ao alumínio dentro da planta causando sintomas de deficiências de fósforo, característico da toxicidade de alumínio.

CLARKSON (1966), empregando a técnica de raízes destacadas em cevada (Hordeum vulgare L., var. Proctor), estudou a absorção do fósforo ( $P^{32}$ ) nas raízes pretratadas com alumínio. O aumento no teor de fósforo das raízes com alumínio foi maior do que na testemunha, especialmente durante os primeiros minutos de incubação. O aumento de fósforo nas raízes pretratadas com alumínio foi de fósforo inorgânico, o qual poderia ser trocável. O aumento de fósforo inorgânico nas raízes tratadas com alumínio, não causou um aumento na quantidade de fósforo incorporado nos compostos fosforilados. Nos tratamentos com alumínio decresce a incorporação de  $P^{32}$  nos açúcares, mas aumenta a quantidade de ATP, o que se deve a inibição da hexoquinase e consequente produção de açúcares fosforilados. O autor sugere que existem dois tipos de reações entre o **alumínio e o fósforo**: a) no espaço livre, b) dentro da célula.

Concluí afirmando, que o alumínio não enaltece a absorção de fósforo e que a reação superficial entre o alumínio e o fósforo não interfere com o transporte deste-último.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Varietades usadas

Utilizamos o trigo ( Triticum vulgare L. var. Piratini ), proveniente da Seção de Fitotecnia do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Sul, considerado suscetível ao "Crestamento" e var. Colônias considerada resistente.

#### 3.2. Obtenção e escolha das plântulas

As sementes de trigo, das variedades acima citadas, foram postas a germinar em caixas, contendo areia lavada mantida umedecida com água destilada, colocadas em casa de vegetação.

Processada a germinação, quando as plântulas atingiram cerca de 5 cm de altura, fizemos uma seleção quanto a uniformidade e vigor.

A seguir as plântulas foram transferidas para tanques metálicos, revestidos internamente com uma tinta betuminosa (Neutrol-45)<sup>†</sup>, com capacidade de 30 litros contendo solução nutritiva de HOAGLAND e ARNON (1 950), diluída a 1/2 e arejada continuamente. O ferro desta solução foi fornecido sob a forma de quelato e na mesma diluição.

#### 3.3. Solução estoque de alumínio

Preparamos uma solução de cloreto de alumínio - ( $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ) com 1000 ppm de alumínio, ajustada ao pH 4.0- por meio de um volume calculado de ácido clorídrico concentrado.

(†) OTTO BAUMGART - Indústria e Comércio, São Paulo

### 3.4. Técnica de cultivo

Empregamos a técnica das "raízes divididas", que consiste em dividir o sistema radicular em duas porções - com um número de raízes aproximadamente igual. Uma das porções é mergulhada na solução nutritiva com alumínio e sem adição de fosfato. A outra porção é mergulhada na solução nutritiva completa, sem o acréscimo de alumínio. As soluções foram permanentemente arejadas durante o cultivo.

### 3.5. Sintomatologia e cortes histológicos.

Para melhor identificação e uniformização dos sintomas visuais, utilizamos o Atlas de los Colores de VILLALOBOS-DOMINGUES e VILLALOBOS (1947).

O sistema de classificação e notação é o seguinte:

- 1 - A letra ou letras indicam a cor e seu matiz.
- 2 - O número ou números dão o valor da luminosidade.
- 3 - O grau expressa a tonalidade do matiz.

A fim de constataremos os sintomas internos, fizemos cortes a mão livre empregando lâmina de barbear e medula de sabugueiro.

Uma solução de glicerina em água, em volumes iguais, foi utilizada para a montagem dos cortes, cujo exame procedíamos imediatamente.

### 3.6. Coletas das plantas para análise

Concluídos os ensaios, procedemos a coleta das plantas separando-se: folhas, hastes e raízes. As raízes foram lavadas com água, ácido clorídrico e água destilada.

A seguir as amostras foram submetidas a secagem,

em estufas a 75° - 80° C, por vários dias e moídas em moinhos Willey com peneira nº 20.

### 3.7. Radioautografia das plantas

Nos ensaios com fósforo marcado ( $P^{32}$ ), coletamos as plantas e destacamos as duas porções do sistema radicular (3.1.) que foram lavadas inicialmente com uma solução de ácido clorídrico aproximadamente 0,2N, ácido fosfórico 1:4 e finalmente com água destilada.

A técnica que empregamos, para a obtenção dos radioautógrafos, foi citada por BERGAMIM FILHO (1 959).

### 3.8. Análises químicas.

Empregamos os métodos citados por MALAVOLTA (1 964) para as seguintes determinações: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

Em alíquotas dos extratos empregados nas determinações anteriores, fizemos as análises do alumínio pelo método de CATANI e BITTENCOURT (1 965). \*\*

### 3.9. Determinação do fósforo marcado ( $P^{32}$ )

Transferimos alíquotas de 1,ml de extratos obtidos como nas análises químicas contendo fósforo radioativo, para cubetas de ferro às quais adicionamos uma gota de detergente ODD †. A seguir procedemos a secagem por meio da luz infra vermelha e submetemos a um sistema de detecção e contagem (Geiger-Müller).

### 3.10. Análise estatística

Orientamo-nos em PIMENTEL GOMES (1 963) para a execução das análises e testes estatísticos.

---

(†) Orniex S.A. - São Paulo

(\*\*) Não publicado.

### 3.11.1. Concentração do alumínio no substrato

Plântulas da var. Piratini, obtidas segundo 3.2., foram transferidas para recipientes metálicos, com um litro de capacidade, revestidos internamente com Neutrol-45 e dispostos aos pares para o emprêgo da técnica das raízes divididas (3.4.).

O ensaio foi realizado em casa de vegetação, constituindo os tratamentos nas seguintes concentrações de alumínio: 0,25 0,75 1,0 2,0 4,0 10,0 20,0 40,0 e 60,0 ppm.

Para obtenção destas concentrações retiramos alíquotas da solução estoque (3.3.) e transferimos para as soluções sem fosfatos. Ajustamos o pH ao valor de 4, com ácido clorídrico, utilizando o papel indicador universal (Merck).

As plantas permaneceram durante trinta e quatro dias nos tratamentos os quais, juntamente com as soluções completas, foram renovados semanalmente.

A seguir coletamos as plantas de acordo com 3.6., separando-se as duas porções do sistema radicular e procedemos às análises químicas conforme 3.8.

O ensaio, inteiramente casualizado, constou de 10 tratamentos com quatro repetições.

### 3.11.2. Absorção do Fósforo ( $P^{32}$ )

Utilizando parcialmente as técnicas do ensaio anterior, realizamos dois experimentos utilizando a variedade Piratini.

As plântulas, da variedade citada, foram transferidas para copos de laboratórios, com capacidade de 250 ml, envolvidos em pano preto e dispostos aos pares.

Os tratamentos, aplicados juntamente com a trans

ferência das plântulas, constituíram nas seguintes concentrações de alumínio: 0,2 0,4 0,8 2,0 e 6,0 ppm.

No primeiro ensaio foram aplicados 26 microcuries de  $P^{32}$ , na solução completa, imediatamente após a adição de alumínio. As plantas permaneceram cinco dias nos tratamentos.

No segundo ensaio aplicamos 30 microcuries de  $P^{32}$ , dez dias após o acréscimo de alumínio, permanecendo as plantas onze dias nos tratamentos.

Durante a colheita dos ensaios, separamos uma planta de cada tratamento para a montagem dos radioautógrafos ficando as restantes para a determinação do  $P^{32}$  conforme 3.7. e dosagem do alumínio (3.8.).

Os ensaios, inteiramente casualizados, constaram de seis tratamentos, com duas repetições.

### 3.11.3. Translocação do fósforo ( $P^{32}$ )

Neste ensaio utilizamos plantas das var. Piratini e Colônias, sendo as técnicas e as concentrações de alumínio empregadas, as mesmas dos ensaios de absorção.

Aplicamos 25 microcuries de fósforo radioativo, três dias após o acréscimo do alumínio e no quinto dia renovamos todas as soluções omitindo-se a aplicação de fosfatos.

Após permanecerem oito dias nos tratamentos (alumínio), as plantas foram colhidas sendo as folhas, emitidas após a omissão dos fosfatos, assinaladas e separadas para determinação do  $P^{32}$  e alumínio.

O ensaio constou de seis tratamentos com três repetições.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. Sintomalogia

O quadro sintomatológico, a ser considerado a seguir, foi apresentado por plantas do ensaio 3.11.1.

##### 4.1.1. Aspectos geral das plantas

Os sintomas observados, nas folhas e nas raízes das plantas, não mostraram variações de intensidade correlatas com as concentrações de alumínio nas soluções.

As diferenças mais evidentes foram observadas entre a testemunha e os tratamentos com 20,0 a 60,0 ppm de alumínio.

Nas concentrações de 0,25 a 10 ppm de alumínio - os sintomas se manifestaram mais tardiamente, inclusive - nas raízes onde os mesmos são mais evidentes.

As plantas, que vegetaram nas soluções que não adicionamos o alumínio, mostraram um desenvolvimento normal, folhas superiores de cor verde (GI - 10 - 8º) e um número reduzido de folhas inferiores secas.

O sistema radicular apresentou-se de cor marfim (OY - 19 - 3º) e igualmente desenvolvido, tanto na porção submetida a omissão de fosfatos como na porção imersa na solução completa.

As plantas, submetidas às concentrações de 20,0 40,0 e 60,0 ppm, mostraram um desenvolvimento aparentemente menor que as testemunhas.

As folhas superiores apresentavam uma cor verde-pálido (L -1 - 2º) com algumas exibindo clorose em estrias.



As folhas inferiores secas, apresentavam-se em grande número em relação as testemunhas. O sistema radicular se apresentava desigualmente distribuído porque as raízes emitidas, nas soluções contendo alumínio, se apresentavam atrofiadas.

#### 4.1.2. Sintomas foliares morfológicos e anatômicos

As plantas submetidas às concentrações de 4,0 a 60,0 ppm de alumínio, apresentaram, a partir do sétimo dia de cultivo, clorose, com estrias longitudinais nas folhas novas.

