

Bio-270



Universidade Eduardo Mondlane

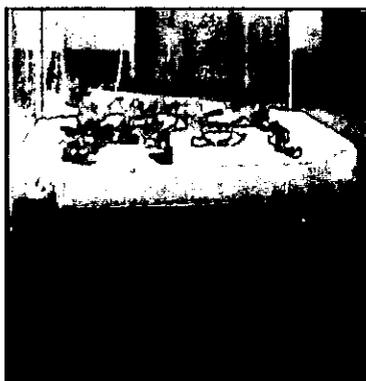
Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Trabalho de Culminação de Curso

**Efeito da toxicidade de Sulfato de Alumínio no Crescimento e
Morfologia de Duas Variedades Locais de Feijão- nhemba**

(Vigna unguiculata (L.) Walp.)



Ano impresso = 2004
PI e PII = 2007

Autora: Sónia Isabel Ventura

Maputo, Janeiro de 2008



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Trabalho de Culminação de Curso

Tema: Efeito da toxicidade de Sulfato de Alumínio no Crescimento e Morfologia de Duas Variedades Locais de Feijão- nhemba (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

Autora: Sónia Isabel Ventura

Supervisores:

Prof. Doutor Orlando Quilambo

dr^a Célia Martins

Maputo, Janeiro de 2008

Agradecimentos

- ❖ Em primeiro lugar agradeço à Deus por ter estado sempre comigo ao longo de todos estes anos, dando força e saúde para que a minha carreira estudantil fosse um sucesso.
- ❖ Agradecer aos meus supervisores, Professor Doutor Orlando Quilambo e a dr.^a Célia Martins pelo apoio incansável, desde a aquisição do material, a orientação e as palavras de incentivo.
- ❖ Um obrigado muito especial vai para o meu amigo Carlos Litulo, pela ajuda na análise estatística, a paciência e amizade.
- ❖ O meu muito obrigado vai ao Prof. Dr. Carvalho Madivate e Sr.^a Madalena do Departamento de Química pelo fornecimento de reagentes, ao dr. Maurício por me ter ajudado a montar a experiência e pelas “dicas” muito úteis para que este estudo fosse possível, às Sr.^{as} Sabina, Helena e Rosalina e ao Sr. Sitóe.
- ❖ Agradecer também ao Instituto de Investigação Agronómica de Moçambique (IIAM) pelo fornecimento de sementes, agradecer pela ajuda imprescindível do dr. Munice, dr. Sofrimento, Sr. Reis, Sr. Lucas, os Eng.^{os}. Veríssimo e Francisco.
- ❖ O meu muito obrigado ao meu colega e amigo Ângelo Francisco, que me ajudou na árdua tarefa de manusear os aquários e pela força.
- ❖ Agradecer ao Cisco pelo fornecimento de literatura sobre o feijão-nhamba.
- ❖ Às “clorofila girls” companheiras e amigas preciosas nos momentos bons e menos felizes durante o curso.
- ❖ Não poderia deixar de agradecer aos meus pais Eduardo Ventura e Laura Francisco pelo incansável apoio, amor e carinho dedicado ao longo destes “23anos de estudo” sempre proporcionando a mim e ao meus irmãos um ambiente saudável para que a nossa formação como seres humanos e estudantes fosse possível.
- ❖ Aos meus irmãos Nilton e Sextinho pelo apoio “que no fundo” sempre demonstraram. À todos os que não foram aqui mencionados mas que directa ou indirectamente contribuíram para que a realização deste trabalho fosse possível.

Declaração de Honra

Declaro por minha honra, a autoria do presente trabalho e os dados nele apresentados são fruto do estudo experimental por mim realizado.

Maputo, Dezembro de 2007



Sónia Isabel Ventura

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais Eduardo Ventura Cumbe e Laura Francisco João que sempre disseram – “*estude para ser gente*”.

Aos meus irmão Nilton e Eduardo Carlos.

Resumo

A toxicidade do alumínio constitui um dos maiores problemas para o crescimento de plantas em solos ácidos. Em Moçambique as áreas costeiras do sul são caracterizadas por possuírem solos fortemente ácidos e com elevados níveis de alumínio trocável.

O presente estudo examinou as respostas fenológicas e fisiológicas de duas variedades locais de feijão-nhemba ("Namarua" e "Massava-nhassenje") quando submetidas à diferentes concentrações de alumínio (0.015, 0.030 e 0.045mM) e o controle sem adição do alumínio. Para a realização da experiência usou-se plantas com 8 dias de idade cultivadas em vasos, na estufa do Departamento de Ciências Biológicas. Posteriormente, estas plantas foram transferidas para aquários contendo solução nutritiva de Clark com pH 4.3 e com diferentes concentrações de alumínio durante 15 dias, no laboratório de Ecologia do Departamento de Ciências Biológicas. As duas variedades mostraram sinais de efeitos fitotóxicos do alumínio dois dias após a sua adição, tais como, folhas enroladas e amareladas, pêlos radiculares pouco desenvolvidos e produção de uma camada mucilaginosa. Estes sinais foram mais acentuados na variedade "Namarua" com o passar do tempo. Na segunda semana houve necroses nas folhas e morte de plantas nos tratamentos controle, 0.015 e 0.030mM de alumínio na variedade "Namarua" e nos tratamentos controle e 0.015mM na variedade "Massava-nhassenje". Os parâmetros de crescimento TCR e TAA foram os mais afectados tendo havido diferenças significativas entre as duas variedades e entre os diferentes tratamentos ($p < 0.05$), a variedade "Massava-nhassenje" mostrou-se mais tolerante que a variedade "Namarua" considerada sensível aos efeitos do alumínio.

Palavras chaves: Toxicidade, alumínio, feijão - nhemba

Lista de Abreviaturas

Abreviaturas	Unidades
Al - Alumínio	
AF - Área Foliar	cm ² g ⁻¹
AEF - Área Específica da Folha	cm ²
RAF - Razão da Área da Folha	cm ² g ⁻¹
RPSF - Razão do Peso Seco da Folha	gg ⁻¹
RPSR - Razão do Peso Seco da Raiz	gg ⁻¹
PSF - Peso Seco da Folha	g
PSR - Peso Seco da Raiz	g
PTP - Peso Total da Planta	g
PEFo - Peso Específico da Folha	g cm ⁻²
COMPRA - Comprimento da Raiz	cm
CAT - Conteúdo de Água Total	%
%Mat.S - Percentagem de Matéria Seca	%
TCR - Taxa de Crescimento Relativo	gg ⁻¹ dia ⁻¹

Lista de Figuras

- Figura 1: Localização geográfica da Estufa e do laboratório de Ecologia do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Eduardo;
- Figura 2: Representação esquemática da experiência;
- Figura 3: Disposição das plantas nos aquários;
- Figura 4: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Área Foliar nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b); Tratamento controle sem adição de alumínio.
- Figura 5: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Área Específica Foliar nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Tratamento controle sem adição de alumínio.
- Figura 6: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Razão da Área Foliar nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Tratamento controle sem adição de alumínio.
- Figura 7: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre o Peso Seco da Raíz nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Tratamento controle sem adição de alumínio.
- Figura 8: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre o Peso Seco das Folhas nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Tratamento controle sem adição de alumínio.
- Figura 9: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre o Peso Total da Planta nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Tratamento controle sem adição de alumínio.

- Figura 10: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Razão do Peso Seco das Folhas nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Tratamento controle sem adição de alumínio.
- Figura 11: : Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Razão do Peso Seco da Raíz nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Tratamento controle sem adição de alumínio.
- Figura 12: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Percentagem da Matéria Seca Total nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Tratamento controle sem adição de alumínio.
- Figura 13: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre o Conteúdo de Água Total nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Tratamento controle sem adição de alumínio.
- Figura 14: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Taxa de Crescimento Relativo nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Tratamento controle sem adição de alumínio.
- Figura 15: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Taxa de Assimilação Aparente nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Tratamento controle sem adição de alumínio.
- Figura 16: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre o Comprimento da Raíz nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Tratamento controle sem adição de alumínio.

Índice

Agradecimentos.....	i
Declaração de Honra.....	ii
Dedicatória.....	iii
Resumo.....	iv
Lista de Abreviaturas.....	v
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tabelas.....	viii
1. Introdução	1
1.1. Descrição, ocorrência e características da toxicidade do alumínio.....	1
1.2. Importância do Estudo	3
1.3. Revisão Bibliográfica.....	4
1.3.1. Descrição do feijão -nhemba.....	4
1.3.1.1. Origem e distribuição do feijão- nhemba.....	4
1.3.2. Taxonomia e Morfologia do feijão- nhemba	5
1.3.2.2. Morfologia	5
1.4. Importância e Produção do feijão- nhemba	6
1.4.1. Importância	6
1.4.2. Produção do feijão- nhemba em Moçambique	7
1.4.3. Variedades Moçambicanas	7
1.4.4. Composição bioquímica da semente de feijão- nhemba.....	8
1.5. Condições Ecológicas	9
2. Objectivos	11
3. Hipóteses.....	12
4. Área de Estudo.....	12
5. Material e método	13
5.1. Método e princípio	13
5.2. Equipamento e Material experimental	14
5.3. Reagentes	15
5.4. Soluções preparadas (reagentes).....	15
5.5. Procedimento	16
5.5.1. Obtenção das plantas.....	16
5.5.2. Preparação dos aquários.....	16
5.5.3. Preparação da solução nutritiva	16
5.5.4. Maneio da solução	18
5.6. Delineamento experimental e plano de colheita	19
5.6.2. Plano de Colheita	20
5.7. Parâmetros de crescimento	20
5.7.1. Medição do peso fresco e seco total da planta, folha, caule e raiz	20
5.7.2. Análise de crescimento	21
5.7.2.1. Área foliar (AF)	21
5.7.2.2. Comprimento máximo da raiz (COMPRA).....	22
5.7.2.3. Determinação da taxa de crescimento relativo (TCR).....	22

5.7.2.4. Determinação da taxa de assimilação aparente (TAA).....	22
5.7.2.5. Determinação da razão da área foliar (RAF)	23
5.7.2.6. Determinação da área específica da folha (AEF)	23
5.7.2.8. Determinação do peso específico da folha (PEFo)	24
5.7.2.9. Determinação da razão do peso seco da raiz (RPSR).....	25
5.7.2.10. Determinação da percentagem da matéria seca da planta (%Mat.S).....	25
5.7.2.11. Determinação do Conteúdo de Água Total.....	26
6. Análise estatística.....	27
7. Resultados.....	28
7.1. Desenvolvimento fenológico	28
7.3. Efeito do alumínio nos parâmetros de crescimento	31
7.3.1. Área foliar	31
7.3.2. Área específica da folha.....	32
7.3.3. Razão da área foliar	33
7.3.4. Peso seco da raiz.....	34
7.3.5. Peso seco das folhas.....	35
7.3.6. Peso total da planta	36
7.3.7. Razão do peso seco das folhas	37
7.3.8. Razão do peso seco da raiz	38
7.3.9. Percentagem da matéria seca total	39
7.3.10. Conteúdo de água na planta	40
7.3.11. Taxa de Crescimento Relativo	41
7.3.12. Taxa de assimilação aparente.....	42
7.3.13. Comprimento da raiz.....	43
8. Discussão	45
8.1. Desenvolvimento fenológico	45
8.2. Condições de crescimento (pH).....	46
8.3. Parâmetros de crescimento	47
9. Conclusões	54
10. Recomendações.....	54
11. Constrangimentos	54
12. Bibliografia	55

ANEXOS

1. Introdução

1.1. Descrição, ocorrência e características da toxicidade do alumínio

A toxicidade é uma resposta adversa de um sistema biológico à um agente ou contaminante, cuja manifestação poderá ser danos nas estruturas, funções ou ainda conduzir à morte do organismo (Santiago, 1997 citado por Dias *et al.*, 2002). Por exemplo em condições de stress provocado por cobre as células epidérmicas da raiz do milho foram seriamente danificadas (Ouzounidou *et al.*, 1995 citado por Čiamporová, 2000), enquanto que nas plântulas de milho as células epidérmicas jovens com 2-20mm sofreram também graves danos sob stress provocado por alumínio (Budíková, 1999 citado por Čiamporová, 2000).

O alumínio (Al) é o metal mais abundante (Kochian, 1995 citado por Rowland, 2006), e é considerado como o terceiro elemento químico mais frequente na crosta terrestre, onde compreende aproximadamente 7,1% (Lindsay, 1979 citado por Machado, 1997 Kochian, 1995 citado por Rowland, 2006). O aumento de formas biodisponíveis de alumínio a partir de formas insolúveis, que podem ser altamente fitotóxicas, deve-se à cada vez maior acidificação dos solos (Clune & Copeland, 1999). Esta acidificação desenvolve-se quando ocorre perda de catiões básicos nos solos, mas pode também ser acelerada por práticas agrícolas como o uso de solos marginais, fraca irrigação assim como a aplicação de fertilizantes de NH_4^+ nos solos (Rowland, 2006). Das diferentes formas de alumínio, a forma Al^{3+} é comprovadamente tóxica (Echart e Cavalli-Molina, 2001). À medida que o pH aumenta, o octahedral hexahidratado $\text{Al}^{3+} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ transforma-se em $\text{Al}(\text{OH})^+ \cdot \text{H}_2\text{O}$. Num pH neutro é formado o “gibbsite” insolúvel (pH 7) e o anião aluminato ($\text{Al}(\text{OH})_4^-$) (pH 7.4) é dominante em pH alcalino (Kinraide, 1991 citado por Rowland, 2006), num pH ácido a presença de aniões como F^- , SO_4^{2-} e H_2PO_4^- na solução

é resultante da formação de várias formas monoméricas de alumínio, dentre as quais Al_3^+ , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})^+$, $\text{Al}(\text{OH})^0$ e $\text{Al}(\text{SO}_4)^+$ que são consideradas como sendo tóxicas para as plantas (Blamey *et al.*, 1983 citados por Hairiah, 1992). Porém, o $\text{Al}(\text{SO}_4)^+$ é considerado a menos tóxica dentre as formas monoméricas (Alva *et al.* 1991 citados por Hairiah, 1992).

Algumas formas poliméricas foram descritas por Gauer & Horst (1990) e Kinraide (1991) citados por Hairiah (1992) como sendo tóxicas, dentre elas $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$, $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{32}^{7+}$ e $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$ (Nair & Prenzel, 1978 citados por Hairiah, 1992).

Globalmente, 30 a 40% dos solos aráveis são considerados ácidos e uma grande área se encontra em risco (von Uexkull & Mutert, 1995 citados por Clune & Copeland, 1999; Matsumoto, 2000) compreendendo cerca de 50% dos solos do mundo potencialmente aráveis (Von Uexkull & Mutert, 1995 citados por Piñeros *et al.*, 2005).

Os efeitos fitotóxicos do Al^{3+} têm sido estudados desde o início do século XX, a sua toxicidade em plantas terrestres que crescem em solos ácidos foi reconhecida há mais de 70 anos (Yang *et al.*, 2006).

A razão para este interesse é a ocorrência em grande escala de solos com pH baixo, nos quais o alumínio adquire uma forma química que quando absorvida pelas plantas tem efeitos tóxicos (Ciamporova, 2002 citado por Rowland, 2006). Acredita-se que a toxicidade seja consequência de elevados níveis de alumínio solúvel no solo e águas superficiais (Lindsay & Walthall, 1996 citados por Quintal-Tun *et al.*, 2006), sendo um dos maiores indutores da baixa produtividade em solos ácidos (Yang *et al.*, 2006).

Os numerosos estudos feitos sobre a toxicidade do alumínio reflectem a importância agronômica e econômica do problema (Foy, 1984; Foy *et al.*, 1978 citados por Rowland, 2006).

Dentre os sintomas mais imediatos da toxicidade do Al^{3+} encontram-se a inibição do crescimento radicular, o fraco desenvolvimento de pêlos radiculares e o entumescimento do ápice radicular (Cramer & Titus, 2001 citados por Rowland, 2006),

contribuindo assim para um decréscimo da tolerância à seca e o acesso aos nutrientes das camadas mais profundas (Foy, 1976 citado por Tecchio *et al.*, 2005), principalmente nitrogénio, fósforo, potássio, magnésio, ferro, manganês, cobre e outros elementos (Calbo & Cambraia, 1980; Cambraia *et al.*, 1983; Kinraide, 1995 citados por Bonato *et al.*, 2000).

Estudos feitos por vários autores mostraram que o alumínio tem efeitos deletérios sobre a nodulação das raízes em leguminosas (Meenakumari & Nair, 2001) particularmente no amendoim (*Arachis hipogaea* L.) (Brady *et al.*, 1994). O alumínio representa o maior constrangimento na produção de milho, sorgo e arroz nos países em desenvolvimento (De la Fuente-Martinez & Herrera-Estrella, 1999 citados por Rowland, 2006).

Em Moçambique, cerca de 74,5% do território é ocupado por solos moderadamente ácidos e solos levemente ácidos (Vilanculos, 2000), sendo as áreas costeiras no sul do país fortemente ácidas, apresentando elevados níveis de alumínio trocável (Fig. 2 ANEXO) (Vilanculos, 2000).

1. 2. Importância do Estudo

A existência de fábricas em Moçambique que potencialmente podem libertar o alumínio, o cada vez maior nível de acidificação dos solos e o conseqüente aumento de concentrações de alumínio trocável no solo, torna o estudo de uma possível toxicidade do alumínio importante. Por outro lado, o facto do feijão- nhemba ser usado na alimentação (cultura de elevado valor económico), ser uma planta reconhecidamente resistente à seca, estudos terem mostrado que a toxicidade do alumínio pode contribuir para a redução da tolerância à seca, e ainda poder ser usado como fitorremediador em solos poluídos com outras substâncias químicas, como os fluoretos, incentiva o estudo dos efeitos da toxicidade do alumínio nesta cultura. Tal como acontece com a maioria das cultivares de

milho, sorgo e arroz cultivadas actualmente que são susceptíveis a toxicidade do alumínio (Sanchez & Salinas, 1981 citados por Rowland, 2006) o mesmo poderá acontecer com as variedades de feijão- nhemba produzidas em Moçambique. É importante que se saiba quais dentre as variedades moçambicanas são sensíveis ou tolerantes a toxicidade pelo alumínio. Em países africanos como África do Sul (Rowland, 2006), Zaire, Zâmbia, Costa do Marfim (De la Fuente-Martinez & Herrera-Estrella, 1999 citados por Rowland, 2006), 45% do total das terras aráveis são ácidas enquanto que em Moçambique as áreas costeiras no sul do país são consideradas fortemente ácidas e apresentam elevados níveis de alumínio trocável (Vilanculos, 2000).

