

**EFEITOS DO ALUMÍNIO E DO ESTRESSE HÍDRICO SOBRE
PERFÍS POLIPEPTÍDICOS EM GRÃOS DE
CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)**

DULCE MARIA JUNQUEIRA AIRES

Engenheira Agrônoma

Orientador: Dr. ERIC DERBYSHIRE

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Fevereiro - 1984

In memoriam

de meus pais, *José Francisco,*

de quem recebi os primeiros ensinamentos agronômicos,

e *Hylda,*

a grande incentivadora de minha profissão,

D E D I C O

Aos meus familiares,

O F E R E Ç O

A G R O N O M I A - *é um conjunto de ciências, formando um complexo em torno das ciências do solo, tendo como objetivo principal a obtenção de alimentos.*

Newton Emmanoel Junqueira Ayres
Engenheiro Agrônomo

AGRADECIMENTOS

- Ao Dr. *Eric Derbyshire*, pela orientação segura e ensinamentos.
- À Dra. *Maria Teresa Vitral de Carvalho*, pela assistência durante o desenvolvimento dos trabalhos.
- À *Empresa Maranhense de Pesquisa Agropecuária* e à *Universidade Estadual do Maranhão*, pela oportunidade de aperfeiçoamento.
- Ao *Plano Integrado de Capacitação de Docentes (PICD)*, pela bolsa de estudos concedida.
- Ao *Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP)*, pelas facilidades concedidas em laboratório.
- À *Seção de Física de Solos* e *Seção de Radiogenética* do CENA/USP, pelo fornecimento de sementes.
- À *Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP)*, *Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)* e *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)*, pelos auxílios financeiros concedidos.
- À *Técnica Clarice Matraia*, pela colaboração prestada.
- Aos Drs. *Evandro Ferreira das Chagas*, *Janice Guedes de Carvalho*, Eng^o *Agr^o Josilda Junqueira Ayres Gomes* e Srta. *Sonia Maria Junqueira Ayres*, pelo apoio.
- Aos amigos e pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Í N D I C E

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Produção e produtividade do arroz	4
2.2. Estresse hídrico	8
2.2.1. Importância da água	8
2.2.2. Crescimento	8
2.2.3. Déficit hídrico e seus efeitos sobre processos fi- siológicos	9
2.2.4. Proteínas e aminoácidos	11
2.2.5. Atividade fotossintética	13
2.2.6. Atividade respiratória	15
2.3. Ocorrência e efeito do alumínio	16
2.3.1. Comportamento no solo	16
2.3.2. Alumínio na planta	17
2.3.3. Efeito estimulante	22
2.3.4. Soluções para o problema	23
2.4. Proteínas do grão	23
2.4.1. Proteínas do grão maduro	23
2.4.2. Proteínas do grão durante o desenvolvimento	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1. Material	31
3.2. Métodos	33
3.2.1. Cultivo das plantas	33
3.2.2. Análise do grão	35
4. RESULTADOS	44

	<u>Página</u>
4.1. Características do grão maduro	44
4.1.1. Peso	44
4.1.2. Proteína total	46
4.1.3. Perfis polipeptídicos do endosperma	47
4.1.4. Fracionamento da proteína do endosperma	49
4.2. Características do grão em desenvolvimento	52
4.2.1. Proteína total	52
4.2.2. Perfis polipeptídicos do endosperma	54
4.3. Efeitos de estresse de alumínio	57
4.3.1. Crescimento e desenvolvimento das plantas	57
4.3.2. Características do grão.....	77
4.4. Estresse hídrico sobre perfis polipeptídicos do endosperma.	91
5. DISCUSSÃO	94
6. CONCLUSÕES	107
7. LITERATURA CITADA	109

EFEITOS DO ALUMÍNIO E DO ESTRESSE HÍDRICO SOBRE PERFÍS POLIPEPTÍDICOS
EM GRÃOS DE CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)

Dulce Maria Junqueira Aires
engenheira agrônoma

Eric Derbyshire
orientador

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivos identificar a fração ou frações proteicas, nas quais ocorra variação na composição polipeptídica do grão de cultivares de arroz, comparar os padrões de síntese de polipeptídeos durante o desenvolvimento do grão de diferentes cultivares, determinar os possíveis efeitos do suprimento de alumínio sobre a composição polipeptídica do grão, examinar o efeito de estresse hídrico sobre a composição polipeptídica do grão maduro. Perfís polipeptídicos de extratos de endosperma de amostras de grão maduro e em desenvolvimento das cultivares IAC-1246, Agulha, Cartuna e Nuglin-24, foram comparados por eletroforese, usando o procedimento de LAEMMLI (1970), adaptado para uso em placas de gel de poliacrilamida. Também foram determinados os pesos e teores de proteína de amostras do grão maduro e em desenvolvimento.

Pelo uso de solventes apropriados, as três frações proteicas, albumina + globulina, prolamina e glutelina, foram extraídas das amostras e seus perfis polipeptídicos foram determinados. Os perfis proteicos não dissociados das frações albumina + globulina foram obtidos pelo procedimento descrito por DAVIS (1964). Os efeitos da toxidez de alumínio e estresse hídrico durante o desenvolvimento das plantas, nos perfis polipeptídicos do endosperma do grão também foram examinados. A influência de diferentes níveis de estresse hídrico foi estudada, usando amostras das cultivares IAC-47, IRAT-13 e IET-1444. Para estudo dos possíveis efeitos da toxidez do alumínio, plantas das cultivares IAC-1246, Agulha, Cartuna e Nuglin-24 cresceram até a maturidade em soluções nutritivas contendo alumínio, nos níveis de 0, 10, 20, 40 e 80 ppm. A altura e porte das plantas, comprimento e peso da matéria seca das raízes, do colmo, número de perfilhos e panículas, peso médio e dimensões do grão, perfis polipeptídicos do grão foram determinados ao final do ciclo das plantas. Também foram estudados os perfis polipeptídicos durante o desenvolvimento do grão. Os teores de proteína do grão maduro variaram de 11,90% na cultivar IAC-1246 a 13,33% na cultivar Cartuna, e mostraram uma correlação negativa com o peso do grão. Os perfis polipeptídicos do endosperma destas amostras apresentaram os mesmos componentes principais, com PMs de 12400, 29000 e 32000 e a maioria dos componentes menores também foram similares. Diferenças entre cultivares foram observadas no grupo de polipeptídeos com PMs de 12400 a 32000 e polipeptídeos com estes PMs foram detectados nas frações albumina + globulinas e glutelinas dos endospermas. Os perfis destas duas frações foram muito similares e eles corresponderam intimamente com os perfis dos extratos dos grãos. Os perfis das

frações prolaminas foram muito simples e usualmente exibiram apenas componentes com $PM \leq 12000$. Somente pequeno número de componentes foi detectado nos perfis do endosperma do grão, quatro dias após o florescimento (DAF), e diferenças entre cultivares foram observadas. Perfis muito semelhantes àqueles obtidos do endosperma do grão maduro (30 DAF) foram também encontrados no endosperma do grão a 10 DAF. Estresse hídrico durante o desenvolvimento das plantas não alterou os perfis polipeptídicos do endosperma do grão maduro de duas cultivares, IAC-47 e IRAT-13, exceto no nível de 55% da evapotranspiração máxima (ETm). O perfil do endosperma do grão da cultivar IET-1444 também foi afetado pelos níveis de 55% e 70% da ETm. O nível relativamente alto do alumínio (80 ppm) causou reduções substanciais na produtividade das cultivares IAC-1246, Agulha, Cartuna e Nuglin-24. Entretanto, a produtividade foi menos afetada na cultivar Agulha. Estas reduções resultaram, principalmente do decrêscimo no número de grãos e decrêscimo do peso médio por grão contribuiu pouco para aquelas reduções. Nenhum efeito do alumínio foi observado nos perfis polipeptídicos. Os efeitos adversos do alumínio na produtividade foram mais diretamente correlacionados com o decrêscimo no peso da raiz do que com o comprimento da raiz. Diferenças nos parâmetros de desenvolvimento das plantas foram detectadas entre as cultivares. Os resultados de arroz de sequeiro foram discutidos, especialmente com relação a trabalhos publicados sobre polipeptídeos de arroz irrigado e com relação aos efeitos da toxidez do alumínio sobre o arroz de sequeiro.

EFFECTS OF ALUMINIUM AND OF WATER STRESS ON THE POLYPEPTIDE
PROFILES OF GRAIN OF CULTIVARS OF RICE (*Oryza sativa* L.)

Dulce Maria Junqueira Aires

Eric Derbyshire
adviser

SUMMARY

This work had as objectives the identification of the protein fraction(s) in which occur variations in the polypeptide of the grain of rice cultivars, a comparison of the patterns of polypeptide synthesis during the development of the grain of different cultivars, the determination of possible effects of aluminium on the polypeptide composition of the grain, the examination of the effect of hydric stress on the polypeptide composition of the mature grain. Polypeptide profiles of the extracts from the endosperm of mature grain samples and developing grain of the cultivars IAC-1246, Agulha, Cartuna and Nuglin-24 were compared by electrophoresis using the procedure of LAEMMLI (1970) adapted for use in polyacrilamide gel slabs. The weights, dimensions, protein content of mature grain samples and developing grain also were determined. By the use of appropriate solvents, the three protein

fractions, albumin + globulin, prolamin and glutelin were extracted from the samples and their polypeptide profiles were determined. The non-dissociating protein profiles of the fractions albumin + globulin were obtained by the procedure described by DAVIS (1964). The effects of aluminium toxicity and hidric stress during development of the plants, on the polypeptide profiles of the grain also were examined. The effects of hydric stress were studied using samples of the cultivars IAC-47, IRAT-13 and IET-1444. For studies of possible effects of the toxicity of aluminium, plants from the cultivars IAC-1246, Agulha, Cartuna e Nuglin-24 were grown up to mature stage in nutrient solutions containing aluminium in the levels of 0, 10, 20, 40 and 80 ppm. The height of the plants, length and dry weight of the roots, dry weight of the stem, number of tillers and panicles, mean weight and dimensions of the grain and polypeptide profiles of the grain endosperm were determined at the end of the cycle of the plants. Also the polypeptide profiles during development of the grain were studied. The protein contents of the mature grain varied from 11.90% in the cultivar IAC-1246 to 13.33% in the cultivar Cartuna and showed a negative correlation with the weight of the grain. The polypeptide profiles of the endosperms of these samples presented the same major components with MWs 12400, 29000 and 32000 and most of the minor components also were similar. Differences among the cultivars were observed in the group of polypeptide with MWs 12400 to 32000 and polypeptide with these MWs were detected in the albumin + globulin and in the glutelin fractions of the endosperms. The profiles of the albumin + globulin and glutelin fractions were qualitatively similar however the profiles of the glutelin corresponded

more closely with the profiles of the grain extracts. The profiles of the prolamin fractions were very simple and usually showed only components with $MW \leq 12400$. Only small numbers of components were detected in the profiles of the endosperms of the grain four days after flowering (DAF) and differences among the cultivars were observed. Profiles very similar to those obtained from the endosperms of mature grain (30 DAF), were also obtained from the endosperms of grain 10 DAF. Hydric stress during the development of the plants did not alter the polypeptide profiles of the endosperm of the mature grain from two cultivars IAC-47 and IRAT-13, except at the level of 55% of maximum evapotranspiration (ET_m). The profile of the endosperm of the grain from the cultivar IET-1444 also was affected by levels of 55% and 70% of the ET_m. The relatively high level of aluminium (80 ppm) caused substantial reductions in the productivity of the cultivars IAC-1246, Agulha, Cartuna and Nuglin-24. However, productivity was less affected cultivar Agulha. These reductions resulted principally from decreases in the number of the grain and the mean weight per grain contributed very little to those reductions. No effects of aluminium were observed in the polypeptide profiles. The adverse effects of aluminium on productivity were more directly correlated with decrease of the weight of the root than with length of the root. Differences in the patterns of the development of the plants were detected among the cultivars. The results on upland rice were discussed especially in relation to published works on polypeptides of irrigated rice and in relation to the effects of toxicity of aluminium on upland rice.

1. INTRODUÇÃO

O arroz (Oryza sativa, L.) é de grande importância porque representa a base da alimentação dos povos, sendo o terceiro cereal mais cultivado no mundo.

A rizicultura no Brasil teve início no Maranhão, onde o arroz é considerado o principal produto. É este estado o 3º produtor brasileiro e, apesar da ocorrência de inadequações ambientais, as perspectivas de safra são muito boas, esperando-se que o produto obtido ultrapasse muito o consumo local. A produção vinha sendo pouco superior ao suprimento da atual população, mas o que se pretende futuramente é atender à demanda interna sempre crescente e obter excedentes maiores para exportação.

Há dois tipos de cultura de arroz no Brasil: a de arroz irrigado, no sul do país e a de arroz de sequeiro, predominante no nordeste. A produção deste cereal pode ser incrementada pela expansão de área, mas as pretensões visam especialmente um aumento de produtividade através do uso de linhagens melhoradas.

Tem sido comprovado que os fatores ambientais frequentemente limitam a produção agrícola; assim, é importante a seleção de linhagens mais adaptadas a condições estressantes, como por exemplo, a presença de alumínio no solo e a escassez de água. A região de cerrado vem sendo usada a fim de permitir a ampliação das áreas de cultivo, sendo válido ressaltar que os solos desta vasta região brasileira, caracterizam-se pela predominância de solos com acidez elevada e com altos teores de alumínio, elemento limitante para a produção da maioria das espécies.

Por outro lado, grande parte da região nordestina está sujeita a períodos longos de estiagem e até mesmo de seca, o que sugere a utilização de espécies mais capazes de oferecer resistência a estresses hídricos mais prolongados.

Como alimento, o arroz fornece calorias e proteínas na dieta alimentar de muitos povos, valendo ressaltar os asiáticos. No Brasil, principalmente no nordeste, o arroz é parte integrante da alimentação e indispensável como suprimento da necessidade proteica da população. Apesar da proteína do arroz ser baixa em relação a outros cereais, a quantidade ingerida faz dele uma importante fonte de aminoácidos e proteína na dieta alimentar diária. Além disto, o valor nutricional da proteína do arroz é relativamente alto quando comparado a outros grãos.

A proteína total representa de 7 a 12% do peso do grão e é composta de uma mistura de proteínas, albuminas, globulinas, prolaminas e glutelinas, sendo que estas frações diferem entre si quanto ao valor nutricional. A fração glutelina é a principal proteína de reserva do endosperma do arroz, constituindo mais de 80% da proteína total e apre-

senta maior teor em lisina, aminoácido essencial, importante para a ali mentação humana e animal.

Há evidências da variação na composição proteica entre cul tivares de arroz. Entretanto, não está claramente elucidado se os fato- res ambientais contribuem para esta variação.

Constituem os principais objetivos deste trabalho: (a) i- dentificar a fração ou frações proteicas nas quais ocorra variação na com posição polipeptídica entre cultivares brasileiras de arroz; (b) compa- rar os perfis de síntese de polipeptídios durante o desenvolvimento do grão de diferentes cultivares; (c) estudar possíveis efeitos do supri- mento de alumínio sobre a composição polipeptídica do grão; (d) examinar o efeito de estresse hídrico sobre a composição proteica do grão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Produção e produtividade do arroz

Arroz é o terceiro cereal mais cultivado no mundo (F.A.O., 1981), sendo superado apenas pelo trigo e pelo milho. A sua cultura é explorada em quase todos os continentes, com exceção da Antártida, ocupando uma área de 140 milhões de hectares, com uma produção anual de 400 milhões de toneladas (PEDROSO, 1983).

As produções obtidas no mundo resultam de arroz irrigado e de sequeiro. É relatado por SANCHES (1972), que mais de 75% do arroz explorado na América Latina cresce em condições de sequeiro e a produção brasileira resulta principalmente deste tipo. O Rio Grande do Sul é o maior produtor, embora tenha menor área plantada com o arroz, evidenciando assim o maior rendimento: 3.828 kg/ha (ANUÁRIO ESTATÍSTICO, 1982). Estes valores superam a produtividade média brasileira e a mundial (FAO, 1981). É válido ressaltar que o arroz explorado no Rio Grande do Sul é irrigado, o que evidencia que o arroz de sequeiro apresenta uma produ-
ti-

O rendimento da cultura de arroz tem sido correlacionado com o manejo da água durante o crescimento e desenvolvimento das plantas. DAKER (1970) demonstra a importância da lâmina d'água fornecida à cultura, inclusive relata um rendimento maior (2.805 kg/ha) quando a irrigação foi procedida 10 dias após o nascimento das plântulas. CRUZ et alii (1974), concluíram que tensões de umidade na fase vegetativa, seguidas da submersão contínua a partir da iniciação floral condicionam elevadas produções de grãos.

Trabalhos conduzidos por DEL GIUDICE et alii (1974) comprovaram que a deficiência hídrica acentuada na cultura de arroz reduz a fertilidade de perfilhos, o número de espiguetas e grãos cheios por panícula, além do peso dos grãos.

SHARMA e DE RAJAT (1979), estudando algumas variáveis relacionadas à produtividade do arroz, encontraram que o rendimento do grão foi afetado de maneira consistente em decorrência do regime hídrico. No ano em que a queda pluviométrica e demanda de evaporação foram favoráveis, o reflexo foi significativo no rendimento do grão.

Outras pesquisas dentro deste objetivo foram efetuadas por SUGIMOTO (1971), PATEL et alii (1979), STONE et alii (1979), JONES (1981). Este último autor, tece considerações sobre estresse hídrico no solo durante o intervalo de tempo de 20 dias antes do florescimento e 10 dias após, que afeta seriamente o rendimento de grãos.

STONE (1983) encontrou que a cultivar de arroz irrigado mostrou maior sensibilidade à deficiência hídrica que cultivares de ar-

roz de sequeiro. O autor relata ainda que vários parâmetros foram afetados pelo inadequado fornecimento de água às plantas. O número de grãos cheios por panícula, o peso e também a produção de grãos, o rendimento total de matéria seca e muitos outros, sofreram redução em consequência das condições de estresse a que foram submetidas.

MACHADO et alii (1983) determinaram como variáveis relacionadas a tolerância de déficit hídrico em gramíneas forrageiras, a altura de perfilhos e comprimento do limbo foliar. Estes parâmetros são viáveis para a avaliação de resistência à seca por estas plantas tropicais, em condições de campo.

O melhoramento genético é outra importante meta a fim de reduzir o problema, através de uma maior resistência por parte da planta à seca. A criação de variedades tolerantes a déficits hídricos prolongados constitui um programa básico para o progresso da rizicultura. AHMADI (1983 a,b) considera como características importantes dentro do melhoramento genético do arroz às inadequações hídricas, a sensibilidade estomática aos déficits e o desenvolvimento do sistema de racionamento hídrico da planta.

2.2. Estresse hídrico

2.2.1. Importância da água

A água é um importante constituinte da planta, e para THORNE (1957) ela até chega a ser considerada como um dos fatores responsáveis pelo sucesso ou insucesso das colheitas.

2.2.2. Crescimento

É observado que plantas submetidas a déficits hídricos prolongados apresentam um tamanho bem reduzido e mostram estruturas bem diferentes, como sejam, folhas menores, mais cutinizadas, com maior pilosidade, adensamento de nervuras e outros (KRAMER, 1974). Entretanto, apesar de um grande número de pesquisas realizadas e que comprovam os efeitos produzidos por estresses hídricos sobre processos metabólicos, a sequência de passos metabólicos associados com a imposição deste estresse ainda necessita de estudos (SLATYER, 1967).

O crescimento ocorre em três etapas, das quais a segunda é caracterizada por uma maior velocidade em relação às outras e também não é uniforme, concentrando-se em zonas específicas que são os meristemas (BONNER e GALSTON, 1972). A quantidade de água a ser requerida é diferente com relação ao tecido, a espécie e estágio do crescimento. Desta maneira, o estresse hídrico causa danos maiores em etapas críticas deste processo (KRAMER, 1974).

PARAO et alii (1976) correlacionaram 10 cultivares de ar-

roz resistentes à seca, com o desenvolvimento do sistema radicular, sob condições de estresse hídrico.

2.2.3. Déficit hídrico e seus efeitos sobre processos fisiológicos

É axiomático que o solo e déficits hídricos na planta limitam o rendimento das colheitas em muitas regiões do mundo (TURNER, 1979).

Os déficits que promovem distúrbios e que podem causar a morte da planta são, principalmente, os que resultam de um suprimento insuficiente de água no solo e que perduram por alguns dias. Os que ocorrem na planta são resultantes de uma perda excessiva de água, de uma absorção inadequada ou de ambas (KRAMER, 1974).

A reserva de água nos cereais, tanto pode ocorrer no vacúolo das células como também no xilema, o que permite suportar a sua falta por um certo período, mas não por muito tempo (SUTCLIFFE, 1980). Déficits hídricos podem causar redução na pressão hidrostática das células; podem induzir um aumento na concentração de macromoléculas e solutos de baixo peso molecular; a relação espacial das membranas celulares pode sofrer alterações e, em decorrência disto, os processos metabólicos são afetados (MENGEL e KIRKBY, 1982).

O primeiro efeito provocado por estresse hídrico parece ser de natureza física. A queda da pressão de turgescência nas células vegetais é acompanhada por decréscimo no alongamento celular. O fato é explicado pela perda da pressão dentro da célula (KRAMER, 1974; MENGEL e

KIRKBY, 1982). SALISBURY e ROSS (1969) consideram que a função biológica é totalmente dependente de água. Em teores variáveis é um componente dos tecidos vegetais, sendo encontrada desde 5% em algumas sementes, até 90% do peso fresco (SLATYER, 1967; KRAMER, 1974; LARCHER, 1975; SUTCLIFFE, 1980). Nenhum processo vegetal pode ser realizado em condições ideais na ausência da água. A atividade metabólica das células está relacionada a seu teor hídrico (KRAMER, 1974) e qualquer déficit é capaz de produzir efeitos mais ou menos intensos, dependendo do estágio em que a planta se encontra e das características vegetais.

Várias são as formas em que a água pode estar no interior das plantas e suas principais funções são: componente protoplasmático, importante dissolvente tem função reativa, finalmente, a água é responsável pela turgescência celular (KRAMER, 1974; SUTCLIFFE, 1980).

Nos processos metabólicos, a água está sempre envolvida e desde a germinação, ela desempenha um valioso papel (CRAFT, 1968), quer seja sob o ponto de vista físico, químico ou bioquímico.

Quando o fornecimento hídrico é diminuído, os efeitos podem ser evidenciados nas plantas, como ACEVEDO et alii (1971) puderam observar que o alongamento de folhas jovens de milho sofreu uma redução quando a disponibilidade de água do meio para a raiz passou de -0,1 para -0,2 bar.

É relatado por CUTLER et alii (1980) que pequenos déficits hídricos promoveram redução na taxa de alongamento foliar em diversas cultivares de arroz de sequeiro.

Os déficits hídricos parece afetarem menos a divisão celular que o alongamento (SLATYER, 1967; KRAMER, 1974), mas HSIAO (1973) relata que estresses prolongados inibem este primeiro parâmetro.

HENSON (1982) correlacionou a deficiência de água com a presença de maior quantidade do ácido abscísico (ABA) em duas cultivares de arroz. O autor observou que este regulador de crescimento aumentou linearmente, assim como o potencial de pressão (ψ_p) diminuiu. Quando as inadequações hídricas se intensificaram, os estômatos fecharam-se, aumentou o teor do ácido e as folhas começaram a enrolar. Um aumento no teor de ABA também foi observado em outras plantas (MIZRAHI et alii, 1971).

Normalmente, as plantas experimentam uma variação diurna no teor hídrico, pois durante o dia, a taxa de transpiração supera a de absorção (SLATYER, 1967; KRAMER, 1974), e somente à noite é que se estabelece um equilíbrio no interior do vegetal (SUTCLIFFE, 1980).

2.2.4. Proteínas e aminoácidos

A síntese proteica é muito afetada pela deficiência hídrica, especialmente em tecidos de crescimento rápido (MENGEL e KIRKBY, 1982). Pesquisas desenvolvidas com espécies vegetais têm comprovado que déficits hídricos provocam hidrólise de proteínas, com consequente aumento de aminoácidos livres (KRAMER, 1974; SUTCLIFFE, 1980).

Pesquisas conduzidas por WEST (1962) mostraram que proteínas e nucleotídeos foram reduzidos quantitativamente em plântulas de milho, enquanto o ácido desoxiribonucleico foi acumulado sob condições de es

trêsse hídrico. Inibição na síntese proteica foi determinada por BARNETT e NAYLOR (1966), em grama seda var. bermuda, nessas condições. Para MENGEL e KIRKBY (1982), a maneira como o estresse hídrico influencia sobre a síntese proteica não está bem esclarecida.

BEN-ZIONI et alii (1967) relatam que a deficiência hídrica pode ser causadora de inibição na incorporação de aminoácidos em proteínas. Os autores obtiveram uma redução da ordem de 50% na incorporação de L-leucina marcada com ^{14}C . Alterações no tipo e qualidade da proteína podem ser induzidas sob condições estressantes (DHINDSA e CLELAND, 1975).

Outros compostos nitrogenados podem, ao contrário, sofrer aumentos, o que é consequência da hidrólise de proteína, resultando assim na liberação de aminoácidos livres. KENEDY e BUSH (1983) observaram que, em grama forrageira, ocorreu um aumento no teor de alcalóides.

A prolina tem sido estudada em plantas estressadas. O seu acúmulo está sempre relacionado à inibição da síntese proteica, conforme observaram BARNETT e NAYLOR (1966) e, posteriormente, SINGH et alii (1973). Estes últimos autores sugerem que o acúmulo deste aminoácido está relacionado com a habilidade da planta em sobreviver quando submetida a condições de insuficiência hídrica. O trabalho foi desenvolvido com 5 cultivares de cevada em solução nutritiva e, após terem sido expostas a um ψ osmótico de -20 bar, houve uma elevação considerável nos níveis de prolina. MALI et alii (1977) também determinaram o teor deste aminoácido em plantas de arroz sob estresse.

Sempre que às plantas é imposta uma condição estressante,

ocorre um aumento no teor de prolina e, por este motivo, IRRI (1974) considera este composto como um índice de estresse em arroz.

Pesquisas conduzidas por PARICHA et alii (1977) evidenciaram a influência de estresse hídrico no solo, sobre cultivares de arroz, que como resposta, tiveram um aumento no teor de 15 aminoácidos, incluindo a prolina e duas amidas. Em plantas onde havia sido feita a aplicação de cicocel, os autores observaram que o aumento foi menor quando em comparação com as plantas na ausência deste composto.

As reações metabólicas necessitam da atuação das enzimas, cuja atividade ocorre sempre em meio aquoso. Os níveis de enzima nas plantas podem ser alterados em consequência de inadequado suprimento de água. O comportamento não é o mesmo, enquanto se verifica aumento no teor das enzimas de hidrólise e desidrogenação, por outro lado ocorrem decréscimos nos níveis de redutase de nitrato (MENGEL e KIRKBY (1982).

Cultivares de arroz tolerantes e susceptíveis à seca foram examinadas por MALI et alii (1982). As plantas submetidas à estresse hídrico mostraram um aumento no teor de peroxidase, RNase, redutase de nitrato e proteases. Os autores encontraram variação entre as cultivares testadas. Investigações semelhantes também foram efetuadas por NAYER et alii (1982).

2.2.5. Atividade fotossintética

A fotossíntese é o processo de importância vital sobre a superfície terrestre. A insuficiência hídrica reduz a área foliar, além

de provocar o fechamento estomático, promovendo assim uma redução na taxa de fotossíntese (MEYER et alii, 1965; KRAMER, 1974). Para SALISBURY e ROSS (1969), os efeitos são indiretos, relatando apenas o fechamento estomático influenciando o processo.