A medida que os sintomas evoluíam com o decorrer do cultivo, surgiam ao longo das estrias manchas cloróticas (YL - 16 - 12º) intermitentes, ocasionalmente com pontuações necróticas, que coalesciam do ápice para a base das folhas as quais ficavam amarelas com nuances alaranjadas (OOS - 13 - 11º) mantendo as pontuações escuras.

A sintomatologia por nós constatada, foi concorde com a obtida por REES e SIDRAK (1961) em cevada, empregando a técnica do "cultivo alternado". Esta técnica consiste em cultivar as plantas, alternativamente pelo período de dois dias, em solução nutritiva completa e em solução nutritiva contendo alumínio e omissão de fosfatos.

A cana de açúcar (Saccharum officinarum L.) apresenta sintomas semelhantes à cevada e ao trigo, somente quando cultivada nas concentrações acima de 1000 ppm de alumínio, segundo MARTIN e EVANS (1964 - pg. 200).

Examinando-se os sintomas anatômicos das folhas, correspondentes as plantas submetidas a 60,0 ppm de alumínio, observamos que o arcabouço histológico do mesófilo, nas áreas entre os sintomas, era semelhante ao normal. Nas manchas cloróticas lineares, os cloroplastos estavam alte

raços, reduzidos a diminutos grânulos, bem esmaecidos e quase sem pigmentação

#### 4.1.3. Sintomas radiculares morfológicos e anatômicos

As raízes emitidas nos tratamentos com alumínio- (20,0 a 60,0 ppm), contrastavam nitidamente com as desenvolvidas na solução completa. As raízes de 1ª ordem eram mais curtas e com um diâmetro maior que as normais.

A zona de crescimento se apresentava muito pequena ou mal caracterizada.

A zona pelifera era diminuta com pêlos absorventes inexistentes ou em decomposição, distinguindo-se das normais que apresentavam um número abundante de pelos. As radículas eram em grande número, pequenas e grossas.

REES e SIDRAK (1 961) observaram, em cevada, que as raízes são severamente afetadas tornando-se menos túrgidas, pequenas, com pontas espatuladas e os pontos de crescimento mostravam sinais de rompimento dos tecidos.

Observando os sintomas anatômicos, constatamos que a epiderme apresentava-se em parte dilacerada e despi-da de pêlos. O cortex mostrava um maior número de camada-celulares e o cilindro central com maior número de vasos em relação as raízes normais. Estas observações vem de encontro às de ROBINSON (1 956) citadas por ROBINSON (1 956).

#### 4.2. Ensaio de concentração de alumínio

A técnica das raízes divididas empregada neste e nos demais ensaios teve como principal objetivo evitar a presença de alumínio e fosfatos na mesma solução.

Apezar de existirem outras técnicas, REES e SIDRAK (1 961) e DONAHUE (1 953), com a mesma finalidade, -

optamos por esta porque nos permite observar os efeitos do alumínio, situado interiormente nas raízes, independentemente dos efeitos externos provocados por este elemento.

4.2.1. Pêso da matéria seca das folhas, -  
hastes e raízes.

Pelo exame do Quadro 1. observamos que o alumínio, nas concentrações empregadas não influenciou significativamente no pêso da matéria seca das folhas, hastes e raízes mergulhadas na solução completa

Quadro 1. Pêso da matéria seca das folhas, hastes e raízes mergulhadas na solução com alumínio (Raiz <sup>c</sup>/al) e raízes mergulhadas na solução completa (Raiz <sup>s</sup>/Al).

Média de quatro repetições.

Tratamento	Pêso da matéria seca				
	Al (ppm)	Fôlha	Haste	Raiz <sup>c</sup> /al	Raiz <sup>s</sup> /Al
	0,0	6,43	4,93	0,97	1,11
	0,25	6,93	5,13	1,28	0,83
	0,75	6,78	4,20	0,90	0,99
	1,0	6,60	4,10	1,00	1,23
	2,0	7,23	4,33	0,80	1,11
	4,0	7,40	4,93	1,20	1,11
	10,0	7,15	5,13	1,10	0,77
	20,0	5,73	4,70	1,40	0,38
	40,0	6,60	4,45	1,40	0,29
	60,0	6,35	3,88	0,90	0,16
	C.V.	23,7	26,9	66,6	59,3
	d.n.s. (5%) <sup>†</sup>	NS	NS	NS	1.11

<sup>†</sup> Teste de Tukey

Conforme poderíamos esperar, considerando a sintomologia apresentada pelas raízes em contato com o alumínio, observamos que houve um efeito significativo dos tratamentos no peso da matéria seca.

Observando os coeficientes de variação (C.V.) - constata-se que os valores apresentados são muito alto.

Este fato explica-se pela técnica do cultivo, - pois ao dividirmos o sistema radicular introduzimos uma - fonte de variação que não é considerada na análise estatística.

Devido ao fato de empregarmos, como referência - para ajustar o pH das soluções, um papel indicador cuja - precisão da escala corresponde a variações unitárias deste valor, provavelmente não obtivemos a uniformidade necessária de pH em todas as soluções.

Portanto a concentração de alumínio, na solução, tornou-se também função do pH e não exclusivamente da - quantidade de alumínio fornecida como tratamento.

O Quadro 2., calculado a partir do produto de solubilidade do hidróxido de alumínio, mostra que um décimo da escala de pH provoca variações de aproximadamente 50% na concentração máxima possível de alumínio em solução.

Tais observações poderiam explicar a ausência de correlação entre as concentrações de alumínio nos tratamentos e as médias de peso da matéria seca correspondentes, embora o teor máximo de alumínio, à disposição da planta, não seja estritamente o apresentado pelo Quadro 2.

JOFFE e MC LEAN (1 927) citados por JOSLYN e LU-

CA (1 951) mostraram que as soluções de cloreto e de sulfato de alumínio precipitam a valores diferentes de pH.

Quadro 2. Solubilidade do alumínio, sob a forma de hidróxido, entre pH 4,0 e 5,0.

pH	Alumínio (ppm)
4,0	135,00
4,1	67,70
4,2	33,90
4,3	17,00
4,4	8,52
4,5	4,27
4,6	2,14
4,7	1,08
4,8	0,54
4,9	0,27
5,0	0,14

CHERNOV (1 947), citado pelos mesmos autores, observou que o cloreto de alumínio permanece no estado coloidal numa larga faixa de pH enquanto que o sulfato, é precipitado diretamente na forma sólida.

RORISON (1 958), cita que o alumínio pode ser absorvido pelas plantas na forma de hidróxido.

Por outro lado AGRICULTURAL RESEARCH (1 964) cita trabalho conduzido em Beltsville, mostrando que as raízes alteram o pH do solo à sua superfície, e que este facto é responsável pela reacção do trigo em altos níveis de alumínio

Considerando ainda o Quadro I., observamos que o alumínio influiu apenas no peso da matéria seca das raízes

em contato com o mesmo, indicando um efeito de natureza - externa independente da concentração interna do elemento.

RORISON (1958), explica que as substâncias péc-ticas da parede celular das células jovens, por ação do a-lumínio podem passar em estado de gel diminuindo a plasti-cidade. É clássico o emprêgo do alumínio em química coloi-dal para precipitar as pectinas (JOSLYN DE LUCA, 1951). O mecanismo desta precipitação é devido a formação de pon-tes catiônicas entre os grupos carboxílicos livres das ca-deias de ácido pectínicos.

Esta precipitação das pectinas da parede celular pelo alumínio, provoca a redução da permeabilidade celu-lar observada por SUC (1912) citado por HUTCHINSON (.... 1943) e explica a nossa observação quanto a redução do volume das soluções com alumínio e soluções completas.

Estas soluções tinham seus volumes reduzidos diã-riamente devido a absorção e à evaporação. Entretanto ob-servamos que a solução completa necessitava de um acrés-ci-mo de água, para manter o volume inicial, aproximadamente duas a três vezes maior que a solução com alumínio. Este aspecto, provavelmente, produz uma inibição no aumento do pêso do material fresco, mas não é suficientemente inten-so para provocar o mesmo efeito no material sêco, uma vez que, apenas uma parte do sistema radicular está mergulha-da na solução do alumínio.

REES e SIDRAK (1961) mostraram o efeito depres-sivo do alumínio, no pêso do material fresco, em três es-pécies de plantas.

#### 4.2.2. Composição química das fôlhas

Examinando o Quadro 3., observamos que os trata-mentos não influenciaram significativamente no teor de fósfo-ro das plantas. Entretanto houve efeito significativo, ao

nível de  $\sqrt[5]{1\%}$  de probabilidade, nos teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e ao nível de  $\sqrt[5]{5\%}$ , nos teores de alumínio.

Comparando-se as médias, referentes aos teores dos elementos, observamos que estas não variam paralelamente com as concentrações de alumínio nos tratamentos.

Este fato e a observação dos coeficientes de variação, nos conduz as mesmas explicações que utilizamos em 4.2.1., referentes ao pH e divisão do sistema radicular.

Quadro 3. Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio em p.p.m, nas folhas.  
Média de quatro repetições.

Tratamento	Teor do elemento na matéria seca.					
	Al (ppm)	N%	P%	K%	Ca%	Mg%
0,0	3,04	0,38	2,69	0,65	0,33	55
0,25	2,76	0,35	2,79	0,81	0,34	84
0,75	2,56	0,34	3,19	0,66	0,29	461
1,0	3,11	0,37	3,28	0,47	0,32	275
2,0	2,37	0,32	2,90	0,61	0,38	238
4,0	2,74	0,45	2,86	0,38	0,29	412
10,0	2,49	0,31	2,48	0,28	0,53	263
20,0	2,69	0,34	2,54	0,49	0,24	220
40,0	2,14	0,26	2,77	0,57	0,28	115
60,0	1,69	0,33	2,62	0,52	0,26	487
C.V.	19,4	27,9	11,1	31,4	27,4	63
d.m.s. (5%)	1,19	NS	0,75	0,41	0,21	413
d.m.s. (1%)	NS	NS	NS	0,49	0,25	NS

#### 4.2.3. Composição química das hastes

O Quadro 4., mostra que as concentrações de alumínio nas soluções influenciaram significativamente, ao nível de 5% nos teores de fósforo, potássio e alumínio das hastes - mas não influenciaram significativamente nos teores de nitrogênio, cálcio e magnésio.