Um aspecto peculiar deste estudo é o facto de ser realizado em cultura hidropónica que permite maior controle experimental e apresenta as seguintes vantagens: rapidez, menor custo operacional, maior facilidade de avaliação e eficiência satisfatória (Furlani *et al.*, 2000 citado por Paterniani & Furlani, 2002).

1.3. Revisão Bibliográfica

1.3.1. Descrição do feijão -nhemba

1.3.1.1. Origem e distribuição do feijão- nhemba

O feijão- nhemba (*Vigna unguiculata*) é uma cultura que se admite ter surgido em 2300 a.C., no Sudeste de África (Burkill, 1953 e Purseglove, 1976 citados por Singh & Rachie, 1985). Pensa-se que as variedades mais antigas tenham sido provavelmente do tipo trepadeira, sensível ao fotoperíodo, de dias curtos e do cultigrupo Unguiculata (Heemskerk, 1987). Contudo, Steele & Mehra 1980 e Ng & Maréchal (1985) citados por Filho *et al.* (2005) citam o Oeste de África, mais precisamente a Nigéria, como o centro

primário de diversidade da espécie. Padulosi & Ng (1997) citados por Filho *et al.* (2005) relatam que, provavelmente, a região do Transvaal, na República da África do Sul, seja a região de especiação de *Vigna unguiculata*. Esta cultura foi introduzida na Índia por volta de 150 anos a.C. (Steele & Mehra, 1980 citados por Singh & Rachie, 1985). Pensa-se que a partir de África se tenha espalhado pelo Egípto ou Arábia, pela Ásia e pelo Mediterrâneo. Foi introduzida no Suriname pelos espanhóis no século XVI e chegou aos Estados Unidos da América por volta de 1700 (Purseglove, 1984).

1.3.2. Taxonomia e Morfologia do feijão- nhemba

1.3.2.1 Taxonomia

O feijão-nhemba é uma planta Dicotyledonea, que pertence à ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolines, gênero *Vigna*, secção *Catiang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata* (Verdcourt, 1970; Maréchal *et al.*, 1978; Padulosi & Ng, 1997 citados por Freire, 2005). O subgênero *Vigna* tem seis secções dentre elas a *Catiang* da qual faz parte a espécie *Vigna unguiculata*. Todo o feijão-nhemba cultivado pertence à subespécie *unguiculata*, que é dividida em quatro cultigrupos: *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis* (Wesphal citado por Maréchal *et al.* (1978) e Ng & Maréchal (1985) citados por Filho *et al.*, 2005).

1.3.2.2. Morfologia

As duas primeiras folhas verdadeiras têm uma inserção oposta no caule e são folhas sésseis e simples. Depois são formadas folhas compostas de 3 folíolos com pecíolos de 5-15cm. No ponto de inserção do pecíolo no caule existem duas estipulas

grandes, com uma forma muito característica da espécie (Heemskerk, 1987). O folíolo terminal geralmente é ovóide, mas também existem cultivares com folíolos lanceolados ou hastates. Na axila de cada folha encontram-se três botões, onde somente o botão central se desenvolve (Purseglove, 1984).

O sistema radicular possui uma raiz pivotante forte e profunda com um sistema radicular lateral, bastante ramificado e superficial (Heemskerk, 1987).

As sementes variam muito em largura, peso, forma e cor. O tegumento da semente, geralmente é lisa embora, existam cultivares com testa rugosa, pode ser branca (sem pigmentação), vermelha, creme, castanha e preta. Existem também variedades com coloração concentrada a volta do hilo, ou distribuída no tegumento em variadas combinações de pontinhos ou manchas (Heemskerk, 1987).

1.4. Importância e Produção do feijão- nhemba

1.4.1. Importância

O feijão- nhemba é uma importante cultura leguminosa nas zonas tropicais e subtropicais, particularmente em África (Purseglove, 1984). Os grãos secos são uma das principais fontes de proteína e energia para o Homem, principalmente para a população com menor poder aquisitivo (Grangeiro *et al.*, 2005 citado por Filho *et al.*, 2005), podem ser preparados para alimentação de várias maneiras (Purseglove, 1984 citando Dalziel, 1937), e podem ser transformados em farinha ou podem ser usados para substituir o café. Rebentos, folhas e vagens jovens são usadas como hortaliças, fornecem um caril muito apreciado em África. Podem ainda ser congeladas ou enlatadas (Purseglove, 1984; Heemskerk, 1987).

As variedades prostradas, como cobrem bem o solo, podem ser usadas na redução da erosão, sendo portanto usadas na adubação verde e como cobertura para a manutenção

da produtividade dos solos (Heemeskerk, 1987). O feijão- nhemba pode servir de forragem, as folhas de nhemba é considerado de alto valor nutritivo, e se for misturado com a mapira é usada como silagem para o gado. O grão seco é também usado como alimento para o gado (Heemeskerk, 1987).

1.4.2. Produção do feijão- nhemba em Moçambique

O feijão- nhemba é uma das leguminosas mais adaptadas, versáteis e nutritivas entre as espécies cultivadas. A cultura ocupa cerca de 11 milhões de hectares, distribuídos nas regiões tropicais e subtropicais de África, da Ásia e das Américas (Sinh *et al.*, 2002 citados por Grangeiro *et al.*, 2005 e este por sua vez citado por Filho *et al.*, 2005).

O feijão- nhemba é o segundo legume mais importante de África (Purseglove, 1984). Em Moçambique esta cultura é mais produzida na província de Inhambane, Nampula, Zambézia, Maputo, Gaza e Cabo Delgado (Rulkens, 1996).

1.4.3. Variedades Moçambicanas

As variedades de feijão- nhemba em Moçambique podem dividir-se em três grupos segundo características fotoperiódicas e hábito de crescimento:

Variedade determinada insensível ao fotoperíodo, variedade indeterminada insensível ao fotoperíodo e variedade indeterminada sensível ao fotoperíodo.

A variedade "Namurua", cultivada no centro e norte do país (Zambézia, Nampula e Cabo Delgado) é determinada insensível ao fotoperíodo. Esta variedade quando semeada em solos férteis com suficiente humidade desenvolve um hábito prostrado. O seu grão é médio (12-18g/100 sementes, com cores variadas). A variedade "Namurua"

apresenta vagens compridas (170-220mm) e largas, as flores são roxas e o grão é geralmente castanho embora haja outras cores. Apresenta um ciclo de vida de 80-90 dias até 50% das vagens estarem maduras. O ciclo de vida é pouco influenciado pela época da sementeira (Heemeskerk, 1985).

A variedade “Massava-nhassenje” é cultivada em várias regiões norte e sul do país particularmente em Vilanculos, Província de Inhambane. É uma variedade prostrada rente ao solo, com um padrão de crescimento indeterminado (difuso para todas as direcções) (Verissimo, 2007 comunicação pessoal). Faz parte das variedades que não são muito sensíveis ao fotoperíodo (Heemeskerk, 1985).

1.4.4. Composição bioquímica da semente de feijão- nhemba

O feijão- nhemba é rico em lisina e outros aminoácidos essenciais, mas pobre em aminoácidos sulfurados (Nnanna & Phillips, 1989 citado por Grangeiro *et al.*, 2005). É uma importante fonte de tiamina e niacina, contém também quantidades consideráveis de vitaminas hidrossolúveis, como riboflavina, piridoxina e ácido fólico, e de minerais, como ferro, zinco, potássio e fósforo (Aykroyd *et al.*, 1982 citados por Grangeiro *et al.*, 2005). O feijão- nhemba é também rico em fibras dietéticas (Walker, 1982; Uzogara & Ofuya, 1992 citados por Grangeiro *et al.*, 2005), correlacionadas ao decréscimo da incidência de doenças como câncer de cólon, obesidade, doenças coronarianas e diabetes (Walker, 1982 citado por Grangeiro *et al.*, 2005).

1.5. Condições Ecológicas

Esta cultura pode ser cultivada sob diferentes condições ambientais (Purseglove, 1984).

1.5.1. Temperatura

O feijão- nhemba desenvolve-se numa faixa de temperatura entre 20°C e 35°C (Heemskerk, 1987; Araújo *et al.*, 1984 citados por Pinho *et al.*, 2005). É sensível ao frio e pode morrer devido à geada (Purseglove, 1984). A faixa ideal de temperatura para germinação da cultura é de 23°C a 32.5°C, independentemente do genótipo (Freire *et al.*, 2005). Sabe-se que há uma produção máxima de nhemba com temperaturas diurnas de 27°C e nocturnas de 22°C. Temperaturas altas durante a noite podem prejudicar mais do que temperaturas altas durante o dia (Heemskerk, 1987). Segundo Ehlers & Hall (1998) citados por Cardoso *et al.*, 2005 temperaturas acima de 20 °C afectam negativamente o processo reprodutivo do feijão- nhemba.

1.5.2. Fotoperíodo

A maioria dos genótipos de feijão- nhemba responde ao fotoperíodo numa forma quantitativa como plantas de dias curtos, numa dada temperatura (Heemskerk, 1987).

No que concerne ao comprimento do dia, a maioria das cultivares de feijão- nhemba é neutra ao fotoperiodismo (Fageria, 1989 citado por Filho *et al.*, 2005).

1.5.3. pH

Cresce melhor num pH entre 5.5 e 6 (Melo *et al.*, 2005; Jemo *et al.*, 2007). Pode ser cultivado com sucesso em uma grande variedade de solos, sendo por vezes produzido em solos pobres e ácidos (Purseglove, 1984). Os principais problemas de acidez estão relacionados com a toxicidade do alumínio e deficiências de fósforo, cálcio e magnésio (Melo *et al.*, 2005). Diversas pesquisas têm mostrado que o feijão- nhemba é uma planta que possui determinada tolerância à meios ácidos (Melo *et al.*, 2005).

1.5.4. Luminosidade

O feijão- nhemba é uma planta C₃, satura-se fotossinteticamente a intensidades de luz relativamente baixas, em torno de 10000 e 40000 lux (Cardoso *et al.*, 2005).

1.5.5. Cultura hidropónica

A hidroponia é uma técnica alternativa de cultivo protegido, na qual o solo é substituído por uma solução aquosa contendo apenas os elementos minerais indispensáveis aos vegetais (Graves, 1983; Jensen & Collins, 1985; Resh, 1996 e Furlani *et al.*, 1999 citados por Silva & Melo, 2005).

A hidroponia ou hidropónica é um termo derivado de dois radicais gregos (*hydor*, que significa água e *ponos*, que significa trabalho) (Silva & Melo, 2005).

A cultura hidropónica permite maior controle experimental e apresenta as seguintes vantagens: rapidez na produção, menor custo operacional, maior facilidade de avaliação e eficiência satisfatória (Furlani *et al.*, 2000 citados por Paterniani & Furlani, 2002). Contudo, segundo Vital *et al.* (2003) apesar do grande número de fórmulas existentes não existe uma solução padrão, para o cultivo de uma determina espécie ou variedade. É importante o controlo dos factores salinidade, pH, oxigenação, temperatura,

intensidade da luz entre outros (Vital *et al.*, 2003).

Existem constrangimentos no uso do cultivo hidropónico especialmente por exigir um conhecimento profundo dos aspectos nutricionais que requerem formulação e manejo adequados das soluções nutritivas (Melo & Silva, 2005). Outro factor que também interfere com a produção em sistemas hidropónicos, está relacionado com o sistema de cultivo, que exige um conhecimento detalhado sobre as estruturas básicas que o compõem (Castellane & Araújo, 1994; Cooper, 1996; Faquin *et al.*, 1996; Martinez & Silva Filho, 1997 e Furlani, 1998 citados por Silva e Melo, 2005). A hidroponia é uma técnica cara e exigente no manejo (Silva & Melo, 2005).

2. Objectivos

2.1. Objectivo geral

- Estudar os efeitos da toxicidade do alumínio na morfologia e crescimento de duas variedades locais de feijão- nhemba (*Vigna unguiculata*).

2.2. Objectivos específicos

- Identificar parâmetros morfológicos ligados à toxicidade do alumínio.
- Determinar a concentração do alumínio causadora de toxicidade em feijão- nhemba.
- Comparar os efeitos da toxicidade do alumínio nas duas variedades locais de feijão- nhemba.

3. Hipóteses

H₀: O Al tem efeitos tóxicos sobre a morfologia e crescimento do feijão- nhemba.

H₁: O Al não tem efeitos tóxicos sobre a morfologia e crescimento do feijão- nhemba.

4. Área de Estudo

As plantas foram cultivadas na estufa do Departamento de Ciências Biológicas (DCB) e a experiência foi realizada no Laboratório de Ecologia do Departamento de Ciências Biológicas (DCB) ambos situados no Campus Universitário da Universidade Eduardo Mondlane (UEM), de Outubro à Novembro do ano 2007 durante um período de 21 dias.

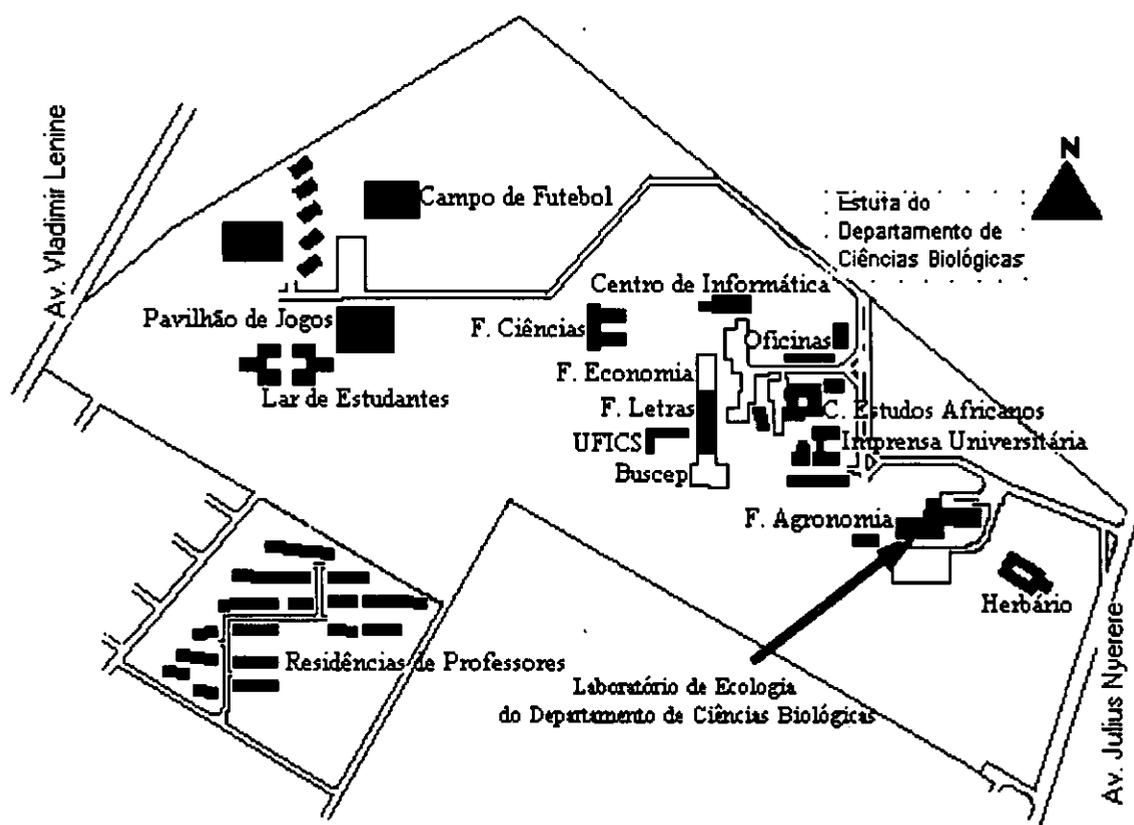


Fig.1. Localização geográfica da Estufa e do laboratório de Ecologia do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Eduardo Mondlane (Adaptado de <http://WWW.UEM.MZ.htm>, acessado em Maio de 2007).

5. Material e método

5.1. Método e princípio

No presente trabalho foram estudados os efeitos da toxicidade do alumínio no crescimento e morfologia de duas variedades de feijão-nhemba, num sistema hidropónico, nas concentrações de 0,0, 0,015, 0,030 e 0,045 mM. Foram usadas plantas de

feijão- nhemba de duas variedades locais (Namura e Massava-Nhassene), produzidas por meio de germinação de sementes na Estufa do DCB.

5.2. Equipamento e Material experimental

1. Estufa de secagem a 80 °C
2. Balança electrónica
3. Condutivímetro
4. 2 Compressores de ar
5. Tubo PVC (20m)
6. 50 Placas de Petri 100x15mm
7. Bisturi
8. Fórceps
9. Furador cilíndrico (diâmetro 1cm)
10. Tesoura
11. Proveta de 10ml
12. 2 Marcadores
13. Papel de filtro 1505 (diâmetro 110mm)
14. Envelopes
15. Vasos plásticos
16. 2 Baldes plásticos
17. 8 aquários de vidro
18. 250 sementes de duas variedades locais de feijão- nhemba var. Namura e Massava-nhassenje (125 sementes por cada variedade) provenientes do IIAM
19. 240 litros de água destilada

5.3. Reagentes

1. Etanol a 95%
5. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
6. HCl 1N
7. NaOH 1N

5.4. Soluções preparadas (reagentes)

- Solução nutritiva de Clark

1. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
2. KNO_3
3. $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
4. NH_4NO_3
5. KCl
6. $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
7. $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
8. H_3BO_3
9. $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
10. H_2MoO_4
11. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
12. Fe.EDTA

5.5. Procedimento

5.5.1. Obtenção das plantas

Colocou-se sementes a embeber em água destilada durante 24 horas, após as quais foram semeadas em vasos. As sementes foram colocadas a germinar em vasos plásticos durante 7 dias (5 sementes em cada vaso) e 25 vasos para cada variedade. Os vasos foram regados de 2 em 2 dias. Passados 7 dias, as plantas foram retiradas dos vasos, mergulhando-os em um balde com água da torneira de modo reduzir a destruição das raízes e foram utilizadas na experiência.