Em caso de estresse mais severo, tem lugar uma diminuição na absorção de CO_2 . O fato é relatado por vários autores (KOZLOWSKI, 1964; IRRI, 1976; SINGHI e SASAHARA, 1981). Santarius (1967), citado por MENGEL e KIRKBY (1982), relata que, além da resistência à difusão do CO_2 , também a fotofosforilação e fotólise tornam-se enfraquecidas sob condições de estresse.

O teor clorofiliano é imprescindível à realização do processo fotossintético e a síntese de clorofila depende da adequada hidratação do cloroplasto.

BOYER e McPHERSON (1975) estudaram os efeitos de estresse hídrico sobre processos fisiológicos, encontrando também redução na taxa fotossintética. Além deste, também a translocação, qualidade nutricional, desenvolvimento floral, polinização foram examinados em cereais. PARICHA e SAHOO (1975) encontraram variação quanto ao comportamento de genótipos de arroz em relação à taxa fotossintética em condições estressantes. Os autores tecem considerações sobre a relação raiz/caule nas plantas, que mesmo submetidas a níveis moderados de estresse hídrico no solo, experimentou aumento em todos os genótipos.

Em folhas de trigo e cevada, JOHNSON et alii (1974) efetuaram correlações da deficiência hídrica com a fotossíntese, comprovando

redução na atividade da RuDP carboxilase, inclusive no processo transpiratório. MORGAN e WILLIS (1983) também trabalharam com folhas de trigo, demonstrando os efeitos do estresse e da troca de gases sobre a redução da taxa de fotossíntese.

A planta absorve apreciáveis quantidades de água, mas usam apenas uma pequena porcentagem nos processos metabólicos. Para BERTRAND (1975), a planta utiliza menos de 5% do que absorve. É citado por MENGEL e KIRKBY (1982) que no processo fotossintético, somente 0,01% é necessário do total absorvido. Apesar de se tratar de valor tão pequeno, este é considerado de extrema necessidade e se relaciona com a produção de grãos.

2.2.6. Atividade respiratória

Este processo é também afetado pelo estresse hídrico, não somente em consequência do fechamento dos estômatos, como em decorrência do sistema enzimático envolvido na respiração. Entretanto, é válido ressaltar que a planta sob estresse experimenta um aumento inicial no processo, para posteriormente sofrer uma redução (SALISBURY e ROSS, 1969; KRAMER, 1974). O que pode explicar esse aumento inicial é que, com a hidrólise do amido, maior quantidade de açúcar é disponível para a respiração (KRAMER, 1974).

Existe uma variação considerável quanto à resposta por diferentes tecidos à hidratação (KOZLOWSKI, 1964). As sementes mostram-se muito mais sensíveis a pequenas alterações no teor hídrico que as folhas.

É relatado ainda pelo autor que a hidratação afeta não somente a respiração, mas também o balanço entre a fase aeróbia e anaeróbia do processo. Assim, o coeficiente respiratório é maior em tecido com o teor hídrico mais elevado.

2.3. Ocorrência e efeito do alumínio

Na litosfera, o alumínio é muito abundante, ocupando o terceiro lugar, com mais de 15% sob a forma de Al_2O_3 , sendo superado pelo silício e oxigênio (MENGEL e KIRKBY, 1982).

O alumínio está incluído entre os elementos tóxicos e tem sido objeto de muito estudo a fim de evidenciar o seu comportamento no solo e seus efeitos sobre as plantas.

2.3.1. Comportamento no solo

Em solos ácidos o alumínio é um dos responsáveis por toxicidade, constituindo um dos fatores limitantes para a maioria das culturas. O seu efeito tóxico ocorre em valores de pH inferiores a 5,0 (McLEAN e GILBERT, 1928; JOHNSON e JACKSON, 1964; FOY et alii, 1965; BARTLETT e RIEGO, 1972; CAMARGO e OLIVEIRA, 1981; GUERRIER, 1982). É na forma catiônica (Al^{3+}) que o elemento é considerado capaz de causar danos às plantas em solos ácidos (MAGISTAD, 1925; FOY et alii, 1965; CLARKSON, 1966; REID et alii, 1971; SAIGUSA et alii, 1980).

Por outro lado, valores de pH alcalinos são relatados como favoráveis à solubilidade do alumínio como íon aluminato (MAGISTAD, 1925 e JONES, 1961). Estes autores também relatam um efeito negativo em solo de pH muito elevado.

O tipo de solo está relacionado com a disponibilidade do alumínio trocável, sendo maior em solos argilosos que nos arenosos (PRIMAVESI, 1978). No entanto, o que é mais importante mesmo é a proporção deste elemento (Al^{3+}) com outras bases, como cálcio, magnésio e potássio. Os efeitos prejudiciais ocorrem quando sua participação excede de 40% dos cátions existentes na CTC efetiva (PRIMAVESI, 1978). É relatado por MALVOLTA (1980) que $\leq 0,5$ e.mg/100 g de solo não chegam a constituir problema para as plantas em geral.

EVANS e KAMPRAT (1970) consideram que com pH abaixo de 5,5, a solubilidade do alumínio experimenta um aumento rápido e mais da metade dos sítios de troca de cátions é ocupada por este elemento.

Para PRIMAVESI (1978), nos solos tropicais onde há predominância dos minerais de argila do tipo 1:1, os teores de alumínio são mais elevados, isto porque o elemento é integrante destes minerais.

2.3.2. Alumínio na planta

O efeito tóxico do alumínio sobre as plantas tem sido muito estudado através de pesquisas realizadas em espécies vegetais por vários investigadores, entre os quais, CONNER e SEAR (1922), MAGISTAD (1925), McLEAN e GILBERT (1956), FOY et alii (1965), IRRI (1974), WAISEL et alii

(1979) e GUERRIER (1982). Os resultados destas pesquisas mostram variação quanto à sensibilidade das plantas ao alumínio.

Trabalhos desenvolvidos por GALBO e CAMBRAIA (1980 a,b) e GUERRIER (1982) evidenciaram que entre os cereais, o sorgo é considerado como espécie susceptível aos efeitos do alumínio. Entretanto, é relatado por NOGUEIRA et alii (1979) que existe uma diferença quanto à tolerância de híbridos de sorgo crescendo em solução nutritiva na presença de níveis crescentes de alumínio.

O milho e o arroz foram considerados por AIMI e MURAKAMI (1964) como espécies mais resistentes aos efeitos prejudiciais do alumínio. No entanto, os dados relativos à toxidez deste elemento sobre o arroz são conflitantes. Enquanto somente níveis elevados são considerados tóxicos para algumas cultivares, para outras, concentrações baixas são capazes de causar inibição no crescimento.

THAWORNWONG e VAN DIEST (1974), trabalhando com cultivares de arroz irrigado, encontraram que o crescimento das plântulas foi afetado por concentrações de alumínio de 0,05 a 0,2 ppm em solução nutritiva. Por outro lado, LOCKARD e McWALTER (1956), submeteram plântulas de arroz a 4 ppm do elemento e o efeito tóxico não foi consistente.

CATE e SUKHAI (1964) obtiveram vários resultados estabelecendo correlação entre o alumínio e outros elementos com plantas de arroz. Na ausência de cátions nutrientes, o alumínio solúvel na água em concentrações de 1 a 2 ppm, causou inibição no crescimento das plantas de forma acentuada, enquanto na concentração de 1000 ppm de alumínio, as

plantas morreram em dois dias.

SILVA et alii (1972) observaram que plantas de arroz crescendo em solos incubados durante 18 dias com CaCO_3 antes da semeadura, absorveram maiores quantidades de alumínio que as plantas em solo cuja aplicação de CaCO_3 foi efetuada no momento do plantio.

Para HOWELER e CADAVID (1976), cultivares altas de arroz, de solos ácidos ou de sequeiro, são mais tolerantes ao alumínio que as cultivares semi-anãs desenvolvidas para condições de inundação. Estes autores encontraram diferentes respostas trabalhando com oito cultivares de arroz submetidas a 30 ppm de alumínio e relatam que um grande número de cultivares deste cereal pode ser selecionado para tolerância ao alumínio em solução nutritiva, usando a taxa de comprimento da raiz como índice de tolerância.

FAGERIA et alii (1979) efetuaram a seleção de 30 cultivares de arroz para tolerância à toxidez de alumínio, usando concentrações de 0 a 60 ppm do elemento, agrupando as plantas em alta, baixa e média, quanto à tolerância. Depressão no rendimento de plantas de arroz foi verificada por WALLACE e ROMNEY (1977), usando alumínio na concentração de 10^{-3} M.

O trigo foi um cereal que despertou muito interesse com relação à sensibilidade ao alumínio, através de trabalhos realizados por NEENAN (1960), FOY et alii (1965), FOY et alii (1967), FOY e FLEMING (1968) e FOY e FLEMING (1982). Todos os trabalhos realizados por estes autores foram relacionados com a tolerância diferencial apresentada por diferen-

tes cultivares a vários níveis de alumínio. É sugerido por KERRIDGE e KRONSTAD (1968, 1971) que estas diferenças apresentadas por cultivares de trigo é de natureza genética. A medida da tolerância das cultivares desta gramínea, segundo CAMARGO e OLIVEIRA (1981), é baseada na capacidade das raízes primárias continuarem a crescer em solução livre de alumínio.

REID et alii (1969) estudaram a sensibilidade de 30 cultivares de cevada crescendo em solução contendo alumínio e determinaram correlações positivas entre os resultados obtidos em casa de vegetação e em campo. Os autores encontraram novas fontes de germoplasma tolerantes ao alumínio. MUGWIRA et alii (1976) avaliaram o grau de sensibilidade ao alumínio por cultivares deste cereal e também de triticales, trigo e centeio.

2.3.2.1. Efeitos fisiológicos - A absorção de água e sais minerais pelas raízes é afetada pelo alumínio tóxico e isto se reflete no crescimento das plantas e na produção de grãos. O efeito tóxico do alumínio sobre as plantas tem sido avaliado através do comprimento da raiz. Este parâmetro foi considerado por AIMI e MURAKAMI (1964), FOY et alii (1965), FLEMING e FOY (1968), WAISEL et alii (1970), KERRIDGE et alii (1971), IRRI (1978), SAIGUSA et alii (1980). É considerado por McLEAN e GILBERT (1928), que este órgão da planta é o primeiro a exibir o sintoma da toxidez do alumínio, através da mudança de coloração branca para preta, paralisação de crescimento das raízes laterais, outras alterações, além de aspecto coralóide (MALAVOLTA, 1980).

CLAKKSON (1965) enfatiza o efeito depressivo do alumínio,

inicialmente, pela inibição da divisão celular e, posteriormente, (CLARKSON, 1966 e BACHE, 1981) consideram a redução no transporte do fósforo para a parte aérea da planta. Em consequência deste último aspecto, as plantas em condições estressantes de alumínio, exibem sintomas de deficiência de fósforo, pouco desenvolvimento, maturação tardia dos frutos, folhas verde-escuro, grãos chochos (MALAVOLTA, 1967; MALAVOLTA et alii, 1974).

(A) Interação do alumínio com o fósforo

A interação entre estes elementos foi estudada através de pesquisas de CHENG (1968), CLARKSON (1969), WAISEL et alii (1970). Os trabalhos efetuados por McLEAN e GILBERT (1928) comprovam que o fosfato adicionado na solução na mesma concentração do alumínio inibe totalmente o efeito deste último. GALBO e CAMBRAIA (1980), estudando esta interação em plantas de sorgo, encontraram que nas cultivares tolerantes ao alumínio ocorre uma precipitação do fósforo nos tecidos da raiz, se submetidas a níveis elevados do alumínio.

(B) Interação do alumínio com o cálcio

O cálcio é um integrante da parede celular e responsável pela permeabilidade das membranas biológicas, além de outras funções (MALAVOLTA, 1980; MENGEL e KIRKBY, 1982). O alumínio reage com cadeias do ácido poligalacturônico, formando pectato de alumínio (JOSLYN e LUCA, 1957) e isto prejudica a elasticidade celular.

A influência negativa do alumínio sobre o cálcio foi estu

dada por JOHNSON e JACKSON (1964), FOY et alii (1967) em plântulas de trigo e os últimos autores incluíram também a cevada em seus estudos.

BARTLETT e RIEGO (1972) tecem considerações sobre o uso de nitrogênio-nitrato em plântulas de milho em meio contendo alumínio; a toxidez foi acompanhada por decréscimo acentuado no teor de cálcio na parte aérea e na raiz das plântulas.

Foi observada a ocorrência de decréscimos no teor de cálcio em plantas de sorgo, submetidas à presença de alumínio em meio ácido (NOGUEIRA, 1979; GALBO e CAMBRAIA, 1980; GUERRIER, 1982).

Pesquisas desenvolvidas por HOWELER e CADAVID (1976), em cultivares de arroz tolerantes a alumínio, mostraram maiores níveis de fósforo e cálcio e mais baixos níveis de alumínio na parte aérea das plantas em comparação com as não tolerantes.

2.3.3. Efeito estimulante

Efeitos benéficos de concentrações diluídas do alumínio foram encontrados em algumas espécies vegetais, entre as quais, chá (CHENERI, 1955), arroz (HOWELER e CADAVID, 1976).

O efeito estimulante de pequenas quantidades de alumínio sobre o crescimento de certas plantas, pode estar associado à inativação do fósforo. CLARK (1977), relata que o fósforo pode causar efeito inibitório ao crescimento radicular. O fato foi comprovado por BHATTI e LONERAGAN (1970) e GREEN (1973) em trabalhos conduzidos com o trigo.

RHUE (1977) afirma que algumas plantas são capazes de acumular quantidades apreciáveis de alumínio nas folhas, sem apresentar qualquer sintoma de toxidez.

2.3.4. Soluções para o problema

Os efeitos negativos do alumínio nas camadas superficiais do solo podem ser neutralizados através da prática de calagem (FOY et alii, 1965; KERRIDGE et alii, 1971; REID et alii, 1971; SARTAIN e KAMPAT, 1978; SOUZA et alii, 1983). Entretanto, quando o alumínio está presente no subsolo, a calagem deixa de ser uma prática cultural econômica, sendo, então, a melhor opção, a seleção de linhagens mais resistentes aos efeitos tóxicos do alumínio, a fim de que a produtividade do arroz e de outras culturas não seja afetada.

2.4. Proteínas do grão

2.4.1. Proteínas do grão maduro

As proteínas vegetais são classificadas de acordo com alguns critérios, tais como: órgão ou tecido onde são encontradas, funções que possam desempenhar na planta e suas características de solubilidade (BONNER e GALSTON, 1972; BOULTER e DERBYSHIRE, 1978). Este último critério tem sido o mais usado, desde que foi introduzido em trabalhos pionei

ros de Osborne e seus colaboradores (OSBORNE, 1918), e compreendê quatro grandes grupos, que são: albuminas, globulinas, glutelinas e prolaminas. De uma maneira geral, albuminas e globulinas podem ser consideradas como proteínas facilmente solúveis e as duas últimas como proteínas do glúten (FEILLET, 1967).

Os grãos dos cereais contêm proteínas enzimáticas (albuminas) e de reserva, com teores que variam entre as espécies. As enzimaticas localizam-se principalmente no embrião, enquanto as outras concentram-se no endosperma (LUGG, 1949; FOX e FOSTER, 1957).

Entre as proteínas de reserva, as globulinas são as que ocorrem em pequenas quantidades na maioria das gramíneas (DANIELSON, 1949; FOX e FOSTER, 1957). Entretanto, a aveia representa uma das exceções por apresentar a globulina como principal proteína de reserva, cuja predominância chega a atingir 80% da proteína total do grão (BEEVER, 1976). Valores menores, 50% da proteína total, são relatados por WALBURG e LARKINS (1983) e ROSS e LUTHE (1983). Os autores afirmam ainda que existe certa similaridade entre esta globulina e a das sementes de leguminosas, como soja e ervilha. Em sementes de abóbora, BEEVER (1976) relata valores elevadíssimos de globulina, chegando a alcançar 92% da proteína total deste órgão. As globulinas de cevada talvez tenham sido as primeiras estudadas e através de relato feito por DANIELSON (1949), existem quatro componentes desta fração, sendo eles α , β , γ e δ . Quando dois componentes de globulina foram encontrados nos cereais se tratavam das globulinas α e γ . Assim, as globulinas β e δ estavam presentes unicamente na cevada. O autor tece considerações sobre a distribuição destes qua-

tro componentes em diferentes partes do grão e relata que os pesos moleculares (PMs) foram: α - 26000; β - 100000; γ - 166000 e δ - 300000. Trabalho posterior, desenvolvido por MORITA e YOSHIDA (1968), veio comprovar que não somente a cevada, mas também o endosperma do grão de arroz era portador dos quatro referidos componentes da fração globulina. HOUSTON e MOHAMMAD (1970) purificaram e caracterizaram uma globulina α do endosperma do arroz com PM de 25400. Já PERDON e JULIANO (1978), determinaram as propriedades da globulina α e obtiveram PMs 18000, 20000, 25000 e 98000 nos diferentes métodos empregados. O componente de globulina α encontrada por HOUSTON e MOHAMAD (1970), diferiu um pouco desta encontrada por PERDON e JULIANO (1978), no que se refere à composição em aminoácido, pois aquela mostrou uma quase ausência de histidina e lisina. Em termos gerais, os aminoácidos encontrados em teores mais elevados em ambas, foram arginina, ácido glutâmico, serina, cisteína, metionina e tirosina.

A fração albumina ocorre em pequena quantidade no grão do arroz maduro, 5% da proteína total do grão (VILLAREAL e JULIANO, 1981), ou 5,6% (CAGAMPANG et alii, 1976). Em outros cereais, os teores desta fração não são elevados, destacando-se porém o milho opaco-2 com um teor de albumina de 25% da proteína total do grão (BEEVER, 1976). A maior concentração de albumina nas camadas mais externas do grão foi verificada por vários autores (CAGAMPANG et alii, 1966; HOUSTON et alii, 1968; COFFMAN e JULIANO, 1979).

Com o beneficiamento, uma perda desta proteína, equivalente a 10 - 15% por peso da parte do grão removida, foi relatado por HOUS-

TON et alii (1968). Um aspecto que merece ser abordado é a composição em aminoácidos que difere entre frações proteicas, como ocorre com lisina, um importante aminoácido. Os trabalhos desenvolvidos têm mostrado que a albumina contém um teor mais elevado deste aminoácido (JULIANO, 1966; HOUSTON et alii, 1968; HOUSTON et alii, 1969; COFFMAN e JULIANO, 1979). Isto concede a esta fração um maior valor nutricional quando comparada às demais. No grão de arroz, o pericarpo, camada de aleurona e embrião, são mais ricos em lisina (IRRI, 1974).

CAGAMPANG et alii (1976) encontraram subunidades de albumina com PMs variando de 8500 a 95000, enquanto VILLAREAL e JULIANO (1981), estudando as propriedades desta fração na farinha do arroz, encontraram várias subfrações, onde as principais apresentaram PMs de 17000 a 19000.

A fração proteica prolamina é encontrada no endosperma dos cereais, em concentrações variáveis entre as espécies e considerada como proteína de reserva.

A mais conhecida prolamina é a zeína do milho, relatada e estudada por vários autores (OSBORNE, 1918; BONNER, 1950; FOX e FOSTER, 1957; TELLO et alii, 1965; CHRISTIANSON et alii, 1969; LARKINS et alii, 1976). Outras prolaminas foram também isoladas e caracterizadas, como gliadina do trigo (BECKWITH et alii, 1966; NIELSEN et alii, 1968; LAWRENCE et alii, 1970; GREEN, 1981), hordeína da cevada (BONNER, 1950; MATTHEWS e MIFLIN, 1981), avenina da aveia (OSBORNE, 1924; BEEVER, 1976; WALBURG e LARKINS, 1983). A prolamina do arroz é encontrada em teores muito baixos em contraste com outros cereais. Valores de oryzeína menores de 5% da proteína total do grão de arroz são relatados por CAGAMPANG et

alii, 1966; HOUSTON et alii, 1968; TECSON et alii, 1971; BEEVER, 1976; MANDAC e JULIANO, 1978). Somente o arroz e aveia não tem a prolamina como principal proteína de reserva do endosperma (HARRIS e JULIANO, 1977). Na aveia, os teores desta fração são um pouco mais elevados que no arroz. BEEVER (1976) relata valores de 15% da proteína total para esta gramínea e 40% do teor proteico total no trigo e no milho.

A prolamina é considerada uma fração pobre por conter baixo teor de lisina, metionina e triptofano. Por outro lado, teores elevados são encontrados de outros aminoácidos, entre os quais, leucina, isoleucina, ácido glutâmico, fenilalanina, serina e tirosina (PALMIANO et alii, 1968; TECSON et alii, 1971; MANDAC e JULIANO, 1979; COFFMAN e JULIANO, 1979). A prolamina do arroz tem um teor relativamente baixo em prolina, mas alto em ácido glutâmico, quando comparada com a de outros cereais (Waldschmidt-Leitz, 1964, citado por PALMIANO et alii, 1968). MANDAC e JULIANO (1978), estudando as propriedades da prolamina em arroz, encontraram duas subunidades com PMs de 17000 e 23000.

Glutelina é a fração predominante no endosperma do arroz, portanto, considerada a mais importante para esta gramínea. O seu teor neste cereal alcança mais de 80% da proteína total do grão (CAGAMPANG et alii, 1966; HOUSTON et alii, 1968; JULIANO e BOULTER, 1976; COFFMAN e JULIANO, 1979). Teores diversos desta fração são encontrados em outros cereais, 40% em trigo, 39% no milho opaco e 31% no milho comum, sendo que na aveia se encontra menor conteúdo da glutelina (BEEVER, 1976).

A glutenina, glutelina do trigo, tem sido bastante relatada em trabalhos diversos (OSBORN, 1918; ORTH e BUSHUK, 1972; ORTH et alii,

1972; BONNER e GALSTON, 1973). A importância maior desta fração é o fato de estar contida na farinha que é usada no preparo do pão, alimento imprescindível na dieta diária de muitas pessoas.

A oryzenina, glutelina do arroz, tem merecido maior atenção por representar a principal fração proteica do endosperma do arroz, citada desde os trabalhos de OSBORNE (1918) até os dias atuais.

Das proteínas de reserva do arroz, a fração glutelina é a que apresenta teor mais elevado de lisina e entre os cereais, o maior valor nutricional é encontrado no arroz, por conter 4% deste aminoácido (COFFMAN e JULIANO, 1979).

TECSON et alii (1971) relatam que preparações de glutelina de vários métodos mostraram similaridade quanto à composição em aminoácidos. Os teores de ácido glutâmico e ácido aspártico, arginina, leucina, valina, são mais elevados em relação aos demais (TECSON et alii, 1971; CAGAMPANG et alii, 1976; JULIANO e BOULTER, 1976; VILLAREAL e JULIANO, 1978).

Perfis polipeptídicos de extrato de glutelina obtidos através de eletroforese em gel de poliacrilamida, em presença de sódio do decil sulfato (SDS), mostraram três subunidades com PMs de 16000, 25000 e 38000 (IRRI, 1976; JULIANO e BOULTER, 1976; VILLAREAL e JULIANO, 1978). É relatado por JULIANO e BOULTER (1976) que glutelinas preparadas com SDS- β -mercaptanol mostraram outras subunidades menos concentradas, com PMs 42000, 35000 e 27000. Este autor cita ainda que a subunidade com PM 25000 é mais rica em lisina.

Poucas pesquisas foram realizadas visando a obtenção de perfis eletroforéticos da fração glutelina em diferentes partes do grão de arroz. VILLAREAL e JULIANO (1978) encontraram diferenças quanto à mobilidade desta fração no pericarpo, embrião, camada de aleurona e endosperma da cultivar de arroz IR-8.

2.4.2. Proteínas do grão durante o desenvolvimento

Durante o desenvolvimento do grão de arroz, ocorrem mudanças quanto à concentração de proteínas enzimáticas e de reserva.

As porcentagens de albumina e globulina são maiores nos estágios iniciais de desenvolvimento dos grãos de arroz, atingindo o máximo até 14 DAF (DEL ROSARIO et alii, 1968) ou 12 DAF (IRRI, 1976 e CAGAMPANG et alii, 1976). Após estes períodos, estas frações começam a sofrer decréscimos, atingindo concentrações bem pequenas quando os grãos começam a perder umidade.

A composição em aminoácidos sofre alteração enquanto ocorre aumento na concentração de uns, outros experimentam decréscimos. PALMIANO et alii (1968) observaram que os teores de lisina, arginina, tirosina e ácido glutâmico experimentaram decréscimos entre 4 e 14 DAF. Já CAGAMPANG et alii (1976), encontraram que lisina e treonina decresceram progressivamente em termos proporcionais à acumulação de proteínas solúveis em sais. Os autores ainda relatam que alanina, ácido aspártico e glicina apresentaram decréscimos durante a formação do grão.

PALMIANO et alii (1968), pesquisando o grão de arroz, con

cluíram que o aparecimento da glutelina começa ao 4 DAF, enquanto HARRIS e JULIANO (1977) afirmam que até 8 DAF a proteína de reserva está ausente, relatando ainda que inicialmente, após a antese, ocorre uma divisão progressiva das células do endosperma. Pesquisas desenvolvidas por YAMAGATA et alii (1982) evidenciaram que as proteínas de reserva começam a se acumular 5 DAF. Após 12 a 14 DAF, as proteínas de reserva, especialmente glutelina, passam a constituir a principal fração proteica do grão de arroz (IRRI, 1976; CAGAMPANG et alii, 1976; VILLAREAL e JULIANO, 1978).

A composição em aminoácidos das frações proteicas sofre uma sensível alteração durante o período de desenvolvimento do grão, pois entre os aminoácidos, ácido glutâmico e arginina aumentam, enquanto lisina e treonina diminuem (IRRI, 1976).

Variação do perfil polipeptídico de proteína do grão foi observada entre cultivares de arroz irrigado por JULIANO et alii (1964), PALMIANO et alii (1968), HOUSTON e MOHAMAD (1968), COFFMAN e JULIANO (1979) e entre cultivares de arroz de sequeiro (DERBYSHIRE et alii (1980) e AIRES-SILVA (1981).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

• Sementes de arroz das cultivares IAC-1246, Agulha ESAV, Cartuna e Nuglin-24, colhidas em campo, foram obtidas da Seção de Radiogenética do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) e as sementes das cultivares IAC-47, IRAT-13 e IET-1444, colhidas em casa-de-vegetação, foram obtidas da Seção de Física de Solos do CENA/USP.

(a) IAC-1246

Esta cultivar tem grãos do tipo longo, glumelas de coloração amarelo dourado e glumas bem mais claras, destacando das glumelas.

(b) Agulha ESAV

Os grãos desta cultivar são do tipo longo, as glumelas cor de palha, apículo escuro, arista pequena presente em alguns grãos. As glumas são quase da mesma cor das glumelas.

(c) Cartuna

Os grãos são do tipo longo, as glumelas têm coloração amarelo claro e as glumas um pouco mais claras que aquelas e com apículo marrom.

(d) Nuglin-24

Esta cultivar apresenta grãos do tipo longo, glumelas cor de palha e glumas quase da mesma cor.

(e) IAC-47

Os grãos desta cultivar são do tipo longo, glumelas cor de palha e glumas ligeiramente mais claras.

(f) IRAT-13

Esta cultivar tem grãos do tipo médio, glumelas dotadas de pêlos brilhantes e glumas mais claras.

(g) IET-1444

Os grãos desta cultivar são do tipo curto, glumelas de coloração parda, com pêlos curtos e glumas mais claras.

As substâncias químicas, acrilamida, N, N'-metilenobisacrilamida (Bis), mioglobulina, Tris (hidroximetil) aminometano, ovalbumina, soro albumina bovina (BSA), citocromo C, azul de bromofenol, foram obtidos da SERVA; dodecil sulfato de sódio (SDS), foi obtido da PIERCE CHEMICAL COMPANY; N, N, N', N'-tetrametilacetilenodiamina (TMED), 2-mercaptoetanol foi obtido da SIGMA; lectina globulínica de Phaseolus vulgaris foi purificada no laboratório. Outras substâncias de grau analítico (pa) foram obtidas de fornecedores nacionais.