Observando os coeficientes de variação e os dados sobre os teores médios, podemos constatar que são perfeitamente cabíveis as considerações apresentadas em 4.2.2.

Quadro 4. Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e alumínio em p.p.m. nas hastes.  
Média de quatro repetições.

Tratamento	Teor do elemento na matéria seca					
	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Al (ppm)
0,0	1,97	0,38	3,58	0,30	0,19	102
0,25	1,48	0,37	3,40	0,32	0,18	66
0,75	1,78	0,37	3,86	0,32	0,21	298
1,0	1,99	0,43	4,15	0,46	0,21	83
2,0	1,84	0,40	3,88	0,38	0,19	276
4,0	1,43	0,34	3,45	0,29	0,18	203
10,0	1,93	0,33	2,62	0,38	0,17	357
20,0	1,48	0,36	2,92	0,27	0,19	357
40,0	1,17	0,32	2,51	0,29	0,15	129
60,0	1,76	0,37	2,51	0,23	0,16	257
C.V.	27,6	11,93	9,72	32,9	16,4	53,7
d.m.s. (5%)	NS	0,009	0,77	NS	NS	276



#### 4.2.4. Composição química das raízes

Examinando os dados do Quadro 5., observamos que houve um efeito significativo dos tratamentos nos teores de fósforo, potássio e magnésio, das raízes da solução completa, sendo nos dois primeiros ao nível de 5% e neste último a 1%.

Nos teores de nitrogênio, cálcio e alumínio não houve efeito significativo.

O Quadro 6. mostra um efeito significativo dos tratamentos nos teores de fósforo, magnésio e alumínio ao nível de 5% de probabilidade e nos teores dos demais elementos não houve efeito significativo.

Além das considerações anteriores sobre a composição química de cada uma das partes da planta, observamos que para alguns elementos o efeito dos tratamentos foi significativo apenas nas folhas e para outros em duas ou todas partes da planta.

Considerando que não houve uma influência significativa dos tratamentos no peso da matéria seca, com exceção das raízes mergulhadas na solução de alumínio, admitimos que os efeitos do alumínio restringiram-se a uma mudança na distribuição dos elementos na planta e não a um efeito de diluição.

Como não podemos constatar uma correspondência entre as concentrações de alumínio na solução e as dos nutrientes na planta, procuramos estabelecer correlações entre os teores de alumínio na planta e os teores de nutrientes na mesma, admitindo-se entretanto, uma correspondência entre o alumínio na solução e na planta.

Estas correlações foram estabelecidas com a finalidade de obtermos informações, independentemente do conhecimento das concentrações efetivas de alumínio nas so-

luções.

Quadro 5. Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e alumínio em ppm, nas raízes mergulhadas na solução completa.

Média de quatro repetições.

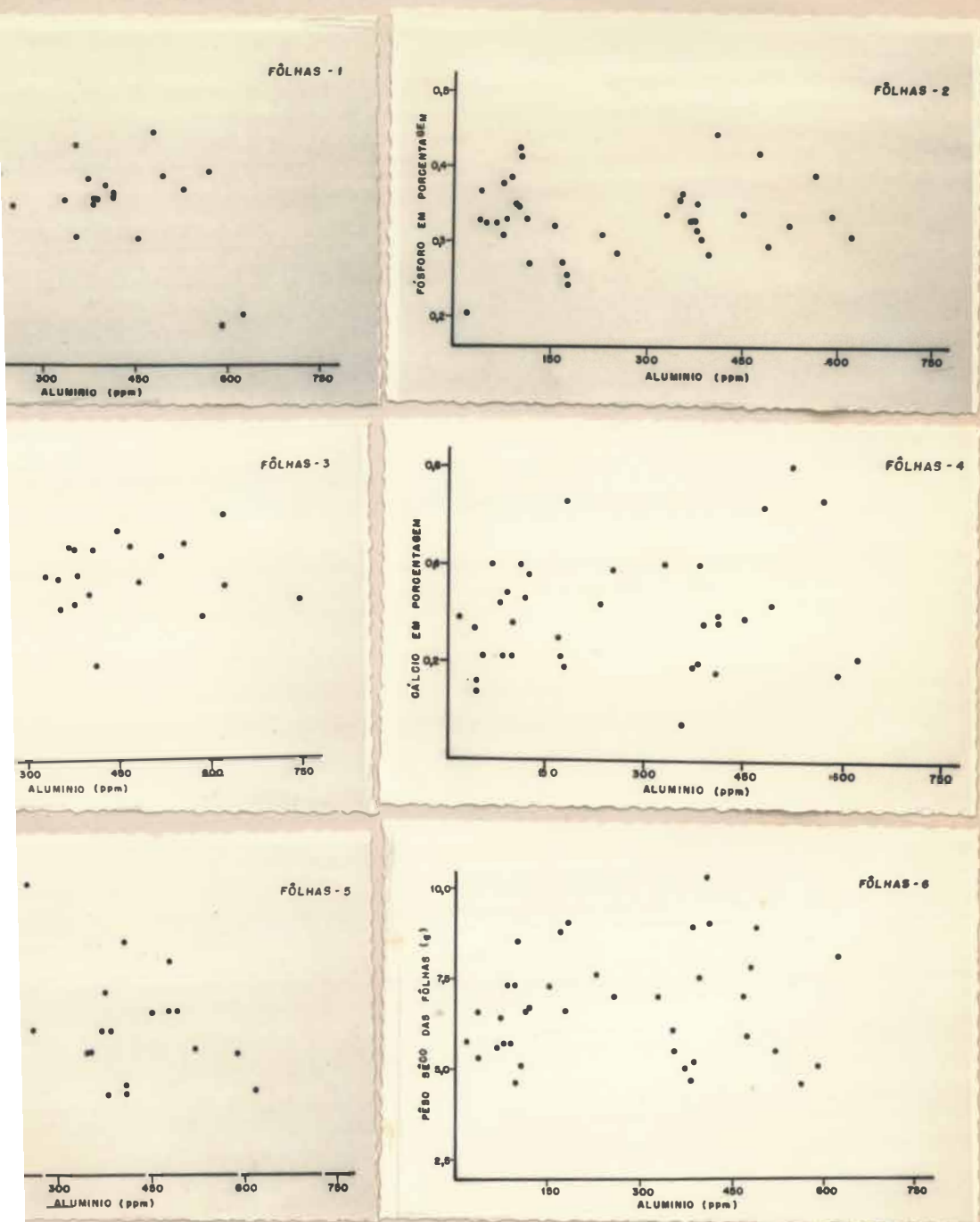
Tratamento						
Al (ppm)						
0,0	2,0	0,18	1,52	0,25	0,39	49
0,25	1,9	0,31	1,44	0,41	0,43	87
0,75	2,2	0,30	1,57	0,69	0,51	130
1,0	2,4	0,25	1,65	0,49	0,39	189
2,0	2,2	0,47	1,15	0,49	0,48	448
4,0	2,1	0,41	1,27	0,56	0,57	249
10,0	2,3	0,39	1,25	0,61	0,57	557
20,0	2,0	0,49	1,27	0,61	0,60	2595
40,0	2,0	0,49	0,99	0,52	0,62	4082
60,0	2,0	0,36	0,94	0,59	0,58	4470
C.V.	14,7	35,6	24,5	36,7	18,7	196,5
	NS	0,31	0,77	NS	0,23	NS
		NS	NS	NS	0,28	NS

A figura 1. ilustra a distribuição dos teores percentuais de nitrogênio (1), fósforo (2), potássio (3), cálcio (4), magnésio (5) e peso da matéria seca (6), em função dos teores de alumínio, nas folhas, com dados obtidos no Quadro 7.

Procedendo-se a determinação dos coeficientes de correlação, obtivemos os valores apresentados no Quadro 8.

Quadro 6. Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio em ppm, nas raízes mergulhadas nas soluções com alumínio. Média de quatro repetições.

Tratamento		Teor do elemento na matéria seca				
Al (ppm)	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Al (ppm)
0,0	1,7	0,10	1,03	0,22	0,41	42
0,25	1,9	0,23	1,49	0,26	0,44	475
0,75	2,4	0,16	1,65	0,41	0,51	553
1,0	1,9	0,22	2,08	0,39	0,46	472
2,0	2,2	0,21	1,44	0,44	0,57	785
4,0	1,9	0,23	1,51	0,28	0,43	3038
10,0	1,9	0,22	1,65	0,37	0,38	11 179
20,0	2,5	0,40	1,60	0,37	0,23	22 129
40,0	-	0,42	2,19	0,27	0,21	11 685
60,0	-	0,33	1,88	0,34	0,24	15 420
C. V.	25,1	53,2	35,9	46,2	38,6	92,4
d.m.s. (5%)	NS	0,32	NS	NS	0,36	14 681



a 1. Correlação entre os teores de alumínio (ppm) e -  
 N% (1), P% (2), K% (3), Ca% (4), Mg% (5) e peso  
 de matéria seca (6), nas fôlhas.

Quadro 7. Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio (ppm) e peso da matéria seca (peso seco) em gramas, nas folhas.