5.5.2. Preparação dos aquários

Antes da introdução dos 15 litros de solução nutritiva, os aquários foram esterilizados com etanol à 95%. Para a transferência das plantas, cobriu-se o aquário com uma placa de esferovite, contendo fileiras com furos distanciados 10cm (Fig. 3).

5.5.3. Preparação da solução nutritiva

Foi preparada a solução nutritiva segundo a tabela 1.

Tabela 1. Composição química da solução nutritiva de Clark (1975) modificada por Rodrigues (1979), segundo Codognotto *et al.*, (2003).

Composto	Concentração na solução nutritiva (mM)
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	2.53
KNO ₃	1.30
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.60
NH ₄ NO ₃	0.90
KCl	0.50
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O	0.0345
MnCl ₂ .4H ₂ O	7.0 x 10 ⁻³
H ₃ BO ₄	19.0 x 10 ⁻³
ZnSO ₄ .7H ₂ O	2.0 x 10 ⁻³
H ₂ MoO ₄ .H ₂ O	0.6 x 10 ⁻³
CuSO ₄ .5H ₂ O	0.5 x 10 ⁻³
Fe.EDTA	38.0 x 10 ⁻³

A solução nutritiva foi preparada segundo Furlani (1998) citado por Silva e Melo (2005):

Os compostos foram pesados individualmente. Os sais foram misturados a seco, com exceção do cálcio, por formar compostos insolúveis com fosfatos e sulfatos. Dissolveu-se a mistura num recipiente com água e depois adicionou-se no reservatório que continha 7.5 litros de água (metade do volume pretendido). Os sais de cálcio foram dissolvidos separadamente e adicionados em seguida. Posteriormente adicionou-se a mistura de micronutrientes sem incluir o ferro. Em seguida completou-se o nível da solução no aquário e misturou-se bem.

O pH foi avaliado e corrigido para pH 6.0, nos casos em que era muito ácido usou-se NaOH a 1N e quando era básico usou-se HCl a 1N. Adicionou-se o ferro associado ao EDTA para que ficasse disponível para as plantas pois, quando puro, o ferro precipita-se e as plantas não conseguem absorvê-lo.

Por fim acrescentou-se às soluções nutritivas as concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio e no aquário controle não foi adicionado alumínio.

5.5.4. Maneio da solução

As plantas foram sujeitas à uma adaptação à solução nutritiva com pH 6 durante 48 horas a seguir a sua transferência, após as quais procedeu-se à diminuição paulatina até pH 4.3 durante 24 horas. Em seguida acrescentou-se alumínio nas concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio, respectivamente, e no tratamento controle não foi adicionado alumínio.

A temperatura da solução foi avaliada diariamente. A aeração da solução foi constante com recurso à dois compressores de ar. Com o condutivímetro, mediu-se a condutividade eléctrica, de forma a determinar a quantidade de iões existentes na solução. Diariamente ajustou-se o pH que foi sempre mantido a 4.3. As plantas foram mantidas na solução nutritiva durante 16 dias, tendo-se sempre o cuidado de ajustar o pH a 4.3.

A temperatura e a luz no laboratório foram medidas duas vezes por dia (8:30 e 16 horas da tarde).

5.6. Delineamento experimental e plano de colheita

5.6.1. Delineamento experimental

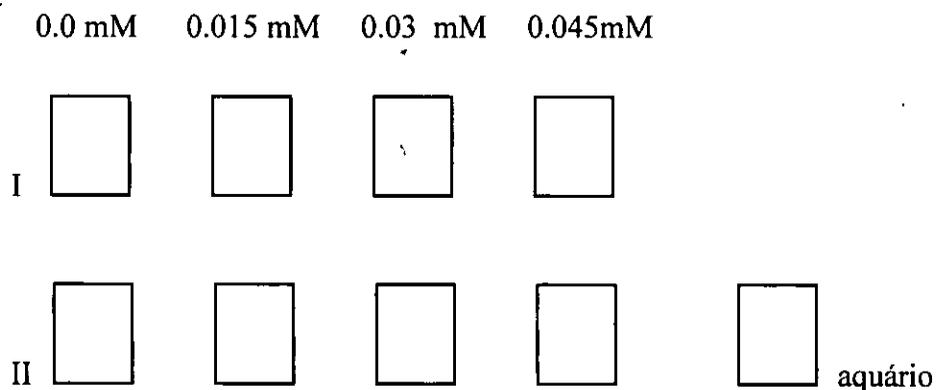


Fig. 2. Representação esquemática da experiência. Disposição dos aquários com diferentes concentrações de alumínio (mM).

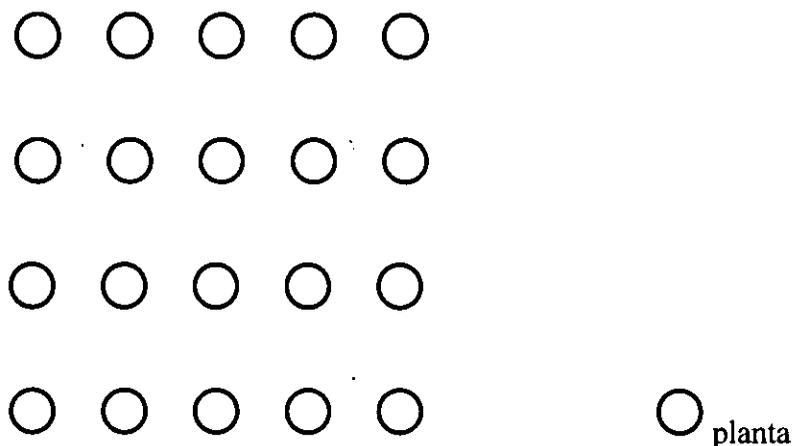


Fig. 3. Disposição das plantas nos aquários. A distância entre as plantas era de 10cm. A distância entre as margens laterais do aquário e a primeira fileira de plantas é de 5cm. As filas superior e inferior de plantas distam 10cm das paredes do aquário.

5.6.2. Plano de Colheita

Foram efectuadas duas colheitas, a primeira 8 dias após o início da experiência e a segunda 16 dias depois, conforme a tabela 2.

Tabela 2. Plano de Colheita

Tratamentos	Período de colheita			
	Variedade A		Variedade B	
	6dias *	16 dias *	8 dias *	16 dias*
0.0 μM $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	6**	-	6**	-
30 μM $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	6**	-	6**	-
60 μM $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	6**	-	6**	6**
120 μM $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	6**	6**	6**	6**
Total	24**	24**	24**	24**

* após a transferência para os aquários

** plantas

- não houve colheita devido a morte das plantas controle

5.7. Parâmetros de crescimento

5.7.1. Medição do peso fresco e seco total da planta, folha, caule e raiz

Os pesos frescos foram obtidos pela pesagem das partes da planta (folhas, caule e raiz) usando uma balança electrónica, imediatamente após a colheita. Em seguida

foram colocadas em envelopes de papel e submetidas à 80°C numa estufa durante 48 horas, após as quais se determinou o peso seco das folhas do caule e da raiz usando uma balança electrónica.

5.7.2. Análise de crescimento

5.7.2.1. Área foliar (AF)

A área foliar foi obtida pelo método gravimétrico, no qual desenhou-se os contornos de todas as folhas da planta e estes foram pesados em uma balança electrónica como grupo e individualmente. Pesou-se também um recorte de papel quadrado com 4cm² de área. A área foliar foi calculada segundo a fórmula:

$$A_{\square}(4\text{cm}^2) = 0.0442 \text{ g}$$

$$Y \text{ cm}^2 = x \text{ g}$$

Sendo:

xg = peso da folha

Y cm² = área da folha

5.7.2.2. Comprimento máximo da raiz (COMPRA)

O comprimento máximo da raiz foi medido com o auxílio de um papel milimétrico sobreposto por uma placa de vidro.

5.7.2.3. Determinação da taxa de crescimento relativo (TCR)

A taxa de crescimento relativo foi determinada segundo Atwel *et al.* (1999)

$$\text{TCR} = \text{TAA} * \text{RAF}$$

Onde:

TCR - taxa de crescimento relativo;

TAA - taxa de assimilação aparente (taxa de aumento da massa por unidade de área foliar);

RAF - razão da área foliar (razão da área da folha pela massa total da planta).

5.7.2.4. Determinação da taxa de assimilação aparente (TAA)

A taxa de assimilação aparente foi determinada segundo Atwel *et al.* (1999)

$$\text{TAA} = 1/ \text{AF} * \text{dP/dt}$$

Onde:

TAA - taxa de assimilação aparente (g/cm²/dia)

AF- área foliar (cm²)

P- Peso seco da planta (g)

t- unidade de tempo (dia)

5.7.2.5. Determinação da razão da área foliar (RAF)

A razão da área foliar foi determinada segundo Atwel *et al.* (1999)

$$RAF = AF / P$$

Onde:

RAF- razão da área foliar (cm²/ g)

AF- área foliar (cm²)

P- Peso seco da planta (g)

5.7.2.6. Determinação da área específica da folha (AEF)

A área específica da folha foi determinada segundo Atwel *et al.* (1999)

$$AEF = AF / P_f$$

Onde:

AEF- área específica da folha (cm²/g)

AF- área foliar (cm²)

P_f- Peso seco da folha (g)

5.7.2.7. Determinação da razão do peso da folha (RPF)

A razão do peso da folha foi calculada segundo Atwel *et al.* (1999)

$$RPF = P_f / P$$

Onde:

RPF-razão do peso da folha

P_f- Peso seco da folha (g)

P- Peso seco da planta (g)

5.7.2.8. Determinação do peso específico da folha (PEF₀)

O peso específico da folha foi determinado segundo Atwel *et al.* (1999)

$$PEF_0 = PSF / AF$$

Onde:

PEF₀ - peso específico da folha (g/ cm²)

PSF – peso seco das folhas (g)

AF – área foliar (cm²)

5.7.2.9. Determinação da razão do peso seco da raiz (RPSR)

Foi determinada a taxa de assimilação aparente segundo Fitter e Hay (1981)

$$RPSR = PSR / PST$$

Onde:

PSR- peso seco da raiz (g)

PST- peso seco total das plantas (g)

5.7.2.10. Determinação da percentagem da matéria seca da planta (%Mat.S)

Determinou-se a percentagem da matéria seca da planta segundo Maiti *et al.*, 1996 citado por Levi (2004).

$$\%Mat.S = (PST / PFT) * 100$$

Onde:

PST – peso seco total da planta (g)

PFT – peso fresco total (g)

5.7.2.11. Determinação do Conteúdo de Água Total

O conteúdo de água foi calculado segundo Salisbury & Ross (1992)

$$CAI = (P_{SI} / P_{FI}) * 100$$

Onde:

P_{SI} - são o peso seco das folhas, caule e raiz respectivamente (g).

P_{FI} - são o peso fresco das folhas, caule e raiz respectivamente (g).

$$CAT = CAF + CAC + CAR$$

Onde:

CAT- conteúdo de água total (%)

CAF- Conteúdo de água na folhas (%)

CAC- Conteúdo de água no caule(%)

CAR- Conteúdo de água na raiz(%)

6. Análise estatística

Usou-se o pacote estatístico "SPSS versão 15.0" (da Statsoft 2006), e fez-se ANOVA II para a comparação entre médias dos diferentes parâmetros biométricos nos diferentes tratamentos nas semanas 1 e 2. Calculou-se a média corrigida devido a ausência de dados nalguns tratamentos, causada pela mortalidade das plantas na segunda semana (Underwood, 1999).

A correlação entre os parâmetros de crescimento e os tratamentos (0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio, e tratamento controle onde não foi adicionado alumínio), foi calculada e analisada usando o pacote Excel da Microsoft. Foi feita a regressão para ver se havia correlação entre os parâmetros de crescimento e as diferentes concentrações de alumínio.

Segundo (Underwood, 1999), a correlação pode ser positiva ou negativa podendo ainda ser:

- Muito fraca (0.00 à 0.19)
- Fraca (0.20 à 0.39)
- Moderada (0.40 à 0.69)
- Forte (0.70 à 0.89)
- Muito forte (0.90 à 1.00)

7. Resultados

7.1. Desenvolvimento fenológico

Dois dias após a adição de alumínio, as folhas da variedade "Namarua" apresentavam uma tonalidade amarelada e encontravam-se enroladas (Fig. 1 ANEXO I). Na variedade "Massava-nhassenje" houve desenvolvimento de folhas novas, embora as do tratamento 0.045mM se encontrassem ligeiramente enroladas.

Dois dias após a adição de alumínio notou-se que as raízes da variedade "Namarua" no tratamento 0.045mM encontravam-se com os pêlos radiculares pouco desenvolvidos em termos de comprimento, e apresentavam uma camada mucilagínosa. Contudo, estas raízes mostravam-se mais espessas que as dos outros tratamentos. Na variedade "Massava-nhassenje" as raízes no tratamento com 0.045mM de alumínio apresentaram-se pouco desenvolvidas em comparação com as das outras concentrações. Ainda na variedade "Massava-nhassenje" observou-se que no tratamento 0.030mM as raízes secundárias mostraram-se mais desenvolvidas do que as dos outros tratamentos (Fig. 1 ANEXO).

A partir do terceiro dia as plantas controle da variedade "Massava-nhassenje" apresentaram-se mais fragilizadas do que as dos outros tratamentos enquanto as plantas do tratamento 0.030mM mostraram-se mais saudáveis, com folhas grandes e verdes. Contudo, o desenvolvimento de folhas novas mostrou-se mais lento. A variedade "Namarua" não apresentava novas folhas.

Com a progressão da experiência as folhas das plantas controle tornaram-se amarelas, mas as da variedade "Massava-nhassenje" encontravam-se aparentemente mais fortes que a variedade "Namarua". Nas duas variedades as plantas dos tratamentos com alumínio mostraram-se mais fortes do que as dos tratamentos controle. No fim de uma semana nos diferentes tratamentos observou-se necroses, especialmente nos tratamentos

controle e 0.03mM na variedade "Namarua" e nos tratamentos controle, 0.015 e 0.03mM variedade "Massava-nhassenje", foi também observada a queda de folhas em algumas plantas. Em todas as variedades nos tratamentos com maiores concentrações de alumínio, observou-se uma camada mucilaginosa nos pêlos radiculares. Notou-se também que o ápice radicular na variedade "Massava-nhassenje" se apresentava intumescido, facto que não ocorreu na variedade "Namarua".

No decorrer da segunda semana após a adição do alumínio, observou-se a morte das plantas nos tratamentos controle e 0.15mM para a variedade "Massava-nhassenje" e nos tratamentos controle, 0.015 e 0.03mM na variedade "Namarua" (Fig. 1 ANEXO).

7.2. Condições de crescimento (pH)

Ao longo de toda a experiência mesmo depois do ajuste do pH de 6.0 a 4.3 verificou-se que o pH tinha aumentado em todos os tratamentos (Tabela 3). Contudo, após a adição do alumínio o aumento foi reduzido nos tratamentos com alumínio e dentre estes houve menor aumento na concentração 0.045mM. Dentre as duas variedades este comportamento foi mais acentuado na variedade "Massava-nhassenje".

Tabela 3. Média \pm Desvio Padrão do pH da solução nutritiva durante a experiência (Variedades Namarua e Massava-nhassenje). NOTA: O pH foi corrigido após a adição do alumínio.

	Variedades	Tratamento (mM)	pH da solução
Antes da adição de Al	Namarua	0	5.75 \pm 0.07
		0.015	5.71 \pm 0.11
		0.03	5.65 \pm 0.06
		0.045	5.28 \pm 0.50
	Massava-nhassenje	0	5.49 \pm 0.73
		0.015	4.76 \pm 0.12
		0.03	5.28 \pm 1.18
		0.045	5.10 \pm 1.02
1ª Semana após a adição de Al	Namarua	0	4.73 \pm 0.18
		0.015	4.70 \pm 0.17
		0.03	4.56 \pm 0.10
		0.045	4.63 \pm 0.23
	Massava-nhassenje	0	4.92 \pm 0.36
		0.015	4.74 \pm 0.25
		0.03	4.73 \pm 0.23
		0.045	4.59 \pm 0.27
2ª Semana após a adição de Al	Namarua	0	4.32 \pm 0.32
		0.015	4.62 \pm 0.00
		0.03	4.44 \pm 0.09
		0.045	4.67 \pm 0.00
	Massava-nhassenje	0	4.92 \pm 0.36
		0.015	4.74 \pm 0.25
		0.03	4.73 \pm 0.23
		0.045	4.59 \pm 0.27

7.3. Efeito do alumínio nos parâmetros de crescimento

7.3.1. Área foliar

De um modo geral a área foliar mostrou-se maior na primeira semana, para ambas variedades. Contudo, na segunda semana a variedade “Massava-nhassenje” apresentou uma área foliar maior em comparação com a variedade “Namarua”, nos tratamentos em que não houve mortalidade (Fig.4a e b). Não houve diferenças significativas entre as duas variedades e os diferentes tratamentos (Two-way ANOVA, $F=0.366$, $GL=3$, $p>0.05$).