3.2. Métodos

3.2.1. Cultivo das plantas

3.2.1.1. Tratamentos sob condições de estresse hídrico - Plantas das cultivares IAC-47, IRAT-13 e IET-1444, cresceram em vasos com solo em casa de vegetação e foram submetidas a diferentes níveis de suprimento hídrico por STONE (1983). Os tratamentos foram feitos a partir da fase reprodutiva das plantas e corresponderam a lâminas d'água de 100%, 85%, 70% e 55% da evapotranspiração máxima (ET_m). Outras plantas da cv. IAC-47 foram submetidas a veranico de 4 ou 8 dias (STONE, 1983).

3.2.1.2. Tratamentos com alumínio - As sementes foram germinadas em bandejas plásticas, com vermiculita umidecida. Uma semana após a semeadura, a solução nutritiva de HOAGLAND e ARNON (1950), diluída 5 vezes, foi adicionada às bandejas e, subsequentemente, a vermiculita foi mantida úmida pela adição ocasional de água. A composição da solução estoque de HOAGLAND e ARNON (1950) é mostrada na Tabela 1. Treze dias após a semeadura, as bandejas foram transferidas para a casa de vegetação para adaptação por dois dias. Em seguida, as plântulas foram transferidas para vasos (4 plântulas por vaso), contendo 5 litros de solução nutritiva de HOAGLAND e ARNON (1950) não diluída, na qual o $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ foi reduzido a um quinto e o alumínio foi adicionado nos níveis de 0, 10, 20, 40 ou 80 ppm como $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e em cinco repetições. As soluções eram renovadas a cada 10 dias e o volume dos vasos era completado com água destilada sempre que necessário. O pH das soluções era medido duas vezes por semana e ajustado a $\text{pH } 3,8 \pm 0,1$ com HNO_3 1N. Durante o experimento, as plantas foram pulverizadas com acaricida (Carvin) e inseticida (Endrin), três vezes.

TABELA 1 - Composição da solução de HOAGLAND e ARNON (1950).

substâncias	solução estoque (g/litro)	ml/litro de solução
<u>Soluções de Macronutrientes</u>		
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	136,9	1
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246,48	2
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	236,15	6
KNO_3	101,11	4
<u>Solução de Micronutrientes</u>		
H_3BO_3	2,86	
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,81	
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,08	1
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,22	
H_2MoO_4	0,02	
<u>Solução de Fe EDTA</u>		
EDTA	33,2	
NaOH 1N (ml)	89,2	1
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	28,9	

Parâmetros de crescimento e desenvolvimento - O comprimento da parte aérea de cada planta (do eixo hipocotiledonário à extremidade da folha mais longa) e o comprimento máximo das raízes por vaso, foi efetuado aos 45 dias após a semeadura. Aos 27 dias após a semeadura foi efetuada mais uma medida da parte aérea. O porte da planta (a partir da base do caule até o ápice da panícula do colmo mais alto) foi medido antes da colheita. O número de perfilhos e panículas formadas foram contados durante o experimento. As panículas foram colhidas aos 4, 6, 10, 18 e 30 dias após o florescimento. As plantas foram colhidas quando o comprimento máximo dos colmos foi determinado. Subsequentemente, foram separados raízes, colmos e folhas. Todo o material colhido foi acondicionado em papel de alumínio, conservado a -20°C . O comprimento das panículas foi medido, as sementes foram removidas e pesadas por vaso. Foi efetuado o peso de 100 sementes por planta. O peso seco de 100 sementes foi efetuado após um ano de estocagem das mesmas no laboratório.

3.2.2. Análise do grão

3.2.2.1. Preparo da farinha - A casca e o embrião das cariopses das cultivares de arroz foram removidos manualmente. Para obtenção da farinha, os grãos foram moídos em almofariz com pistilo e, em seguida, o pó resultante foi passado em micro peneira com malha de 0,25 mm.

3.2.2.2. Extração de proteína total - A farinha foi extraída com Tris 0,25M, ajustado ao pH 6,8, com HCl, contendo SDS a 2% e 2-mercaptoetanol 0,1% (40 mg de farinha/ml de extrator). A mistura foi agitada à temperatura ambiente durante 30 minutos sendo, a seguir, centrifugada (Sorvall rotor 34, 27000 g), durante 30 minutos a 4°C .

3.2.2.3. Extração sequencial das frações proteicas - O esquema da extração empregada é mostrado na Figura 1. Albumina + globulina (A+G) foram extraídas por agitação da farinha em Tris 0,01M, ajustado ao pH 6,8 com HCl em 3% de NaCl e 0,7% de 2-mercaptoetanol, durante 30 minutos, à temperatura ambiente. A suspensão foi clarificada por centrifugação (27000 g), durante 20 minutos. O sobrenadante foi conservado a -20°C . O resíduo foi reextraído e centrifugado com o mesmo solvente por duas vezes. Prolamina foi extraída do resíduo por agitação em 20 ml de álcool etílico (EtOH) a 70% com 0,7% de 2-mercaptoetanol por 30 minutos, à temperatura ambiente. A suspensão foi clarificada por centrifugação (27000 g), durante 20 minutos. O sobrenadante foi conservado a -20°C . O resíduo foi reextraído e centrifugado no mesmo solvente por duas vezes e depois agitado em água e centrifugado por duas vezes. O resíduo resultante da operação anterior foi agitado em 20 ml de Tris 0,01M, contendo SDS a 2% e 0,7% de 2-mercaptoetanol, pH 6,8, durante 30 minutos, à temperatura ambiente. A suspensão foi clarificada por centrifugação (27000 g) durante 20 minutos. O sobrenadante (glutelina) foi conservado a -20°C .

Parte da fração albumina + globulina foi liofilizada.

3.2.2.4. Determinação do nitrogênio total - O método usado foi o Kjeldahl (AOAC, 1975), através da digestão de 100 mg da farinha do arroz com a solução digestora de ácido sulfúrico, tendo como catalizador o selenito de sódio. Foi usado como padrão o sulfato de amônio. A destilação foi feita com hidróxido de sódio 18N e como indicador foi usada a solução de ácido bórico contendo verde de bromocresol e vermelho de metila. Para a titulação, foi usado o ácido sulfúrico 0,05N. O resulta

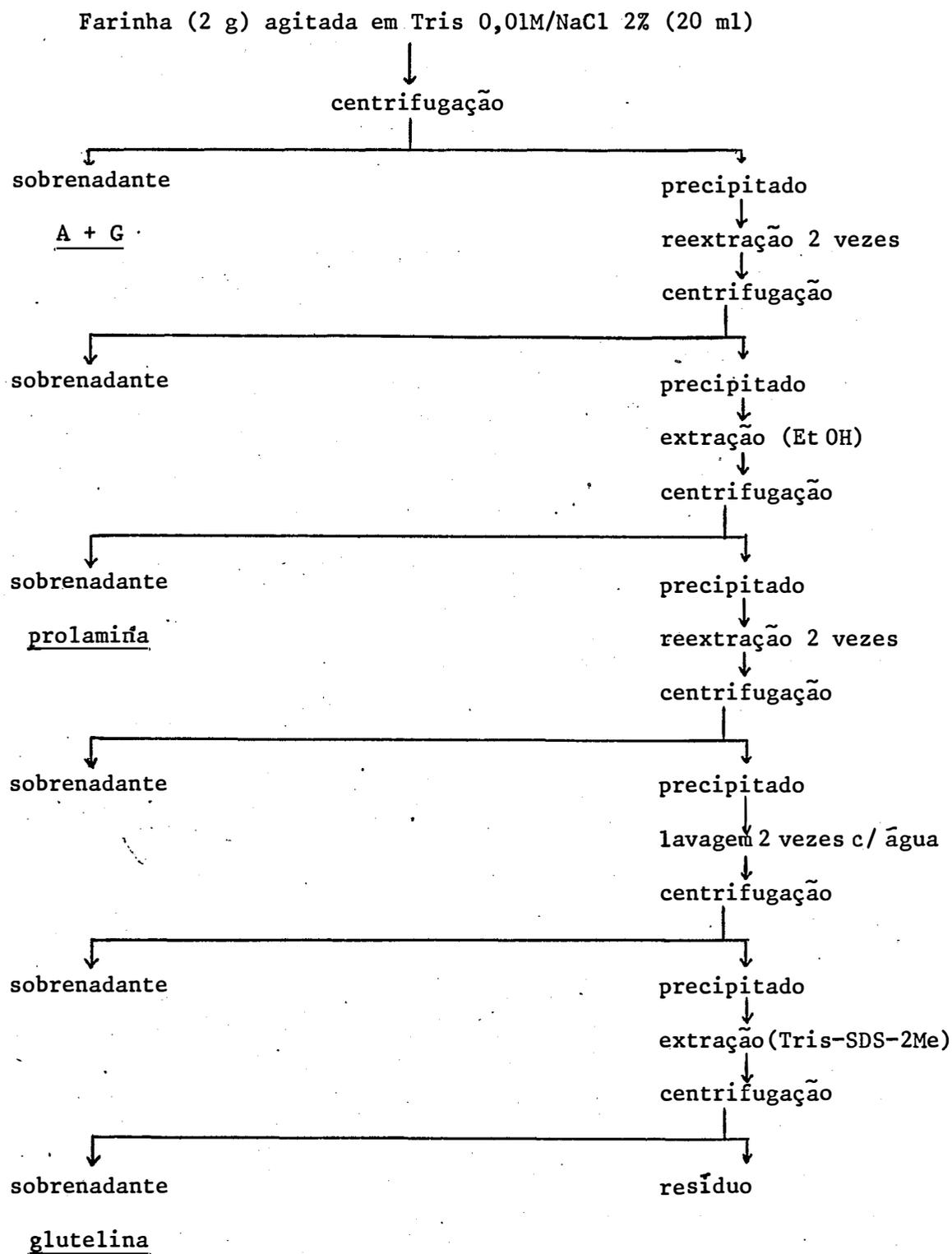


FIGURA 1 - Esquema da extração em série de frações proteicas.

do da determinação foi expresso em termos de porcentagem por peso de farinha. Para o cálculo da proteína total, procedeu-se à multiplicação do valor correspondente ao N-total, pelo fator 5,95 (JULIANO et alii, 1964).

3.2.2.5. Eletroforese - A eletroforese das frações albumina + globulina, em condições não dissociantes, foi feita pelo procedimento de DAVIS (1964), modificado para permitir o seu uso com gel de poliacrilamida em placa em lugar de gel em tubo.

A base da placa foi vedada com um "plug" de gel de 5 mm de altura, composto de 7 g de acrilamida/100 ml de gel, 4,57 g de Tris/100 ml, 0,07 g de persulfato de amônia/100 ml e 5,028 ml de TMED/100 ml. A cima deste gel, foi polimerizado o gel separador (9,5 cm de altura), com composição semelhante a do gel "plug", exceto para a concentração de TMED que foi 0,029 ml/100 ml. Um gel espaçador (9 mm de altura), contendo 2,5 g de acrilamida/100 ml de gel, 0,625 g de bisacrilamida/100 ml, 6 ml de HCl 2N/100 ml, 0,75 g de Tris/100 ml, 0,057 ml de TMED/100 ml e 0,5 µl de riboflavina/100 ml, foi fotopolimerizado acima do gel separador.

A composição das soluções estoques das quais foram preparados os géis, está contida na Tabela 2 que também mostra a composição da solução estoque do tampão dos reservatórios, que foi usada diluída em 1:10.

Amostras aproximadamente de 100 µg de cada preparação de albumina + globulina contidas em 50 µl, foram aplicadas nas canaletas e 2 gotas de azul de bromofenol 0,001 g/ml foram adicionadas na solução tampão no reservatório superior. Uma corrente de 10 mA foi aplicada até que

TABELA 2 - Composição das soluções estoques do procedimento eletroforético sob condições não dissociantes.

<u>Solução A</u>	<u>Solução B</u>
HCl 1N - 48,00 ml	HCl 1N - 48,00
Tris - 36,60 g	Tris - 5,98
TMED - 0,23 ml	TMED - 0,46
H ₂ O - para 100 ml	H ₂ O - para 100 ml
pH - 8,9	pH - 6,7

<u>Solução C</u>	<u>Solução D</u>
Acrilamida - 28,00 g	Acrilamida - 10,0 g
Bisacrilamida - 0,737 g	Bisacrilamida - 2,5
H ₂ O - para 100 ml	H ₂ O - para 100 ml

<u>Solução E</u>
Riboflavina - 0,004 g
H ₂ O - para 100 ml

<u>Tampão dos Reservatórios</u>
Tris - 6,0 g
Glicina - 28,8 g
H ₂ O - para 1000 ml
pH - 8,3

o corante indicador (azul de bromofenol), migrasse na interfase entre o gel espaçador e separador, quando então a corrente foi aumentada para 30 mA. Após 3:30 horas, a fonte foi desconectada, o gel foi removido do aparelho e a parte do gel abaixo da banda do azul de bromofenol foi desprezada. O gel foi corado por 16 horas em solução contendo 50 mg de "coomassie blue"/100 ml, dissolvido em metanol, ácido acético e água (25:7:68) e, então, descorado no mesmo solvente.

A eletroforese de proteínas sob condições dissociantes foi feita pelo uso de uma modificação do procedimento descrito por LAEMMLI (1970). A base da placa foi vedada com um "plug" de 5 mm do gel separador, descrito abaixo, no qual foram adicionados 100 µl de TMED. Sobre este "plug", o gel separador (9,5 cm de altura) continha 12,5 g de acrilamida/100 ml de gel, 0,33 g de bisacrilamida/100 ml, 4,5 g de Tris/100 ml, 0,14 g de persulfato de amônia/100 ml, 0,025 ml de TMED/100 ml, e 0,1 g de SDS (100 ml). Sobre este gel, foi fotopolimerizado o gel espaçador (2 cm), que continha a mesma composição descrita no método não dissociante, com a inclusão de 0,1 g de SDS/100 ml.

A composição das soluções estoques utilizadas é mostrada na Tabela 3, onde também consta a composição da solução estoque do tampão dos reservatórios, usada na diluição de 1:10 com a adição de SDS 1g/litro.

As proteínas foram dissociadas pelo aquecimento a 100°C, durante 10 minutos, na presença de 1 g de SDS/100 ml e 0,05 ml de 2-mercaptoetanol/100 ml de Tris 0,01M ajustado com HCl a pH 6,8. As soluções foram resfriadas à temperatura ambiente. Amostras de aproximadamente

TABELA 3 - Composição das soluções estoques do procedimento eletroforético sob condições dissociantes.

Soluções para o preparo dos géis

Solução X

Acrilamida - 30,0 g

Bisacrilamida - 0,8 g

H₂O - para 100 ml

Solução Y

Tris 0,75M - 9,0 g

H₂O - para 100 ml

pH - 8,8

Soluções B, D, E da Tabela 2

Tampão dos reservatórios

Tris 0,25M - 30,0 g

Glicina - 144,0 g

H₂O - para 1000 ml

pH - 8,3

25, 50 e 100 μg de cada uma das soluções de proteínas dissociadas, contidas em 5, 10 e 20 μl , respectivamente, foram aplicadas nas canaletas e 2 gotas de azul de bromofenol 0,001 g/100 ml foram adicionadas na solução tampão no reservatório superior. Uma corrente de 12 mA foi aplicada até que o corante migrasse na interfase entre os dois géis e, a partir de então, a corrente foi aumentada para 20 mA. Após 10 horas, a fonte foi desconectada, o gel retirado do aparelho e a parte do gel inferior à banda do azul de bromofenol foi descartada. Os géis foram corados e descorados da mesma maneira como descrita para os géis não dissociantes.

De tempo em tempo, misturas de polipeptídeos padrões, de pesos moleculares conhecidos, foram aplicadas na mesma placa das amostras de arroz. Os padrões usados foram soro albumina bovina (PM 67000), ovalbumina (PM 43000), fitohemaglutenina purificada de Phaseolus vulgaris (PM 30000), mioglobulina (PM 17800) e citocromo C (PM 12400). Uma curva de calibração (Figura 2) foi feita por plotação das mobilidades dos padrões em relação à do azul de bromofenol contra o logaritmo dos pesos moleculares dos padrões. Os pesos moleculares aparentes dos componentes das amostras de arroz foram estimados por referência à curva de calibração.

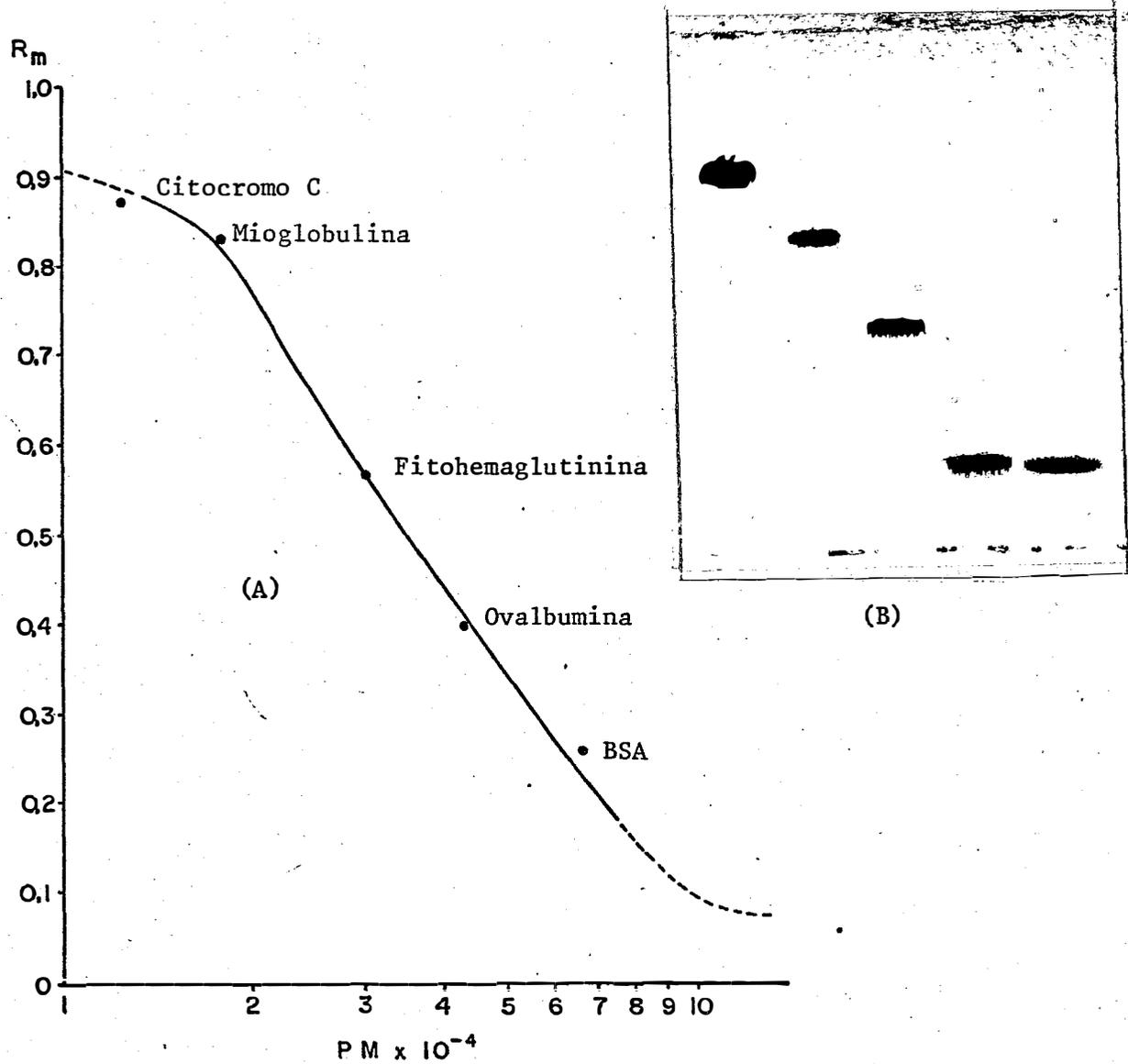


FIGURA 2 -- (A) Curva de calibração obtida da eletroforese de proteínas padrões, após dissociação;
(B) Uma fotografia do gel com os padrões.

4. RESULTADOS

4.1. Características do grão maduro

4.1.1. Peso

As médias do peso da matéria fresca dos grãos das cultivares IAC-1246, Agulha, Cartuna, Nuglin-24, IRAT-13, IET-1444 e IAC-47, são mostradas na Tabela 4, a qual apresenta também as médias de peso seco e dimensões dos grãos das quatro primeiras cultivares.

Entre as sete cultivares, a que apresentou grãos mais pesados foi a IRAT-13 e os grãos mais leves foram encontrados na IET-1444. Entre as quatro cultivares examinadas, totalmente, os grãos mais leves foram os da cultivar Cartuna e os mais pesados, os da cultivar IAC-1246. A cultivar Cartuna também mostrou menores comprimentos e espessuras do grão que a cultivar IAC-1246.

TABELA 4 - Pesos médios e dimensões médias do grão de sete cultivares de arroz.

Cultivar	Peso da matéria (g)		Dimensões (mm)		
	fresca	seca	comprimento	largura	espessura
IAC-1246	2,89	2,70	10,05	2,62	2,13
Agulha	2,61	2,44	9,80	2,73	1,92
Cartuna	2,38	2,23	9,20	2,52	1,96
Nuglin-24	2,71	2,55	10,05	2,67	2,04
IRAT-13	4,06*	-	-	-	-
IET-1444	2,25*	-	-	-	-
IAC-47	3,49*	-	-	-	-

* - dados de STONE (1983)

- não determinado

4.1.2. Proteína total

Material suficiente para a análise de nitrogênio e proteína foi disponível somente das cultivares IAC-1246, Agulha, Cartuna e Nuglin-24.

Os resultados das análises realizadas são vistos na Tabela 5. Pequenas variações nos teores de nitrogênio e proteína total foram observadas entre as cultivares. Os menores teores foram obtidos na cultivar IAC-1246 e os teores mais elevados foram encontrados na cultivar Cartuna. As cultivares Agulha e Nuglin-24 mostraram os mesmos valores para a proteína total.

TABELA 5 - Teores de N-total e proteína no grão de cultivares de arroz.

Cultivar	N-total (g N/100 g farinha)	Proteína (g P/100 g farinha) ^{a/}
IAC-1246	2,00	11,90
Agulha-ESAV	2,17	12,91
Cartuna	2,24	13,33
Nuglin-24	2,17	12,91

^{a/} calculado a partir do N-total multiplicado pelo fator 5,95.

4.1.3. Perfis polipeptídicos do endosperma

Os perfis polipeptídicos do endosperma de 7 amostras de cultivares de arroz é mostrado na Figura 3. As mobilidades relativas (R_m) dos polipeptídeos variaram de 0,14 a 0,87, correspondendo aos pesos moleculares (PMs) de 80000 a 12400. As bandas menos coradas são, principalmente, as que migraram mais lentamente no gel e as principais bandas ficaram entre os PMs 32000 e 12400.

O número de bandas detectado nos perfis não foi o mesmo para todas as cultivares. Dezoito bandas foram claramente vistas nos perfis das cultivares IAC-1246, IAC-47, Cartuna e Nuglin-24; entretanto, nos perfis das duas últimas cultivares, as bandas com PMs 32000 e 29000 foram mais largas que nos outros perfis. As mesmas bandas foram também detectadas nos perfis das cultivares Agulha, IET-1444 e IRAT-13, exceto que a banda com PM 16000 não foi detectada no perfil da cultivar IRAT-13, uma banda adicional com PM 17800 foi observada nestas três cultivares, uma banda com PM 19000 foi detectada nos perfis das cultivares Agulha e IET-1444, e um componente com PM 56000 foi menos intensamente corado nestas três cultivares, comparado com as outras quatro.

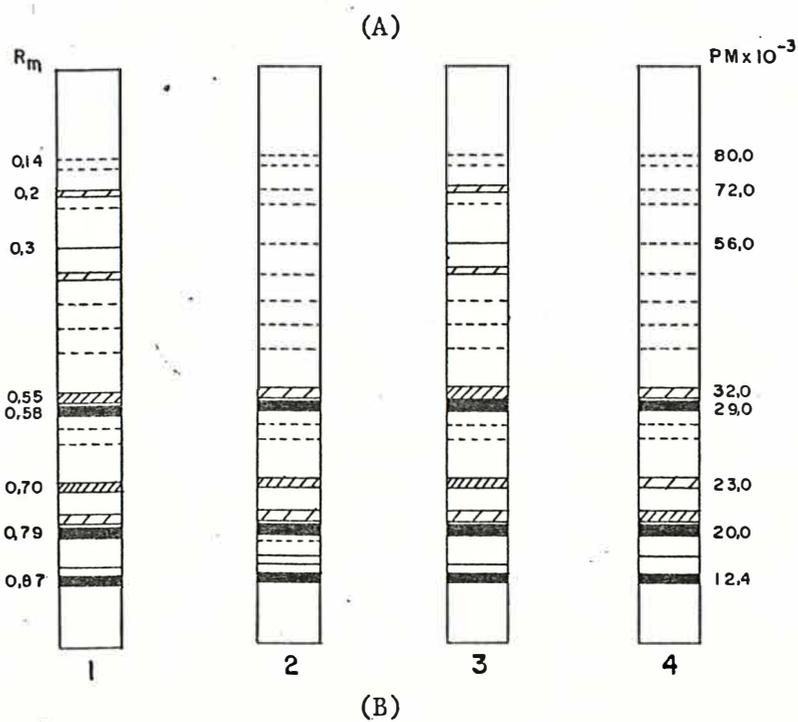
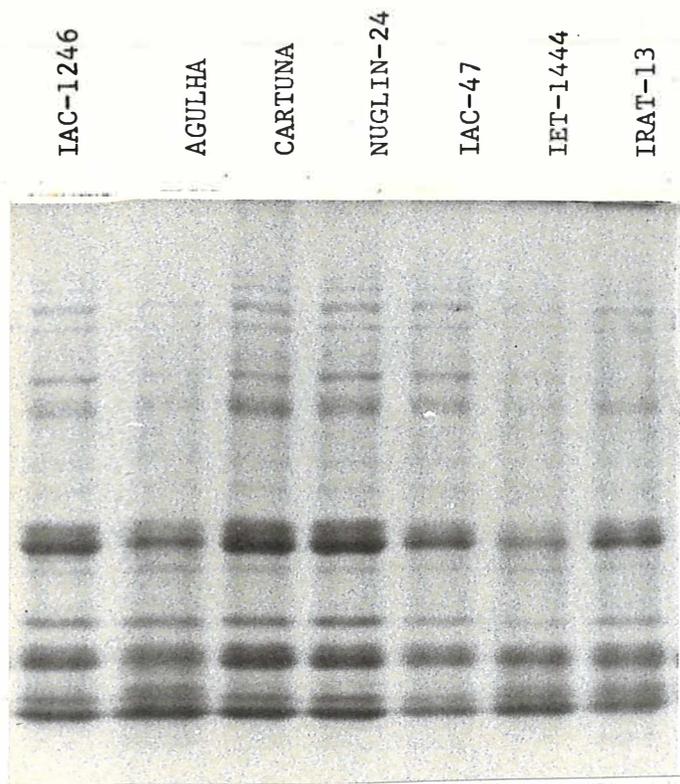


FIGURA 3 - Perfis polipeptídicos dos extratos de 7 cultivares, obtidos através da eletroforese sob condições dissociantes, em placa de gel de poliácrlamida.

(A) fotografia da placa;

(B) diagrama dos perfis: 1) IAC-1246 e 47; 2) Agulha e IET-1444; 3) Cartuna e Nuglin-24; 4) IRAT-13

4.1.4. Fracionamento da proteína do endosperma

A fim de identificar as frações proteicas nas quais variações observadas na composição polipeptídica ocorreram, as três frações proteicas de albumina + globulina, prolamina e glutelina foram preparadas das quatro cultivares, IAC-1246, Agulha, Cartuna e Nuglin-24. Perfis polipeptídicos das três frações (Figura 4) foram obtidos somente pela aplicação de diferentes volumes dos extratos no gel e aproximadamente dez vezes mais das frações albumina + globulina e prolamina foram necessárias, comparadas ao volume (5 μ l) utilizados para a fração glutelina.