Al (ppm)	Teor do elemento na matéria seca												
	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Peso seco (g)	Al (ppm)	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Peso seco (g)
408	2,74	0,446	3,12	0,18	0,19	7,5	378	2,53	0,316	2,53	0,20	0,17	4,7
36	2,81	0,329	2,37	0,27	0,39	6,3	75	2,87	0,378	2,57	0,20	0,26	6,4
81	3,35	0,329	2,34	0,21	0,39	7,3	174	1,48	0,251	2,65	0,19	0,29	6,6
95	3,26	0,425	2,96	--	0,35	4,6	153	2,38	0,324	2,96	0,21	0,26	7,3
95	3,19	0,346	3,04	0,28	0,35	8,5	119	2,18	0,270	2,57	0,38	0,26	6,7
39	3,18	0,365	2,34	0,18	0,35	5,3	17	2,51	0,206	2,89	0,29	0,31	5,8
92	3,04	0,351	2,49	0,24	0,35	7,3	166	2,06	0,284	2,53	0,25	0,25	8,8
111	1,66	0,329	3,28	0,33	0,32	6,6	589	1,22	0,338	2,38	0,13	0,26	5,1
228	2,87	0,311	3,04	0,32	0,35	7,6	845	1,29	0,324	2,77	0,60	0,26	6,0
522	2,70	0,324	3,04	0,60	0,27	5,5	351	2,19	0,359	2,81	--	0,26	5,5
322	1,33	0,310	3,51	0,21	0,17	8,1	408	2,63	0,850	2,65	0,32	0,17	10,5
475	3,32	0,419	3,16	0,52	0,35	5,9	369	2,81	0,329	3,16	0,19	0,31	5,0
49	3,39	0,324	3,67	0,21	0,37	7,8	489	2,94	0,297	2,77	0,32	0,35	8,9
110	3,51	0,412	3,12	0,40	0,19	5,1	330	2,59	0,338	2,85	0,40	0,46	7,0
564	2,89	0,392	3,19	0,53	0,31	4,6	251	2,52	0,284	2,49	0,39	0,62	7,0
378	2,60	0,351	3,12	0,40	0,39	8,9	64	2,17	0,324	2,73	0,40	0,54	5,6
177	2,24	0,243	2,61	0,53	0,35	9,0	408	2,66	0,284	1,83	0,28	0,50	9,0
450	2,17	0,340	3,39	0,29	0,35	7,0	354	3,18	0,365	2,46	0,76	0,26	6,1
88	2,70	0,385	2,70	0,34	0,43	5,7	74	2,17	0,311	2,61	0,32	0,26	5,7
384	2,59	0,305	2,85	0,28	0,31	5,2							

Quadro 8. Coeficientes de correlação entre os teores de alumínio (ppm) e teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e peso seco (g), nas folhas.

<u>Alumínio x (Nutrientes e Peso Seco)</u>	<u>r</u>
Nitrogênio	- 0,37
Fósforo	0,15
Potássio	0,17
Cálcio	0,34
Magnésio	- 0,26
Peso Seco	0,15
<hr/>	
Límite (5%)	0,31
Límite (1%)	0,40

Examinando o Quadro 8., observamos que houve uma correlação significativa, ao nível de 5%, com nitrogênio e o cálcio.

Para o nitrogênio a correlação foi negativa, indicando que um aumento na concentração de alumínio, provocando uma redução no teor de alumínio das folhas.

Este fato sugere que a distribuição do nitrogênio na planta foi modificada no sentido de sua imobilização no caule e nas raízes.

HEWITT (1 952) citado por RORISON (1 958), admi

te a possibilidade de um efeito do alumínio na síntese - das proteínas e afirma que os ácidos nucleicos têm a alta afinidade por vários metais inclusive o alumínio.

A correlação positiva, para o cálcio, indica que a distribuição deste nutriente na planta é modificada no sentido de sua mobilização para as folhas.

#### 4.3. Ensaio de absorção do fósforo( $P^{32}$ )

Nestes ensaios, de caráter complementar ao ensaio de concentrações de alumínio, estudamos a absorção do fósforo aplicado, independentemente do teor inicial da planta neste elemento.

Devido a possibilidade do alumínio ser absorvido com uma velocidade menor que a do fósforo, realizamos dois ensaios com diferentes intervalos de aplicação entre aquele elemento e o fósforo.

##### 4.3.1. Primeiro ensaio de absorção

Neste ensaio o alumínio foi aplicado imediatamente após a adição do fósforo, tendo as plantas permanecido cinco dias nos tratamentos (3.11.2).

O Quadro 8, mostra a composição das plantas em fósforo e os teores de alumínio nas folhas.

Observando o Quadro 8., constatamos que os teores de fósforo, nas raízes mergulhadas na solução contendo alumínio (Raiz  $\frac{C}{Al}$ ), é mais elevado que os teores correspondentes às raízes mergulhadas na solução contendo -

fósforo (Raiz <sup>S</sup>/Al).

BIDDULPH e colaboradores (1958), cultivando feijoeiro em solução contendo fósforo marcado, observaram - que este elemento se distribui rapidamente por toda a planta e se concentra principalmente no sistema radicular, após a retirada do fósforo da solução.

Quadro 8. Teores em ppm de alumínio nas folhas e de fósforo nas folhas, hastes, raízes-mergulhadas na solução com alumínio (Raiz <sup>C</sup>/Al) e raízes mergulhadas em solução com fósforo marcado (Raiz <sup>S</sup>/Al). Variedade Piratini (suscetível).

Al (ppm)	Teor de fósforo em ppm na matéria seca			
	Folha	Haste	Raiz <sup>S</sup> /Al	Raiz <sup>C</sup> /Al
281	80	180	20	270
166	180	370	60	270
132	110	170	30	240
70	150	290	50	240
169	120	220	20	240
150	120	190	20	340

#### 4.3.2. Segundo ensaio de absorção

Neste ensaio o fósforo foi aplicado somente dez dias após a adição de alumínio, permanecendo as plantas em



contato com o fósforo marcado, durante um dia.

O Quadro 9. mostra a composição das plantas em fósforo (ppm) e teores de alumínio (ppm) nas folhas.

Quadro 9. Teores em ppm de alumínio nas folhas e do fósforo nas folhas, hastes, raízes - mergulhadas na solução com alumínio - (Raiz <sup>C</sup>/Al) e raízes mergulhadas na solução com fósforo marcado (Raiz <sup>S</sup>/Al). - Variedade Piratini (sustível).

Al (ppm)	Teor de fósforo em ppm na matéria seca			
	Folha	Haste	Raiz <sup>S</sup> /Al	Raiz <sup>C</sup> /Al
11	110	120	40	80
41	60	80	40	90
0,19	40	50	--	70
0,19	50	60	80	60
35	60	60	70	70
49	50	60	--	90

Embora as radioautografias, não incluídas na presente tese, não indicassem nenhum efeito do alumínio na absorção de fósforo, procuramos verificar a ocorrência de correlação entre os teores de alumínio nas folhas e os teores de fósforo nas folhas, hastes e raízes das plantas.

O Quadro 10, mostra os coeficientes de correlação

nos dois ensaios.

Quadro 10. Correlação entre os teores de alumínio nas fôlhas e teores de fósforo nas fôlhas, hastes, raiz <sup>C</sup>/Al e raiz <sup>S</sup>/Al, em ppm.

<u>Alumínio x Fósforo 1º ensaio</u>	<u>r</u>
Fôlha x Fôlha	0,58
Fôlha x Haste	0,32
Fôlha x Raiz <sup>C</sup> /Al	0,19
Fôlha x Raiz <sup>S</sup> /Al	0,47
<u>Alumínio x Fósforo 2º ensaio</u>	<u>r</u>
Fôlha x Fôlha	- 0,06
Fôlha x Haste	- 0,04
Fôlha x Raiz <sup>C</sup> /Al	0,76
Fôlha x Raiz <sup>S</sup> /Al	- 0,38
Limite (5%)	0,81
Limite (1%)	0,91

Examinando o Quadro 10, observamos que não houve correlação significativa entre os teores de alumínio nas fôlhas e de fósforo nas fôlhas, hastes e raízes.

#### 4. Ensaio de translocação de fósforo (p32).

O objetivo principal deste ensaio foi verificar-

o efeito do alumínio na translocação do fósforo. Entretanto procuramos constatar a existência de outras correlações a fim de completar o estudo das relações entre fósforo e alumínio, nos ensaios anteriores.

4.4.1. Translocação do fósforo ( $P^{32}$ ) na variedade Piratini (sustível).

O Quadro 11., mostra os teores de alumínio nas folhas novas e velhas e os teores de fósforo nestas mesmas folhas, nas hastes e nas raízes, além da porcentagem de fósforo nas folhas novas em relação ao total absorvido pela planta (translocação). Folhas novas são as surgidas posteriormente a retirada do fósforo da solução nutritiva.

Examinando o Quadro 12, observamos que não houve um efeito significativo do alumínio, contido nas folhas, na translocação do fósforo para as folhas novas. Este fato é também comprovado pelo exame dos radioautógrafos das figuras 2, 3 e 4 conforme 4.4.3.

Observamos ainda que houve uma correlação negativa significativa, entre o teor de alumínio nas folhas velhas e o teor de fósforo nas raízes mergulhadas na solução com fósforo marcado, indicando um efeito depressivo do alumínio na fixação do fósforo nas raízes. Se este efeito estivesse ligado apenas ao mecanismo de absorção, as outras partes negativas entre as concentrações de fósforo e alumínio na mesma ordem de grandeza que a correlação anterior.

Quadro 11. Teores de alumínio nas folhas novas e velhas eo total absorvido pela-planta (P% do total), teores de fósforo (ppm) nas folhas novas e ve-lhas, nas raízes mergulhadas na solução com alumínio ( $\frac{S}{Al}$ ) e nas raí-zes mergulhadas na solução com fósforo marcado ( $\frac{S}{Al}$ ). Variedade Pratini (sus-tível).

Teor do elemento na matéria seca									
Alumínio (ppm)		P (% do total)		F (ppm)		P (ppm)		Razão	
Nova	Velha	Folha nova	Folha velha	Nova	Velha	Has-te	S/Al	S/Al	C/Al
52	55	26,2	84	10	17	113	28		
89	57	8,1	93	14	6	288	31		
95	67	6,0	91	16	18	233	27		
109	156	3,5	84	90	274	103			
148	209	5,7	68	15	19	100	17		
91	239	6,7	57	8	122	140	29		
530	295	5,7	83	18	22	34	162		
68	305	19,7	89	16	19	211	4		
75	413	31,5	88	11	29	57	318		
32	437	22,2	155	26	9	158	45		
95	470	4,7	60	15	19	92	27		
70	516	17,9	53	8	12	12	31		
261	516	24,3	239	6	7	70	21		
62	535	33,0	118	17	24	5	27		
190	598	38,0	33	12	17	156	51		
475	660	6,8	72	15	18	60	27		

As correlações estudadas e os coeficientes obtidos estão relacionados no Quadro 12.

Quadro 12. Correlação entre os teores de alumínio (ppm) nas folhas novas e velhas com os teores de fósforo (ppm) nas mesmas, - hastes, raiz  $^c/Al$ , raiz  $^s/Al$  e teores percentuais de fósforo nas folhas novas em relação ao total absorvido pela planta. Variedade Piratini (sustível).