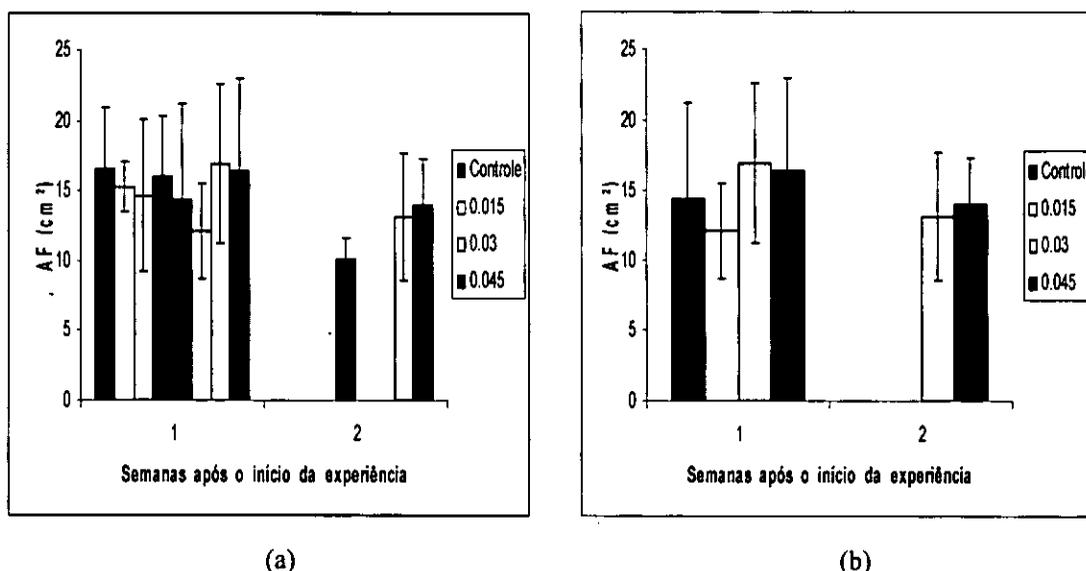


Fig. 4: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Área Foliar nas semanas 1 e 2, variedade “Namarua” (a) e variedade “Massava-nhassenje” (b). Cada barra representa a média de 6 plantas ($\pm DP$). O controle representa 0.0 mM de alumínio. (N=6).

7.3.2. Área específica da folha

Como ilustram as figuras 5a e b, a variedade "Namarua" teve valores de área específica da folha maiores na semana 1 e uma redução na semana 2, enquanto que a variedade "Massava-nhassenje" mostrou um comportamento contrário em que houve aumento dos valores da área específica da folha nos tratamentos em que não ocorreu mortalidade. Houve mortalidade nos tratamentos 0.0, 0.015 e 0.03mM na variedade "Namarua" e nos tratamentos 0.0 e 0.015mM na variedade "Massava-nhassenje". Não houve diferenças significativas entre as duas variedades e entre os diferentes tratamentos (Two- way ANOVA, $F=0.627$, $GL=3$, $p> 0.05$).

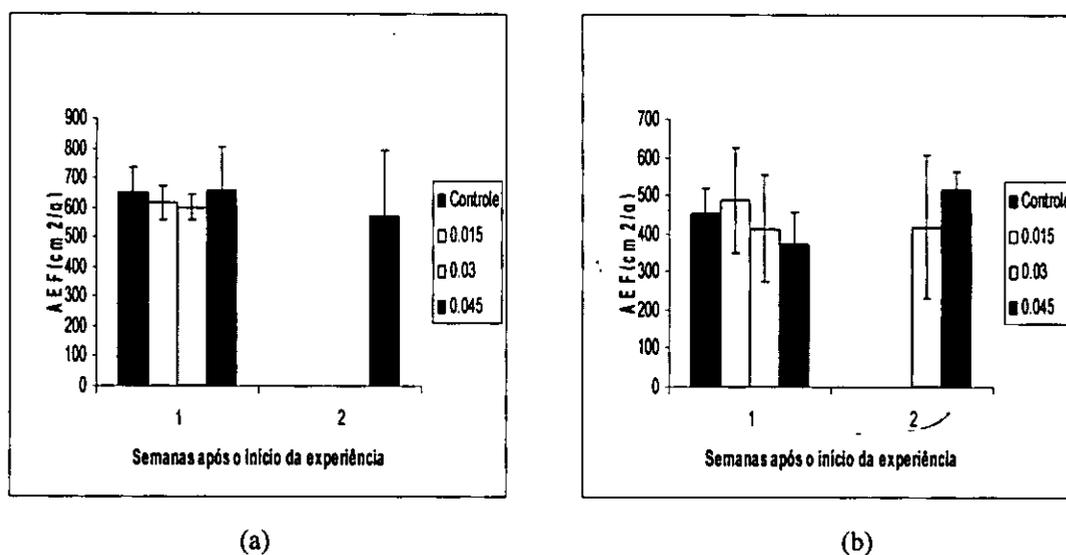


Fig. 5: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Área Específica Foliar nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Cada barra representa a média de 6 plantas (\pm DP). O controle representa 0.0 mM de alumínio. (N=6)

7.3.3. Razão da área foliar

Os valores da razão da área foliar mostraram-se mais altos na primeira semana para a variedade "Namarua", sendo que o controle apresentava os maiores valores de razão da área foliar, tendo reduzido na segunda semana. Este comportamento não foi observado na variedade "Massava-nhassenje", em que os valores aumentaram especialmente para o tratamento 0.045mM (Fig.6a e b). Contudo, as diferenças entre os diferentes tratamentos e entre as duas variedades não foram significativas (Two-way ANOVA, $F=2.294$, $GL=3$, $p> 0.05$).

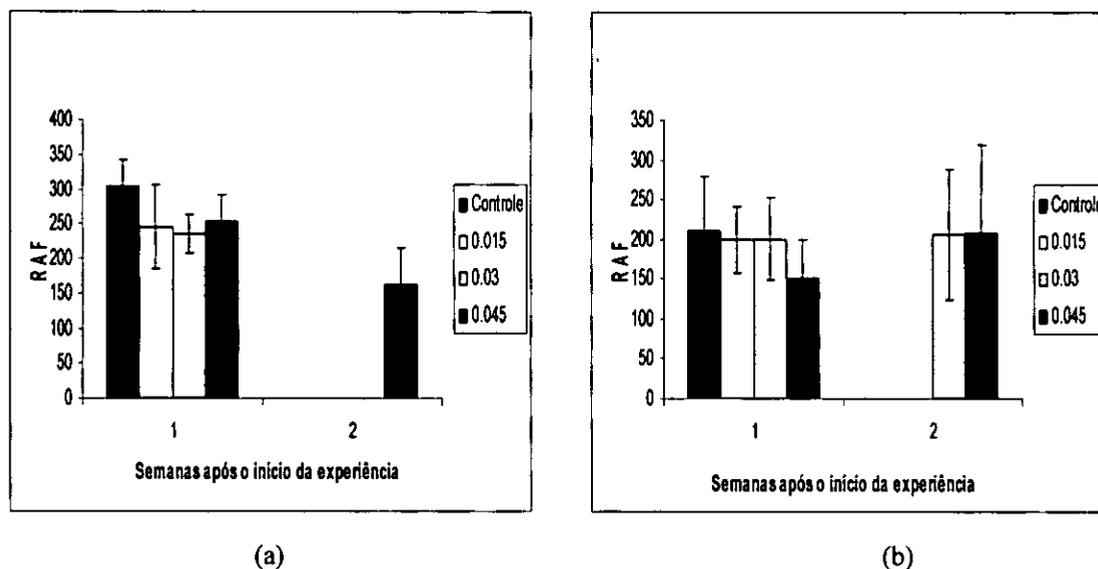


Fig. 6: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Razão da Área Foliar nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Cada barra representa a média de 6 plantas ($\pm DP$). O controle representa 0.0 mM de alumínio. (N=6)

7.3.4. Peso seco da raiz

A variedade "Massava-nhassenje" teve de uma forma geral valores mais altos no controle e na concentração 0.045mM na primeira semana em relação a variedade "Namarua". Na variedade "Namarua" verificou-se que na primeira semana o tratamento controle foi o que apresentou menor peso seco, enquanto que nos tratamentos com alumínio o peso seco foi maior. Na segunda semana ocorreu uma redução nos tratamentos 0.03 e 0.045mM, e morte das plantas nos restantes tratamentos. Na variedade "Namarua" o valor do peso seco da raiz foi similar nas duas semanas (Fig.7a e b), não houve diferenças significativas entre as variedades nem entre os diferentes tratamentos (Two- way ANOVA, $F=1.811$, $GL=3$, $p> 0.05$).

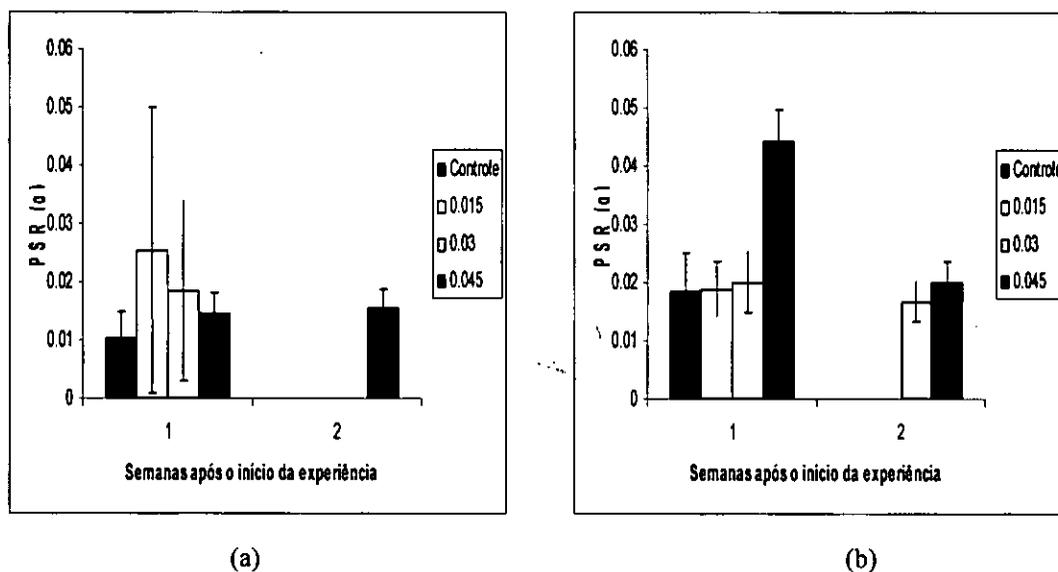


Fig. 7: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre o Peso Seco da Raiz nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Cada barra representa a média de 6 plantas ($\pm DP$). O controle representa 0.0 mM de alumínio. (N=6).

7.3.5. Peso seco das folhas

Durante a primeira semana na variedade "Namarua" observou-se valores muito similares em todos os tratamentos, tendo aumentado na segunda semana no tratamento 0.045mM. A variedade "Massava-nhassenje" apresentou valores mais altos em todos os tratamentos, tendo reduzido na segunda semana nos tratamentos 0.030 e 0.045mM (Fig.8a e b). Contudo não houve diferenças significativas entre as variedades e entre os diferentes tratamentos (Two- way ANOVA, $F=1.957$, $GL=3$, $p> 0.05$).

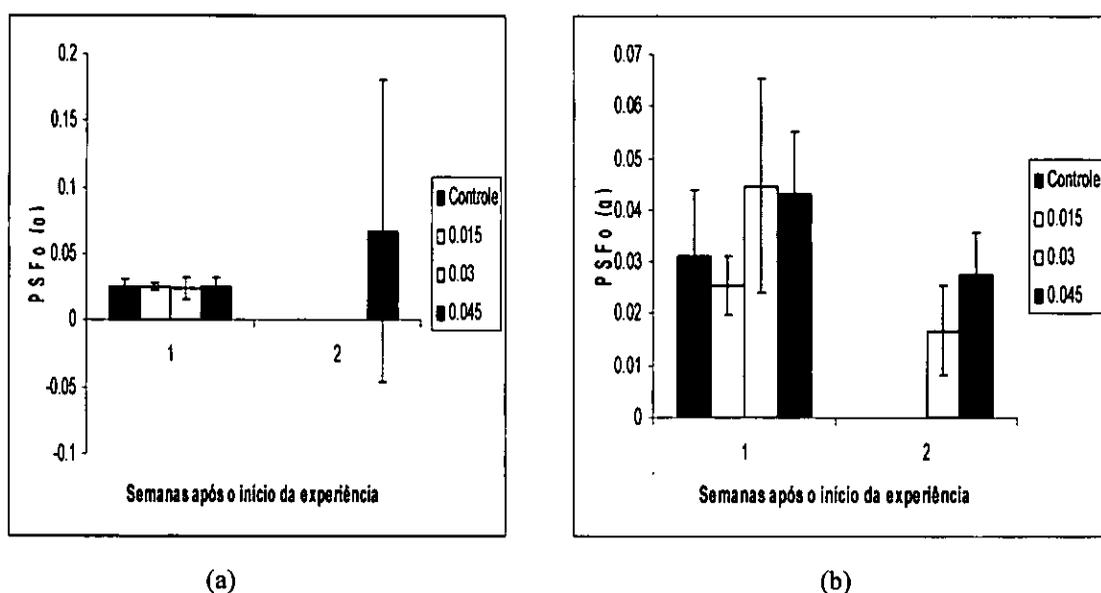


Fig. 8: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre o Peso Seco das Folhas nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Cada barra representa a média de 6 plantas ($\pm DP$). O controle representa 0.0 mM de alumínio. (N=6).

7.3.6. Peso total da planta

A variedade "Namarua" teve durante as duas semanas valores do peso seco da planta inferiores aos da variedade "Massava-nhassenje", durante a primeira semana. Na segunda semana houve uma redução nos tratamentos 0.03 e 0.045mM (Fig. 9a e b). Contudo, não houve diferenças significativas entre as variedades e entre os diferentes tratamentos (Two- way ANOVA, $F=1.103$, $GL=3$, $p> 0.05$).

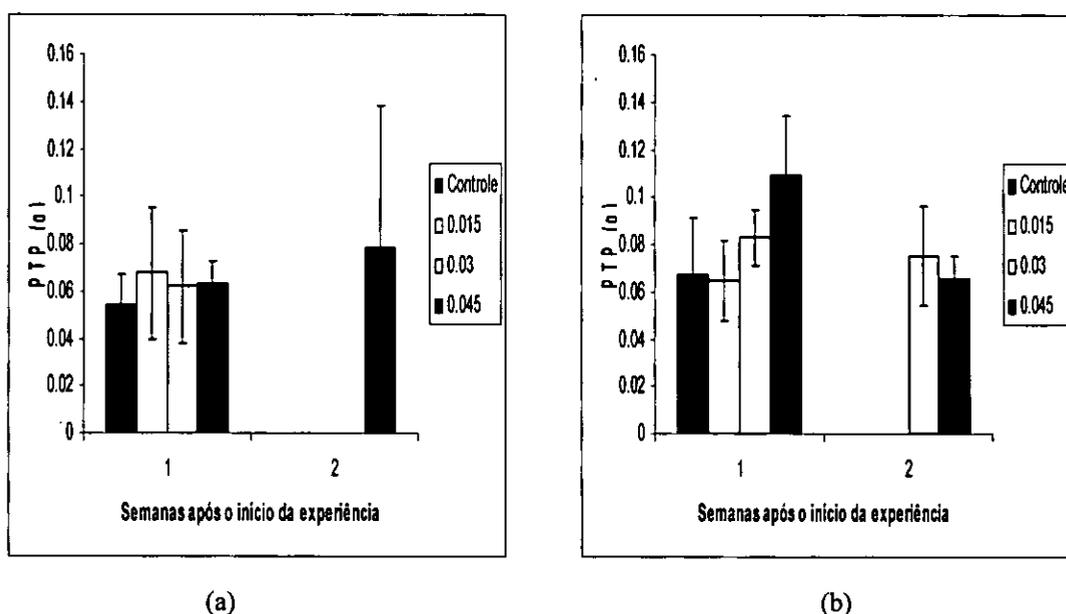


Fig. 9: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre o Peso Total da Planta nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Cada barra representa a média de 6 plantas ($\pm DP$). O controle representa 0.0 mM de alumínio. (N=6).

7.3.7. Razão do peso seco das folhas

Na variedade "Namarua" verificou-se uma razão do peso seco das folhas similar nos tratamentos exceptuando o tratamento controle na primeira semana, mas houve um aumento na concentração 0.045mM na segunda semana. Na variedade "Massava-nhassenje" os valores da razão do peso seco das folhas durante a primeira semana foram ligeiramente mais altos nas concentrações 0.0 e 0.03mM do que os das concentrações 0.015 e 0.045mM. Na segunda semana observou-se uma ligeira redução para o tratamento 0.3mM e aumento para o tratamento 0.045mM (Fig.10a e b). Contudo, não houve diferenças significativas entre as duas variedades nem entre os diferentes tratamentos (Two- way ANOVA, F=, GL=, p> 0.05).

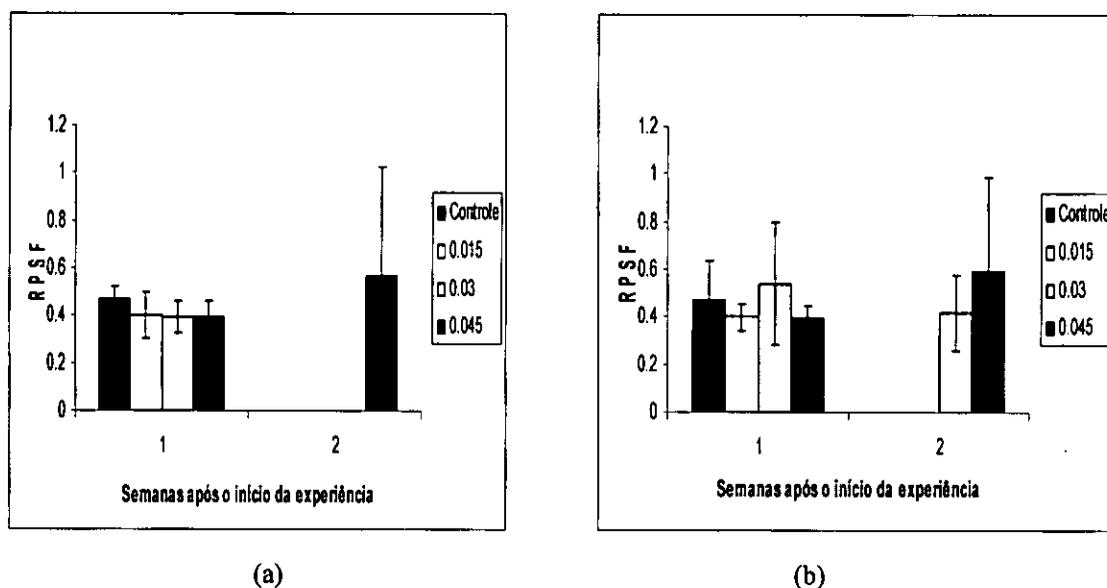


Fig. 10: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Razão do Peso Seco das Folhas nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Cada barra representa a média de 6 plantas (\pm DP). O controle representa 0.0 mM de alumínio. (N=6)

7.3.8. Razão do peso seco da raiz

Para a variedade "Namarua" na primeira semana o tratamento controle foi o que apresentou os menores valores de razão do peso seco da raiz, tendo os tratamentos com alumínio apresentado valores relativamente superiores, contudo dentre os tratamentos com alumínio houve uma redução da razão do peso seco da raiz com o aumento da concentração do alumínio. Todavia, na segunda semana no tratamento 0.045mM os valores mantiveram-se constantes. Na variedade "Massava-nhassenje" na primeira semana registou-se maior valor da razão do peso seco da raiz no tratamento com maior concentração de alumínio mas houve uma redução acentuada na segunda semana (Fig.11a e b). Não foram verificadas diferenças significativas entre as duas variedades e entre os diferentes tratamentos (Two- way ANOVA, $F=1.675$, $GL=3$, $p> 0.05$).