Para cada uma das cultivares, os perfis das três frações não foram idênticos. A fração com a composição mais simples foi a fração prolamina, que apresentou para todas as cultivares somente polipeptídeos que migraram proximamente atrás da banda do corante indicador e então tiveram peso molecular não maior que 12400. Quando estas preparações foram parcialmente concentradas por evaporação, um segundo componente mais fracamente corado, com PM 17800, foi detectado ligeiramente acima da banda principal.

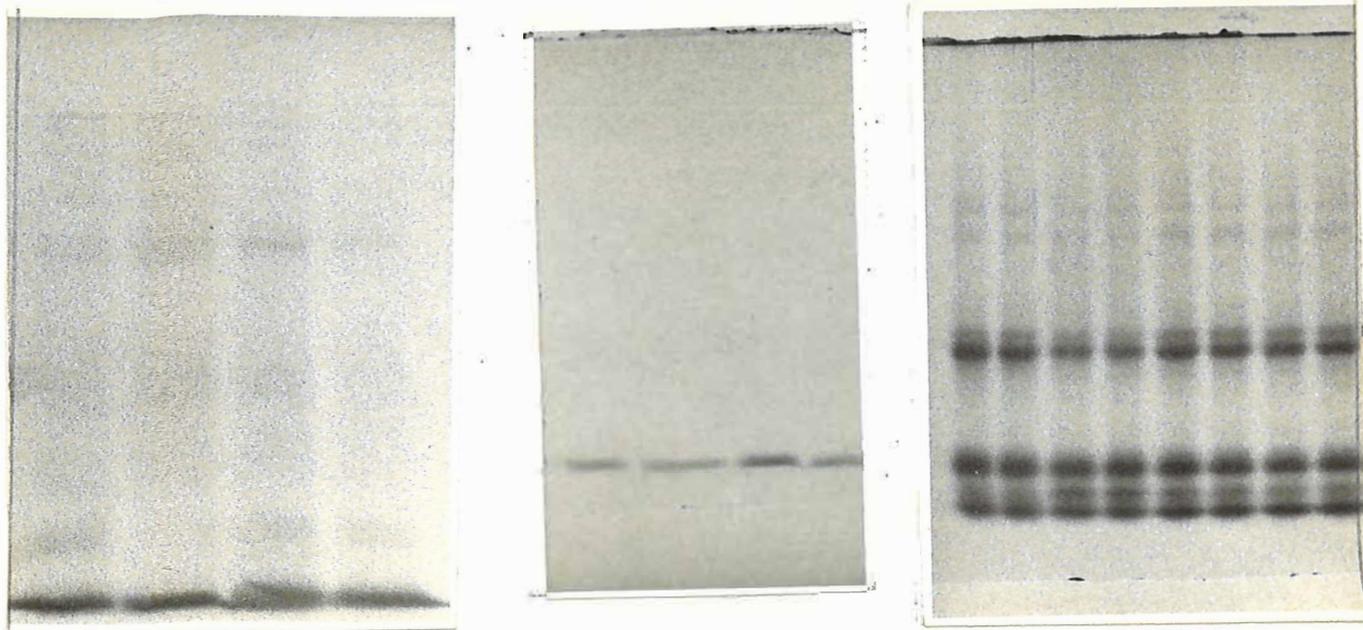
Cada fração glutelina exibiu aproximadamente 15 bandas com R_{f} s de 0,14 e 0,87, correspondendo a PMs de 80000 a 12400, muito semelhantes aos perfis obtidos dos extratos de proteína total. Entretanto, o componente com PM aparente de 23000 (R_m 0,70), observado nos extratos de proteína total, não foi visto nos perfis das frações glutelinas.

Os perfis de glutelina das cultivares Agulha, Cartuna e Nuglin-24 foram virtualmente idênticos. Entretanto, o perfil da cultivar

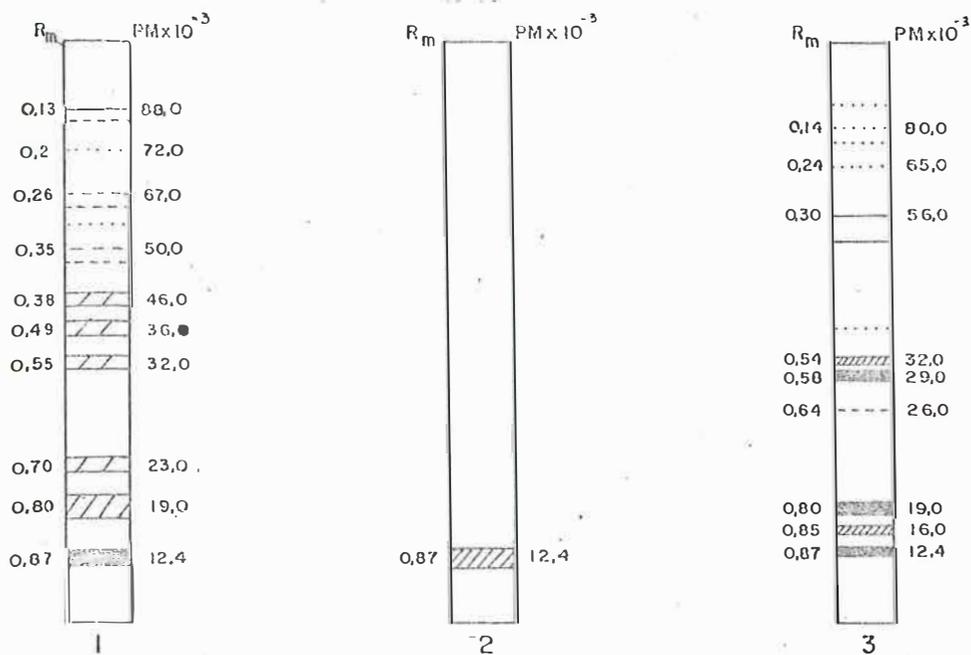
IAC-1246 diferiu destas em virtude de uma relativamente alta concentração do componente com PM 56000.

Componentes com PMs equivalentes àqueles dos polipeptídeos de glutelina foram observados nos perfis das frações albumina + globulina, embora as concentrações relativas dos componentes de baixa mobilidade tenham sido maiores. Além destes componentes, uma banda com PM aparente de 23000, foi detectada nos perfis das quatro cultivares examinadas. Diferenças nas concentrações relativas de polipeptídeos com PM entre 50000 e 67000 foram aparentes entre as quatro cultivares.

1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4



(A)



(B)

FIGURA 4 - Perfis polipeptídicos das frações albumina + globulina, prolamina e glutelina, das cultivares IAC-1246 (1), Agulha (2), Cartuna (3) e Nuglin-24 (4), obtidos por eletroforese em gel de poliacrilamida, em condições dissociantes.

(A) fotografias das placas;

(B) diagrama dos perfis: 1) A+G; 2) prolamina; 3) glutelina.

4.2. Características do grão em desenvolvimento

4.2.1. Proteína total

Os teores de N-total do grão das quatro cultivares, IAC-1246, Agulha, Cartuna e Nuglin-24, em diferentes estágios de desenvolvimento, são mostrados na Tabela 6.

O material disponível foi insuficiente para análise do grão colhido aos 4 e 6 dias após o florescimento (DAF).

Os teores de N-total de todas as amostras estiveram nos limites de $2,17 \pm 0,17\%$, correspondente ao teor de proteína total de 11,96 a 13,92%.

As cultivares IAC-1246 e Agulha não mostraram variação no teor de proteína total entre 10 e 18 DAF. Ao contrário, a cultivar Cartuna sofreu um decréscimo no teor de proteína total no período de 10-18 DAF, enquanto a cultivar Nuglin-24 mostrou uma tendência de aumento no referido período.

TABELA 6 - Teor de N-total e proteína no endosperma do grão de quatro cultivares de arroz, em três estágios de desenvolvimento.

Cultivar	DAF ^{b/}	N - total (g N/100g farinha)	Proteína (g P/100 g farinha) ^{a/}
IAC-1246	4	MI ^{c/}	-
	6	MI	-
	10	2,01	11,96
	18	2,01	11,96
	30	2,01	11,96
Agulha	4	MI	-
	6	MI	-
	10	2,17	12,91
	18	2,17	12,91
	30	2,17	12,91
Cartuna	4	MI	-
	6	MI	-
	10	2,34	13,92
	18	2,03	12,08
	30	2,24	13,33
Nuglin-24	4	MI	-
	6	MI	-
	10	2,03	12,08
	18	2,14	12,73
	30	2,17	12,91

^{a/} calculado a partir do N-total multiplicado pelo fator 5,95.

^{b/} dias após o florescimento.

^{c/} material insuficiente.

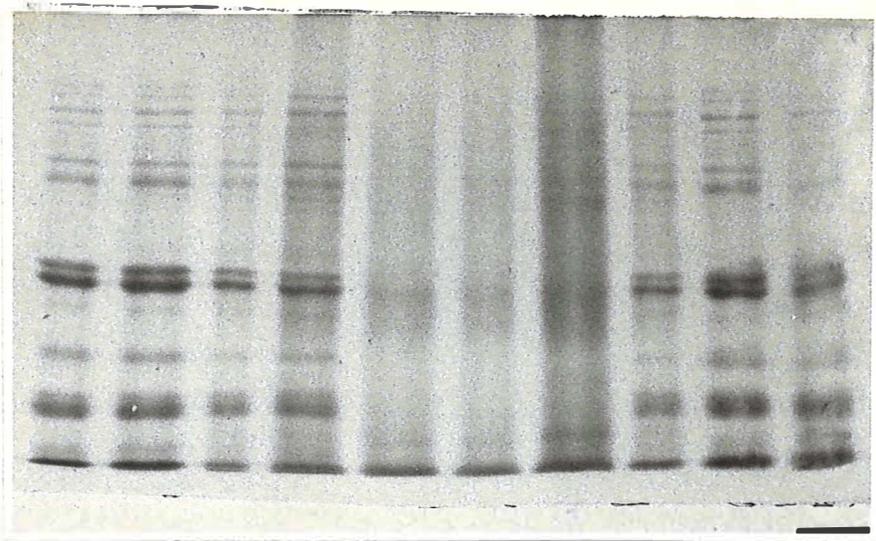
4.2.2. Perfis polipeptídicos do endosperma

Perfis polipeptídicos foram obtidos das quatro cultivares, em todos os estágios de desenvolvimento examinados (Figuras 5 e 6). Nos estágios iniciais, 4 a 6 dias após o florescimento (DAF), as concentrações de proteína nos extratos foram baixas por comparação com os estágios finais.

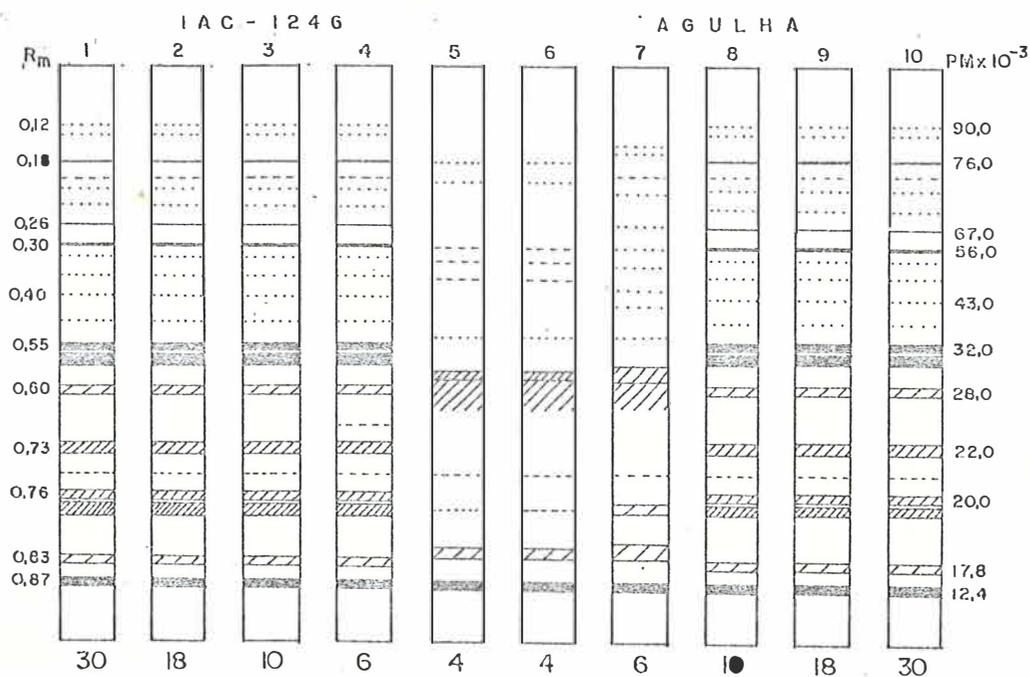
No 4º DAF somente um componente (PM 12400) foi detectado na amostra da cultivar Cartuna; na cultivar Nuglin-24, além deste componente, outros três foram detectados. Perfis mais fortemente corados foram obtidos das cultivares IAC-1246 e Agulha e os componentes mais proeminentes tiveram PMs 32000, 29000, 16000 e 12400. O componente de 12400 foi o mais fortemente corado. Nos perfis destas últimas cultivares, alguns polipeptídeos com PMs entre 90000 e 43000 foram detectados.

Perfis complexos, assemelhando-se àqueles das amostras de 4 DAF das cultivares IAC-1246 e Agulha, foram obtidos de todas as cultivares em 6 DAF. Componentes com PMs 32000 e 12400 foram proeminentes em cada um destes perfis e um ou mais outros polipeptídeos proeminentes com PMs num intervalo de 32000 a 20000 estiveram presentes e a composição deste grupo diferiu entre as cultivares.

As composições dos perfis dos grãos aos 10 e 18 DAF foram similares àqueles do material maduro (30 DAF), já descritas anteriormente.



(A)

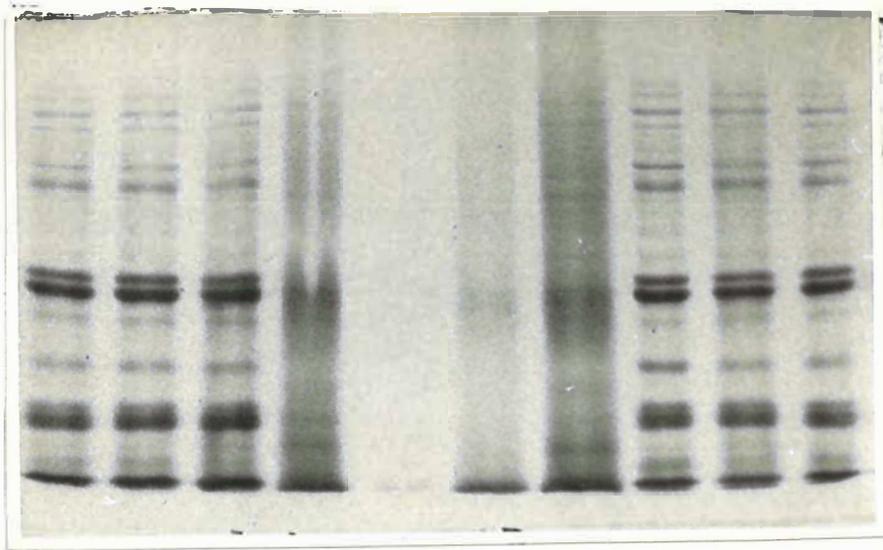


(B)

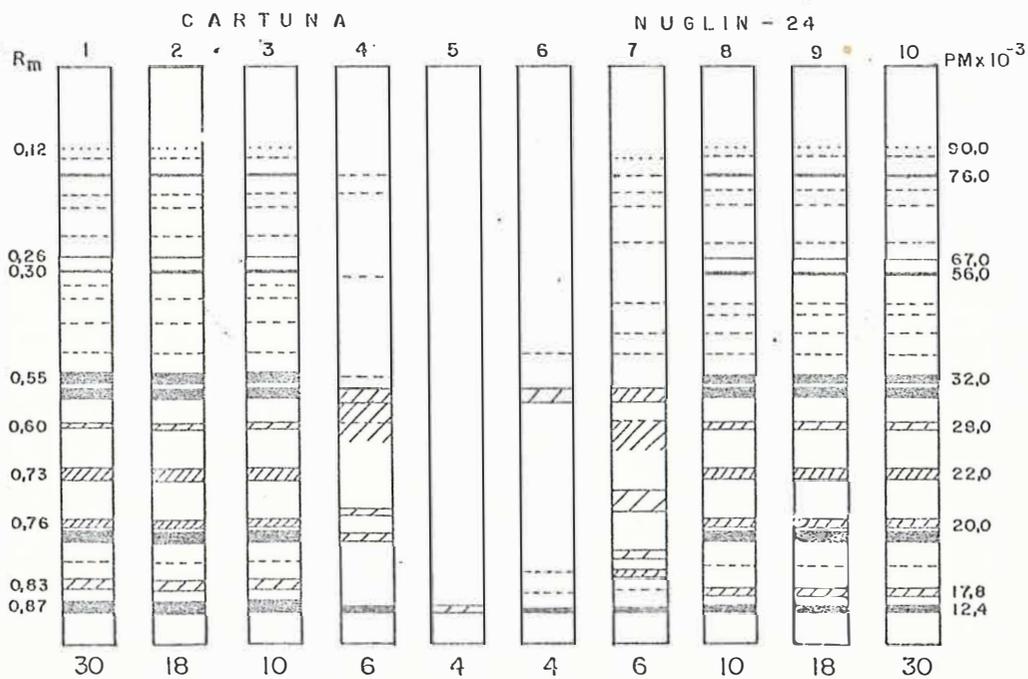
FIGURA 5 - Perfis polipeptídicos do extrato do grão de duas cultivares de arroz, em diferentes estágios de desenvolvimento, obtidos por eletroforese em gel de poliacrilamida em placa, sob condições dissociantes.

(A) fotografia da placa;

(B) diagrama dos perfis: 1,2,3,4 e 5 - IAC-1246, com 30, 18, 10, 6, 4 DAF; 6,7,8,9 e 10 - Agulha, com 4, 6, 10, 18 e 30 DAF.



(A)



(B)

FIGURA 6 - Perfis polipeptídicos do extrato do grão das cultivares Cartuna e Nuglin-24, nos estágios de 4 a 30 DAF, obtidos por eletroforese em gel de poliácridamida em placa, sob condições dissociantes.

(A) fotografia da placa;

(B) diagrama dos perfis: 1,2,3,4 e 5 - Cartuna com 30, 18, 10, 6 e 4 DAF; 6,7,8,9 e 10 - Nuglin-24 com 4, 6, 10, 18 e 30 DAF.

4.3. Efeitos de estresse de alumínio

4.3.1. Crescimento e desenvolvimento das plantas

4.3.1.1. Porte e altura das plantas - As médias do porte das cultivares IAC-1246, Agulha, Cartuna e Nuglin-24 são evidenciadas na Tabela 7 e na Figura 7. Verifica-se que entre os tratamentos não houve variação de 0 a 20 ppm de alumínio, mostrando redução a partir de 40 ppm.

Entre as cultivares, a Agulha apresentou o porte mais elevado em todos os tratamentos. As cultivares IAC-1246 e Nuglin-24 mostraram comportamento similar, com portes menores que as demais, exceto possivelmente a 80 ppm. A cultivar Cartuna foi intermediária entre aquelas e a cultivar Agulha.

Os dados referentes à média de altura atingida pelas plantas das quatro cultivares são mostrados na Tabela 8 e Figura 8. Níveis de alumínio até 20 ppm não afetaram significativamente a altura das plantas, entretanto, os níveis de 40 e 80 ppm reduziram progressivamente.

As plantas da cultivar Agulha foram as menos afetadas pelos altos níveis de alumínio, enquanto a IAC-1246 e, em menor extensão, a Nuglin-24, mostraram uma maior sensibilidade aos níveis mais altos do alumínio. A altura da IAC-1246 foi menor do que a da Agulha em todos os tratamentos, exceto, possivelmente, a 20 ppm de alumínio.

Para todas as cultivares, a altura das plantas foi menor do que o porte em todos os níveis de alumínio.

TABELA 7 - Porte médio das plantas de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

Dose de Al (ppm)	Porte Médio (m)					Médias/Tratamento
	IAC-1246	Agulha	Cartuna	Nuglin-24		
0	1,28C	1,57A	1,45B	1,23C		1,38a
10	1,32C	1,58A	1,46B	1,25C		1,40a
20	1,27C	1,68A	1,44B	1,23C		1,40a
40	1,08C	1,28A	1,20AB	1,14BC		1,18b
80	0,65B	1,18A	0,72B	0,69B		0,81c
Média	1,12C	1,46A	1,25B	1,11C		

Valores de F para porte médio da raiz, de quatro cultivares em diferentes níveis de alumínio

Cultivares (A) 164,94**

Tratamento (B) 329,96**

A x B 7,54**

A dentro de B₁ 30,09**

A dentro de B₂ 26,95**

A dentro de B₃ 51,11**

A dentro de B₄ 9,61**

A dentro de B₅ 77,35**

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, dentro de cada tratamento, pelo Teste de Tukey; ** = significância ao nível de 1% de probabilidade.

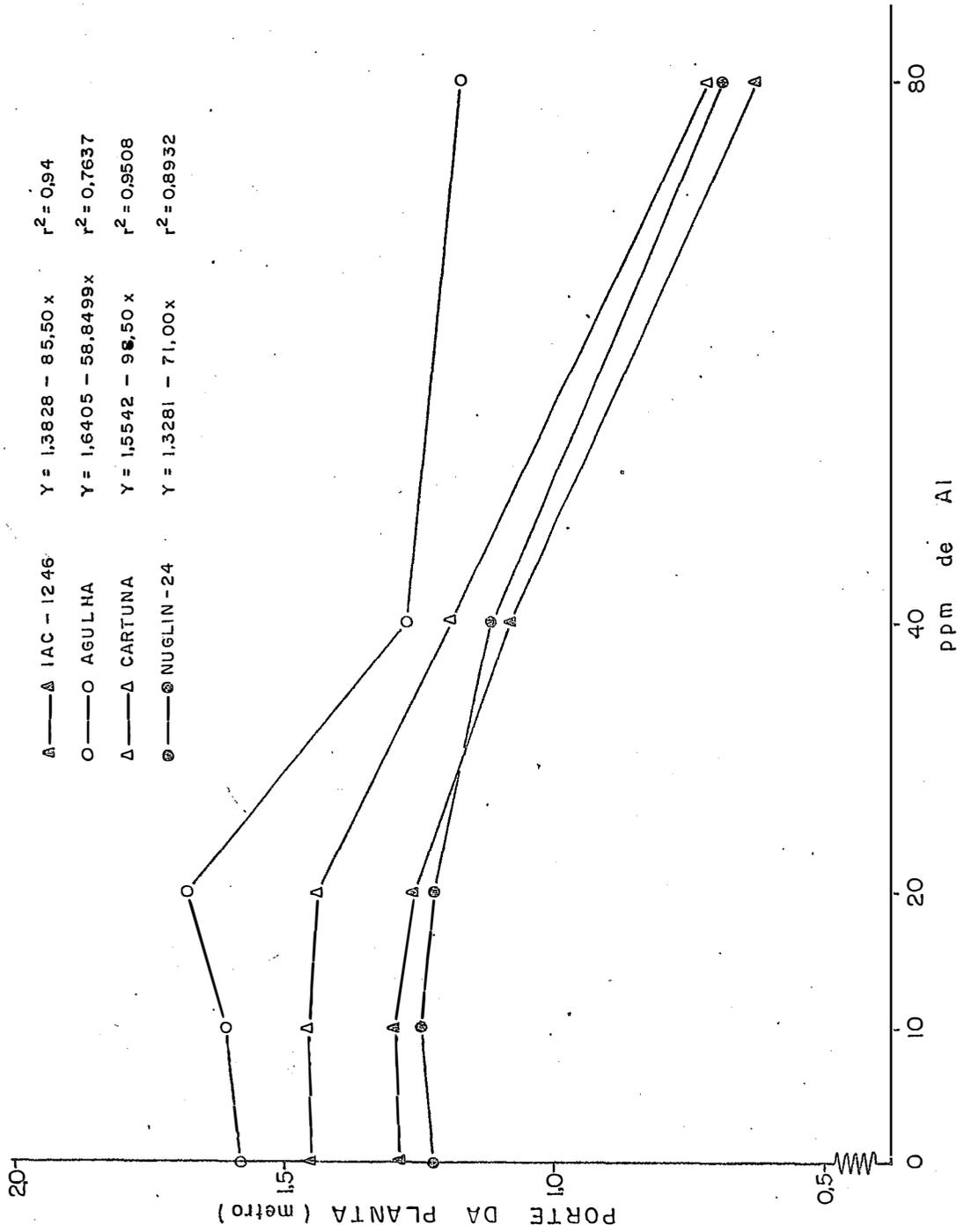


FIGURA 7 - Porte médio de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

TABELA 8 - Altura média das plantas de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

Dose de Al (ppm)	Altura Média (m)					Média/Tratamento
	IAC-1246	Agulha	Cartuna	Nuglin-24		
0	0,82B	0,88A	0,86AB	0,83AB		0,85a
10	0,81B	0,88A	0,83B	0,84AB		0,84ab
20	0,80A	0,85A	0,81A	0,81A		0,80a
40	0,65B	0,81A	0,80A	0,76A		0,65b
80	0,58C	0,73A	0,67B	0,57C		0,58c
Média	0,73D	0,83A	0,80B	0,76C		

Valores de F para altura média das plantas de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de Al

Cultivares (A) 43,40**
 Tratamento (B) 143,93**
 A x B 5,26**
 A dentro de B₁ 3,56*
 A dentro de B₂ 4,87**
 A dentro de B₃ 2,57
 A dentro de B₄ 24,81**
 A dentro de B₅ 28,63**

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, dentro de cada tratamento, pelo Teste de Tukey; ** = significância ao nível de 1% de probabilidade.