<u>Alumínio x Fósforo</u>	<u>r</u>
F. nova x P (% do total)	- 0,18
F. nova x F. nova	0,13
F. nova x F. velha	- 0,07
F. nova x Haste	- 0,11
F. nova x Raiz $^s/Al$	- 0,33
F. nova x Raiz $^c/Al$	0,16
F. nova x P(% do total)	- 0,18
F. velha x P(% do total)	0,43
F. velha x F. nova	0,07
F. velha x F. velha	- 0,25
F. velha x Haste	- 0,28
F. velha x Raiz $^s/Al$	- 0,57
F. velha x Raiz $^c/Al$	0,11
Limite (5%)	0,50
Limite (1%)	0,62

#### 4.4.2 Translocacão do fósforo ( $P^{32}$ ) na variedade Colônias (resistente)

O Quadro 13, mostra os teores de alumínio (ppm)-nas folhas novas e velhas, teores percentuais de fósforo-translocado, teores de fósforo (ppm) nas folhas novas, nas folhas velhas, nas raízes mergulhadas na solução com alumínio ( $^C/Al$ ) e nas raízes mergulhadas na solução com fósforo marcado ( $^S/Al$ ).

Com os dados do Quadro 13, calculamos o coeficiente de correlação entre os teores de alumínio (ppm) nas folhas novas e velhas, hastes, raiz ( $^C/Al$ ), raiz ( $^S/Al$ ) e o teor percentual de fósforo translocado.

Examinando o Quadro 14, observamos que o comportamento da variedade resistente foi semelhante à variedade suscetível, quanto a translocação do fósforo para as folhas novas, uma vez que, as correlações entre os teores de alumínio nas folhas com os teores percentuais de fósforo nas folhas novas, também não foram significativas.

Nas figuras 5, 6 e 7 podemos verificar fenômeno semelhante.

Observamos ainda, que houve uma correlação significativa, entre os teores de alumínio nas folhas novas e os teores de fósforo, nas folhas velhas (5%) e nas hastes (1%<sup>00</sup>).

Estes resultados indicam que o fósforo, acumulado nas folhas velhas e nas hastes, estimulou a absorção - ou talvez a translocação do alumínio para as folhas novas. Possivelmente, esteja o fato ligado à condições de maiores disponibilidades de compostos ricos em energia, uma vez que, tanto a translocação como a absorção são fenômenos essencialmente metabólicos.

O fato de não observarmos uma correlação significativa entre o teor de alumínio nas folhas e o teor de fósforo nas raízes com alumínio, reforça a hipótese de - que o alumínio não aumenta a fixação fósforo dentro das raízes.

Quadro 13. Teores de alumínio (ppm) nas folhas novas e velhas, teores percentuais de fósforo translocado (% do total), teores de fósforo nas folhas novas, nas folhas velhas, nas raízes mergulhadas na solução com alumínio (c/Al) e nas raízes mergulhadas com fósforo marcado (<sup>32</sup>Al).--  
 Variedade Colônias (Resistente).

Alumínio (ppm)		Teor do elemento na matéria seca		Fósforo		Raízes	
Novas	Velhas	F (%) do total	F (ppm)	Novas	Velhas	Hastes	c/Al
713	36	6,8	103	27	42	37	29
10	39	17,9	71	3	12	183	25
35	42	2,2	66	11	20	10	147
58	49	43,7	73	12	24	63	31
150	78	14,4	81	21	12	9	32
14	176	10,3	82	15	23	233	31
39	207	23,7	101	21	22	8	77
86	209	15,8	55	7	16	119	22
22	239	29,5	59	14	19	42	13
26	269	12,4	27	10	13	20	59
77	299	13,5	66	12	26	153	30
60	332	20,4	52	9	15	67	18
75	440	37,9	98	14	18	49	2
124	447	23,4	97	19	25	185	29
63	450	19,9	41	6	10	21	13
124	456	31,5	94	24	21	159	24

Esta observação sugere que qualquer fenômeno de indisponibilidade de alumínio e fósforo, devido a formação de compostos incluindo os dois elementos, é de natureza externa, ocorrendo na solução ou no espaço livre aparente (ELA).

Quadro 14. Correlações entre os teores de alumínio (ppm) nas folhas novas e velhas com os teores de fósforo (ppm) nas novas e velhas, hastes, raiz ( $^C/Al$ ), raiz ( $^S/Al$ ) e teor percentual de fósforo translocado.

<u>Alumínio x Fósforo</u>	<u>r</u>
F. nova x F. nova	0,43
F. nova x F. velha	0,61 #
F. nova x Haste	0,75 ###
F. nova x Raiz $^S/Al$	- 0,16
F. nova x P(% do total)	0,27
F. velha x P(% do total)	0,37
F. velha x F. nova	0,07
F. velha x F. velha	0,0009
F. velha x Haste	0,22
F. velha x Raiz $^S/Al$	0,17
F. velha x Raiz $^C/Al$	0,42
<hr/>	
Limite (5%)	0,50
Limite (1%)	0,62
Limite (1°/..)	0,74

Observamos ainda, que as variedades apresentaram



um comportamento distinto no que tange às variáveis em questão, indicando diferenças fisiológicas, possivelmente, de natureza genética.

#### 4.4.3. Radioautografias

Empregamos a técnica da radioautografias, com a finalidade de constatar a distribuição do fósforo nas plantas, completando as observações anteriores.

As Figuras 2, 3 e 4 mostram os radioautógrafos e as plantas de trigo, da variedade Piratini.

Os radioautógrafos e as plantas correspondentes foram identificadas numericamente. O número 1, corresponde à testemunha, o número 2 ao tratamento com 0,2 ppm alumínio e o número 3 à 6,0 ppm.

As folhas novas são indicadas por uma seta ( $\rightarrow$ ) e as porções representativas do sistema radicular identificadas por  $^{32}\text{P}/\text{Al}$  (raízes mergulhadas na solução com fósforo marcado) e  $^{27}\text{Al}/\text{Al}$  (raízes mergulhadas na solução com alumínio).

Pelo exame das Figuras citadas, constatamos que o fósforo se distribuiu por toda a planta, tanto na planta testemunha como nas correspondentes aos tratamentos considerados.

Quanto às folhas, observamos que houve translocação do fósforo marcado, para as folhas novas provenientes, predominantemente, das folhas velhas.

Nas hastes a distribuição do fósforo mostrou-se uniforme.

As raízes mergulhadas na solução  $^{32}\text{P}/\text{Al}$  mostraram marcante retenção de fósforo, ao passo que as raízes mergulhadas na solução  $^{27}\text{Al}/\text{Al}$ , mostraram menor quantidade de fósforo. As Figuras 5, 6 e 7 mostram os radioautógrafos e plantas da variedade Colônias, constatando-se as mesmas observações acima.