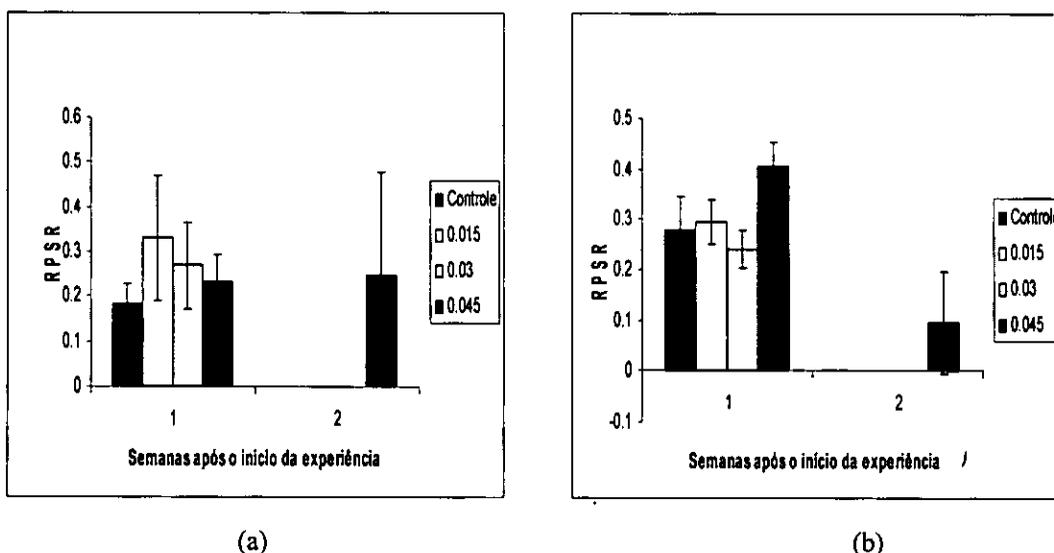


Fig. 11: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Razão do Peso Seco da Raiz nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Cada barra representa a média de 6 plantas ($\pm DP$). O controle representa 0.0 mM de alumínio. (N=6).

7.3.9. Percentagem da matéria seca total

A variedade "Namarua" mostrou valores de percentagem de matéria seca total mais altos do que a variedade "Massava-nhassenje". Na variedade "Namarua" as plantas dos tratamentos com concentrações mais baixas mostraram valores de percentagem de matéria seca total mais altos. Na variedade "Massava-nhassenje" os valores mais altos foram observados nas plantas sujeitas às concentrações mais altas, na primeira semana. Na segunda semana não houve alteração nos valores iniciais (Fig.12a e b). Não se verificou diferenças significativas entre os diferentes tratamentos nem entre as variedades (Two- way ANOVA, $F=1.084$, $GL=3$, $p> 0.05$).

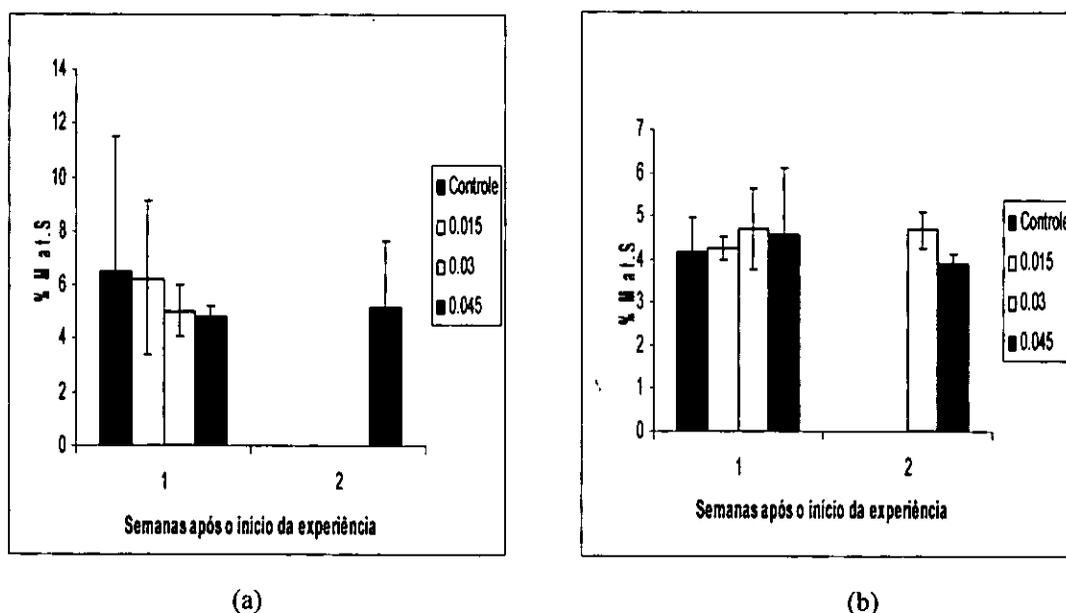


Fig. 12: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Percentagem da Matéria Seca Total nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Cada barra representa a média de 6 plantas ($\pm DP$). O controle representa 0.0 mM de alumínio. (N=6)

7.3.10. Conteúdo de água na planta

Notou-se que a variedade “Namarua” teve valores de conteúdo de água superiores aos da variedade “Massava-nhassenje” durante as duas semanas. Na variedade “Namarua” o conteúdo de água foi maior no tratamento controle e menor no tratamento com maior concentração de alumínio na primeira semana (0.045mM) (Fig.13a e b). Não houve diferenças significativas entre as duas variedades e entre os diferentes tratamentos (Two- way ANOVA, $F=0.895$, $GL=3$, $p> 0.05$).

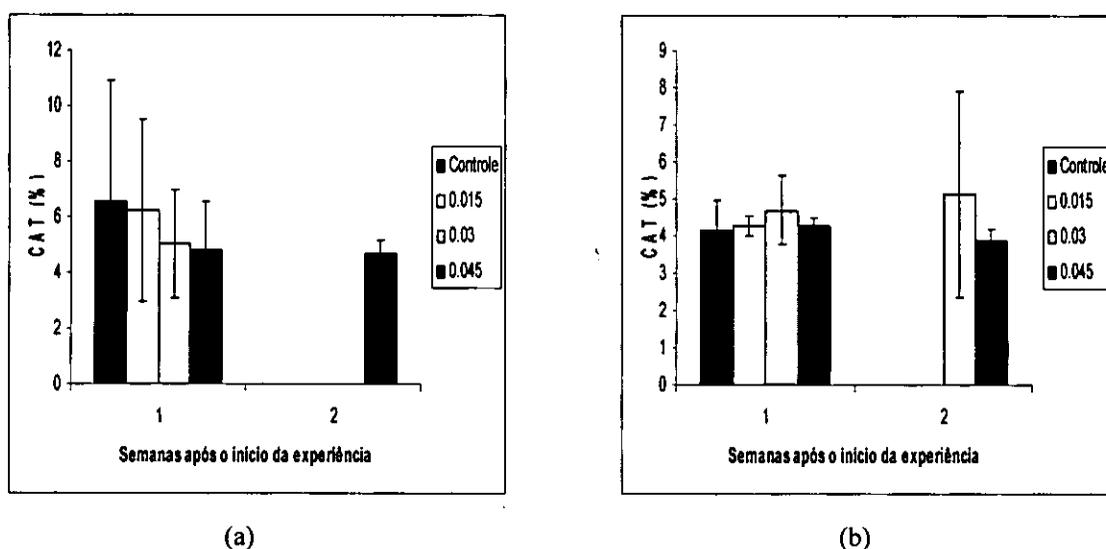


Fig. 13: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre o Conteúdo de Água Total nas semanas 1 e 2, variedade “Namarua” (a) e variedade “Massava-nhassenje” (b). Cada barra representa a média de 6 plantas ($\pm DP$). O controle representa 0.0 mM de alumínio. (N=6).

7.3.11. Taxa de Crescimento Relativo

A taxa de crescimento relativo da raiz mostrou-se negativa durante as duas semanas e para as duas variedades. Verificou-se que na primeira semana a taxa foi mais baixa do que na segunda em ambas variedades. Notou-se ainda que na variedade "Namarua" a taxa de crescimento foi mais baixa do que na variedade "Massava-nhassenje" (Fig. 14a e b). Verificou-se diferenças significativas entre as duas variedades e nos diferentes tratamentos (Two-way ANOVA, $F=10.021$, $GL=5.442$, $p < 0.05$).

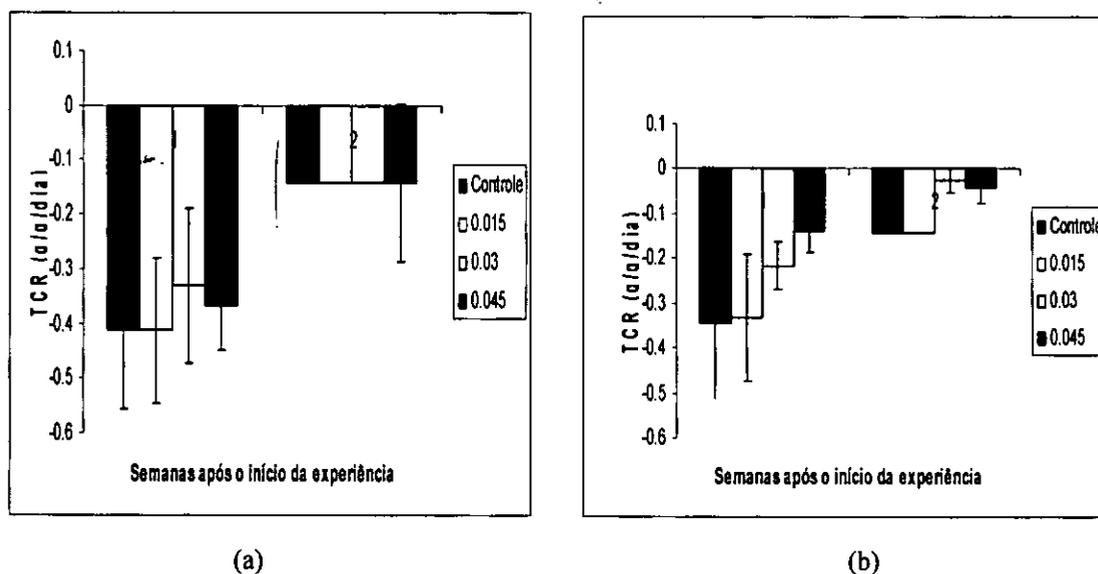


Fig. 14: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Taxa de Crescimento Relativo nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Cada barra representa a média de 6 plantas ($\pm DP$). O controle representa 0.0mM de alumínio. (N=6).

7.3.12. Taxa de assimilação aparente

A taxa de assimilação aparente de uma forma geral mostrou-se maior para ambas variedades na primeira semana. Contudo, na variedade "Namarua" houve uma redução acentuada na segunda semana em todos os tratamentos com exceção do controle. Apenas no tratamento com 0.045mM de alumínio, a taxa se manteve positiva embora baixa. A variedade "Massava-nhassenje" teve uma taxa positiva ao longo das duas semanas (Fig.15). Verificou-se diferenças significativas entre os diferentes tratamentos e entre as duas variedades (Two- way ANOVA, $F= 5.442$ GL= 3, $p< 0.05$).

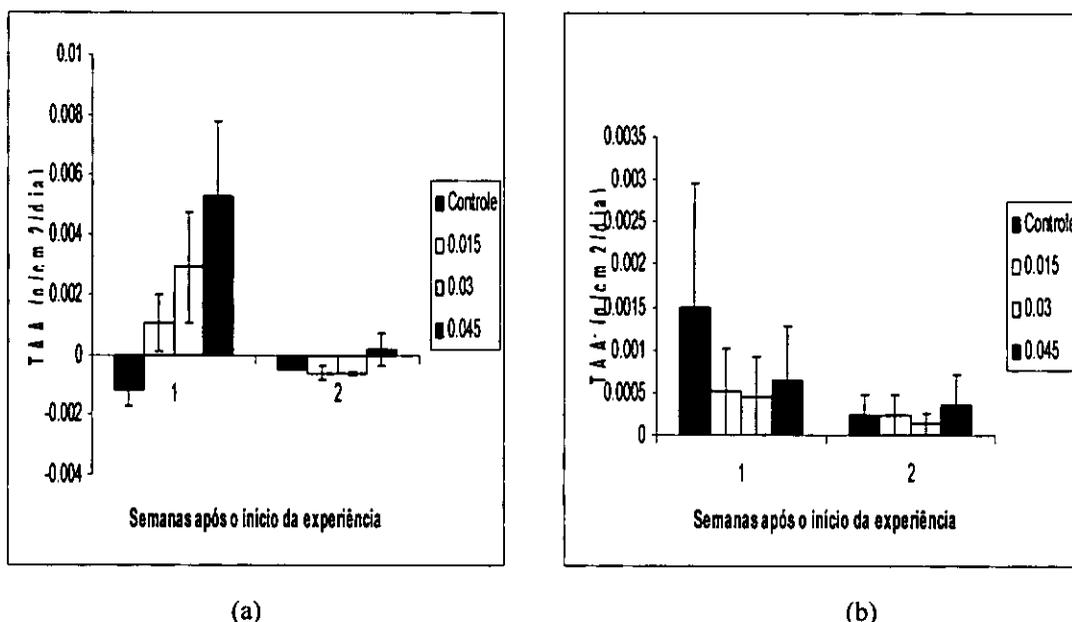


Fig. 15: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre a Taxa de Assimilação Aparente nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Cada barra representa a média de 6 plantas (\pm DP). O controle representa 0.0 mM de alumínio. (N=6)

7.3.13. Comprimento da raiz

A variedade "Namarua" apresentou ao longo da experiência valores de comprimento da raiz menores que os observados na variedade "Massava-nhassenje". Na segunda semana os valores de comprimento da raiz mantiveram -se no tratamento 0.045mM. A variedade "Massava-nhassenje" teve valores de comprimento da raiz mais altos no tratamento 0.045mM na semana 1, tendo reduzido na segunda semana nos tratamentos com maior concentração de alumínio (Fig 16). Não houve diferenças significativas entre as duas variedades e entre os diferentes tratamentos. (Two- way ANOVA, $F=0.501$, $GL=3$, $p> 0.05$).

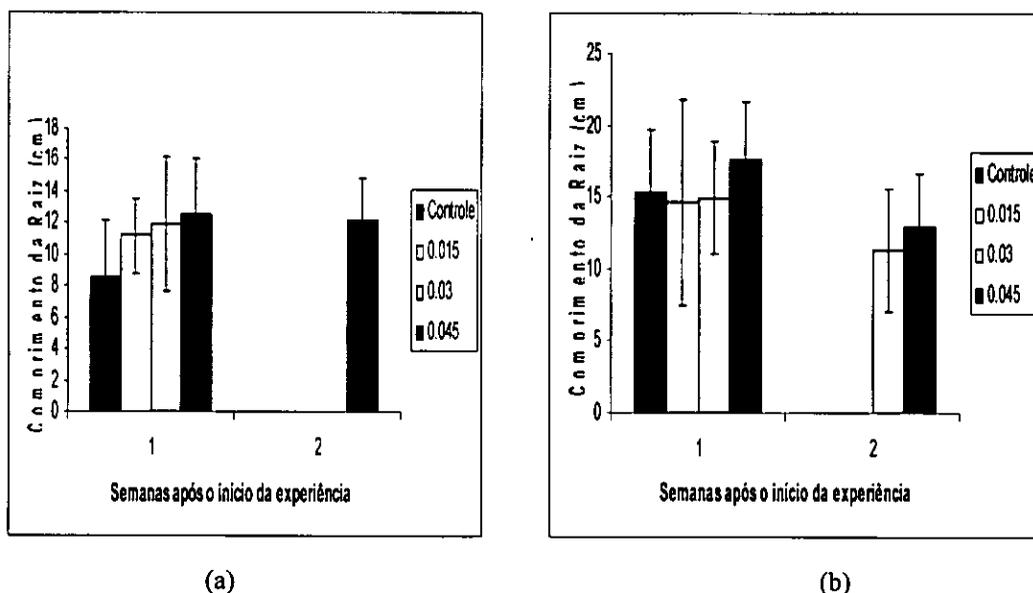


Fig. 16: Efeito das concentrações de 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio sobre o Comprimento da Raiz nas semanas 1 e 2, variedade "Namarua" (a) e variedade "Massava-nhassenje" (b). Cada barra representa a média de 6 plantas ($\pm DP$). O controle representa 0.0mM de alumínio. (N=6).

Tabela 4. Relação entre os parâmetros de crescimento estudados e os tratamento com as concentrações 0.015, 0.030 e 0.045mM de alumínio, o tratamento controle sem adição de alumínio. Para todos os casos a relação foi positiva muito fraca.