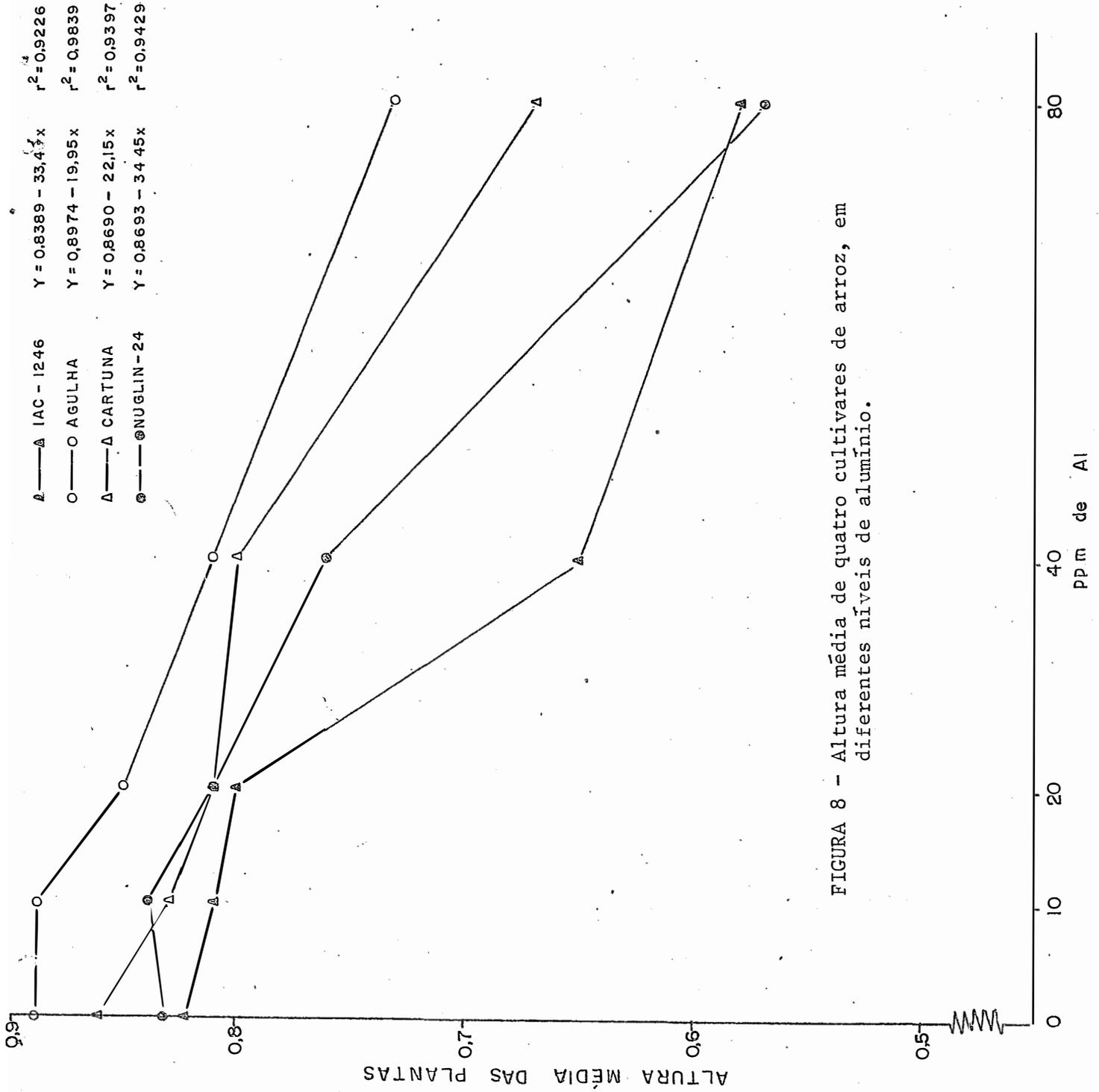


FIGURA 8 - Altura média de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

4.3.1.2. Comprimento médio da raiz - As médias do comprimento da raiz das quatro cultivares durante a fase vegetativa, são mostradas na Tabela 9 e na Figura 9.

Observa-se que os tratamentos não diferiram entre si até 20 ppm de alumínio e, a partir daí, ocorreram diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade.

Na ausência de alumínio, não foram notadas diferenças estatisticamente significativas entre as quatro cultivares. Entretanto, foi observado o maior comprimento na cultivar IAC-1246, em todos os tratamentos com alumínio e um aumento na média do comprimento desta cultivar, ocorreu entre 0 e 20 ppm de alumínio.

As cultivares Cartuna e Nuglin-24 foram igualmente afetadas por todos os níveis de alumínio. O comprimento da cultivar Agulha foi menor aos 80 ppm, quando comparado com o daquelas duas cultivares, embora nos níveis menores, não tenha diferido substancialmente.

TABELA 9 - Comprimento médio da raiz, de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

Dose de Al (ppm)	Comprimento (m)					Média/Tratamento
	IAC-1246	Agulha	Cartuna	Nuglin-24		
0	0,48A	0,43A	0,43A	0,45A		0,45a
10	0,50A	0,39B	0,38B	0,43B		0,43a
20	0,53A	0,36C	0,41BC	0,43B		0,43a
40	0,44A	0,39B	0,39AB	0,38AB		0,39b
80	0,38A	0,24C	0,34AB	0,32B		0,32C
Média	0,47A	0,35C	0,39B	0,40B		

Valores de F para comprimento médio da raiz, das quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de Al

Cultivares (A)	50,10**
Tratamento (B)	46,15**
A x B	2,73**
A dentro de B ₁	2,46
A dentro de B ₂	13,30**
A dentro de B ₃	22,11**
A dentro de B ₄	7,68**
A dentro de B ₅	15,48**

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, dentro de cada tratamento, pelo Teste de Tukey; ** = significância ao nível de 1% de probabilidade.

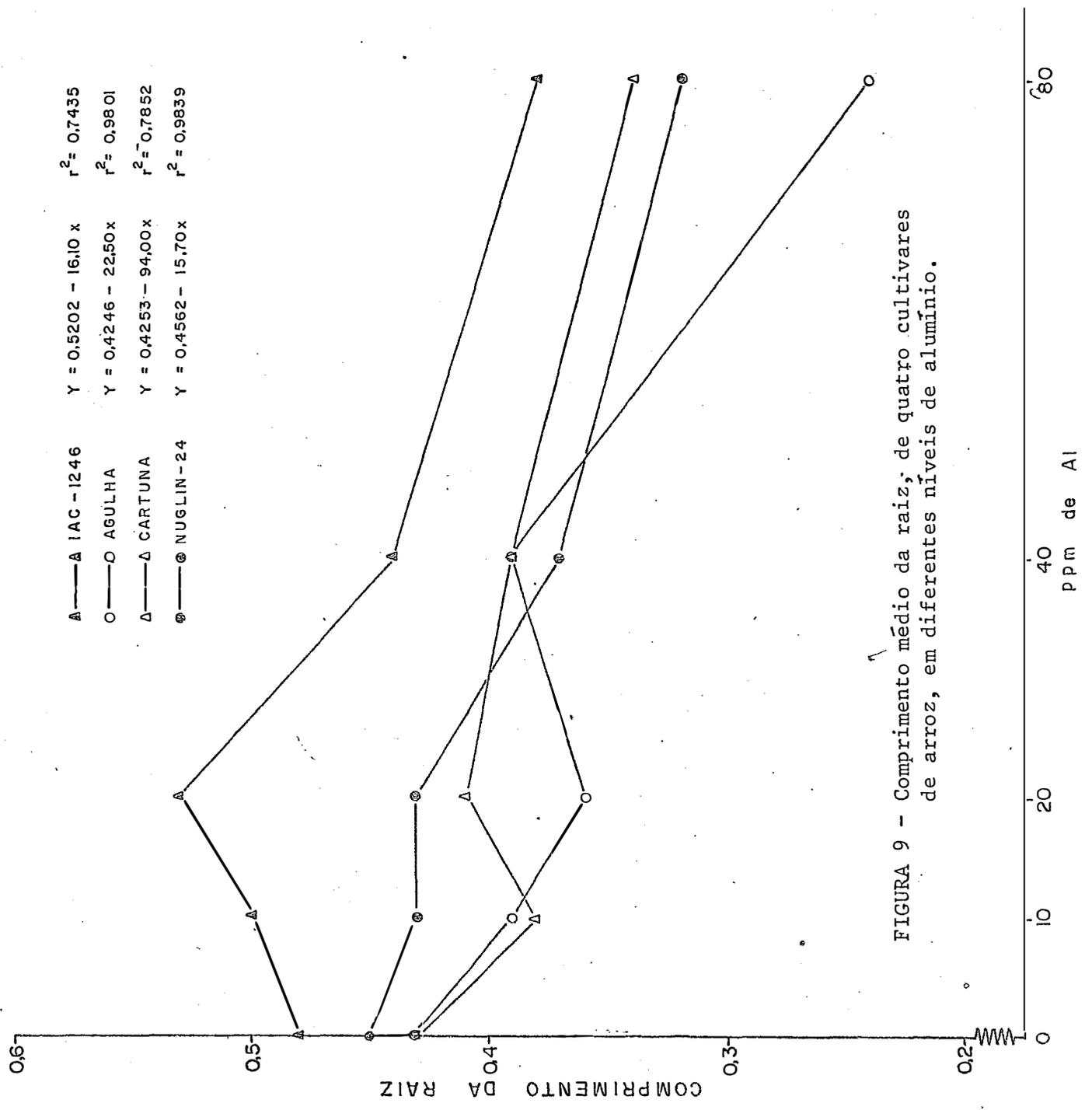


FIGURA 9 - Comprimento médio da raiz, de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

4.3.1.3. Média do peso da matéria seca da raiz - Os valores dos pesos médios da raiz, das quatro cultivares, obtidos nos vários tratamentos, estão sumarizados na Tabela 10 e Figura 10.

Verifica-se que os tratamentos mostraram diferenças entre si. Todos os tratamentos com alumínio, especialmente 80 ppm, reduziram o peso da raiz e as reduções a 10 ppm de alumínio foram maiores estatisticamente do que a 20 ppm.

As médias para a cultivar Agulha foram maiores em cada tratamento que as médias da cultivar Nuglin-24, e foram também maiores que as da cultivar Cartuna à 0, 10 e 80 ppm de alumínio. Por outro lado, as médias para a cultivar IAC-1246 foram significativamente mais baixas que aquelas da cultivar Agulha somente nos mais altos níveis de alumínio usados; entretanto, para a maioria dos tratamentos, as médias da cultivar IAC-1246 não diferiram significativamente das médias das cultivares Cartuna e Nuglin-24.

TABELA 10 - Pesos médios da raiz de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

Dose de Al (ppm)	Peso Médio (g)					Média/Tratamento
	IAC-1246	Agulha	Cartuna	Nuglin-24		
0	24,11AB	25,90A	21,00BC	18,96C		22,49a
10	17,66AB	21,21A	16,31B	13,47B		17,16c
20	19,48AB	23,25A	19,39AB	16,68B		19,70b
40	18,68A	21,81A	18,27A	13,31B		18,02b
80	9,69B	16,61A	9,69B	9,14B		11,28d
Média	17,76B	21,76A	16,93B	14,31C		

Valores de F para peso médio da raiz, das quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de Al

Cultivares (A)	34,79**
Tratamento (B)	50,07**
A x B	0,85
A dentro de B ₁	7,05**
A dentro de B ₂	7,54**
A dentro de B ₃	5,32**
A dentro de B ₄	9,01**
A dentro de B ₅	9,28**

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, dentro de cada tratamento, pelo Teste de Tukey; ** = significância ao nível de 1% de probabilidade.

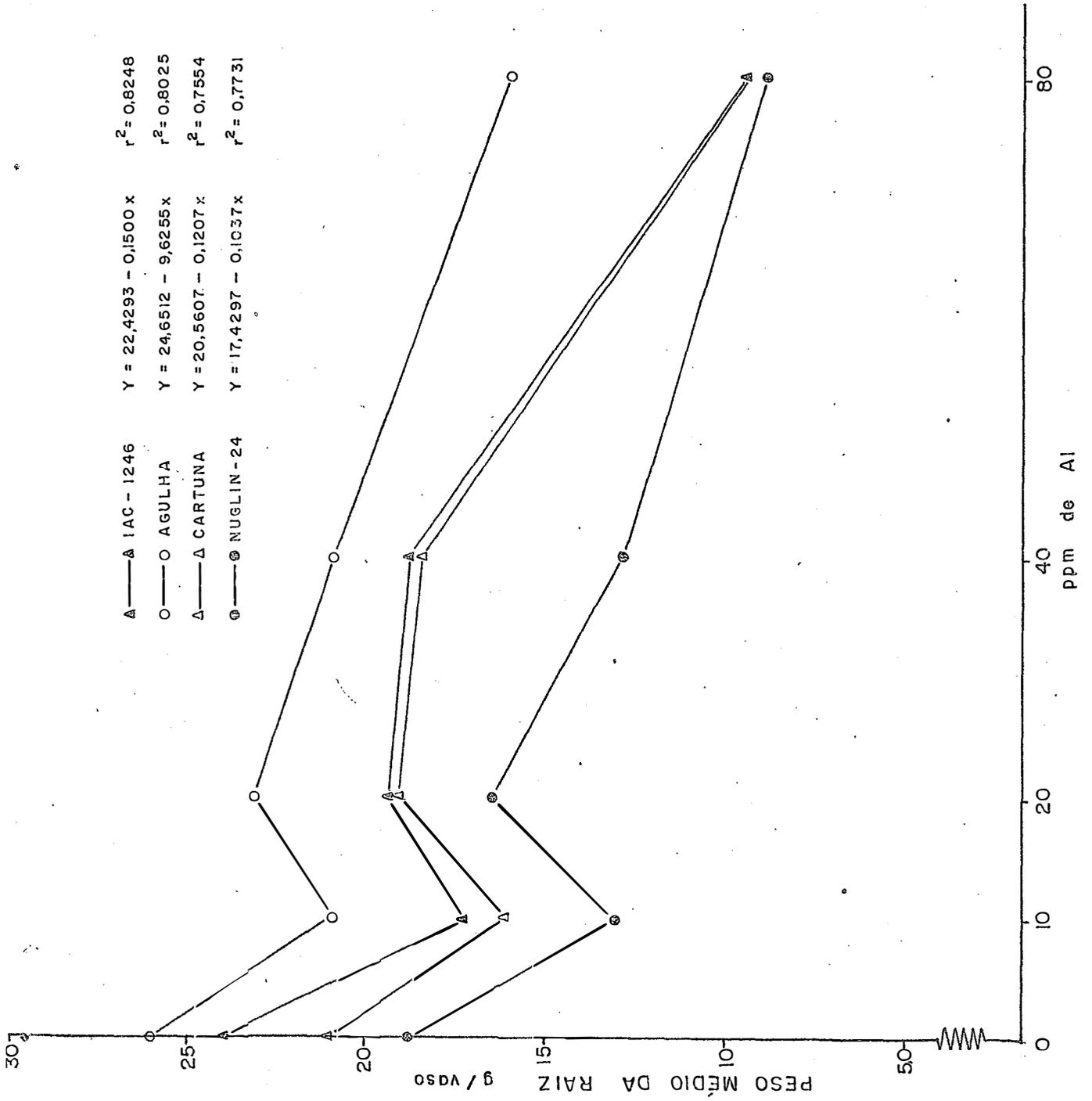


FIGURA 10 - Peso médio da raiz de quatro cultivares de arroz em diferentes níveis de alumínio.

4.3.1.4. Média do peso da matéria seca do colmo - A média do peso seco do colmo (Tabela 11 e Figura 11) foi reduzida por todos os níveis de alumínio, sendo mais afetada a 80 ppm. Entretanto, é interessante observar que mesmo 10 ppm reduziu os pesos em quase 50%.

Os dados obtidos revelam diferenças entre as cultivares, e a cultivar Agulha foi a que alcançou o maior peso seco do colmo, nos vários tratamentos usados. A cultivar IAC-1246 foi similar à Cartuna no tratamento sem alumínio e a esta cultivar e à Nuglin-24 nos tratamentos correspondentes a 40 e 80 ppm de alumínio. Com relação a 10 e 20 ppm, os valores obtidos pela cultivar IAC-1246 ficaram como intermediários entre os de Agulha e Cartuna. A cultivar Nuglin-24 foi a que apresentou os valores mais baixos entre os três primeiros tratamentos.

TABELA 11 - Média do peso seco do colmo de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

Dose de Al (ppm)	Peso Médio (g)					Média/Tratamento
	IAC-1246	Agulha	Cartuna	Nuglin-24		
0	15,42B	18,22A	14,32B	12,25C		15,05a
10	8,73B	9,93A	7,47BC	6,80C		8,23b
20	8,52B	12,32A	7,76BC	6,19C		8,70b
40	5,70B	8,19A	5,48B	5,03B		6,10c
80	2,99B	5,22A	2,46B	2,92B		3,40d
Média	8,27B	10,78A	7,50C	6,64C		

Valores de F para peso seco médio do colmo de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de Al

Cultivares (A)	73,83**
Tratamento (B)	346,57**
A x B	2,94**
A dentro de B ₁	28,69**
A dentro de B ₂	8,90**
A dentro de B ₃	31,48**
A dentro de B ₄	9,40**
A dentro de B ₅	7,11**

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, dentro de cada tratamento, pelo Teste de Tukey; ** = significância ao nível de 1% de probabilidade.

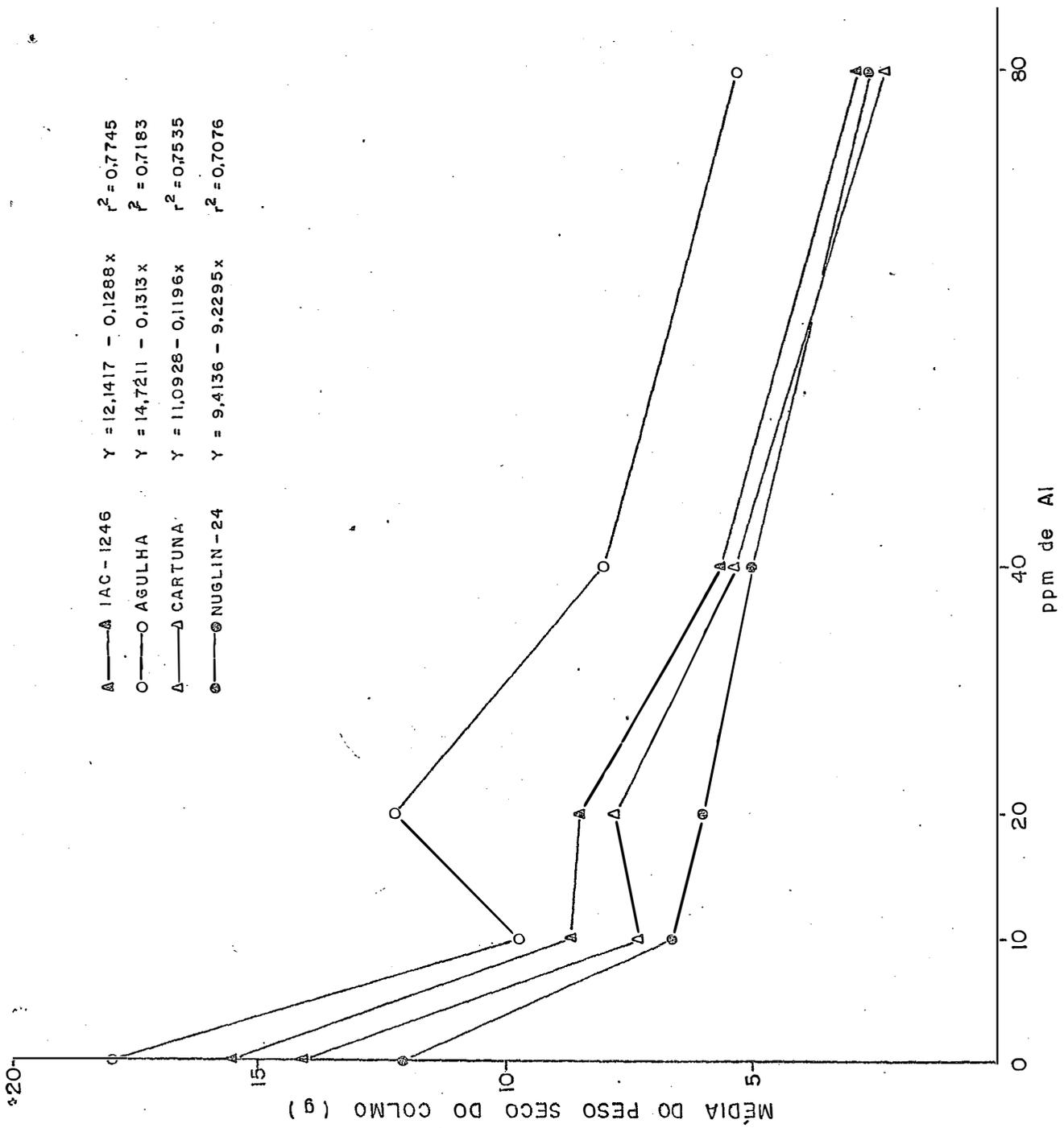


FIGURA 11 - Peso médio do colmo de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

4.3.1.5. Número de panículas - Foram obtidas panículas de todos os perfilhos formados durante o desenvolvimento de todas as plantas das quatro cultivares. Uma vez que todos os colmos também produziram panículas, o número produzido em cada planta foi igual ao número de perfilhos mais 1.

As médias do número de panículas são mostradas na Tabela 12 e na Figura 12. Os dados revelam que houve diferenças significativas entre os tratamentos em geral; entretanto, os valores obtidos com alumínio a 10 e 20 ppm não diferiram entre si, sendo inferiores ao tratamento sem alumínio e superior aos demais.

Entre cultivares, foi observado que a cultivar Agulha apresentou um maior número médio de panículas em todos os tratamentos. Entretanto, as diferenças entre a cultivar Agulha e a cultivar IAC-1246 não foram estatisticamente significativas em todos os níveis, exceto em 20 e 40 ppm de alumínio. Aquelas entre a cultivar Agulha e a Cartuna não foram significativas em 40 ppm e as diferenças entre a Agulha e a Nuglin-24 não foram significativas aos 80 ppm. A cultivar IAC-1246 teve sua produção de panículas ligeiramente superior à cultivar Cartuna e à Nuglin-24 no tratamento de 10 ppm de alumínio, semelhante no tratamento de 20 ppm, inferior aos 40 ppm e aos 80 ppm semelhante somente à cultivar Nuglin-24. As cultivares Cartuna e Nuglin-24 tiveram o mesmo comportamento entre si, exceto a 80 ppm.

Nos níveis mais altos de alumínio, o número médio de panículas obtido pela cultivar Cartuna foi menor que o obtido pelas três outras cultivares.

TABELA 12 - Número médio de panículas de cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

Dose de Al (ppm)	Número de Panículas por Vaso					Média/Tratamento
	IAC-1246	Agulha	Cartuna	Nuglin-24		
0	21,60A	24,40A	16,40B	16,20B		19,65a
10	15,20AB	19,60A	14,80B	11,40B		15,25b
20	14,60B	21,60A	13,00B	12,00B		15,30b
40	8,40B	14,80A	10,20AB	12,00AB		11,35c
80	8,00AB	11,80A	5,60B	8,40AB		8,45d
Média	13,65B	18,44A	12,00B	12,00B		13,56B

Valores de F para número médio de panículas, de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de Al

- Cultivares (A) 28,41**
- Tratamento (B) 44,59**
- A x B 2,11*
- A dentro de B₁ 9,94**
- A dentro de B₂ 6,91**
- A dentro de B₃ 11,47**
- A dentro de B₄ 4,55**
- A dentro de B₅ 3,98*

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, dentro de cada tratamento, pelo Teste de Tukey; ** = significância ao nível de 1% de probabilidade.

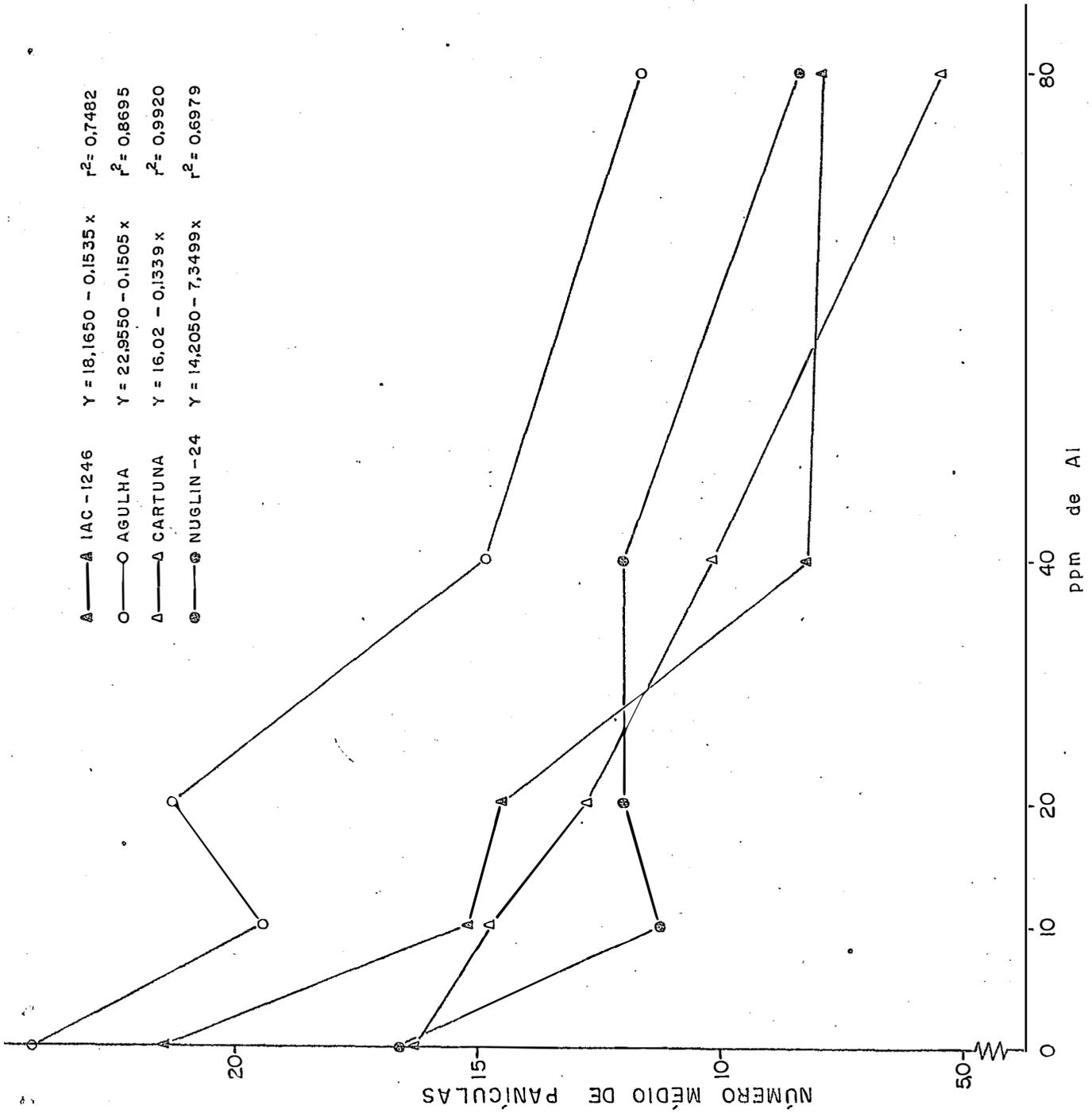


FIGURA 12 - Número médio de panículas de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de Al.

4.3.1.6. Produção de grãos - As médias de produção de grãos das quatro cultivares de arroz são mostradas na Tabela 13 e na Figura 13.

Todos os níveis de alumínio reduziram a produção de grãos por comparação com o tratamento sem alumínio, e este efeito foi mais aparente em 80 ppm. Entretanto, a produção obtida em 20 ppm de alumínio não diferiu substancialmente daquela obtida com 10 ppm, enquanto que, com exceção da cultivar Nuglin-24, uma redução substancial foi obtida entre 20 e 40 ppm.

Entre as cultivares, a maior produção foi obtida pela cultivar Agulha em cada um dos tratamentos, exceto 40 ppm de alumínio. Mesmo com 10 ppm de alumínio, a produção da cultivar Agulha não foi menor que as produções obtidas pelas outras cultivares na ausência de alumínio, enquanto com 30 ppm, a produção desta cultivar foi aparentemente igual à aquelas obtidas pelas outras cultivares em 40 ppm de alumínio.

Entre as demais cultivares, não foram notadas diferenças marcantes, exceto que a produtividade da Nuglin-24 foi estável nos níveis de 10 e 40 ppm.

TABELA 13 - Produções médias de grãos(g) de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

Dose de Al (ppm)	Produções Médias				
	IAC-1246	Agulha	Cartuna	Nuglin-24	Média/Tratamento
0	46,87B	62,19A	44,88B	41,50B	48,86a
10	30,18BC	47,77A	35,41B	24,18C	34,38b
20	30,17B	47,43A	40,45A	25,55B	35,90b
40	18,65A	25,09A	20,05A	24,09A	21,97c
80	5,63B	18,03A	1,42B	3,61B	7,17d
Média	25,90BC	40,10A	28,44B	24,19C	

DMS (Tukey 5%)	Cultivares	3,72
	Tratamento	3,96
	A x B	5,20
	A dentro de B	3,72
	B dentro de A	3,96

Valores de F para produção de grão de quatro cultivares, em diferentes níveis de alumínio

Cultivares (A)	42,29**
Tratamento (B)	163,30**
A x B	3,68**
A dentro de B ₁	13,76**
A dentro de B ₂	16,52**
A dentro de B ₃	16,07**
A dentro de B ₄	1,58**
A dentro de B ₅	9,08**

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, dentro de cada tratamento, pelo Teste de Tukey; ** = significância ao nível de 1% de probabilidade.