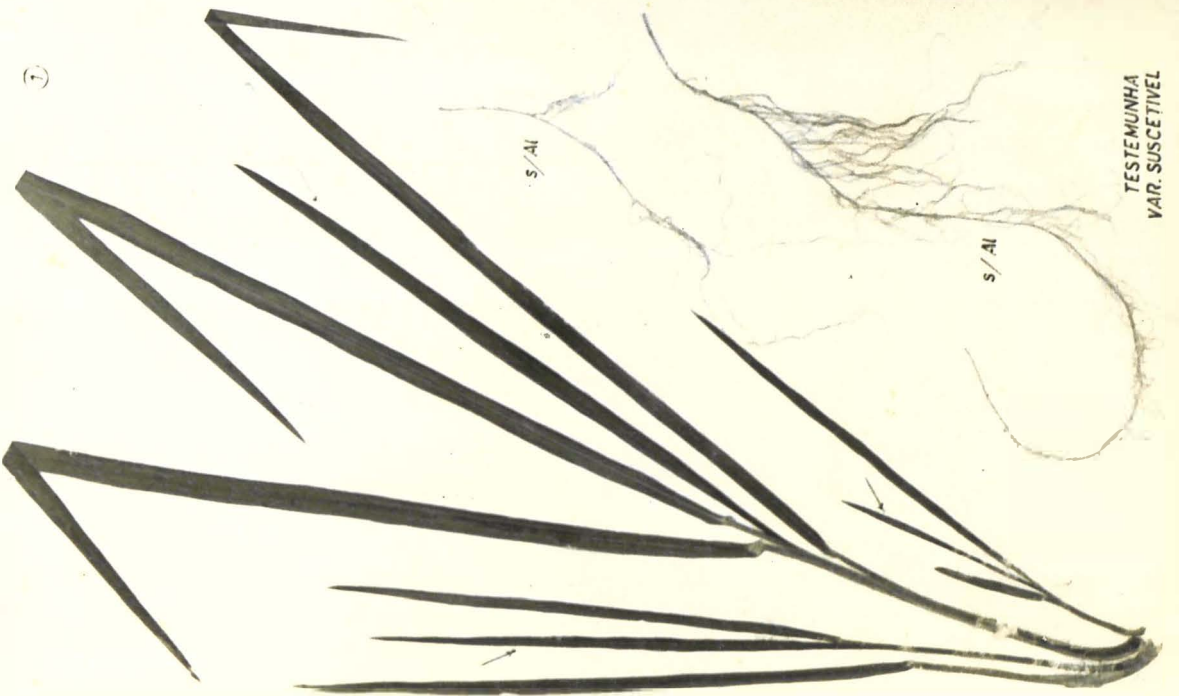
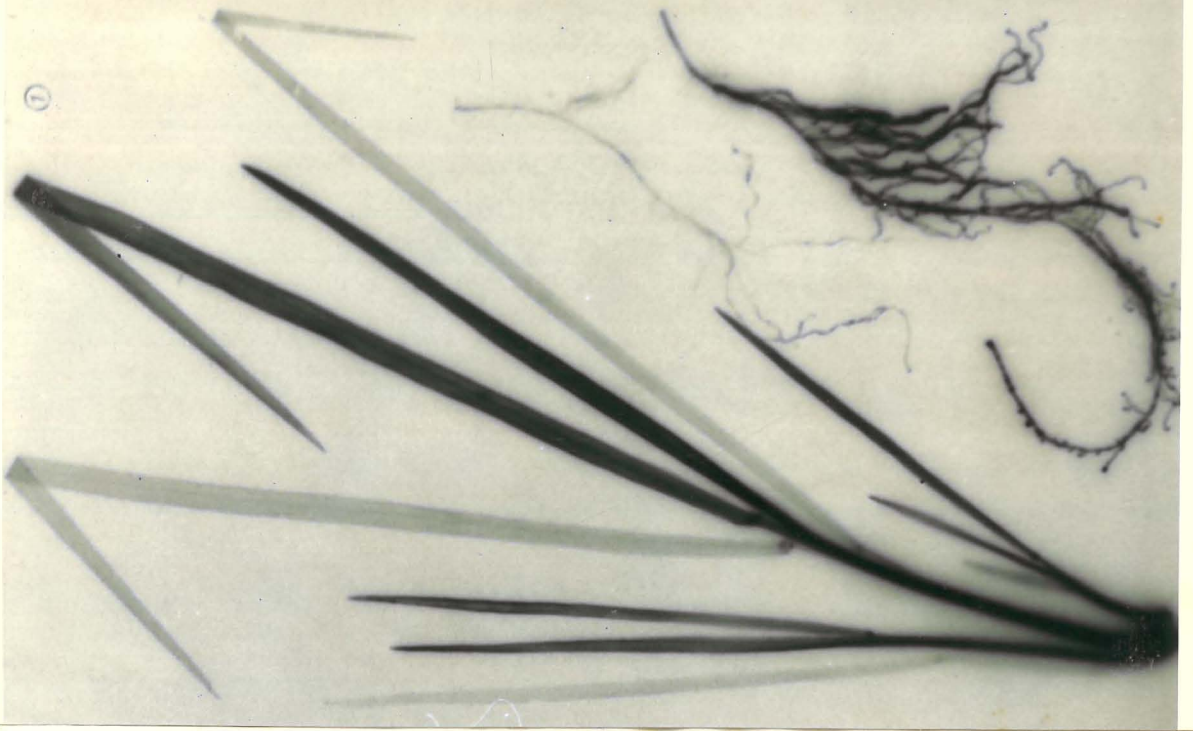
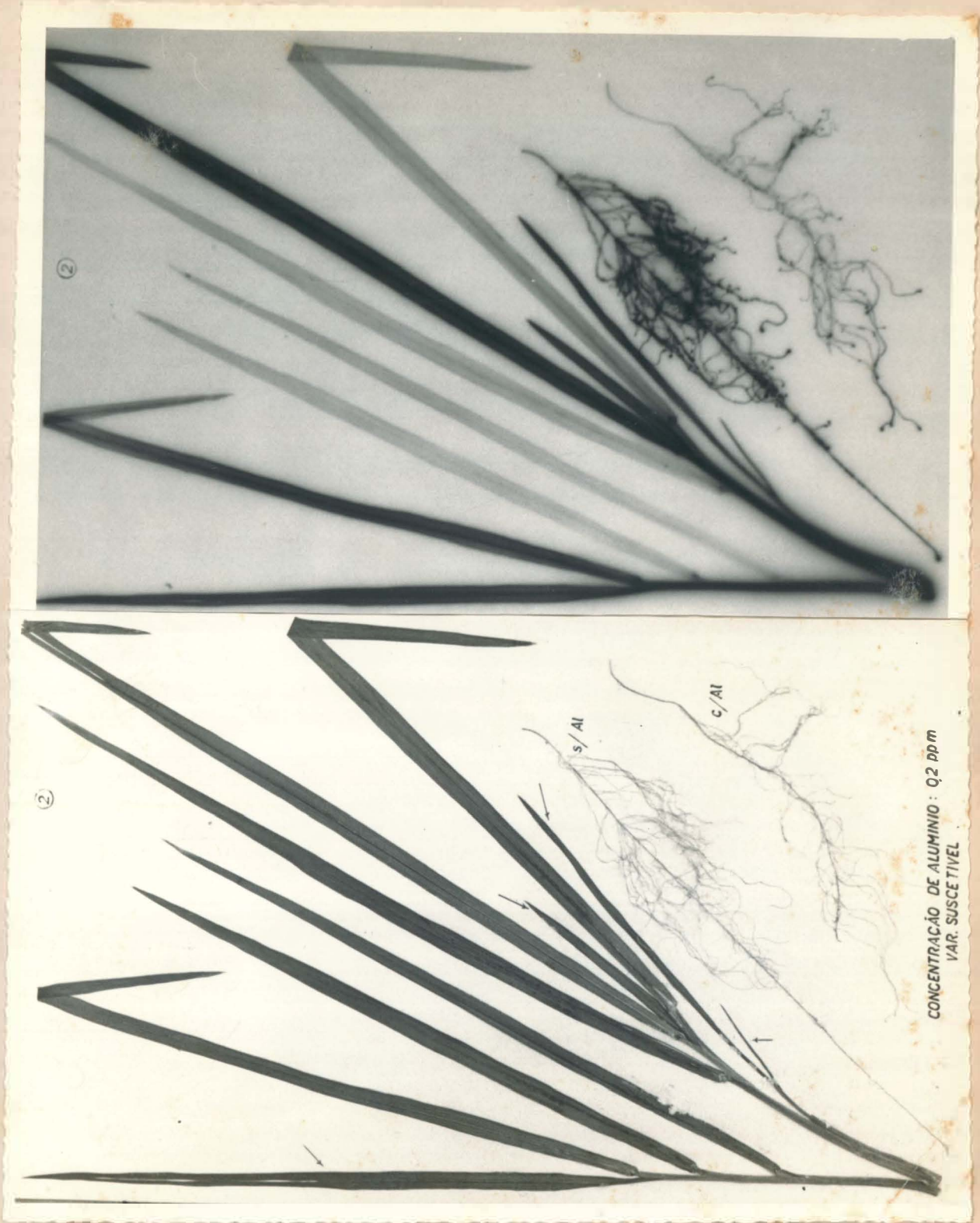


Fig. 2 Radiografia (direita) e planta (esquerda) da variedade Piratiní correspondente a testemunha.



CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO : 0,2 ppm  
VAR. SUSCETIVEL

Fig. 3 Radiosutógrafo (direita) e planta (esquerda) da variedade Firatini correspondente ao tratamento com 0,2 ppm de alumínio

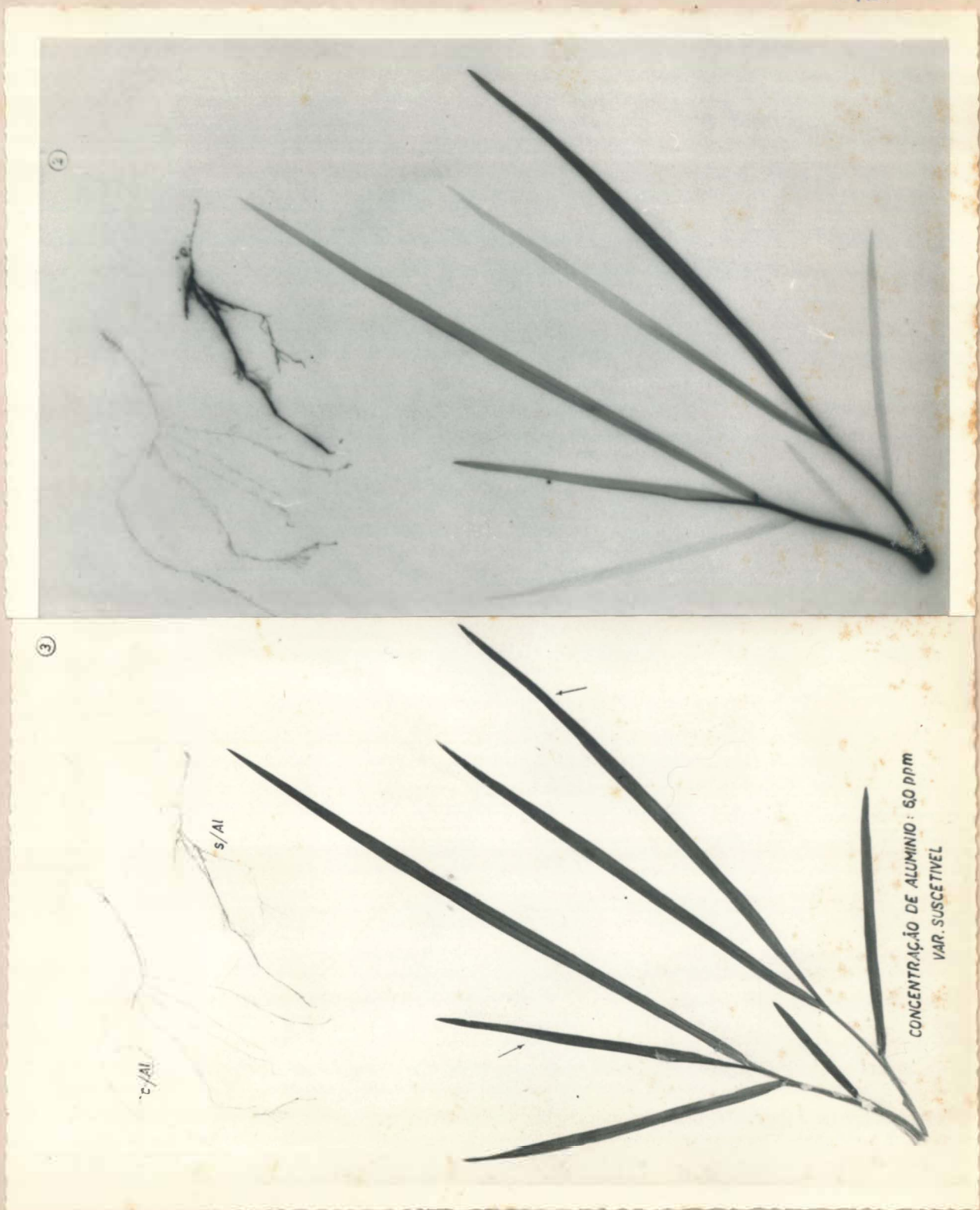


Fig. 4 Radioautógrafo (direita) e planta (esquerda) da variedade Piratini correspondente ao tratamento com 6,0 ppm de alumínio.