Relação	Equação da recta	N	r ²	α= 0.05
Semana 1				
TCR x C	y = 3.1146x - 0.3793	6	0.1432	
TAA x C	y = 0.0097x - 0.0017	6	0.0506	
%Mat.S x C	y = -86.317x + 9.0488	6	0.0115	
RPSR x C	y = 1.4061x + 0.2476	6	0.0639	
PEFo x C	y = 0.0078x + 0.0019	6	0.0302	
RPFx C	y = -1.0899x + 0.458	6	0.0217	
RAF x C	y = -1139x + 250.48	6	0.0857	
AF	y = 28.057x + 14.678	6	0.0095	
AEF x C	y = -1003.9x + 553.43	6	0.0144	
CTAx C	y = -18.614x + 5.4191	6	0.0252	
PTPx C	y = -18.614x + 5.4191	6	0.0252	
COMPRA x C	y = 66.333x + 11.82	6	0.054	
PSF x C	y = 0.0888x + 0.0132	6	0.0553	
PSR x C	y = 0.2819x + 0.015	6	0.1062	
Semana 2				
TCR x C1	y = -0.0146x - 0.0057	6	0.0002	
TAA x C1	y = 0.0015x - 0.0002	6	0.0009	
%Mat.S x C1	y = 265.25x - 4.0788	6	0.0812	
RPSR x C1	y = -4.5027x + 0.4413	6	0.1488	
PEFo x C1	y = -0.2042x + 0.0112	6	0.1224	
RPFx C1	y = 10.856x + 0.0921	6	0.0524	
RAF x C1	y = -1422.1x + 248	6	0.0152	
AF	y = -73.249x + 15.343		0.0219	
AEF x C1	y = -6906.9x + 776.92	6	0.0768	
CATxC1	y = -57.588x + 6.8691	6	0.0666	
PTPx C1	y = -57.588x + 6.8691	6	0.0666	
COMPRA x C	y = 83.333x + 8.8	6	0.0302	
PSF x C	y = -0.8767x + 0.0507	6	0.194	
PSR x C	y = 0.1933x + 0.0097	6	0.0618	

Onde:

C1

Concentração 0.0 e 0.015 mM de alumínio

C

Concentração 0.0, 0.015, 0.03 e 0.045 mM de alumínio

8. Discussão

8.1. Desenvolvimento fenológico

As folhas enroladas observadas podem ser resultantes da indução de deficiência de cálcio pelo alumínio (Foy *et al.*, 1978 citado por Rowland, 2006). Segundo o mesmo autor a deficiência do cálcio pode ainda levar ao colapso das pontas dos pecíolos, causando a queda das folhas como ocorreu no presente estudo. As necroses observadas no tratamentos 0.03mM na variedade “Namarua” e nos tratamentos 0.015 e 0.03mM na variedade “Massava-nhassenje”, são considerados como sintomas da deficiência do fósforo (Taylor, 1988a, citado por Rowland, 2006) e podem ser atribuídos à precipitação do fósforo pelo alumínio (Foy, 1992 citado por Veloso, 2000). As necroses observadas no tratamento controle de ambas variedades podem ter sido causadas por nutrientes em excesso como pode ser o caso do cloro que segundo (<http://www.sbrt.ibict.br.>, acessado em 10 de Janeiro de 2008) quando se encontra em excesso causa cloroses e necroses foliares.

As raízes do tratamento 0.045mM de alumínio mostraram-se mais espessas que as dos outros tratamentos. Este facto foi referido por Foy *et al.* (1978) citado por Rowland (2006) e Hairiah *et al.* (1992) que observaram que raízes de *Mucuna* sp. tratadas com alumínio apresentam-se mais espessas. De referir que raízes com estas características são menos eficientes na absorção de água e nutrientes (Rowland, 2006).

Foi observada uma camada mucilaginosa nos pêlos radiculares das duas variedades durante o estudo, principalmente na variedade “Massava-nhassenje”. Segundo Horst *et al.* (1982); Miyasaka & Hawes (2001) citados por Rowland (2006), a camada de mucilagem e células “border” foram associadas aos mecanismos de tolerância ao alumínio. Este mecanismo de tolerância pode basear-se na desintoxicação pela formação de ácidos orgânicos que se ligam ao alumínio ou pela produção de camada mucilaginosa

(Barlett & Riego, 1972; Menguel & Kirkby 1982; Foy *et al.*, 1990 citados por Hairiah, 1990). Contudo, não se sabe ao certo qual é o papel destas rizodeposições na resistência ao alumínio, pois a sua produção é fortemente afectada pela composição do substrato (Barcelo & Poschenfieder, 2002, citados por Rowland, 2006). Em legumes tropicais a ligação do alumínio à mucilagem negativamente carregada nas pontas das raízes, foi visualizada pela tintura hematoxilina, e parece servir para prevenir a absorção do alumínio (Corrales, 2000, citado por Rowland, 2006). Uma maior produção de mucilagem foi também observada num cultivar de trigo resistente ao alumínio do que num cultivar sensível (Puthota *et al.*, 1991 citado por Rowland, 2006). Miyassaca & Hawes (2001) citados Rowland (2006) propuseram que a indução de uma camada mucilaginosa pelo alumínio, rodeando cada uma das milhares de células e encapsulando as raízes fornecem uma significativa barreira à absorção do alumínio pelas raízes.

O entumescimento observado no ápice das raízes da variedade “Massava-nhassenje”, nos tratamentos com concentração 0.03 e 0.045mM de alumínio, foi um facto também observado por Cramer & Titus (2001) citados por Rowland (2006) e é resultante da acumulação de alumínio nesta região da raiz e tem um papel crucial no mecanismo de percepção.

O amarelecimento das folhas observado pode ser devido a deficiência do nitrogénio, pois segundo Raven *et al.* (2001) nos casos mais graves de deficiência as folhas tornam-se completamente amarelas e depois ficam castanhas quando morrem, como foi observado no presente trabalho (Fig.1 ANEXOS).

8.2. Condições de crescimento (pH)

O aumento persistente do pH no decorrer da experiência é um mecanismo de tolerância (Taylor & Foy, 1985, citados por Rowland, 2006). Trata-se de um mecanismo de tolerância baseado na modificação local da rizosfera, provocada pela libertação de ácidos orgânicos que se ligam ao alumínio e aumentam o pH. O facto da solubilidade do

alumínio ser altamente dependente do pH, a manutenção de níveis altos de pH terá reduzido a solubilidade e toxicidade do alumínio. Segundo Blamey *et al.* (1993) citado por Rowland (2006), o aumento do pH de soluções nutritivas de 4.5 a 4.6 causa a redução em cerca de 26% da concentração de alumínio solúvel. Contudo, vários estudos têm revelado resultados bastante contraditórios e Matsumoto, 2000 citado por Rowland, 2006 indicou que há necessidade de um modelo experimental claro, que permita obter resultados mais fiáveis.

8.3. Parâmetros de crescimento

No presente estudo o tratamento com alumínio reduziu a área foliar, plantas de feijão -nhemba tratadas com crómio em estudos feitos por Joshi *et al.*, (1999) citados por Jamal (2006) tiveram também uma redução da área foliar, o que pode ser resultado dos efeitos nocivos ao metabolismo da planta, causados pelos elementos químicos.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos e entre as duas variáveis ($p > 0.05$). Contudo, os valores de área foliar mostraram-se mais altos na primeira semana para a variedade "Namarua", sendo que o controle apresentava os maiores valores de área foliar, embora tenham reduzido na segunda semana. Este resultado pode ser devido ao facto de nos primeiros estágios de vida as plantas apresentarem um aumento da área foliar (Evan, 1972 citado por Nhancale, 2004). A ligeira redução da área foliar verificada na segunda semana pode ter sido causada pela diminuição da absorção da água que é uma das funções inibidas pelo alumínio (Rowland, 2006). E a redução da quantidade de água disponível pode afectar a expansão foliar (Meyer & Boyer, 1981; Matsuda & Riazzi, 1981; Michelena & Boyer; 1985 citados por Sharp *et al.*, 1989). Este comportamento não foi observado na variedade "Massava-nhassenje", em que os valores aumentaram especialmente para o tratamento 0.045mM, e isto pode ser justificado pelo efeito da redução na eficiência fotossintética pelo alumínio, que é parcialmente compensada por

um aumento da área assimilatória, sugerindo a ocorrência de uma tolerância nas plantas sujeitas ao alumínio.

Notou-se que a variedade "Massava-nhassenje" apresentou valores de peso seco da raiz superiores aos da variedade "Namarua" durante toda a experiência, apesar de não ter havido diferenças significativas entre as duas variedades ($p > 0.05$). Este facto pode ser justificado pelo facto desta variedade ter sido colectada no Distrito de Vilanculos, localizado na costa da província de Inhambane. Estudos feitos por Vilanculos (2000) mostraram a existência de solos fortemente ácidos na região sul do país, associados à elevados teores de alumínio trocável. Assim é possível que esta variedade tenha desenvolvido mecanismos de tolerância aos efeitos tóxicos do alumínio. Entretanto, a variedade "Namarua" que foi colectada no Distrito de Namarrói, localizado no interior da Província da Zambézia, onde os solos são levemente ácidos (Vilanculos, 2000), pode ser a razão que leva esta variedade a se mostrar mais sensível ao pH da solução e aos efeitos tóxicos do alumínio.

Na variedade "Namarua" o facto de no controle ter registado valores mais baixos de peso seco da raiz do que nos tratamentos com alumínio principalmente nas concentrações 0.015 e 0.03mM, foi observado em estudos similares feitos por Hairiah *et al.*, (1990), que constataram que pequenas concentrações de alumínio podem potenciar o crescimento da raiz em soluções nutritivas. Segundo estes autores a presença de Al^{3+} pode reduzir a toxicidade de outros elementos que ocorrem em condições supra-ótimas na solução, como pode ser o caso de fósforo ou cálcio. Segundo Asher e Loneragan (1967) citados por Hairiah *et al.*, (1990) em uma solução nutritiva continuamente recirculada, 24mM de fósforo tiveram efeitos tóxicos sobre o trevo e "lupin". Assim, é possível que as concentrações de nutrientes existentes na solução fossem supra-ótimas para o feijão-nhemba e que o alumínio tenha estimulado o crescimento da planta pela redução de $H_2PO_4^-$ na solução.

O alumínio na solução pode também ter reduzido a disponibilidade de cálcio, que

poderá ter sido acima do óptimo para as plantas. A toxicidade do alumínio no campo é associada à acidez do solo, em que a disponibilidade de cálcio e magnésio é muito baixa (Rowland, 2006). Horst (1987) citado por Hairiah *et al.* (1990) verificou que o aumento da concentração de alumínio reduziu a concentração de cálcio em todos os tecidos radiculares de *Vigna unguiculata*. Contudo, no presente pode-se apenas especular, que os níveis de cálcio no tratamento controle foram acima do óptimo, levando ao crescimento radicular nos tratamentos com alumínio, uma vez que não foi feita qualquer medição de cálcio.

Para a variedade “Namarua” na primeira semana o tratamento controle foi o que apresentou os menores valores da razão do peso seco da raiz, tendo os tratamentos com alumínio apresentado valores relativamente superiores. Contudo, dentre os tratamentos com alumínio houve uma redução da razão do peso seco da raiz com o aumento da concentração do elemento. Este facto pode ter sido causado pela provável existência de quantidades supra-óptimas de alguns nutrientes para o crescimento do feijão-nhemba (Rowland, 2006), mas o facto de ter havido redução com o aumento da concentração é um indicativo da sensibilidade da variedade “Namarua” ao alumínio. Todavia, na segunda semana no tratamento 0.045mM os valores mantiveram-se constantes. Na variedade “Massava-nhassenje” na primeira semana registou-se maior valor da razão do peso seco da raiz no tratamento com maior concentração de alumínio. Este facto está de acordo com estudos que mostraram que no caso de brotos de *Mucuna* sp. o peso seco aumentou na concentração mais alta de Al^{3+} (Hairiah *et al.*, 1990). Contudo, houve uma redução acentuada na segunda semana que pode ter sido causada pela exposição a toxicidade do alumínio por mais tempo.

A variedade “Namarua” apresentou ao longo da experiência valores de comprimento da raiz menores que os observados na variedade “Massava-nhassenje”. Na

segunda semana os valores de comprimento da raiz mantiveram -se no tratamento 0.045mM. A variedade "Massava-nhassenje" teve valores de comprimento da raiz mais altos no tratamento 0.045mM na semana 1, tendo reduzido na segunda semana nos tratamentos com maior concentração de alumínio. Horst *et al.* (1983) citado por Hairiah *et al.*, (1990) mostrou que em feijão- nhemba, o alongamento da raiz foi inibido logo após a aplicação do Al^{3+} e que tal facto se deveu à inibição da divisão celular no meristema da raiz.

Embora o alumínio seja normalmente considerado tóxico para as plantas cultivadas, muitos trabalhos demonstraram a sua essencialidade para algumas plantas (Machado, 1997). Num estudo realizado por Chenery, (1995) citado por Machado (1997), com a cultura de chá (*Camellia sinensis* L.), indicou a possibilidade do alumínio actuar como estimulante do crescimento de raízes. De acordo com Konishi (1990) citado por Machado (1997), quando o alumínio foi aplicado na solução nutritiva contendo fósforo, o crescimento do chá foi estimulado como resultado de uma melhor absorção e utilização do fósforo pela planta. Marschner (1990) citado por Machado (1990) constatou que sob certas condições, espécies de plantas com alta tolerância ao alumínio, baixos níveis deste metal podem causar efeitos benéficos ao crescimento de plantas superiores. Por outro lado num estudo realizado por Joshi *et al.* (1999) citado por Jamal (2006), verificou-se que as raízes de *Vigna radiata* aumentaram o seu comprimento com o aumento da concentração de alumínio.

Não houve diferenças significativas entre os pesos secos das folhas das duas variedades, nem entre as diferentes concentrações ($p>0.05$). Contudo, na variedade "Namarua" registou-se um aumento na segunda semana, o que contradiz com os estudos que mostraram a redução do peso seco das folhas (Joshi *et al.*, 1999 citado por Jamal, 2006). Isto pode ser resultado de um estímulo promovido pelo alumínio no tratamento 0.045mM. Na variedade "Massava-nhassenje" notou-se um peso seco das folhas mais

baixo nos tratamentos controle e 0.015mM, os valores mais altos de peso seco das folhas foram observados nas concentrações 0.03 e 0.045mM na primeira semana, e verificou-se uma redução do peso seco das folhas na segunda semana tendo sido mais acentuada na concentração 0.03mM. Este resultado pode ser explicado pelo facto de a exposição a toxicidade do alumínio ser mais severa em plantas mais velhas (Rowland, 2006). Outro motivo poderá ter sido o facto de o alumínio competir com nutrientes como o cálcio e magnésio por sítios na parede celular e principalmente, na membrana plasmática (Rengel, 1993; Milivojevic & Stojanovic, 2003 citados por Codognotto *et al.*, 2003) o que leva à uma menor efectividade metabólica e de síntese de novos materiais orgânicos.

Outro factor que pode ter levado à estes resultados é o tipo de solução nutritiva usado. De acordo com Vital *et al.* (2003) existe um grande número de fórmulas desenvolvidas por pesquisadores, mas, não existe uma solução nutritiva padrão e melhor que as demais, para o cultivo de uma espécie ou variedades. Para o presente estudo a solução usada é uma das mais frequentemente usadas para estudos sobre a toxicidade do alumínio, mas é possível que não seja a ideal para cultivar as variedades locais de feijão-nhemba estudadas. Outro aspecto a considerar é que a absorção é geralmente proporcional à concentração de nutrientes na solução próxima às raízes, sendo muito influenciada pelos factores ambientais dentre os quais: salinidade, oxigenação, temperatura, pH da solução nutritiva, intensidade da luz, fotoperíodo e humidade (Vital *et al.*, 2003). Durante a realização desta experiência foi apenas possível controlar o pH (era diariamente corrigido), os restantes factores como luminosidade, temperatura e humidade do ar não foi possível regular tendo-se apenas feito medições diárias (Tabelas 1 e 2 ANEXO III). Este facto pode ter sido um dos motivos que originou os resultados do presente trabalho.

Na variedade "Namarua" verificou-se a razão do seco peso das folhas quase similar nos tratamentos exceptuando o tratamento controle na primeira semana, mas houve um aumento na concentração 0.045mM na segunda semana. Na variedade

“Massava-nhassenje” os valores durante a primeira semana foram ligeiramente diferentes sendo que as concentrações 0.0 e 0.03mM foram mais altos que os das concentrações 0.015 e 0.045mM. Na segunda semana observou-se uma ligeira descida para o tratamento 0.3mM e subida para o tratamento 0.045mM. Isto mostra que as espécies de plantas e genótipos dentro das espécies diferem muito na sua resposta ao alumínio (Foy, 1988; Taylor, 1987 citados por Rowland, 2006).

No presente estudo o peso seco total aumentou com o aumento na concentração em todos os tratamentos com alumínio em ambas variedades. Este facto vai de acordo com Jamal *et al.* (2006), que observou o mesmo comportamento em plantas de *Vigna radiata*. A forma como os sintomas de toxicidade são expressas pelas plantas depende de vários factores incluindo: a quantidade de alumínio e outros iões presentes, a quantidade de matéria orgânica e o genótipo da planta. Horst (1987) citado por Hairiah *et al.* (1990) verificou que com o aumento da concentração do alumínio, reduziu o nível de cálcio em todos os tecidos radiculares de *Vigna unguiculata*, sendo o cálcio um elemento essencial, fica comprometido o metabolismo da planta e consequentemente o seu crescimento.

A taxa de crescimento relativo foi significativamente afectada pelos tratamentos e houve diferenças significativas entre as duas variedades e entre os diferentes tratamentos ($p < 0.05$). Contudo, o comportamento da taxa de crescimento relativo foi quase similar na primeira semana para as duas variedades, apresentaram os menores valores da taxa de crescimento relativo nos tratamentos com as concentrações 0.0 e 0.015mM, porém houve um aumento nos tratamentos com maior concentração de alumínio, o que sugere que numa fase inicial o alumínio de certo modo estimula o crescimento das variedades (Jamal *et al.*, 2003). Na segunda semana este comportamento foi mais acentuado na variedade “Massava-nhassenje”, o que sustenta ainda mais a tolerância desta variedade aos efeitos nocivos do alumínio.