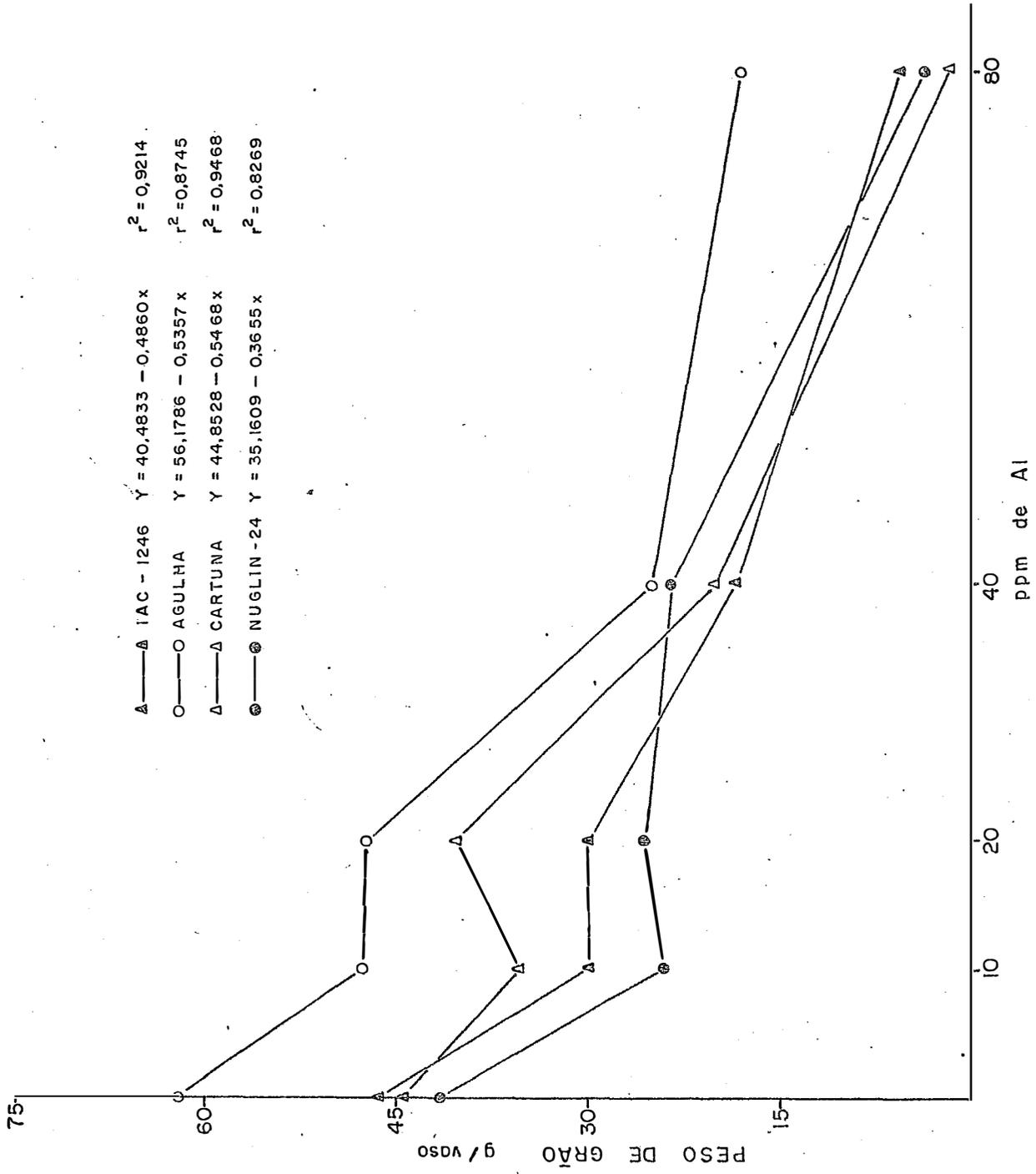


FIGURA 13 - Peso médio do grão de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

4.3.2. Características do grão

4.3.2.1. Pesos médios e número de grãos - As médias dos pesos frescos e seco do grão, das quatro cultivares de arroz, estão sumariadas na Tabela 14.

A umidade dos grãos em todos os tratamentos foi de aproximadamente 6,5%.

Na ausência do alumínio, os grãos da cultivar Cartuna tiveram pesos frescos e secos menores do que os das outras cultivares. Os tratamentos até 40 ppm de alumínio não reduziram os pesos e, possivelmente, 10 e 20 ppm aumentaram em 10% os pesos de todas as cultivares, com exceção dos da cultivar Cartuna. No tratamento com 80 ppm, os pesos dos grãos da cultivar IAC-1246 e Nuglin-24 sofreram decréscimos de aproximadamente 22%, enquanto que os pesos dos grãos da cultivar Agulha foram substancialmente menos afetados.

Considerando juntos os dados de produção e peso médio do grão, é aparente que a variação em peso médio contribuiu pouco para a variação da produção resultante de diferentes tratamentos com alumínio. O número calculado de grãos produzidos por vaso (Tabela 15), mostra a tendência de variações similares àquelas na produção. Então, a razão que mais contribuiu para variar a produção foi a variação no número de grãos e isto é visto na Tabela 16, que apresenta valores percentuais destes três parâmetros relativos aos valores obtidos a 0 ppm de alumínio.

TABELA 14 - Pesos médios e umidade do grão de quatro cultivares de arroz, desenvolvidas em diferentes níveis de alumínio.

Cultivar	Tratamentos (Al, ppm)	Peso (g)		Umidade (%)
		fresco	seco	
<u>IAC-1246</u>	0	2,89	2,70	6,57
	10	3,25	3,08	5,23
	20	3,24	2,99	7,71
	40	3,10	2,93 ^a	5,48
	80	2,52	2,37	5,95
<u>Agulha</u>	0	2,61	2,44	6,51
	10	2,73	2,55	6,59
	20	2,87	2,67	6,96
	40	2,93	2,69	8,19
	80	2,75	2,61	5,09
<u>Cartuna</u>	0	2,38	2,23	6,30
	10	2,40	2,24	6,66
	20	2,41	2,24	7,05
	40	2,33	2,18	6,43
	80	MI ^{b/}	-	-
<u>Nuglin-24</u>	0	2,71	2,55	5,90
	10	2,84	2,65	6,69
	20	3,06	2,85	6,86
	40	2,83	2,64	6,71
	80	2,06	1,93	6,31

^{a/} média dos pesos de três repetições de 100 grãos

^{b/} material insuficiente

TABELA 15 - Número médio de grãos de arroz de quatro cultivares, desenvolvidas em diferentes níveis de alumínio.

Cultivar	Tratamento (Al, ppm)	Nº Médio de Grãos/Vaso ^{a/}
<u>IAC-1246</u>	0	1621,79
	10	928,61
	20	931,17
	40	601,61
	80	223,41
<u>Agulha</u>	0	2382,75
	10	1749,81
	20	1652,61
	40	856,31
	80	655,63
<u>Cartuna</u>	0	1885,71
	10	1475,41
	20	1678,42
	40	860,00
	80	MI ^{b/}
<u>Nuglin-24</u>	0	1531,36
	10	851,40
	20	834,96
	40	851,23
	80	175,24

^{a/} vasos com quatro plantas

^{b/} material insuficiente

TABELA 16 - Valores relativos de produção, peso médio e número de grãos, de quatro cultivares de arroz, desenvolvidas em diferentes níveis de alumínio.

Cultivar	Tratamentos (Al, ppm)	Produção (%)	Peso de Grãos (%)	Nº de Grãos (%)
<u>IAC-1246</u>	0	100	100	100
	10	64,39	112	57,25
	20	64,36	112	57,41
	40	39,79	107	37,09
	80	12,01	87	13,77
<u>Agulha</u>	0	100	100	100
	10	76,81	104	73,43
	20	76,26	109	69,35
	40	40,34	112	35,93
	80	28,99	105	27,51
<u>Cartuna</u>	0	100	100	100
	10	78,89	100	78,24
	20	90,02	101	89,00
	40	44,67	97	45,63
	80	MI ^{a/}	MI	MI
<u>Nuglin-24</u>	0	100	100	100
	10	58,26	104	55,59
	20	61,56	112	54,52
	40	58,04	104	55,58
	80	8,69	76	11,44

^{a/} material insuficiente

4.3.2.2. Dimensões médias do grão - As características relativas ao comprimento, largura e espessura dos grãos de arroz das quatro cultivares de arroz são vistas na Tabela 17.

As características relacionadas ao tipo dos grãos, das quatro cultivares, foram afetadas pelos tratamentos com alumínio. As dimensões dos grãos também foram afetadas pelos tratamentos até 20 ppm e aquelas dos grãos da cultivar Agulha não foram alteradas, mesmo no tratamento com 80 ppm de alumínio. As dimensões dos grãos da cultivar Nuglin-24 também não foram alteradas pelo tratamento com 40 ppm de alumínio, entretanto, o comprimento dos grãos da cultivar IAC-1246 e, possivelmente, o dos grãos da cultivar Cartuna, foi reduzido por este tratamento.

Em 80 ppm, somente o comprimento da cultivar IAC-1246 foi reduzido, ainda que todas as três dimensões dos grãos da cultivar Nuglin 24 tenham sido reduzidas por este nível de alumínio.

Os valores na Tabela 17 indicam que no tratamento com 80 ppm de alumínio a cultivar Nuglin-24 apresentou os menores grãos e a maior redução em tamanho, enquanto a cultivar Agulha apresentou os grãos maiores e não experimentaram redução de tamanho.

TABELA 17 - Dimensões médias do grão de quatro cultivares de arroz, desenvolvidas em diferentes níveis de alumínio.

Cultivar	Tratamentos (Al, ppm)	Dimensões (mm) ^{a/}		
		comprimento	largura	espessura
<u>IAC-1246</u>	0	10,05	2,62	2,13
	10	9,83	2,56	2,09
	20	9,56	2,57	2,08
	40	8,31	2,46	2,05
	80	8,20	2,41	2,00
<u>Agulha</u>	0	9,80	2,73	1,92
	10	9,96	2,70	1,98
	20	9,86	2,65	1,86
	40	9,52	2,81	1,99
	80	9,83	2,89	2,04
<u>Cartuna</u>	0	9,20	2,52	1,96
	10	9,41	2,35	1,91
	20	9,29	2,64	1,98
	40	8,83	2,52	1,91
	80	MI ^{b/}		
<u>Nuglin-24</u>	0	10,05	2,67	2,04
	10	10,07	2,73	2,04
	20	9,91	2,66	2,09
	40	9,89	2,64	2,09
	80	7,59	2,32	1,83

^{a/} média das dimensões de 20 grãos

^{b/} material insuficiente

4.3.2.3. Proteína total - Os teores de N-total do grão das quatro cultivares submetidas a diferentes níveis de alumínio, são mostrados na Tabela 18.

Os teores de N-total variaram de 2,01 a 2,24%, correspondendo aos teores de proteína de 11,96 a 13,33%. Diferenças no teor proteico maiores que 1 g de proteína/100 g de farinha não foram observadas, exceto para o teor do grão da cultivar Nuglin-24 em 40 ppm, que foi 1,3% menor que o teor em 0 ppm. Entretanto, valores obtidos dos grãos das cultivares Agulha, Cartuna e Nuglin-24, desenvolvidas em 20 ppm e dos grãos da cultivar Nuglin-24 em 80 ppm, foram 0,84 g de proteína/100 g de farinha menores do que os valores a 0 ppm. Outras diferenças notadas não excederam de 0,5 g de proteína/100 g de farinha.

TABELA 18 - Teor de N-total e proteína no endosperma do grão de quatro cultivares de arroz, em diferentes níveis de alumínio.

Cultivar	Tratamentos (Al, ppm)	N - total (g N/100g farinha)	Proteína (g P/100g farinha) ^{a/}
<u>IAC-1246</u>	0	2,01	11,96
	10	2,01	11,96
	20	2,01	11,96
	40	1,99	11,84
	80	2,01	11,96
<u>Agulha (ESAV)</u>	0	2,17	12,91
	10	2,17	12,91
	20	2,03	12,07
	40	2,17	12,91
	80	2,10	12,49
<u>Cartuna</u>	0	2,24	13,33
	10	2,13	12,67
	20	2,10	12,49
	40	2,17	12,91
	80	MI ^{b/}	-
<u>Nuglin-24</u>	0	2,17	12,91
	10	2,06	12,26
	20	2,03	12,07
	40	1,96	11,60
	80	2,03	12,07

^{a/} calculado a partir do N-total multiplicado pelo fator 5,95

^{b/} material insuficiente

4.3.2.4. Perfis eletroforéticos da proteína do endosperma -

Em cada um dos perfis, aproximadamente as mesmas quantidades de corante foram retidas após eletroforese (Figura 14), indicando que as concentrações de polipeptídeos nos diferentes extratos foram, aparentemente, similares.

Nenhuma diferença qualitativa foi detectada entre os extratos totais de polipeptídeos de todos os tratamentos para cada cultivar. Os perfis obtidos a 0 ppm de alumínio foram idênticos àqueles do grão das plantas originais. Entre as frações glutelinas ou prolaminas dos tratamentos a 0 e 80 ppm de alumínio, também não foram observadas diferenças. Fotografias dos géis, obtidos das amostras a 80 ppm, são apresentadas na Figura 15. Entretanto, em uma das preparações de glutelina das cultivares Agulha e Cartuna, a 80 ppm, somente traços de polipeptídeos com PMs 29000 e 32000 foram detectados e maiores quantidades foram somente obtidas por reextração da glutelina com solução de SDS a quente. Mesmo em outras preparações, as concentrações destes polipeptídeos foram relativamente baixas.

As preparações de albumina + globulina, obtidas de 0 e 80 ppm de alumínio (Figura 16) foram examinadas diretamente sem dissociação e, subsequentemente, em condições dissociantes (Figura 17). Os perfis proteicos não dissociados, resultantes do grão de plantas desenvolvidas a 80 ppm de alumínio, mostraram os mesmos componentes encontrados no grão de plantas cultivadas na ausência deste elemento. Entretanto, houve um decréscimo nas concentrações dos componentes com R_m^S de 0,05 e 0,18 e um aumento nos componentes com R_m 0,07, nas amostras do tratamento com

80 ppm de alumínio. Estas diferenças foram mais marcantes nas amostras da cultivar Cartuna e da Nuglin-24 e apenas detectável nas amostras das outras duas cultivares, exceto pelo decréscimo no componente com Rm 0,18 da cultivar IAC-1246.

As diferenças foram observadas também nos polipeptídeos das amostras de albumina + globulina. A cultivar IAC-1246 mostrou alteração no componente com PM de 19000, que apareceu menos concentrado no tratamento com alumínio. A concentração relativa deste componente também foi menor em 80 ppm de alumínio, nas amostras das cultivares Cartuna e Nuglin-24. Na amostra da cultivar Cartuna, o componente com PM de 16000 também sofreu decréscimo e na amostra da cultivar Nuglin-24, o componente com PM de 23000 experimentou aumento. As concentrações de alguns polipeptídeos da cultivar Agulha decresceram no tratamento com alumínio. Entretanto, os PMs destes (23000, 60000 e 70000) diferiram daqueles que sofreram decréscimos nas outras cultivares.

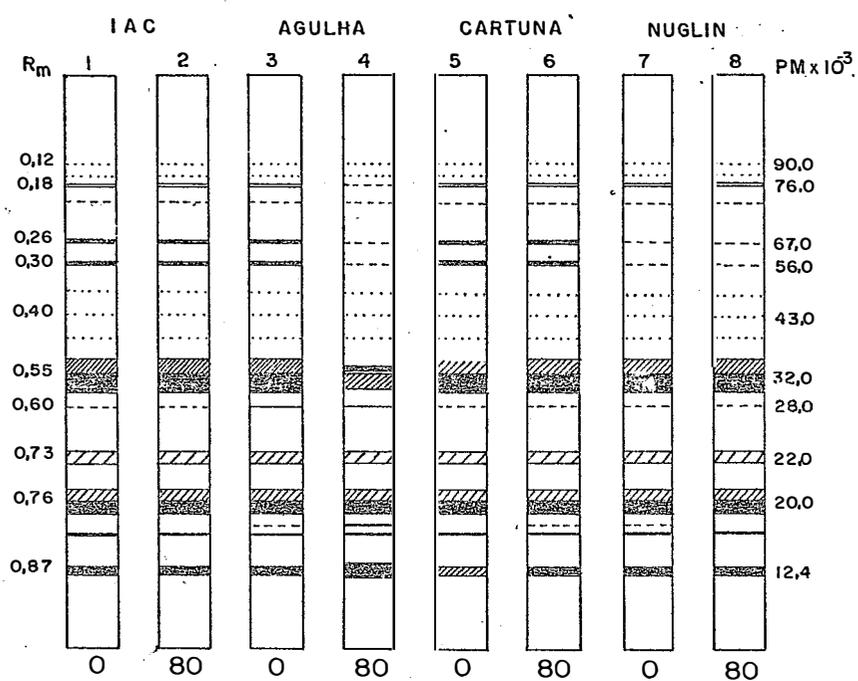


FIGURA 14 - Perfis polipeptídicos dos extratos do grão de arroz, das quatro cultivares, obtidos por eletroforese em gel de poliacrilamida em condições dissociantes.

Diagrama dos perfis: 1 e 2 - IAC-1246 - 0 e 80 ppm
 3 e 4 - Agulha - 0 e 80 ppm
 5 e 6 - Cartuna - 0 e 80 ppm
 7 e 8 - Nuglin-24 - 0 e 80 ppm

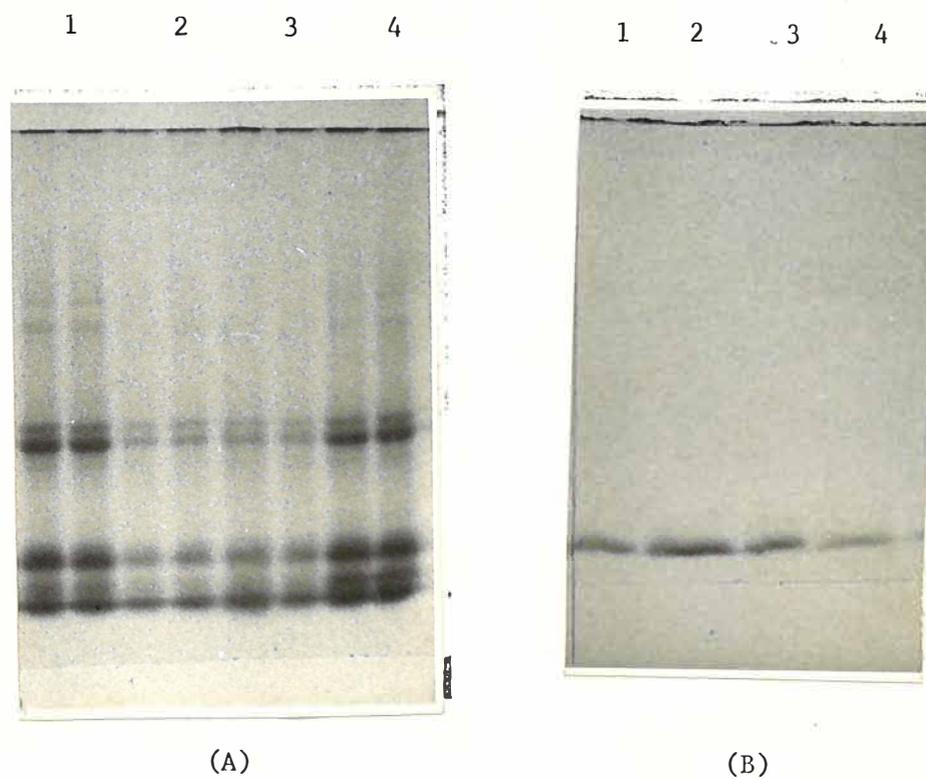
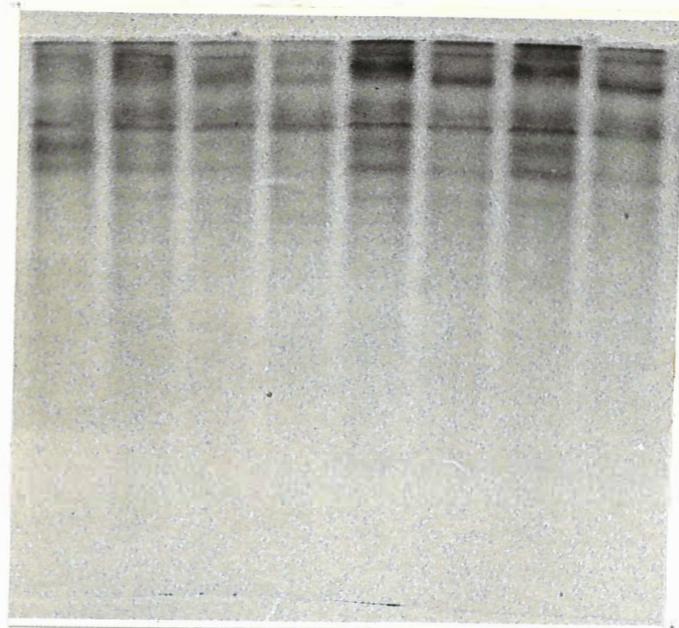
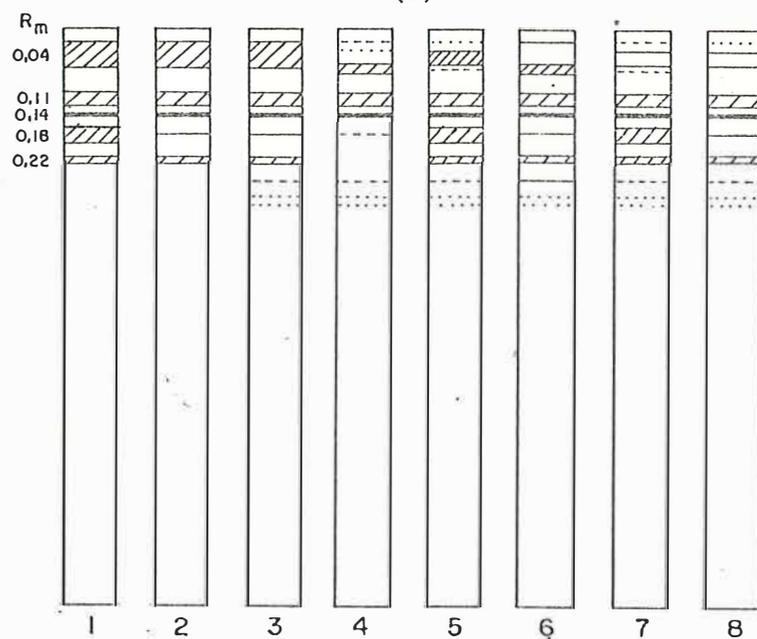


FIGURA 15 - (A) Perfis polipeptídicos das frações glutelinas, a 80 ppm de alumínio - 1) IAC-1246; 2) Agulha; 3) Cartuna; 4) Nuglin-24.

(B) Perfis polipeptídicos das frações prolaminas, a 80 ppm de alumínio - 1) IAC-1246; 2) Agulha; 3) Cartuna; 4) Nuglin-24.



(A)



(B)

FIGURA 16 - Perfis eletroforéticos das frações albumina + globulina das cultivares IAC-1246, Agulha, Cartuna e Nuglin-24, obtidos por eletroforese em gel de poliacrilamida em condições não dissociantes.

(A) Fotografia da placa;

(B) Diagrama: 1 e 2 - IAC-1246 a 0 e 80 ppm de alumínio
3 e 4 - Agulha a 0 e 80 ppm de alumínio
5 e 6 - Cartuna a 0 e 80 ppm de alumínio
7 e 8 - Nuglin-24 a 0 e 80 ppm de alumínio

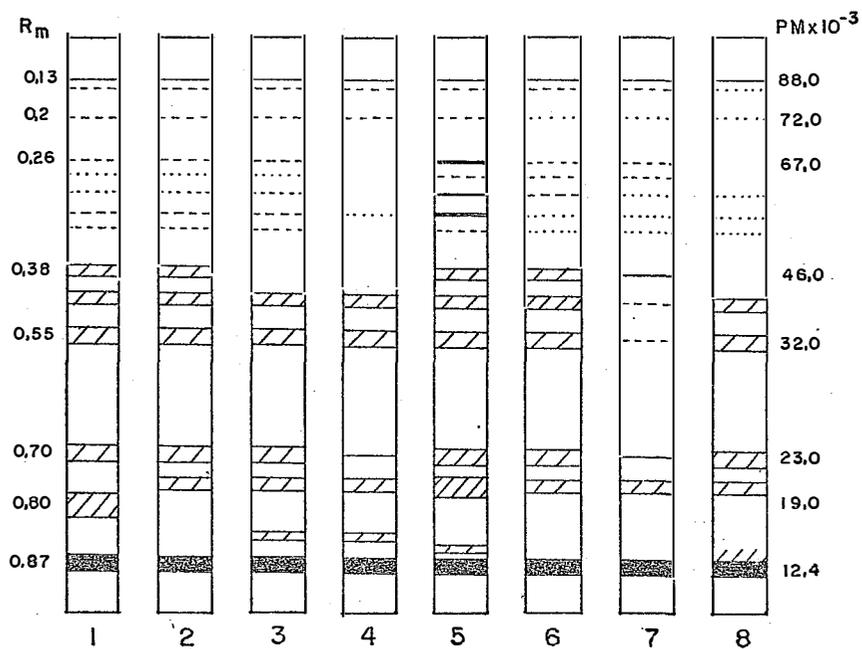


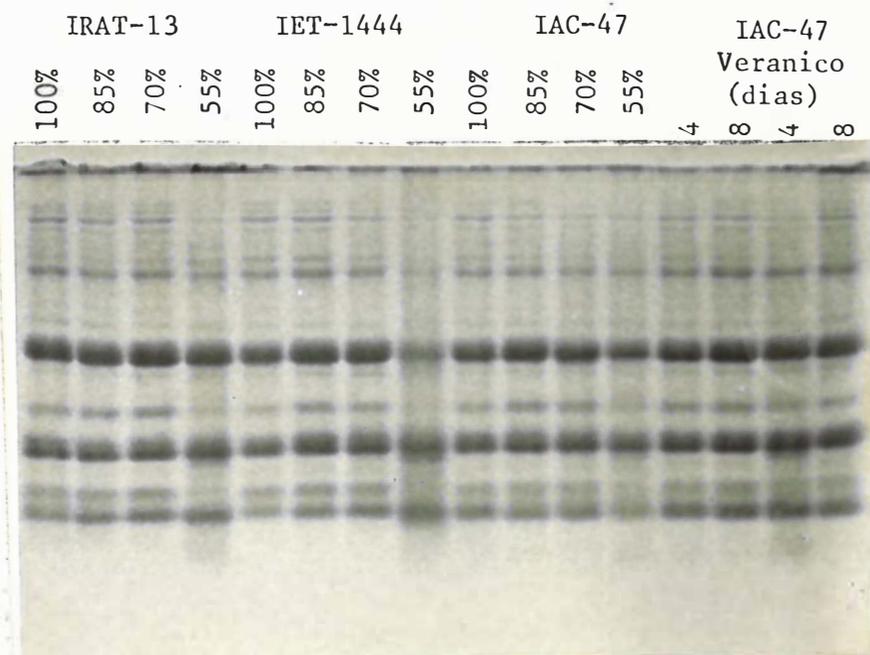
FIGURA 17 - Perfis polipeptídicos das frações albumina+globulina das cultivares de arroz, obtidos por eletroforese em gel de poliacrilamida em condições dissociantes.