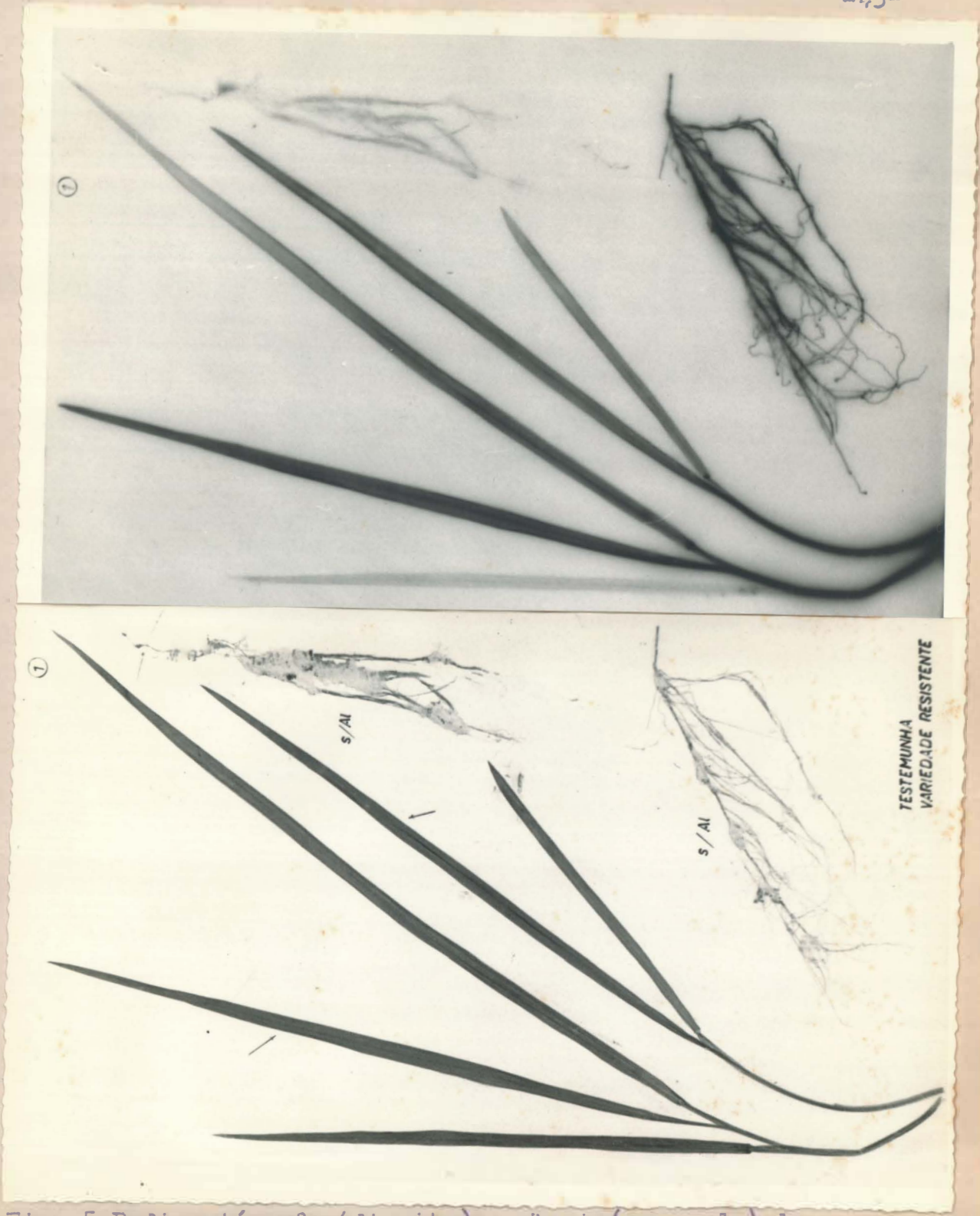


Fig. 5 Radioautógrafo (direita) e planta (esquerda) da variedade Colônias correspondente à testemunha.

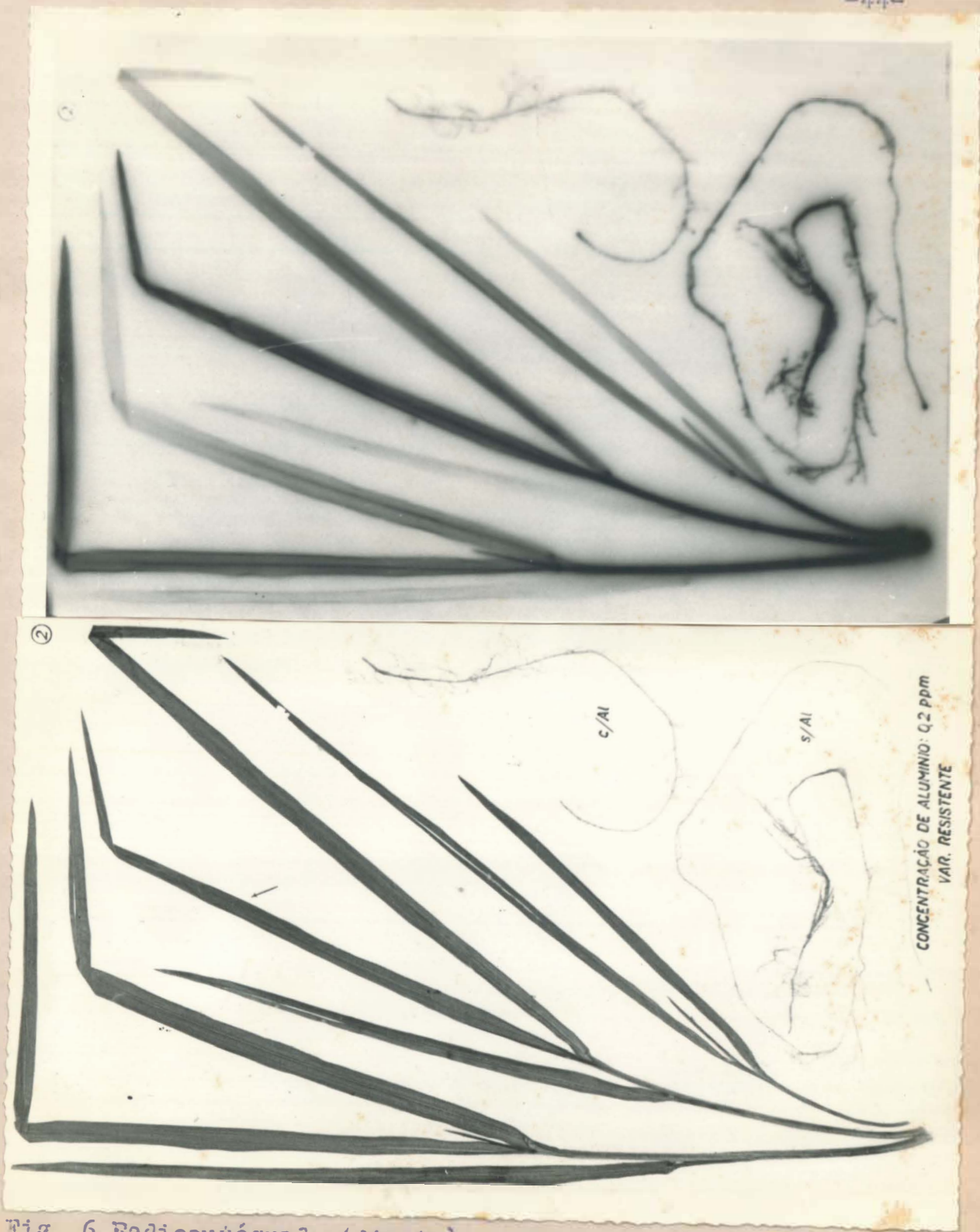


Fig. 6 Radioautógrafo (direta) e planta (esquerda) da variedade Colônias correspondente ao tratamento com 0,2 ppm de alumínio.

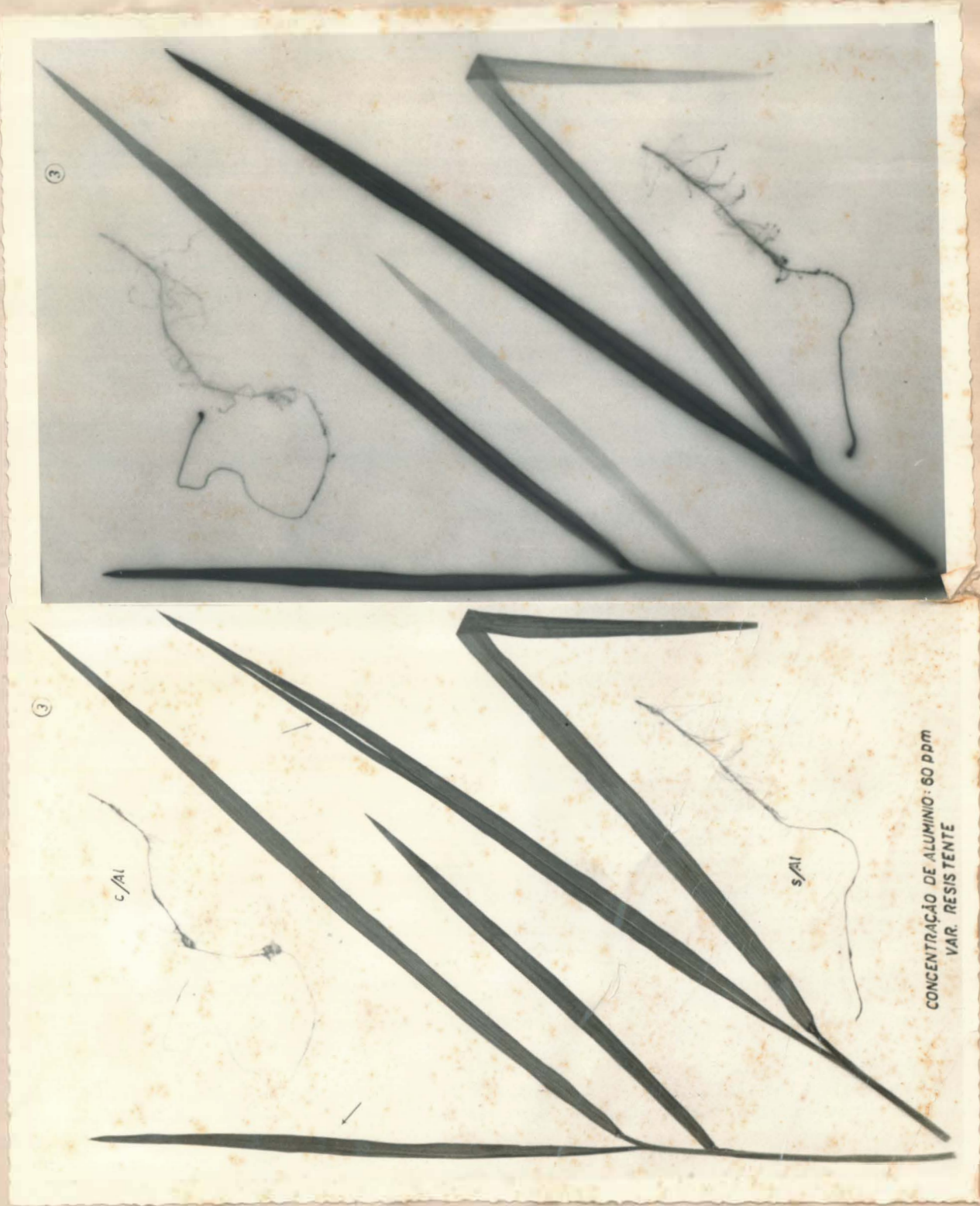


Fig. 7 Radicautógrafo (direita) e planta (esquerda) da variedade Colônias correspondente ao tratamento com 6,0 ppm de alumínio.