A taxa de crescimento negativa ao longo de toda experiência pode ser devida,

primeiro aos pesos muito baixos obtidos, o que reflecte a baixa capacidade de síntese de material orgânico, importante para o crescimento de plantas. Um outro aspecto a considerar é o facto de o alumínio poder interferir com as actividades metabólicas nas plantas (Codognotto *et al.*, 2003; Rowland, 2006).

Houve diferenças significativas na taxa de assimilação aparente entre as duas variedades e entre os tratamentos ($p < 0.05$). Ao longo da experiência nas duas variedades verificou-se uma redução na taxa de assimilação aparente o que pode ser explicado pelo facto do alumínio inibir os processos bioquímicos fotossintéticos (Codognotto *et al.*, 2003) uma vez que a taxa de assimilação aparente é considerada como sendo a fotossíntese líquida (Atwell *et al.*, 1999). Contudo, na variedade "Namarua" na primeira semana houve um aumento da taxa com o aumento da concentração de alumínio, o que pode significar que existe uma quantidade supra-óptima de um nutriente chave para a fotossíntese como é o magnésio, tal como foi reportado em relação ao fósforo e cálcio (Rowland, 2006), sendo que o alumínio reduz o seu efeito inibitório competindo com estes nutrientes.

No caso da variedade "Massava-nhassenje" o comportamento foi inverso sendo que o maior valor da taxa de assimilação aparente foi no tratamento controle, o que sugere que o nutriente para esta variedade encontrava-se na quantidade certa e que o alumínio reduziu a sua disponibilidade inibindo igualmente os processos fotossintéticos.

O conteúdo de água total não variou significativamente entre os tratamentos e entre as variedades ($p > 0.05$), porém observou-se uma redução do conteúdo da água com o aumento da concentração do alumínio, o que mais uma vez pode ser explicado pela redução da absorção da água pelo alumínio, uma vez que este pode causar danos ao sistema radicular (Rowland, 2006).

9. Conclusões

- Os parâmetros morfológicos ligados à toxicidade do alumínio nas variedades “Namarua” e “Massava-nhassenje” são redução do comprimento radicular, camada mucilaginosa a volta do sistema radicular, folhas enroladas e amareladas e necroses.
- Para a variedade “Namarua” as concentrações que tiveram efeitos tóxicos sobre as plantas foram 0.015 e 0.03mM. E para a variedade “Massava-nhassenje” foi a concentração 0.015mM.
- Os efeitos da toxicidade do Al afectaram mais a variedade “Namarua” que teve maior mortalidade nos tratamentos 0.015 e 0.03mM de alumínio e a variedade “Massava-nhassenje” apresentou-se mais resistente tendo sobrevivido nos tratamentos 0.030e 0.045mM de alumínio. A variedade “Massava-nhassenje” apresentou a TAA e TCR mais altos que a variedade “Namarua”.

10. Recomendações

- Um novo estudo deve ser feito com as mesmas variedades usadas de forma a validar os resultados obtidos no presente,
- É recomendável que se façam estudos de carácter morfológico, e molecular com estas e mais variedades usadas no país, e que a partir destes se recomende as variedades que se adaptem melhor ao solo do local de cultivo.

11. Constrangimentos

- Não foi possível medir a pressão osmótica devido a não existência de um aparelho para tal.
- Não foi possível monitorar a experiências aos Domingos e feriados, pois o edifício onde se encontra o laboratório se encontrava encerrado, o que afectou a recolha e posterior análise dos resultados.

12. Bibliografia

Atwell, B., P. Kriedemann, & C. Turnbull (1999) *Plants in Action-Adaptation in Nature, Performance in Cultivation*. MacMillan Education Australia PTY LTD. Malaysia. 664pp.

Bonato, C. M., J. Cambraia, R. Sant'Anna, & V. H.A. Venegas. (2000). Efeito de Alumínio sobre a Absorção, a Partição e a Utilização de Enxofre em Sorgo. *R. Bras. Fisiol. Veg.*, 12 (1):17-24.

Brady, D. J., G. G. Edwards & C. J. Asher. (1994). Effects of aluminium on the peanut (*Arachis hypogaea* L.)/ *Bradyrhizobium* symbiosis. *Plant and Soil*. 159: 265-276.

Cardoso, M. J., F. B. Melo & M. G. Lima. (2005). Ecofisiologia e Manejo de Plantio. In: Filho, F. R. F., J. A. A. Lima & V. Q. Ribeiro. *Feijão – Caupi Avanços tecnológicos*. Pp213-225. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica.

Čiamporová, M. (2000). Diverse responses of root cell structure to aluminium stress. *Plant and Soil*, 226: 113-116.

Clune, T. e L. Copeland. (1999). Effects of Aluminium on Canola Roots. *Plant and Soil*, 216: 27-33.

Codognotto, L. M., D. M. M. Santos, I. C. Leite, A. Marin, L. L. Madaleno, N. N. Kabori e D. A. Banzatto. (2003). Efeito do Alumínio nos teores de clorofilas de plântulas de feijão mungo e labe-labe. *Ecosistema*, 27: 1: 27-30.

Dias, A., C. Aires, M. Silva e R. Catarino. (2002). Testes de Toxicidade em *Artemia salina*: Contaminante (K₂CrO₇) e Efluentes Químicos (Tratado e não Tratado). Faculdade

Biologia Marinha e Pescas. Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente. Universidade do Algarve. Faro. Portugal.

Echart, C. L. e S. Cavalli-Molina. (2001). Fitotoxicidade do Alumínio: Efeitos, Mecanismos de Tolerância e seu controle genético. *Ciência Rural*, Santa Maria, 31:3:531-541.

Filho, F. R. F., J. A. A. Lima & V. Q. Ribeiro. (2005). V. Q. Ribeiro. Feijão–Caupi Avanços tecnológicos. S/E. Embrapa. Brasília. 519pp.

Filho, F. R. F., V. Q. Ribeiro, P.D. Barreto & A. A. dos Santos. (2005). Melhoramento Genético. In: Filho, F. R. F., J. A. A. Lima & V. Q. Ribeiro (editores). Feijão – Caupi Avanços tecnológicos. Pp 29-75. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica.

Fitter, A. H. e K. R. Hay (1981). *Environmental Physiology of Plants*. Academic Press. New York. 355pp.

Grangeiro, T.B., R. E. R. Castellón, F. M. M.C. Araújo, S. M. S. Silva, E. A. Freire, J. B. Cajazeiras, M. A. Neto, M. B. Grangeiro & B. S. Cavada. (2005). Composição Bioquímica da semente. (2005). Composição Bioquímica da Semente. In: Filho, F. R. F., J. A. A. Lima & V. Q. Ribeiro (editores). Feijão – Caupi Avanços tecnológicos. Pp339-359. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica.

Hairiah, K., I. Stulen e P. J. C. Kuiper. (1990). Aluminium tolerance of the velvet beans *Mucuna pruriens* var. *utilis* and *M. deeringiana*. I. Effects of aluminium on growth and mineral composition. In Aluminium tolerance of *Mucuna* a tropical leguminous cover crop. Hairiah, K. pp 30-42. in Hairiah, K. (1992). Aluminium tolerance of *Mucuna* a tropical leguminous cover crop. 152pp. Indonésia.

Hairiah, K. (1992). Aluminium tolerance of *Mucuna* a tropical leguminous cover crop. 152pp. Indonésia.

Heemskerk, W. (1985). Espécies e variedades de feijão em Moçambique. Instituto de Investigação Agronómica. Comunicação. Série Agronómica No1. 35pp.

Heemskerk, W. (1987). O regionalismo do feijão- nhemba. INIA Comunicações. Série Agronómica No 8. 16pp.

Jamal, S. N., M. Zafar Iqbal & M. Athar (2006). Effect of aluminium and chromium on the germination and growth of two *Vigna* species. Center for Environment and Energy Research and Studies (CEERS). 5pp.

Jemo, M., R. C. Abaidoo, C. Nolte & W. J. Horst. (2007). Aluminium resistance of cowpea as affected by phosphorous-deficiency stress. *Journal of Physiology*, 164: 442-451.

Levi, A. M. (2004) Efeitos da Pré- hidratação no Crescimento do Feijão Jugo (*Vigna subterranea*) em condições de Stress Hídrico. Tese de Licenciatura DCB. UEM. 53pp.

Machado, P. L. (1997) Considerações Gerais sobre a Toxicidade do Alumínio nas Plantas. Embrapa- CNPS. Rio de Janeiro. 21pp.

- Matsumoto, H. (2000). Cell biology of aluminium toxicity and tolerance in higher plants. *International Review Cytology*. 200: 1-46.
- Meenakumari, K. S. & S. K. Nair. (2001). Influence of Soil Chemical Properties on Root Nodulation by *Bradyrhizobium* sp. in Cowpea, Blackgram and Greengram. *Journal of Tropical Agriculture* 39: 62-64.
- Melo, F. B., M. J. Cardoso & A. A. C. Salviano. (2005). Fertilidade do Solo e Adubação. In: Filho, F. R. F., J. A. A. Lima & V. Q. Ribeiro (editores). *Feijão – Caupi Avanços tecnológicos*. Pp231-241. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica.
- Nhancale, B. A. (2004). Efeito dos Fluoretos de Sódio no Crescimento de *Lolium multiflorum*. Tese de Licenciatura Departamento de Ciências Biológicas. UEM. 56pp.
- Paterniani, M. E. G. Z. & P. R. Furlani. (2002). Tolerância a Toxicidade de Alumínio de Linhagens e Híbridos de Milho em Solução Nutritiva. *Bragantia, Campinas*, 61: 1: 11-16.
- Piñeros, M. A., J. E. Shaff, H. S. Manslank, V. M. C. Alves, & L. V. Kochian.(2005). Aluminium Resistance in Maize Cannot Be Solely Explained by Root Organic Acid Exudation. A Comparative Physiological Study. *Plant Physiology*, 137: 231-241.
- Pinho, J. L. N., F. J. A. F. Távora & J. A. Gonçalves. (2005). Aspectos Fisiológicos. In: Filho, F. R. F., J. A. A. Lima & V. Q. Ribeiro (editores). *Feijão – Caupi Avanços tecnológicos*. Pp193-206. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica.
- Purseglove, J.W. (1984) *Tropical Crops Dicotyledons*. Longman Group. London. 719pp.

Quintal- Tun, F., J. A. Muñoz- Sánchez, A. Ramos-Díaz, A. Escamilla-Bencomo, M. Martínez-Estévez, C. Exley e S. M. T. Hernández-Sotomayor. (2006). Aluminium-induced phospholipid signal transduction pathway in *Coffea arabica* suspension cells and its amelioration by silicic acid. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 101:2:362-369.

Raven, P. H., R. F. Evert e S. E. Eichhorn. (2001). *Biologia Vegetal*. Sexta Edição. Editora Guanabara Koogan. Rio de Janeiro. 906pp.

Rowland, R. (2006) Responses of Sugarcane to Aluminium Toxicity. Thesis for the degree of Masters of Science. University of Stellenbosch. 85pp.

Rulkens, T. (1996) Apontamentos da Disciplina de Produção Vegetal I. Feijões. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. UEM. Maputo.

Salisbury, F. B. & C. W. Ross. (1992). *Plant Physiology*. Forth Edition. Wadsworth, Inc. California. 628pp.

Sharp, R. E., W. J. Davies. (1989). Regulation of Growth and Development of Plants Growing with Restrict Supply of Water. In Jones, H. G., T. J. Flowers & M. B. Jones. (editors). *Plant Under Stress*. Cambridge University Press, 257pp.

Silva, A. P. P. e B. Melo. (2005). Hidroponia. [<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/hidropo.htm>]. Consultado a 14 de Junho de 2007.

Singh, S. e K. Rachie (1985) Cowpea Research Production and Utilization. Library of Congress Cataloging in Publication Data. US. 460pp.

Tecchio, M. A., E. J. Paioli-Pires, H. G. Filho, R. M. Brizolla, C. R. Y. Vieira e M. Terra (2005). Avaliação de variáveis fisiológicas em porta-enxertos de videira cultivados em solução nutritiva com adição de alumínio. *Ciênc. Agrotec., Lavras*, 29: 2: 274 - 283.

Underwood, A. J. (1999). *Experiments in Ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance.* Cambridge University Press. 499pp.

Vasconcelos S., R. Rossiello e J. Jacob-Neto. (2002). Parâmetros morfológicos para estabelecer tolerância diferencial à toxicidade do alumínio em cultivares de arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:3:1-10.

Veloso, C. A. C., E. Malavolta, T. Muraoka e E. J. M. Carvalho (2000). Alumínio e a absorção de cálcio por mudas de pimenta do reino. *Scientia Agricola*. 57:1:1-5.

Vilanculos, M. F. (2000) Mozambican Soil Acidity Map. INIA-DTA.

Veríssimo (2007) comunicação pessoal. Técnico superior do Instituto de Investigação Agronómica de Moçambique. Maputo.

Vital, W. M., N. T. Teixeira, R. Shigihara, A. E. Ferraro, E. L. Damaglio e P. Alvero. (2003). Comportamento de variedades de alface (*Lactuca sativa* L.) cultivadas em hidroponia com diferentes soluções nutritivas. *Revista Ecosistema*. 27:1. 59-62.

Yang, J., L. Zhang, Y. Li, W. J. You, & S. Zheng (2006). Citrate Transporters Play a Critical Role in Aluminium-stimulated Citrate Efflux in Rice Bean (*Vigna umbellata*) Roots. *Annals of Botany*, 97:579-584.

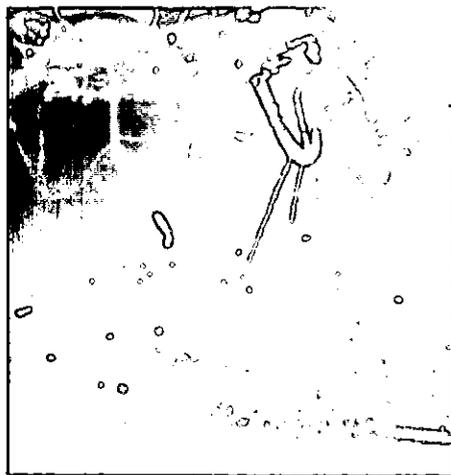
<http://www.sbvt.ibict.br>, acessado à 10 de Janeiro de 2008.



ANEXOS



(a)



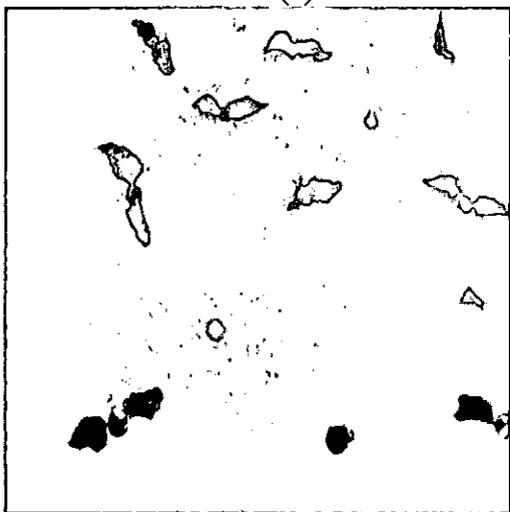
(b)



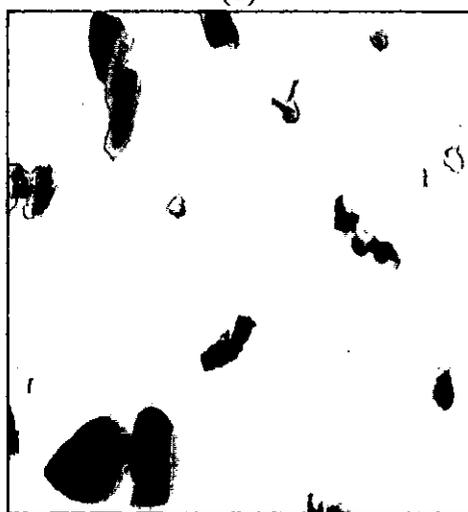
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 1: Sistema radicular pouco desenvolvido (a) – Evidência de quebra de raízes (b) – Camada mucilaginosa a volta dos pêlos radiculares (c). Folhas mostrando sinais de stress (amareladas) var. N (d)- Folhas enroladas var (M)- (e).