Diagrama: 1 e 2 - IAC-1246 a 0 e 80 ppm
3 e 4 - Agulha a 0 e 80 ppm
5 e 6 - Cartuna a 0 e 80 ppm
7 e 8 - Nuglin-24 a 0 e 80 ppm

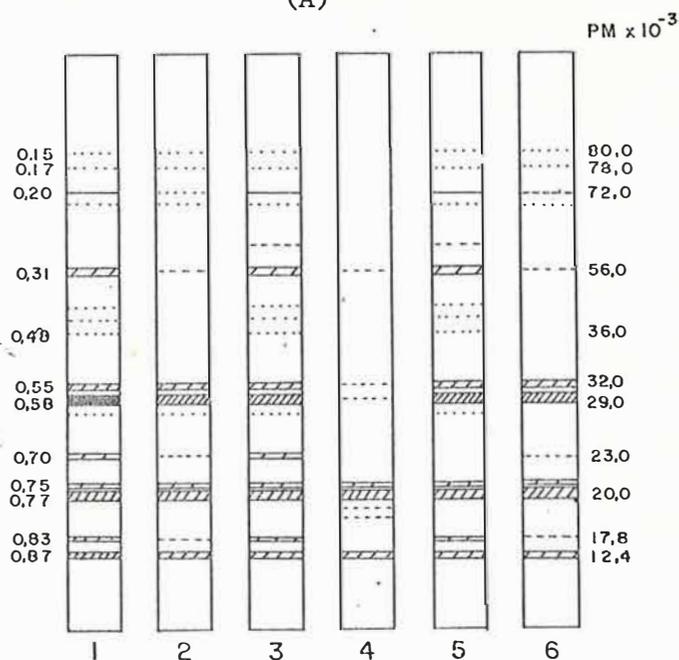
4.4. Estresse hídrico sobre perfis polipeptídicos do endosperma

Os perfis polipeptídicos obtidos do endosperma do grão de plantas das cultivares IRAT-13, IET-1444 e IAC-47, que foram submetidas a diferentes níveis de suprimento hídrico, em que lâminas d'água corresponderam a 55%, 70%, 85% e 100% da evapotranspiração máxima (ET_m), são mostrados na Figura 18. Os perfis de sementes obtidas de plantas que tiveram lâmina d'água correspondente a 85% e 70% da ET_m, a partir da fase reprodutiva, foram idênticos àsquelas das sementes de plantas não estressadas (ET = 100), ou seja, plantas sem nenhuma restrição d'água, exceto, possivelmente, as amostras de IET-1444 em condições de 70% da ET_m. Ao contrário, os perfis das cultivares IET-1444, IRAT-13 e, provavelmente, IAC-47, sob condições de 55% da ET, diferiram dos perfis dos grãos de plantas não estressadas e as diferenças mais acentuadas foram observadas na amostra de IET-1444. No perfil desta última amostra, a maioria dos polipeptídeos vistos no perfil das plantas não estressadas estavam presentes em baixas concentrações, polipeptídeos com PMs de 29000, 32000 e 56000 foram especialmente fracos e componentes com PMs de 17800, 23000 e 72000 não foram detectados. Por outro lado, polipeptídeos com PMs 16000 e 19000 foram detectados somente nos perfis de amostras de plantas estressadas. As concentrações relativas de polipeptídeos com PMs 18000, 23000 e 72000 foram também mais baixas nos perfis de amostras de plantas estressadas de IRAT-13, por comparação com outras amostras desta cultivar. A única diferença aparente entre as amostras de IAC-47 estressada e não estressada foi a mais baixa quantidade total de polipeptídeos detectados na amostra diretamente estressada e nenhuma outra diferença foi observada entre as várias amostras desta cultivar.

Os perfis polipeptídicos obtidos do endosperma do grão das plantas da cultivar IAC-47, que foi submetida ao veranico de 4 ou 8 dias, no início da emissão da panícula, são também mostrados na Figura 18. Nenhuma diferença foi notada nos perfis dos dois tratamentos entre eles e as plantas sem veranico (ET = 100).



(A)



(B)

FIGURA 18 - Perfis polipeptídicos dos extratos de três cultivares, obtidos através da eletroforese sob condições dissociantes, em placa de gel de poliacrilamida, pH 6,8.

(A) Fotografia da placa;

(B) Diagrama dos perfis: 1) IRAT-13 a 100, 85 e 70% da ETm; 2) IRAT-13 a 55% da ETm; 3) IET-1444 a 100, 85 e 70% da ETm; 4) IET-1444 a 55% da ETm; 5) IAC-47 a 100, 85 e 75%, com veranico de 8 e 4 dias; 6) IAC-47 a 55% da ETm.

5. DISCUSSÃO

Os termos proteína e polipeptídeos são frequentemente usados indiscriminadamente para moléculas contendo muitos resíduos de aminoácidos unidos por ligações peptídicas, sem observar sua estrutura quaternária. Nesta tese, o termo polipeptídeo(s) será restrito à cadeia polipeptídica de proteína ou a material preparado sob condições em que as proteínas são dissociadas em seus constituintes polipeptídicos, enquanto o termo proteína será aplicado para o material que não tenha sido submetido à dissociação "in vitro".

A eletroforese é uma técnica amplamente usada na separação e caracterização de proteínas e polipeptídeos. A aplicação de um campo elétrico a uma solução de proteína ou polipeptídeos causa a migração das moléculas por causa de sua rede eletrostática de cargas internas. A migração ocorre em soluções aquosas, entretanto, a solução pode ficar retida em um gel por conveniência ou para proporcionar o efeito de uma peneira molecular. Várias aplicações de eletroforese em gel são descritas por GORDON (1975). Géis de agarose e amido geralmente têm poros de tama

nho grande e, então, crivam somente moléculas grandes. O tamanho dos poros de poliacrilamida podem ser mais regulados e através da variação de concentração de poliacrilamida, vários tamanhos de poros podem ser obtidos. Ainda que THORUN e MAURER (1971) e GORDON (1972) considerem que tanto os géis de amido como os de poliacrilamida são considerados bons para pesquisas eletroforéticas, atualmente os géis de poliacrilamida são mais favorecidos para a análise de proteínas e polipeptídeos. A concentração do gel e outras condições do procedimento são escolhidas por experiência e/ou referência a trabalhos publicados. Para o trabalho descrito na seção de resultados, o procedimento geral empregado para separação de proteínas foi o procedimento tradicional de DAVIS (1964), enquanto polipeptídeos foram separados por procedimentos usados com amostras de arroz irrigado por JULIANO e BOULTER (1976). Entretanto, concentração mais elevada do gel foi empregada para separação de polipeptídeos desde que trabalhos preliminares mostraram que isto proporcionou melhoria na resolução de polipeptídeos.

Somente um pequeno número de estudos eletroforéticos sobre perfis proteicos e polipeptídicos de arroz tem sido reportados previamente (IRRI, 1976; JULIANO e BOULTER, 1976; VILLAREAL e JULIANO, 1978; SHADI e DJURTOFT, 1979; YAMAGATA et alii, 1982). Estes relatos mostraram que as proteínas do endosperma do arroz irrigado são compostas de no mínimo 12 tamanhos de cadeias de polipeptídeos. No presente trabalho, 21 polipeptídeos foram detectados em amostras de arroz de sequeiro.

Diferenças entre cultivares de arroz irrigado não foram reportadas, mas VILLAREAL e JULIANO (1978) detectaram pequenas variações

entre os perfis de glutelina e foram detectadas variações entre cultivares confirmando observações prévias (DERBYSHIRE et alii, 1980; AIRES SILVA, 1981). Isto sugere que variação entre perfis polipeptídicos é uma ocorrência comum.

Na Seção de Resultados, foi mostrado que a glutelina é a principal proteína do endosperma do arroz de sequeiro e que albuminas, globulinas e prolaminas deram somente pequenas contribuições para os perfis polipeptídicos desta parte do grão de arroz, exceto para o polipeptídeo com PM de 23000 (albumina+globulina). A este respeito, o arroz de sequeiro é similar às amostras de arroz irrigado (CAGAMPANG et alii, 1966; HOUSTON et alii, 1968; JULIANO e BOULTER, 1976; VILLAREAL e JULIANO, 1978). Outra similaridade entre os dois tipos de arroz pode ser considerada examinando-se os perfis polipeptídicos de suas prolaminas. Para o irrigado, MANDAC e JULIANO (1978) obtiveram apenas um polipeptídeo proeminente de PM não maior que 17000 e, neste trabalho, com arroz de sequeiro, também um só polipeptídeo (PM 12000) foi detectado.

Por contraste com a composição da prolamina, as albuminas + globulinas e glutelinas das cultivares brasileiras de arroz de sequeiro, foram heterogêneas, como aquelas do arroz irrigado (PERDON e JULIANO, 1978; VILLAREAL e JULIANO, 1978). Entretanto, a composição das frações albumina + globulina das cultivares de arroz de sequeiro foram similares, exceto para o componente de PM 23000, ainda que as frações preparadas das amostras de arroz irrigado tenham diferido.

A detecção de polipeptídeos dos grãos em desenvolvimento de arroz de sequeiro nos estágios mais iniciais (4 DAF), que puderam ser

examinados, está de acordo com as observações realizadas por vários pesquisadores com arroz irrigado (PALMIANO et alii, 1968; VILLAREAL e JULIANO, 1978; YAMAGATA et alii, 1982). Com amostras de 5 DAF de arroz irrigado, YAMAGATA et alii (1982) detectaram dois grupos de polipeptídeos, com PMs de aproximadamente 22000 e 38000, similares àqueles encontrados na proteína de reserva do grão maduro. Por outro lado, HARRIS e JULIANO (1977) afirmam que as proteínas de reserva não estão presentes em arroz irrigado antes dos 8 DAF. Então, os resultados obtidos de arroz de sequeiro contrastam com aqueles de HARRIS e JULIANO (1977), e, portanto, é provável que ambos os tipos de arroz sintetizem polipeptídeos de proteína de reserva em seus estágios bem iniciais de desenvolvimento do grão. Ainda assim, as mudanças nos perfis que ocorrem durante o desenvolvimento do arroz irrigado e de sequeiro mostraram que a síntese de glutelina é menor nos estágios iniciais que nos estágios finais e que, pelo menos no arroz de sequeiro, diferenças varietais existem durante o período inicial de desenvolvimento. Diferenças varietais podem também ter contribuído em parte para a discrepância entre os resultados relatados por HARRIS e JULIANO e por YAMAGATA et alii.

Entre os fatores ambientais que reduzem a produção do arroz de sequeiro, estresse hídrico é especialmente importante (CRUZ et alii, 1974; DEL GIUDICE, 1974; STONE, 1983). SHARMA e DE RAJAT (1979) relatam o reflexo negativo da queda pluviométrica e a demanda evaporativa da atmosfera sobre o teor proteico do grão de arroz. Entretanto, não foi encontrado qualquer trabalho intimamente relacionado à composição polipeptídica e à inadequação hídrica. Quanto aos resultados obtidos neste trabalho, foi evidente que, para duas das três cultivares examinadas,

nenhum efeito do estresse hídrico foi detectado nos perfis polipeptídicos ao nível de estresse de 70% da evapotranspiração máxima. Entretanto, no nível mais extremo usado (55% da ET), os perfis das três cultivares foram alterados. Diferenças entre as tolerâncias das cultivares ao estresse hídrico foram notadas e a cultivar IAC-47 foi a menos afetada, enquanto os perfis da IET-1444 mostraram diferenças ainda ao nível de 70%, valendo ressaltar que esta é cultivar de arroz irrigado. Isto sugere que é o arroz irrigado o mais sensível a este tipo de estresse.

Um efeito depressivo do alumínio não foi evidenciado nos perfis polipeptídicos dos extratos das cultivares examinadas. Após fracionamento, nenhuma diferença foi detectada entre as frações glutelinas e prolaminas dos vários tratamentos. Entretanto, nas frações albumina + globulina, foram notadas diferenças e variações entre cultivares observadas dentro destas frações. Os decréscimos nas proteínas com Rm 0,05 e 0,18 foram acompanhados por decréscimos nos polipeptídeos com PM 19000 em três das quatro cultivares e um aumento na proteína com Rm 0,07, na cultivar Nuglin-24, foi acompanhado por um aumento no polipeptídeo com PM 23000. Entretanto, não houve uma boa correlação entre as mudanças que ocorreram nas proteínas e aquelas verificadas nos polipeptídeos. Ainda que estas diferenças nas frações albumina + globulina tenham sido observadas, provavelmente elas não chegam a ser importantes sob o ponto de vista nutritivo porque no endosperma do grão de arroz, a contribuição destas frações é pequena.

Os efeitos tóxicos do alumínio sobre o crescimento das plantas das quatro cultivares de arroz não foram percebidos nos estágios mais

iniciais, especialmente com relação à parte aérea. Após 30 dias, já se pôde observar aos 40 ppm de alumínio, diferenças quanto à altura das plantas e também foi notório o diferente comportamento exibido pelas culturas. Aos 80 ppm foi evidente a redução de altura e porte das plantas, cujas folhas começaram a mostrar sintomas de toxidez de alumínio, tornando-se curtas, muito mais estreitas, com nervuras salientes, além de uma coloração tendendo para o azul. Estes são considerados sintomas típicos (MALAVOLTA, 1960; MALAVOLTA et alii, 1974). O sistema radicular foi o primeiro órgão a externar os sintomas de toxidez de alumínio, concordando com resultados encontrados em trabalhos anteriores (McLEAN e GILBERT, 1928; AIMI e MURAKAMI, 1964; FLEMING e FOY, 1968; SAIGUSA et alii, 1980). Mesmo no tratamento a 20 ppm, as raízes apresentaram maior diâmetro e as extremidades exibiram anormalidades, tomando forma de parafusos, pequenas argolas e o típico aspecto coralóide. Aos 40 ppm foi que se observou encurtamento e engrossamento acentuado das raízes, além do desaparecimento das radículas.

Os efeitos negativos do alumínio sobre as raízes de plantas de arroz, traduzem-se numa sensível redução na absorção de água e de vários nutrientes, entre os quais, fósforo e cálcio são os mais relatados. CATE e SUKHAI (1964) consideram que, na ausência de cátions nutrientes, o alumínio solúvel em água em baixas concentrações (1 a 2 ppm) inibe marcadamente o crescimento da raiz e aos 25 ppm impede o seu crescimento. HOWELER e CADAVID (1976) tecem considerações a respeito da restrição à absorção de água e nutrientes com reflexos no rendimento de grãos. Estes autores encontraram que o comprimento da raiz foi estimulado por 3 ppm de alumínio, mas significativamente reduzido aos 30 ppm e, neste último nível,

o teor de fósforo nas raízes também foi reduzido. Diferenças entre variedades em relação aos teores de fósforo foram correlacionadas com as diferentes sensibilidades destas variedades ao alumínio. Em trabalhos desenvolvidos pelo IRRI (1978), foi relatado que a toxidez de alumínio, além de retardar o crescimento da raiz e impedir a absorção de nutrientes, reduz a resistência à seca pelas plantas de arroz de sequeiro. Os níveis de alumínio usados variaram de 0-60 ppm, sendo que o comprimento da raiz aos 30 ppm foi usado como medida de tolerância à toxidez do alumínio. Ao nível de 60 ppm, a toxidez foi severa, permitindo somente uma pequena variação entre cultivares.

Com bases nestes trabalhos citados anteriormente, pode-se sugerir que os efeitos do alumínio observados no comprimento das raízes das cultivares examinadas, possivelmente também resultam na redução da absorção de água e de fósforo.

Nos trabalhos de FAGERIA et alii (1979), o peso seco das plantas de arroz sofreu uma redução significativa sob 40 e 60 ppm de alumínio em comparação com os níveis menos elevados do elemento. No presente trabalho também foram encontrados resultados semelhantes a esses, sendo o último nível o de 80 ppm de alumínio. Nos vários trabalhos realizados com esta gramínea, foram identificadas diferenças quanto à resposta das plantas sob condições de estresse pelo alumínio, também demonstrado nesta tese e entre cultivares de outras espécies como trigo (NEENAN, 1960; FOY et alii, 1967; KERRIDGE, 1968, 1971; CAMARGO e OLIVEIRA, 1981; FOY e FLEMING, 1982), sorgo (NOGUEIRA et alii, 1979; CAMBRAIA e GALBO, 1980; GALBO e CAMBRAIA, 1980; GUERRIER, 1982), cevada (REID et alii, 1969; MUGWIRA, 1976).

Com relação ao comprimento da raiz, um parâmetro considerado importante como índice de tolerância (AIMI e MURAKAMI, 1964; HOWELER e CADAVID, 1974; IRRI, 1978), os resultados obtidos nesta tese são contrastantes com esta consideração, pois a cultivar Agulha foi a que exibiu menor sensibilidade à presença de alumínio e foi a que apresentou o menor comprimento de raiz entre as cultivares examinadas. O fato sugere que nesta cultivar, o crescimento mais lento da raiz em presença do alumínio pode constituir uma forma de proteção. Enquanto as outras cultivares apresentam uma elongação maior, possivelmente as células novas estão mais expostas aos efeitos do elemento, enquanto a cultivar Agulha pode ter um maior espessamento de suas células, protegendo assim a raiz. Este é um assunto que requer um maior estudo a fim de maiores esclarecimentos sobre esta característica apresentada pela cultivar Agulha.

Ainda assim, tanto a absorção como a translocação de nutrientes, pela cultivar Agulha não parece ter sido restringida por comparação com a das outras cultivares, desde que a Agulha apresentou desenvolvimento geral superior às demais.

Aliado ao comprimento da raiz, o peso seco é também um parâmetro muito relatado como índice para avaliação do efeito de inibição do alumínio sobre as plantas. Em trabalhos prévios com gramíneas, o peso seco da raiz foi considerado como critério para seleção de variedades tolerantes ao alumínio. KERRIDGE *et alii* (1971) avaliaram a tolerância de cultivares de trigo ao alumínio, usando várias medidas, entre as quais o peso seco da raiz, que foi também considerado para selecionar 50 cultivares, grupadas quanto à tolerância aos níveis de 6, 4 e 2,4 ppm de Al.

REID et alii (1971) determinaram decréscimo acentuado do peso seco da raiz de 30 cultivares de cevada, em solução nutritiva com 4 ppm de alumínio. O efeito deletérico do alumínio foi também determinado por WALLACE e ROMNEY (1977), usando o peso seco da raiz de cultivares de arroz, encontrando na concentração 10^{-3} M o nível tóxico capaz de causar o decréscimo no parâmetro relatado. No presente trabalho, um efeito depressivo do alumínio foi também determinado, só que com valores mais elevados. Entretanto, foi verificado que todos os tratamentos usados foram capazes de reduzir este peso. De maneira similar à relatada em trabalhos prévios, também foram observadas diferenças entre cultivares e a Agulha foi a menos afetada. GALBO e CAMBRAIA (1980), embora tenham trabalhado somente com 2 cultivares de sorgo, também verificaram uma redução significativa na produção de matéria seca da raiz da cultivar considerada menos tolerante, na presença de 6 ppm de alumínio.

FOY e FLEMING (1982) estabeleceram estresse diferencial do alumínio sobre duas cultivares de trigo, através do peso seco de raiz por vaso.

Pelos resultados obtidos neste trabalho e nos anteriormente relatados, o peso seco da raiz é um parâmetro de boa indicação para determinar o efeito fitotóxico do alumínio.

O peso seco do colmo foi um parâmetro afetado consideravelmente pelo alumínio, pois mesmo a 10 ppm, a redução foi bem acentuada. O peso seco da parte aérea reflete a capacidade das raízes de absorverem água e nutrientes (SARTAIN e KAMPRAT, 1978).

A grande maioria das pesquisas desenvolvidas com a finalidade de selecionar plantas com maior tolerância ao alumínio, são efetuadas durante um curto período, frequentemente não ultrapassando 21 dias. GALBO e CAMBRAIA (1980) usaram exatamente este período para o estudo do comportamento de duas cultivares de sorgo. De igual maneira, FAGERIA et alii (1979) também adotou 21 dias para seleção de 30 cultivares de arroz. Períodos ainda menores são relatados, pois REID et alii (1971) usaram 18 dias para avaliação de 30 cultivares de cevada quanto à resposta ao alumínio. CLARK (1977), WALLACE e ROMNEY (1977) e KERRIDGE e KRONSTAD (1968) usaram 14, 13 e 10 dias para investigar a tolerância de, respectivamente, milho, arroz e trigo, quanto aos efeitos tóxicos do alumínio sobre as plantas. Ainda assim, foram encontrados alguns relatos do peso seco do colmo em pesquisas previamente realizadas. WALLACE e ROMNEY (1977) obtiveram reduções no peso do colmo de plantas de arroz em concentração tóxica do alumínio como sulfato. Já os resultados encontrados por FOY e FLEMING (1977), embora indiretamente, mostraram redução do peso seco por plantas de trigo quando na ausência do CaCO_3 em solo de pH 4,5.

A parte aérea da planta não é considerada o melhor índice de tolerância ao alumínio (FLEMING e FOY, 1981), uma vez que McLEAN e GILBERT (1927) mostram que frequentemente a parte aérea externa os sintomas de toxicidade, após os danos causados pelo alumínio terem sido observados no sistema radicular.

O efeito inibitório do alumínio sobre o número de perfilhos e panículas de algumas gramíneas foram relatados mais recentemente

(CAMARGO e OLIVEIRA, 1981). Embora de forma indireta, através do uso de calcário, estes autores encontraram que as interações cultivares x solos com e sem calcário, foram altamente significativas para número de perfilhos e não para número de grão por espiga. Os resultados obtidos nesta pesquisa mostram reduções significativas de perfilhos e número de panículas por planta, principalmente ao nível de 80 ppm de alumínio. É interessante relatar que todos os colmos formaram panículas, muito embora os níveis mais elevados do alumínio tenham produzido panículas menores e, portanto, menos granadas quando comparadas aos níveis mais baixos do elemento ou então na sua ausência. Estes resultados confirmam os citados por HOWELER e CADAVID (1976), que consideram como sintomas típicos de altos níveis de saturação de alumínio em plantas de arroz, susceptíveis a este elemento, entre outros, pobre perfilhamento e assim com menor número de panículas.

Os efeitos do alumínio foram significativos sobre os componentes da produção neste trabalho. O rendimento de grão sofreu decréscimo desde os níveis menores do alumínio, sendo bastante intensificado aos 80 ppm. Não foram encontradas na literatura muitas pesquisas desenvolvidas com plantas de arroz, onde os efeitos do alumínio tenham sido relatados sobre o rendimento de grãos, dificultando efetuar comparações com outros estudos. Entretanto, foram relatados efeitos negativos de alumínio sobre componentes da produção em outras gramíneas. As investigações de BACHE e CROOKE (1981), em cevada, mostram que o rendimento da matéria seca do grão foi extremamente baixo em valores de pH entre 4,0 e 4,5, onde o alumínio é tóxico, interferindo também na disponibilidade do fósforo. Os autores consideram que os efeitos principais obtidos nessa pesquisa pare-

ce terem sido causados pela toxidez do alumínio, nutrição com fosfato e pela interação de ambos. Trabalhos conduzidos por CAMARGO e OLIVEIRA(1967) também evidenciaram os efeitos tóxicos do alumínio na produção de grãos de 10 cultivares de trigo. Os resultados obtidos por estes autores confirmam variações quanto à tolerância das cultivares dessa gramínea a diferentes níveis de alumínio. Quanto a este aspecto, no presente trabalho foram detectadas diferenças entre as cultivares examinadas, onde a cultivar Agulha mostrou destaque por ser a menos afetada pelos vários níveis de alumínio.

O peso médio do grão em consequência do tempo de permanência no laboratório, foi muito baixo. O teor de umidade encontrado foi de aproximadamente 6,5%, quando deveria ser em torno de 13,0% (BRASIL, M.A., 1980).

Os pesos frescos e secos dos grãos das cultivares analisadas foram ligeiramente maiores em 10 e 20 ppm de alumínio, quando comparados com os tratamentos sem alumínio. Estes resultados estão em acordo com afirmativas preliminares de que o alumínio, em concentrações mais baixas, tem efeito estimulante (McLEAN e GILBERT, 1928).

O peso do grão não foi considerado neste trabalho o principal componente da produção afetado pelos tratamentos com alumínio. No estudo de linhagens mutantes da variedade Norin-8, TANAKA e TAKAGI (1970) encontraram uma correlação negativa entre o peso do grão individual e o teor de proteína. Entretanto, uma correlação negativa entre estes dois parâmetros e entre as quatro cultivares de arroz de sequeiro, crescidas na

ausência de alumínio, não foi observada. As reduções nos pesos médios dos grãos que resultaram dos tratamentos com alumínio destas cultivares não foram acompanhadas pelo aumento do teor proteico. Esta discrepância aparente pode indicar que o efeito do tratamento com alumínio sobre o grão, seja o de causar uma redução no transporte para o grão, afetando carboidratos, tanto quanto proteínas. Entretanto, a possibilidade de ocorrência de erros na análise de nitrogênio não pode ser descartada.

6. CONCLUSÕES

(a) A composição polipeptídica das sete cultivares analisadas, não foi a mesma sob o ponto de vista qualitativo e quantitativo; no entanto, foi pequena a variação.

(b) As principais subunidades polipeptídicas do endosperma do grão de arroz de sequeiro e irrigado testadas, apresentaram PMs < 12400, 29000 e 32000.

(c) Os perfis polipeptídicos do arroz de sequeiro mostraram alto grau de similaridade com os perfis publicados de arroz irrigado.

(d) As diferenças observadas entre cultivares ocorreram entre os polipeptídeos com PMs maiores do que 12400 e menores que 32000, provavelmente resultantes de diferenças nas frações de glutelina.

(e) As principais subunidades da glutelina de arroz de sequeiro foram as de PMs com 12400, 16000, 19000, 29000 e 32000; da fração albumina + globulina, a principal tem PM de 12400.

(f) Os perfis polipeptídicos do endosperma foram determinados, principalmente, pela composição da fração glutelina.

(g) As diferenças observadas no grão maduro foram também mostradas no endosperma do grão em desenvolvimento, 10 dias após o florescimento.

(h) O estresse hídrico provocado pelo tratamento correspondente a 55% da evapotranspiração máxima interferiu na composição polipeptídica do grão das cultivares IRAT-13, IET-1444 e IAC-47. A mais sensível foi a cultivar de arroz irrigado IET-1444 e a menos foi a IAC-47, uma cultivar de arroz de sequeiro.

(i) O veranico de quatro e de oito dias não afetou a composição polipeptídica da cultivar IAC-47.

(j) O alumínio afetou todos os parâmetros de crescimento e desenvolvimento, mas não parece ter afetado a composição polipeptídica total do grão.

(l) O comprimento da raiz não mostrou correlação positiva com os efeitos do alumínio sobre o rendimento do grão.

(m) Entre as cultivares, a Agulha foi a menos afetada pelo alumínio nos níveis estudados.

(n) Entre as frações proteicas, apenas a albumina + globulina parece ter sido afetada pelo alumínio.

7. LITERATURA CITADA

ACEVEDO, E.; T.C. HSIAO e D.H. HENDERSON, 1971. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. Plant Physiology, Washington, 48: 631-636.

AHMADI, N., 1983. Variabilité génétique et hérédité de mecanismes de tolerance à la sécheresse chez le riz Oryza sativa L.: I. Development du système racinaire. L'Agronomie tropical, Paris, 38: 110-117.

AHMADI, N., 1983. Variabilité génétique et hérédité de mecanismes de tolerance à la sécheresse chez le riz Oryza sativa L.: II. Sensibilité stomatique aux deficits hydriques. L'Agronomie tropical, Paris, 38: 118-122.

AIMI, R. e T. MURAKAMI, 1964. Cell-physiological studies on the effects of aluminum on the growth of crop plants. Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences, Tokio, 11: 331-396.