## 5. CONCLUSÕES

1. Tratamentos correspondentes às concentrações de 20,0 à 60,0 ppm de alumínio provocam alterações morfológicas e anatômicas nas folhas e raízes mergulhadas nas soluções de alumínio (var. Piratini).
2. Os tratamentos correspondentes à: 0,25 0,75 1,0 2,0 4,0 10,0 20,0 40,0 e 60,0 ppm de alumínio influem significativamente no peso da matéria seca das raízes mergulhadas nas soluções com alumínio. (var. Piratini).
3. Os tratamentos correspondentes à: 0,25 0,75 1,0 2,0 4,0 10,0 20,0 40,0 e 60,0 ppm de alumínio alteram a distribuição de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio, nas folhas, hastes e raízes. (var. Piratini).
4. Há correlação, positiva entre os teores de alumínio e nitrogênio e negativo entre os teores de alumínio e cálcio, nas folhas (var. Piratini).
5. Não há efeito do teor de alumínio nas folhas, na translocação do fósforo para as folhas novas, tanto na var. Piratini (suscetível) como na var. Colônias (resistente).
6. A ocorrência de correlações significativa, entre os teores de alumínio nas folhas e as concentrações de fósforo nas folhas, hastes e raízes, distinguem a variedade Piratini da variedade Colônias.



## 6. RESUMO

Plântulas de trigo (Triticum vulgare L.) da variedade Piratini suscetível ao "Crestamento" e da variedade Colônias, considerada resistente, foram cultivadas em solução nutritiva empregando-se a técnica das raízes divididas.

Na variedade Piratini, quando submetida aos tratamentos correspondentes às concentrações de 20,0 a 60,0 ppm de alumínio, observa-se sintomas, visuais, morfológicos e anatômicos nas folhas e raízes e alterações na distribuição de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio, nas folhas, hastes e raízes.

Em ambas variedades, observa-se que a concentração de alumínio nas folhas não influi na translocação do fósforo ( $P^{32}$ ) para as folhas novas.

Entretanto, as relações entre os teores de alumínio nas folhas e os teores de fósforo nas folhas, hastes e raízes, são diferentes nas variedades estudadas.

+ + +

SUMMARY

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF ALUMINUM ON WHEAT (TRITICUM VULGARE L.) GROWN IN NUTRIENT SOLUTION.

Wheat seedling (Triticum vulgare L.) var. Piratini, susceptible to aluminum toxicity (crestamento), and var. Colônias, tolerant to aluminum, were grown in nutrient solution with divided root system.

Morphological and anatomical symptoms of toxicity were observed in leaves and roots on var. Piratini exposed to 20 to 60 ppm of aluminum. On the same variety an alter was observed on the distribution of N, P, K, Ca, Mg, and Al in leaves, stems and roots.

In both varieties, the aluminum concentration in leaves did not affect the translocation of phosphorus ( $P^{32}$ ) to the new leaves.

Both varieties, showed a different P/Al relation in leaves, stem and roots.

+ + +

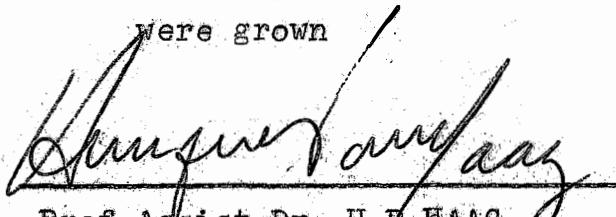
7. LITERATURA CITADA

- AGRICULTURAL RESEARCH.1 964. Roots alter pH. Washing  
ton. Res. 13: 3,4.
- BERGAMIM FILHO, H.1 959. Radioautografia de tecidos.  
Piracicaba. Revt<sup>o</sup> Agric. 34:41-49.
- BIDDULPH, O., S.BIDDULPH, R. CORY & H. KOONTZ.1 958.  
Circulation patterns for phosphorus, sulfur  
and calcium in the bean plant. Lancaster. -  
Pl.Physid. 33:293-300.
- BOUDEWIJN, O., (ed).1 960. Progressive Wheat Produc-  
tion. Centre d'Edute de l'Azote. Drukkerig-  
Koch en Knutted. Gouda - Holanda.
- CLARKSON, D.T.1 966. Effect of aluminum on the up-  
take and metabolism of phosphorus by barley -  
seedlings. Lancaster. Pl.Physid.41:165-112.
- FOY, C.D., J.C. BROWN.1 963. Toxic factors in acid -  
soils: I.Characterization of aluminum to -  
xicity in cotton. Ann Arbor.Proc.Soil.Soc.  
Am. 27:403-407.
- HORTENSTINE, C.C., J.G.A. FISKELL.1 961. Effects of-  
aluminum on sunflower growth and uptake -  
of boron an calcium from nutrient solu -  
tion. Ann Arbor. Proc.Soil.Sci.Soc.Am.25:  
304-306.
- HUTCHINSON, G.E.1 943. The Brogeochemistry of Alumi -  
nium and of Certain Related Elements.Bal-  
timore.Q.Rev.Biol.18:1-30, 128-153, 242 -  
262, 331-363.
- JOSLYN, M.A., DE LUCA, G.1 957. The Formation and -  
properties of aluminum Pectinates. New --  
York.J.Colloid Sci.12:108-130.
- MALAVOLTA, E.1 964. Piracicaba. Análise química doc-  
teores totais. Determinação de macronutri -  
entes. Em "Curso Internacional de diagnose"

- Foliar" - Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".
- MARTIN, J.P., H. EVANS. 1964. Nutritional deficiencies and toxicities. Em "Sugar-Cane Diseases of The World" vol. 2. ed. C.G. HUGHES. - Elsevier Publishing Co. Amsterdam - Holanda.
- PIMENTEL GOMES, F., 1963. Curso de Estatística Experimental. 2ª ed. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Piracicaba - Brasil.
- RAGLAND, J.L., N.T. COLEMAN. 1962. Influence of aluminum on phosphorus uptake by snap bean - roots. Ann. Arbor. Proc. Soil. Sci. Soc. Am 26: 88-90.
- RANDALL, P.J., P.B. VOSE. 1963. Effects of aluminum on uptake & translocation of phosphorus by perennial ryegrass. Lancaster. Pl. - Physiol. 38:403-409.
- REES, W.J., H.G. SIDRAK. 1961. Inter-relationship of aluminium and manganese toxicities to records plants. The Hague P. Soil. 14:101-117.
- RORISON, I.H. 1953. The effect of the aluminium on Legume nutrition. Em Nutrition of the legumes, ed. E.G. Hallsworth. Academic Press Inc., Publishers. New York, U.S.A.
- VILLALOBOS - DOMINGUEZ, C., J. VILLALOBOS. 1947. - Atlas de los colores. Libreria El Atenea, Buenos Aires, Argentina.
- WALLIHAN. 1948. The influence of aluminium on the phosphorus nutrition of plants. Lancaster. Am. J. Bot. 35:106-112.
- WRIGHT, K.E., B.A. DONAHUE. 1953. Aluminum toxicity studies with radioactive phosphorus. Lancaster. Pl. Physiol. 28:674-680.

E R R A T A

<u>PÁGS</u>	<u>ONDE SE LÊ</u>	<u>LEIA-SE</u>
II	colhida	acolhida
III	1953	1958
5	em solução de areia	em solução e em areia com solução nutritiva
11	(3.1.)	(3.4.)
13	separamos uma planta	separamos, ao acaso, uma planta
17	al	Al
21	nível de 1% de probabilidade, nos teores de Nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e ao nível de 5%, nos teores de alumínio.	nível de 5%, nos teores de nitrogênio, potássio, alumínio e ao nível de 1%, nos teores de cálcio e magnésio.
22	0,009	0,01
28	Limite (5%) Limite (1%)	Nível (5%) Nível (1%)
28	teor de alumínio das folhas	teor de nitrogênio das folhas
29	O Quadro 8, mostra ...	O Quadro 8A, mostra ...
30	Quadro 8. Teores... (susctível)	Quadro 8A. Teores ... (susctível)
31	(sustível)	(susctível)
33	partes negativas ...	partes apresentariam correlações negativas ...
33	(sustível)	(susctível)
34	velhas ao total	velhas em relação ao total
35	(sustível)	(susctível)
46	1. ... soluções de alumínio	1. ... soluções com alumínio
46	2. ... influem significativamente no pêso ...	2. ... influem no pêso .....
46	3. ... nas folhas hastes e raízes (var.Piratini)	3. ... na planta (var.Piratini)
46	4. Há correlação, positiva entre os teores de alumínio e nitrogênio e negativa ...	4. Há correlação negativa, entre os teores de alumínio e nitrogênio e positiva ...
48	seedling	seedlings
48	were growed	were grown

  
 Prof. Assist. Dr. H.F. HAAG  
 - Orientador-