AIRES-SILVA, D.M.J., 1981. Estudo comparativo da composição polipeptídica de cultivares de arroz (Oryza sativa L.). Piracicaba, ESALQ/USP. 72 p. (Dissertação de Mestrado).

ALLEN, S.E. e G.L. TERMAN, 1978. Yield and protein content of rice as affected by rate, source, method and time of applied N. Agronomy Journal, Washington, 2: 238-242.

ANGLADETE, A., 1966. Le riz. Paris, G-P. Maisonneuve et Larose. 930 p.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL, 1982. Rio de Janeiro.

BACHE, B.W. e W.M. CROOKE, 1981. Interactions between aluminum, phosphorus and pH in the response of barley to soil acidity. Plant and Soil, The Hague, 61: 365-375.

BARNETT, N.M. e A.W. NAYLOR, 1966. Amino acid and protein metabolism in Bermuda grass during water stress. Plant Physiology, Washington, 41: 1222-1230.

BARTLETT, R.J. e D.C. RIEGO, 1972. Toxicity of hydroxy aluminum in relation to pH and phosphorus. Soil Science, Baltimore, 114: 194-200.

BECKWITH, A.C.; H.C. NIELSEN; J.S. WALL e F.R. HUEBNER, 1966. Isolation and characterization of a high-molecular-weight from wheat gliadin. Cereal Chemistry, St. Paul, 43: 14-28.

BEEVER, L., 1976. Nitrogen metabolism in plants. London, Edward Arnold. 333 p.

BEN-ZIONI, A.; C. ITAI e Y. VAADIA, 1966. Water and salt stresses, kinetin and protein synthesis in tobacco leaves. Plant Physiology, Washington, 42: 361-365.

BERTRAND, A.R., 1965. Water conservation through improved practices. In: PIERRE, W.E.; D. KIRKHAM; J. PESEK e R. SHAW (eds.) Plant environment and efficient water use. Madison, American Society of Agronomy. cap. 10, p. 207-235.

BHATTI, A.S. e J.F. LONERAGAN, 1970. Phosphorus concentrations in wheat leaves in relation to phosphorus toxicity. Agronomy Journal, Madison, 62: 288-290.

BRASIL. Ministério da Agricultura, 1980. Equipe técnica de sementes e mudas. Regras para análise de sementes. Rio de Janeiro. 188 p.

BONNER, J., 1950. Plant biochemistry. New York, Academic Press, Inc. Publishers. 537 p.

BONNER, J. e A.W. GALSTON, 1973. Princípios de fisiologia vegetal. Trad. PORTILLO, F. Madrid, Aguilar. 485 p.

BOULTER, D. e E. DERBYSHIRE, 1978. The general properties, classification

- and distribution of plant protein. In: NORTON, G. (ed.) Plant protein. London, Butterworths. p. 3-24.
- BOYER, J.S. e H.G. McPHERSON, 1975. Physiology of water deficits in cereal crops. Advances in Agronomy, New York, 27: 1-23.
- BRESSE-JONES, D.; A. CALDWELL e K.D. WIDNESS, 1948. Comparative grow-promoting values of the protein of cereal grains. Journal Nutrition, Baltimore, 35: 693-649.
- CAGAMPANG, G.B.; L.J. CRUZ; S.G. ESPIRITU; R.G. SANTIAGO e B.O. JULIANO, 1966. Studies on extraction and composition of rice protein. Cereal Chemistry, St. Paul, 43: 145-155.
- CAGAMPANG, G.B.; A.A. PERDON e B.O. JULIANO, 1976. Changes in salt-soluble proteins of rice during grain development. Phytochemistry, Oxford, 15: 1425-1429.
- CAMARGO, C.D. e O.F. OLIVEIRA, 1981. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva. Bragantia, Campinas, 40: 21-31.
- CAMBRAIA, J. e A.G. GALBO, 1980. Efeito do alumínio sobre a absorção e sobre o transporte de fósforo em dois cultivares de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench). Ceres, Viçosa, 27: 615-625.
- CATE, R.B. Jr. e A.P. SUKHAI, 1964. A study of aluminum in rice soils. Soil Science, Baltimore, 98: 85-93.

- CHENERY, M., 1955. A preliminary study and tea bush. Plant and Soil, The Hague, 6: 174-200.
- CHRISTIANSON, D.D.; H.C. NIELSEN; U. KHOO; M.J. WOLF e J.S. WALL, 1969. Isolation and chemical composition of protein bodies and matrix proteins in corn endosperm. Cereal Chemistry, St. Paul, 46: 372-381.
- CLARKSON, D.T., 1965. The effect of aluminum and some other trivalent metal cations on cell division in the root apices of Allium cepa. Annals of Botany, London, 29: 309-315.
- CLARKSON, D.T., 1966. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by Barley seedlings. Plant Physiology, Washington, 41: 165-172.
- CLARKSON, D.T., 1969. Metabolic aspects of aluminum toxicity and some possible mechanisms for resistance. In: RORISON, I.H. (ed.) Ecological aspects of mineral nutrition of plants. Oxford, Blackwell Scientific Publications. p. 381-397.
- CLARK, R.B., 1977. Effect of aluminum on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn. Plant and Soil, The Hague, 47: 653-662.
- COFFMAN, W.R. e B.O. JULIANO, 1979. Seed protein improvement in rice. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seed protein improvement in cereals and gram legumes. Vienna, Vol. II, p. 261-277.

- CONNER, S.N. e O.H. SEARS, 1922. Aluminum salts and acids at varying hydrogen-ion concentrations, in relation to plant growth in water culture. Soil Science, Baltimore, 13: 23-41.
- CRAFTS, A.S., 1968. Water deficits and physiological processes. In: KOZLOWSKI, T.T. (ed.) Water deficits and plant growth. New York, Academic Press. V. 2, p. 85-133.
- CRUZ, J.C.; S.S. BRANDÃO; R.M. DEL GIUDICE e P.A. FERREIRA, 1975. Efeito de diferentes tensões de umidade no solo, em duas fases de desenvolvimento da planta, com relação ao crescimento e produção do arroz (*Oryza sativa* L.). Experientiae, Viçosa, 19: 187-209.
- CUTLER, J.M.; K.W. SHAHAN e P.L. STEPONKUS, 1980. Influence of water deficits and osmotic adjustment on leaf elongation in rice. Crop Science, Madison, 20: 314-318.
- DAKER, A., 1973. Irrigação e drenagem. In: _____, A água na agricultura. 4a. edição, Rio de Janeiro, Freitas Bastos. 453 p.
- DANIELSSON, C.E., 1949. Seed globulins of graminal and leguminosal. The Biochemical Journal, London, 44: 387-400.
- DAVIS, B.J., 1964. Disc electrophoresis II. Method and application to human serum protein. Annals of the New York Academy of Science, 121: 407-427.

- DEL GIUDICE, R.M.; S.S. BRANDÃO; J.D. GALVÃO e F.R. GOMES, 1974. Irrigação do arroz por aspersão: profundidade de rega e limites d'água disponível. Experientiae, Viçosa, 18: 103-123.
- DEL ROSARIO, A.R.; V.P. BRIONES; A.J. VIDAL e B.O. JULIANO, 1968. Composition and endosperm structure of developing and mature rice kernel. Cereal Chemistry, St. Paul, 45: 225-235.
- DERBYSHIRE, E.; D.M.J. AIRES-SILVA e O.J. CROCOMO, 1980. A comparison of the polypeptide composition of rice samples. Arquivos de Biologia e Tecnologia, 23: 233.
- DHINDSA, R.S. e R.E. CLELAND, 1975. Water stress and protein synthesis. 1. Differential inhibition of protein synthesis. Plant Physiology, Washington, 55: 778-781.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina. Relatório Técnico Anual, 1976-1977. 183 p.
- EVANS, C.E. e E.J. KAMPRAT, 1970. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al and organic matter content. Soil Science Society America Proceeding, 34: 893-896.
- FAGERIA, N.K. e M.P. BARBOSA FILHO, 1980. Recomendações para uso de fertilizante fosfatado para cultura de arroz de sequeiro. EMBRAPA/CNPAF,

Circular Técnica, 3. 19 p.

FAGERIA, N.K. e F.J.P. ZIMMERMANN, 1979. Seleção de cultivares de arroz para tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 14: 141-147.

F.A.O., 1981. Production Yearbook. Roma.

FEILLET, P., 1967. Les proteines solubles des céréales. Annales de technologie agricole, Paris, 16: 135-189.

FLEMING, A.L. e C.D. FOY, 1968. Root structure reflects differential aluminum tolerance in wheat varieties. Agronomy Journal, Madison, 60: 172-176.

FOSSATI, G.; G.C. FANTONE e G. BALDI, 1979. Free lysine in rice: a useful tool in the protein improvement. Il Riso, Milano, 28: 3-8.

FOX, S.W. e J.F. FOSTER, 1957. Introduction to protein chemistry. New York, John Wiley & Sons, Inc. 459 p.

FOY, C.D.; W.H. ARMIGER; L.W. BRIGGLE e D.A. REID, 1965. Differential aluminum tolerance of wheat and Barley varieties in acid soils. Agronomy Journal, Madison, 57: 413-417.

FOY, C.D.; A.L. FLEMING; G.R. BURNS e W.H. ARMIGER, 1967. Characterization

of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and Barley. Soil Science Society of America Proceeding, Madison, 31: 513-521.

FOY, C.D. e A.L. FLEMING, 1982. Aluminum tolerances of two wheat genotypes related to nitrate reductase activities. Journal of Plant Nutrition, Baltimore, 5: 1313-1333.

GALBO, A.G. e J. CAMBRAIA, 1980. Efeito do alumínio sobre a composição mineral de dois cultivares de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench). Ceres, Viçosa, 27: 369-378.

GATES, C.T., 1963. Water deficits and growth of herbaceous plants. In: KOZLOWSKI, T.T. (ed.) Water deficits and plant growth. New York, Academic Press. V. 2, p. 135-190.

GORDON, A.H., 1975. Electrophoresis of proteins in polyacrylamide and starch gels.

GREENE, F.C., 1981. In vitro synthesis of wheat (Triticum aestivum L.) storage protein. Plant Physiology, Washington, 68: 778-783.

GUERRIER, G., 1982. Relation between sorghum root system and aluminum toxicity. Journal of Plant Nutrition, Baltimore, 5: 123-136.

- HACKETT, C., 1962. Stimulative effects of aluminum on plant growth. Nature, London, 195: 471-472.
- HARRIS, N. e B.O. JULIANO, 1977. Ultra structure of endosperm protein bodies in developing rice grains differing in protein content. Annals of botany, London, 41: 1-5.
- HENSON, I.E., 1982. Absciscic acid and water relations of rice (Oryza sativa L.): sequential responses to water stress in the leaf. Annals of botany, London, 50: 9-24.
- HILLERISLAMBERS, D.; J.N. RUTGER; C.O. QUALSET e W.J. WISER, 1973. Genetic and environmental variation in protein content of rice (Oryza sativa L.). Euphytica, 22: 264-273.
- HOAGLAND, D.R. e D.I. ARNON, 1950. The water-culture method for growing plant without soil. California Agricultural Station (Circular 347).
- HOUSTON, D.F.; T. IWASAKI; A. MOHAMMAD e L. CHEN, 1968. Radial distribution of protein by solubility classes in the milled rice kernel. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Easton, 16: 720-724.
- HOUSTON, D.F. e A.MOHAMMAD, 1970. Purification and partial characterization of a major globulin from rice endosperm. Cereal Chemistry, St. Paul, 47: 5-12.

- 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. Agronomy Journal, Washington, 68: 551-555.
- HSIAO, T.C., 1973. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, 24: 519-570.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1974. Annual Report for 1973. Los Baños, Phillipinnes. p. 103-105.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1976. Annual Report for 1975. Los Baños, Phillipinnes. p. 102-103.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1978. Annual Report for 1977. Los Baños, Phillipinnes. p. 101-103.
- JOHNSON, R.E. e W.A. JACKSON, 1964. Calcium uptake and transport by wheat seedlings as affected by aluminum. Soil Science Society America Proceeding, Madison, 28: 381-386.
- JOHNSON, R.R.; N.M. FREY e D.N. MOSS, 1974. Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of Barley and wheat. Crop Science, Madison, 14: 728-731.
- JOHNSON, R.R. e D.N. MOSS, 1976. Effect of water stress in $C^{14}O_2$ fixation and translocation in wheat during grain filling. Crop Science, Madison,

16: 697-701.

JONES, L.H., 1961. Aluminum uptake and toxicity in plants. Plant and Soil, The Hague, 13: 297-310.

JONES, C.A., 1981. Effects of drought stress on percentage filled grain in upland rice. Tropical Agriculture, 58: 201-203.

JOSLYN, M.A. e G. de LUCA, 1957. The formation and properties of aluminum pectinates. Journal of colloid science, New York, 12: 108-130.

JULIANO, B.O.; G.M. BAUTISTA; J.C. LUGAY e A.R. REIS, 1964. Studies on the physicochemical properties of rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Easton, 12: 131-138.

JULIANO, B.O., 1966. Physicochemical data on the rice grain. International Rice Research Institute, Tech. Bul. 6.

JULIANO, B.O. e D. BOULTER, 1976. Extraction and composition of rice endosperm glutelin. Phytochemistry, Oxford, 15: 1601-1606.

KERRIDGE, P.C. e W.E. KRONSTAD, 1968. Evidence of genetic resistance to aluminum toxicity in wheat (Triticum aestivum Vill., Host). Agronomy Journal, Madison, 60: 710-711.

KERRIDGE, P.C.; M.D. DAWSON e D.P. MOORE, 1971. Separation of degrees of

aluminum tolerance in wheat. Agronomy Journal, Madison, 63: 586-591.

KRAMER, P.J., 1974. Tension hidrica y crecimiento de las plantas. In: Relaciones hidricas de suelo y plantas: una sintesis moderna. Mexico, Centro Regional de Ayuda Tecnica. Cap. 10, p. 393-443.

KENNEDY, C.W. e L.P. BUSH, 1983. Effect of environmental and management factors on accumulation of N-acetyl and N-formyl loline alkaloids in Tall fescue. Crop Science, Madison, 23: 547-552.

KOZLOWSKI, T.T., 1964. Water metabolism in plants. New York, Harper e Row. 227 p.

LAEMMLI, U.K., 1970. Cleavage of structural proteïn during assembly of the head bacteriophage T₄. Nature, London, 227: 680-685.

LARCHER, W., 1975. Physiological plant ecology. Berlim, Spring-Verlag. 251 p.

LARKINS, B.A.; R.A. JONES e C.Y. TSAI, 1976. Isolation and vitro translation of zeina messenger ribonucleic acid. Biochemistry, Oxford, 15: 5506-5591.

LAWRENCE, J.M.; H.E. HERRICK e D.R. GRANT, 1970. Analysis of wheat flour proteins by polyacrylamide gel electrophoresis. Cereal Chemistry, St. Paul, 47: 98-109.

- LOCKARD, R.G. e A.R. McWALTER, 1956. Effects of toxic levels of sodium, arsenic, iron and aluminum on the rice plant. Malayan agricultural journal, Kuala Lumpur, 39: 256-267.
- LOPES, A.S., 1983. Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto da Potassa. 162 p.
- LUGG, J.W.H., 1949. Plant proteins. Advances in Protein Chemistry, New York, 5: 230-295.
- MACHADO, R.C.R.; H.M.F. SOUZA; M.A. MORENO e P.T. ALVIM, 1983. Variáveis relacionadas com a tolerância de gramíneas forrageiras ao déficit hídrico. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 18: 603-608.
- MALI, P.C. e S.L. MEHTA, 1977. Effect of drought on enzymes and free proline in rice varieties. Phytochemistry, Oxford, 16: 1355-1357.
- McLEAN, E. e B.E. GILBERT, 1927. The relative aluminum tolerance of crop plants. Soil Science, Baltimore, 24: 163-175.
- MAGISTAD, O.C., 1925. The aluminum content of the soil solution and its relations to soil reaction and plant growth. Soil Science, Baltimore, 20: 181-225.
- MALAVOLTA, E., 1967. Manual de química agrícola - adubos e adubação. 2a. edição, São Paulo, Ceres. 606 p.

MALAVOLTA, E.; H.P. HAAG; F.A.F. MELLO e M.O.C. BRASIL SOBRINHO, 1974.

Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas. São Paulo, Pionei
ra Editora. 727 p.

MALAVOLTA, E., 1980. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo,
Ceres. 251 p.

MALI, P.C.; B.B. NANDA; D.P. BHATTACHARYA e S.B. LODH, 1980. Changes in
activity of some enzymes and free proline in rice (Oryza sativa L.)
during water stress. Plant Biochemical Journal, Orissa, 7: 126-132.

MANDAC, B.E. e B.O. JULIANO, 1978. Properties of prolamin in mature and
developing rice grain. Phytochemistry, Oxford, 17: 611-614.

MANENTI, G.; F. TANO; I. DEL PERO; M. BARBUTI e E. SEBASTIANI, 1979.

Relazioni tra stadi di sviluppo dell'infiorescenza e parametri
macroscopici della pianta in Oryza sativa L. Osservazione sullo
sviluppo dell'infiorescenza. Il riso, Milano, 28: 301-319.

MARTÍNEZ, M.E.C., 1970. Contenido de hierro y aluminio soluble y
extractable de algunos suelos argentinos y su relación con el pH.
Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires,
Buenos Aires, 18: 85-90.

MATTHEWS, J.A. e B.J. MIFLIN, 1980. In vitro synthesis of barley storage
proteins. Planta, Berlin, 149: 1385-1397.

MATSUMOTO, H.; E. HIRASAWA e E. TAKAHASHI, 1976. Localization of absorbed aluminum in pea root and its binding to nucleic acids. Plant and Cell Physiology, 17: 127-137.

MENGEL, K. e E.A. KIRKBY, 1982. Principles of Plant Nutrition. Worblaufen, International Potash Institute. 655 p.

MEYER, B.S.; D.B. ANDERSON e R.H. BOHNING, 1965. Introdução à fisiologia vegetal. Trad. RODRIGUES JUNIOR, C.J. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. 564 p.

MIZRAHI, Y.; A. BLUMENFELD; S. BITTNER e A.E. RICHMOND, 1971. Abscisic acid and cytokinin contents of leaves in relation to salinity and relative humidity. Plant Physiology, Washington, 48: 752-755.

MORGAN, J.A. e W.O. WILLIS, 1983. Gas exchange and water relations of 'Olaf' Spring wheat. Crop Science, Madison, 23: 541-546.

MORITA, Y. e C. YOSHIDA, 1968. Studies on γ -globulin of rice embryo. Part I. Isolation and purification of γ -globulin. Agricultural and Biology Chemistry, Tokio, 32: 664.

MUGWIRA, L.M.; S.M. ELGAWHARY e K.I. PATEL, 1976. Differential tolerance of triticale, wheat, rye and barley to aluminum in nutrient solution. Agronomy Journal, Madison, 68: 782-787.

- NAYER, B.; A.K. BISWAS e M.A. CHOUDHURI, 1982. Water stress induced changes in enzymic activities with age and development of field-grown rice. Phyton, 42: 103-108.
- NEENAN, M., 1960. The effects of soil acidity on the growth of cereals with particular reference to the differential reaction of varieties Fhereto. Plant and Soil, The Hague, 12: 324-338.
- NIELSEN, H.C.; A.C. BECKWITH e J.S. WALL, 1968. Effect of disulfide-bond cleavage on wheat gliadin fractions obtained by gel filtration. Cereal Chemistry, St. Paul, 45: 37-47.
- NOGUEIRA, F.D., 1979. Efeitos do alumínio no sorgo granífero (Sorghum bicolor L. Moench). Piracicaba, ESALQ/USP. 120 p. (Tese de Doutorado).
- Official methods of analysis of the association of Official Analytical Chemists. 1975. HORWITZ, W. (ed.) Association of Official Analytical Chemists, Washington. 1094 p.
- OSBORNE, T., 1918. The vegetable protein. New York. Longman Green. 125 p.
- ORTH, R.A. e W. BUSHUK, 1972. A comparative study of proteins on wheat of diverse baking qualities. Cereal Chemistry, St. Paul, 49: 268-275.

- ORTH, R.H.; R.J. BAKER e W. BUSHUK, 1972. Statistical evaluation of techniques for predicting baking quality of wheat cultivars. Canadian Journal of Plant Science, 52: 139-146.
- PARICHA, P.C.; B.K. CHOSH e N.C. SAHOO, 1977. Further studies on significance of Cycocel in enhancing drought resistance in rice. Science and Culture, Calcutā, 43: 230-231.
- PARICHA, P.C. e P. SAHOO, 1975. Studies on the physiological variability in some mutant cultures of rice resist drought. Oryza, 12: 73-81.
- PARAO, F.T.; E.Jr. PANINGBATAN e S. YOSHIDA, 1976. Drought resistance of rice varieties in relation to their root growth. Philippine Journal of Crop Science, Philippines, 1: 50-55.
- PALMIANO, E.P.; A.M. ALMAZAN e B.O. JULIANO, 1968. Physicochemical properties of protein of developing and mature rice grain. Cereal Chemistry, St. Paul, 45: 1-12.
- PARKER, M.L., 1981. The structure of mature rye endosperm. Annals of Botany, London, 47: 181-186.
- PATEL, C.L.; B.P. GHILDYAL e V.S. TOMAR, 1979. Water use, nutrient balance and growth of rice in different drainage conditions. Il riso, Milano, 28: 291-296.

- PEARSON, R.W., 1965. Soil environment and root development. In: PIERRE, W.H.; D. KIRKHAN; J. PESEK e R. SHAW (eds.) Plant environment and efficient water use. Madison, American Society of Agronomy, Cap. 6, p. 95-126.
- PEDROSO, B.A., 1983. Arroz irrigado e criação de peixe. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, 36: 3-6.
- PERDON, A.A. e B.O. JULIANO, 1978. Properties of a major α -globulin of rice endosperm. Phytochemistry, Oxford, 17: 351-353.
- PRIMAVESI, A., 1978. O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais. 2a. edição. São Paulo, Nobel. 541 p.
- RANDAL, P.J. e P.B. VOSE, 1963. Effect of aluminum on uptake and translocation of phosphorus-32 by perennial ryegrass. Plant Physiology, Washington, 38: 403-409.
- REID, D.A.; G.D. JONES; W.H. ARMIGER; C.D. FOY; E.J. KOCH e T.M. STAR LING, 1969. Differential aluminum tolerance of winter barley varieties and selections in associated greenhouse and field experiments. Agronomy Journal, Madison, 61: 218-222.
- 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. Agronomy Journal, Madison, 63: 600-603.

- RHUE, R.D., 1979. Differential aluminum tolerance in crop plants. In: MUSSEL, H.W. e R.C. STAPLES (eds). Stress Physiology in Crop Plants. New York, a Wiley-Interscience Publication. p. 61-80.
- ROSS, H.A. e D.S. LUTHE, 1983. Isolation and characterization of vat globulin messenger RNA. Plant Physiology, Washington, 72: 578-582.
- SAIGUSA, M.; S. SHOJI e T. TAKAHASHI, 1980. Plant root growth in acid andosols from northeastern Japan: 2 exchange acidity Y_1 as realistic measure of aluminum toxicity potential. Soil Science, 130: 242-250.
- SALISBURY, F.B. e C. ROSS, 1969. Plant physiology. Belmont, Wadsworth Publishing Company. 747 p.
- SANCHEZ, P.A., 1972. Tecnicas agronómicas para optimizar el potencial productivo de las nuevas variedades de arroz en America Latina. In: Politics arroceras en America Latina. Seminar paper 10-14. 1971. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- SARTAIN, J.B. e E.J. KAMPRATH, 1978. Aluminum tolerance of soybean cultivars based on root elongation in solution culture compared with growth in acid soil. Agronomy Journal, Madison, 70: 17-20.
- SHADI, A.I. e R. DJURTOFT, 1979. Studies of rice protein by crossed immunoelectrophoresis, gel electrophoresis, and isoelectric focusing. Cereal Chemistry, St. Paul, 56: 402-406.

SHARMA, S.K. e RAJAT DE, 1979. Effect of water regimes, levels of nitrogen and methods of nitrogen application on grain yield, protein percentage and nitrogen uptake in rice. Il riso, Milano, 28: 45-52.

SHENG, H.Y., 1968. A study on the correlations of dilute acid soluble silicon phosphorus and aluminum contents of some Taiwan important cultivated soils. Bulletin of the Agricultural Chemical Society in Taiwan, 9: 21-42.

SILVA, J.B.; J.L. BRAUNER e W.S. SERPA, 1972. Influência de dois solos ácidos (com e sem CaCO_3) sobre a absorção de alumínio, germinação de sementes e produção de matéria seca de plantas de arroz (Oryza sativa L.), verificada através do método de Neubauer modificado. Associação Latinoamericana de Fitotecnia, Caracas, 8: 74-78.

SLATYER, R.O., 1967. Plant water relationships. London, Academic Press. 366 p.

STONE, L.F.; A.B.D. OLIVEIRA e S. STEINMETZ, 1979. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro ao nitrogênio. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 14: 295-301.

STONE, L.F., 1983. Produtividade e utilização do nitrogênio pelo arroz (Oryza sativa L.): efeitos de deficiência hídrica, cultivares e vermiculita. Piracicaba, ESALQ/USP. 200 p. (Tese de Doutorado).

- SOUZA, L.F.S.; A.C.X. VELLOSO; M.S. FERNANDES e A.F. CASTRO, 1983. Calagem e adubação fosfatada em alguns solos sob cerrado. II. Intervalo entre correção e a aplicação de fósforo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 18: 1175-1179.
- STAHMANN, M.A., 1963. Plant proteins. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, 14: 137-158.
- SUTCLIFFE, J., 1979. As plantas e a água. São Paulo, Editora Pedagógica e Universitária e EDUSP. 126 p.
- TECSON, E.M.S.; B.V. ESMANA; L.P. LONTOK e B.O. JULIANO, 1971. Studies on the extraction and composition of rice endosperm glutelin and prolamin. American Association of Cereal Chemistry, St. Paul, 48: 168-198.
- TELLO, F.; M.A. ALVARES-TOSTADO e G. ALVARADO, 1965. A study on the improvement of the essential-amino acid balance of corn protein. Cereal Chemistry, St. Paul, 42: 368-383.
- THAWORNWONG, N. e A. VAN DIEST, 1974. Influences on high acidity and aluminum on the growth of lowland rice. Plant and Soil, The Hague, 41: 141-159.
- TURNER, N.C., 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In: MUSSEL, H.W. e R.C. STAPLES (eds.) Stress

Physiology in Crop Plants. New York, a Wiley-Interscience Publication.
p. 343-372.

VILLAREAL, R.M. e B.O. JULIANO, 1978. Properties of glutelin from
mature and developing rice grain. Phytochemistry, Oxford, 17:
177-182.

VILLAREAL, R.M. e B.O. JULIANO, 1981. Properties of albumins of milled
rice. Phytochemistry, Oxford, 20: 1785-1789.

WALBURG, G. e B.A. LARKINS, 1983. Oat seed globulin - subunit
characterization and demonstration of its synthesis as a precursor.
Plant Physiology, Washington, 72: 161-165.

WALLACE, A. e E.M. ROMNEY, 1977. Aluminum toxicity in plants grown
in solution culture. Communication in Soil Science and Plant
Analysis, New York, 8: 791-794.

WASEL, Y.; A. HOFFEN e A. ESHEL, 1970. The localization of aluminum
in the cortex cells of bean and barley roots by X-Ray microanalysis.
Physiologia Plantarum, Kobenhavn, 23: 75-79.

WEST, S.W., 1962. Protein, nucleotide and ribonucleic acid metabolism
in corn during germination under water stress. Plant Physiology,
Washington, 37: 565-571.

YAMAGATA, H.; T. SUGIMOTO; K. TANAKA e Z. KASAI, 1982. Biosynthesis of storage proteins in developing rice seeds. Plant Physiology, Washington, 70: 1094-1100.