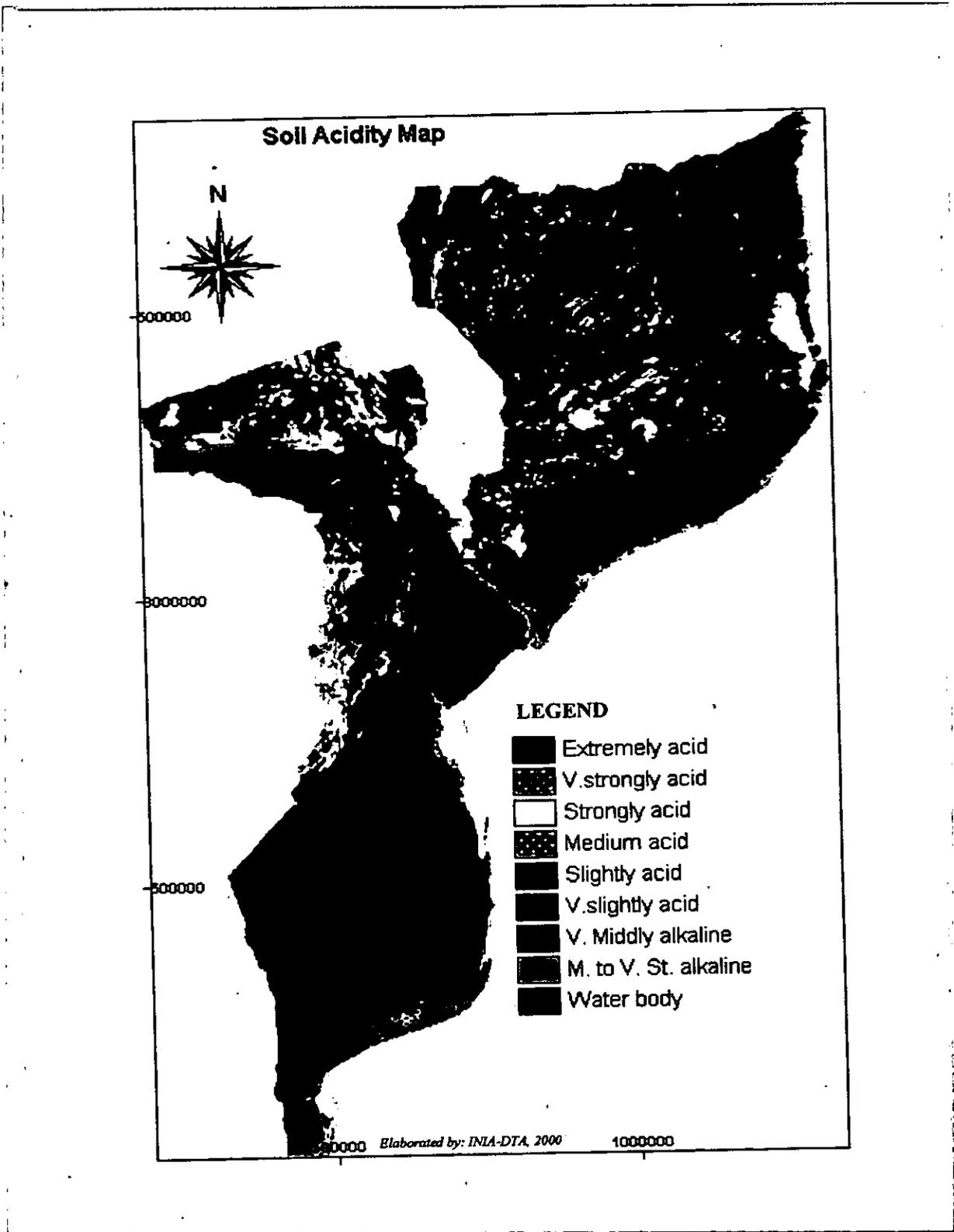


Fig. 2: Mapa de acidez do solo moçambicano. Fonte: Vilanculos, M. (2000). Mozambican Soil Acidity Map. INIA-DTA.

Tabela 1. Temperatura do laboratório durante a experiência (°C)

Média	Desvio padrão
25.95*	0.636396103
27.08333333333333**	0.680685929
26.9428571428571***	0.605136742

Tabela 2. Temperatura da solução durante a experiência (°C) N e M (variedades Namarua e Massava-nhassenje).

	Variedades	Tratamento (mM)	Temperatura (°C)	Condutividade (ppm)	Luminosidade (lux)
Antes da adição de Al	Namarua	0	24.50 ± 0.78	0.72 ± 0.11	7.08 ± 0.01
		0.015	23.95 ± 0.49	0.64 ± 0.01	6.83 ± 0.74
		0.03	24.45 ± 1.06	0.63 ± 0.00	7.30 ± 0.06
		0.045	24.75 ± 0.78	0.70 ± 0.00	7.49 ± 0.11
	Massava- nhassenje	0	24.80 ± 0.57	0.88 ± 0.07	7.75 ± 0.12
		0.015	24.60 ± 0.57	0.67 ± 0.00	7.45 ± 0.31
		0.03	24.55 ± 0.78	0.43 ± 0.02	7.35 ± 0.09
		0.045	24.50 ± 0.35	0.67 ± 0.00	7.67 ± 0.01
1ª Semana após a adição de Al	Namarua	0	26.04 ± 1.11	0.73 ± 0.02	7.16 ± 0.87
		0.015	26.21 ± 0.74	0.73 ± 0.02	7.29 ± 0.78
		0.03	26.26 ± 0.61	0.69 ± 0.02	7.41 ± 0.49
		0.045	26.34 ± 0.68	0.71 ± 0.02	7.19 ± 0.64
	Massava- nhassenje	0	26.13 ± 0.67	0.88 ± 0.03	7.14 ± 0.76
		0.015	25.86 ± 0.78	0.74 ± 0.03	6.92 ± 0.60
		0.03	25.91 ± 0.75	0.58 ± 0.03	7.76 ± 0.82
		0.045	25.20 ± 0.68	0.79 ± 0.03	7.40 ± 0.71
2ª Semana após a adição de Al	Namarua	0	27.30 ± 1.11	0.75 ± 0.00	8.60 ± 0.76
		0.015	26.30 ± 0.74	0.75 ± 0.02	6.30 ± 0.60
		0.03	27.10 ± 0.61	0.70 ± 0.00	7.56 ± 0.82
		0.045	26.23 ± 0.68	0.76 ± 0.04	7.02 ± 0.71
	Massava- nhassenje	0	26.95 ± 0.07	0.94 ± 0.00	8.26 ± 0.00
		0.015	26.08 ± 0.99	0.74 ± 0.02	7.86 ± 0.45
		0.03	26.44 ± 0.78	0.70 ± 0.05	8.07 ± 0.32
		0.045	26.43 ± 0.76	0.76 ± 0.05	8.09 ± 0.38

Tabela 3. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Taxa de Assimilação Aparente e a concentração de alumínio, primeira colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.224935
R Square	0.050596
Adjusted R Square	0.029957
Standard Error	0.000717
Observations	48

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1.26E-06	1.26E-06	2.451437	0.124272
Residual	46	2.36E-05	5.14E-07		
Total	47	2.49E-05			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.00165	0.000173	-9.55323	1.71E-12	-0.002	-0.00131	-0.002	-0.00131
X Variable 1	0.009658	0.006168	1.565706	0.124272	-0.00276	0.022074	0.00276	0.022074

Tabela 4. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear da relação entre a Taxa de Assimilação Aparente e a concentração de alumínio,, segunda semana.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.02941
R Square	0.000865
Adjusted R Square	-0.06158
Standard Error	0.000375
Observations	18

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1.95E-09	1.95E-09	0.013851	0.907778
Residual	16	2.25E-06	1.41E-07		
Total	17	2.25E-06			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.00022	0.000508	0.43398	0.670098	-0.0013	0.000857	-0.0013	0.000857
X Variable 1	0.001472	0.012508	0.11769	0.907778	-0.02504	0.027987	0.02504	0.027987

Tabela 5. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Taxa de Crescimento Relativo e a concentração de alumínio, primeira colheita.

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.378379
R Square	0.143171
Adjusted R Square	0.124544
Standard Error	0.13053
Observations	48

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	0.130961	0.130961	7.68632	0.008007
Residual	46	0.783757	0.017038		
Total	47	0.914718			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.37933	0.031526	-12.0321	8.26E-16	-0.44279	-0.31587	-0.44279	-0.31587
X Variable 1	3.114614	1.123427	2.772421	0.008007	0.853272	5.375956	0.853272	5.375956

Tabela 6. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear da relação entre a Taxa de Crescimento Relativo (TCR) e a concentração de alumínio, segunda semana.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.012386
R Square	0.000153
Adjusted R Square	-0.06234
Standard Error	0.008813
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1.91E-07	1.91E-07	0.002455	0.961096
Residual	16	0.001243	7.77E-05		
Total	17	0.001243			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.00568	0.011932	0.47634	0.640271	-0.03098	0.019611	0.03098	0.019611
X Variable 1	-0.01455	0.293752	0.04955	0.961096	-0.63728	0.608171	0.63728	0.608171

Tabela 7. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Razão do Peso Seco da Raíz e a concentração de alumínio, segunda colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.385698
R Square	0.148763
Adjusted R Square	0.095561
Standard Error	0.080782
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	0.018247	0.018247	2.796176	0.113928
Residual	16	0.104411	0.006526		
Total	17	0.122658			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.441278	0.109379	4.03439	0.00096	0.209404	0.673151	0.209404	0.673151
X Variable 1	-4.50271	2.692725	-1.67218	0.113928	-10.211	1.205609	-10.211	1.205609

Tabela 8. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Razão do Peso das Folhas e a concentração de alumínio, primeira colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.292712
R Square	0.08568
Adjusted R Square	0.065804
Standard Error	63.73942
Observations	48

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	17512.8	17512.8	4.310616	0.043491
Residual	46	186884.8	4062.713		
Total	47	204397.6			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	250.4826	15.39453	16.27088	1.05E-20	219.495	281.4702	219.495	281.4702
X Variable 1	-1138.97	548.5816	-2.0762	0.043491	-2243.2	-34.7289	-2243.2	-34.7289

Tabela 9. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Razão da Área Foliar e a concentração de alumínio, segunda colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.12333
R Square	0.01521
Adjusted R Square	-0.04634
Standard Error	85.8227
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1820.191	1820.191	0.247123	0.62587
Residual	16	117848.6	7365.536		
Total	17	119668.8			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	248.0046	116.2045	2.134209	0.048647	1.662145	494.3471	1.662145	494.3471
X Variable 1	-1422.12	2860.757	-0.49711	0.62587	-7486.66	4642.41	-7486.66	4642.41

Tabela 10. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Percentagem de Matéria Seca e a concentração de alumínio, primeira colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.107274
R Square	0.011508
Adjusted R Square	-0.00998
Standard Error	13.7049
Observations	48

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	100.5833	100.5833	0.535518	0.468008
Residual	46	8639.922	187.8244		
Total	47	8740.505			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	9.048847	3.310049	2.73375	0.008859	2.386065	15.71163	2.386065	15.71163
X Variable 1	-86.3169	117.953	-0.73179	0.468008	-323.744	151.1102	-323.744	151.1102

Tabela 11. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Percentagem de Matéria Seca e a concentração de alumínio, segunda colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.285019
R Square	0.081236
Adjusted R Square	0.023813
Standard Error	6.690312
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	63.32237	63.32237	1.4147	0.25163
Residual	16	716.1643	44.76027		
Total	17	779.4867			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-4.07883	9.058725	-0.45027	0.65856	-23.2825	15.12481	23.2825	15.12481
X Variable 1	265.2512	223.0104	1.189412	0.25163	-207.51	738.0121	-207.51	738.0121

Tabela 12. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Razão do Peso da Folha e a concentração de alumínio, segunda colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.203836
R Square	0.041549
Adjusted R Square	-0.01835
Standard Error	0.348077
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	0.084035	0.084035	0.693603	0.417201
Residual	16	1.93852	0.121158		
Total	17	2.022555			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.154162	0.454304	0.339337	0.738769	-0.80892	1.117245	0.80892	1.117245
X Variable 1	9.2313	11.08428	0.832828	0.417201	-14.2663	32.72892	14.2663	32.72892

Tabela 13. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Área Específica da Folha e a concentração de alumínio, primeira colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.120027
R Square	0.014406
Adjusted R Square	-0.00702
Standard Error	142.2471
Observations	48

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	13605.18	13605.18	0.672384429	0.416450291
Residual	46	930774.3	20234.22		
Total	47	944379.5			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	553.4283	34.35593	16.10867	1.55086E-20	484.2733641	622.5831	484.2734	622.5831
X Variable 1	-1003.89	1224.268	-0.81999	0.416450291	3468.210879	1460.435	-3468.21	1460.435

Tabela 14. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Área específica da Folha e a concentração de alumínio, segunda colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.250882
R Square	0.062942
Adjusted R Square	0.004376
Standard Error	180.9483
Observations	18

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	35188.63	35188.63	1.074715	0.315298
Residual	16	523876.9	32742.3		
Total	17	559065.5			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	741.4508	236.1709	3.139467	0.006334	240.7908	1242.111	240.7908	1242.111
X Variable 1	-5973.56	5762.181	-1.03668	0.315298	-18188.8	6241.715	-18188.8	6241.715

Tabela 15. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Razão do Peso das Folhas e a concentração de alumínio, primeira colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.292712
R Square	0.08568
Adjusted R Square	0.065804
Standard Error	63.73942
Observations	48

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	17512.8	17512.8	4.310616	0.043491
Residual	46	186884.8	4062.713		
Total	47	204397.6			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	250.4826	15.39453	16.27088	1.05E-20	219.495	281.4702	219.495	281.4702
X Variable 1	-1138.97	548.5816	-2.0762	0.043491	-2243.2	-34.7289	-2243.2	-34.7289

Tabela 16. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Razão do Peso da Folha e a concentração de alumínio, segunda colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.203836
R Square	0.041549
Adjusted R Square	-0.01835
Standard Error	0.348077
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	0.084035	0.084035	0.693603	0.417201
Residual	16	1.93852	0.121158		
Total	17	2.022555			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.154162	0.454304	0.339337	0.738769	-0.80892	1.117245	0.80892	1.117245
X Variable 1	9.2313	11.08428	0.832828	0.417201	-14.2663	32.72892	14.2663	32.72892

Tabela 17. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre Peso Específico da Folha e a concentração de alumínio, primeira colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.173834
R Square	0.030218
Adjusted R Square	0.009136
Standard Error	0.000757
Observations	48

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	8.22E-07	8.22E-07	1.433352	0.237352
Residual	46	2.64E-05	5.73E-07		
Total	47	2.72E-05			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.001883	0.000183	10.29375	1.61E-13	0.001515	0.002251	0.001515	0.002251
X Variable 1	0.007803	0.006518	1.197227	0.237352	-0.00532	0.020923	-0.00532	0.020923

Tabela 18. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre Razão do Peso Seco da Raiz e a concentração de alumínio, primeira colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.252871
R Square	0.063944
Adjusted R Square	0.043595
Standard Error	0.092162
Observations	48

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	0.026691	0.026691	3.142342	0.082906
Residual	46	0.390716	0.008494		
Total	47	0.417406			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.247644	0.022259	11.12543	1.23E-14	0.202838	0.292449	0.202838	0.292449
X Variable 1	1.406085	0.793204	1.772665	0.082906	-0.19055	3.002721	-0.19055	3.002721

Tabela 19. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Área Foliar e a concentração de alumínio, primeira colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.097474
R Square	0.009501
Adjusted R Square	-0.01203
Standard Error	4.907549
Observations	48

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	10.62704	10.62704	0.441248	0.509837
Residual	46	1107.866	24.08403		
Total	47	1118.493			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	14.67757	1.185286	12.38315	2.99E-16	12.29171	17.06342	12.29171	17.06342
X Variable 1	28.05687	42.23745	0.664265	0.509837	-56.9627	113.0765	-56.9627	113.0765

Tabela 20. Outputs para a obtenção da equação da recta de regressão linear entre a Área Foliar e a concentração de alumínio, segunda colheita.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.147948
R Square	0.021888
Adjusted R Square	-0.03924
Standard Error	3.6724
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	4.828885	4.828885	0.358053	0.557966
Residual	16	215.7843	13.48652		
Total	17	220.6132			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	15.34281	4.972453	3.085562	0.007091	4.801682	25.88394	4.801682	25.88394
X Variable 1	-73.2491	122.4133	-0.59837	0.557966	-332.754	186.2556	-332.754	186.2556

Tabela 21. Two-way ANOVA

General Linear Model

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TAA	1.01E-005(a)	3	3.36E-006	5.442	.002
	TCR	.692(b)	3	.231	10.021	.000
	AF	25.212(c)	3	8.404	.366	.778
	RAF	33870.305(d)	3	11290.102	2.294	.087
	AEF	44614.372(e)	3	14871.457	.627	.600
	PSF	.000(f)	3	.000	1.957	.130
	PSR	.001(g)	3	.000	1.811	.154
	PEFo	1.85E-005(h)	3	6.18E-006	1.173	.327
	RPSR	.041(i)	3	.014	1.675	.182
	%Mat.S	474.784(j)	3	158.261	1.084	.362
	CAT	9.678(k)	3	3.226	.895	.449
	PTP	.002(l)	3	.001	1.103	.355
	COMPRA	31.342(m)	3	10.447	.501	.683
	Intercept	TAA	8.79E-005	1	8.79E-005	142.288
TCR		3.998	1	3.998	173.814	.000
AF		12866.001	1	12866.001	560.301	.000
RAF		2976692.665	1	2976692.665	604.909	.000
AEF		17031916.361	1	17031916.361	717.977	.000
PSF		.014	1	.014	170.904	.000
PSR		.023	1	.023	144.976	.000
PEFo		.000	1	.000	59.010	.000
RPSR		4.533	1	4.533	558.084	.000
%Mat.S		3339.794	1	3339.794	22.882	.000
CAT		1509.973	1	1509.973	418.728	.000
PTP		.284	1	.284	558.454	.000
COMPRA		9972.720	1	9972.720	478.192	.000
Tratamento		TAA	1.01E-005	3	3.36E-006	5.442
	TCR	.692	3	.231	10.021	.000
	AF	25.212	3	8.404	.366	.778
	RAF	33870.305	3	11290.102	2.294	.087
	AEF	44614.372	3	14871.457	.627	.600
	PSF	.000	3	.000	1.957	.130
	PSR	.001	3	.000	1.811	.154
	PEFo	1.85E-005	3	6.18E-006	1.173	.327

	RPSR	.041	3	.014	1.675	.182
	%Mat.S	474.784	3	158.261	1.084	.362
	CAT	9.678	3	3.226	.895	.449
	PTP	.002	3	.001	1.103	.355
	COMPRA	31.342	3	10.447	.501	.683
Especie	TAA	.000	0	.	.	.
	TCR	.000	0	.	.	.
	AF	.000	0	.	.	.
	RAF	.000	0	.	.	.
	AEF	.000	0	.	.	.
	PSF	.000	0	.	.	.
	PSR	.000	0	.	.	.
	PEFo	.000	0	.	.	.
	RPSR	.000	0	.	.	.
	%Mat.S	.000	0	.	.	.
	CAT	.000	0	.	.	.
	PTP	.000	0	.	.	.
	COMPRA	.000	0	.	.	.
Tratamento * Especie	TAA	.000	0	.	.	.
	TCR	.000	0	.	.	.
	AF	.000	0	.	.	.
	RAF	.000	0	.	.	.
	AEF	.000	0	.	.	.
	PSF	.000	0	.	.	.
	PSR	.000	0	.	.	.
	PEFo	.000	0	.	.	.
	RPSR	.000	0	.	.	.
	%Mat.S	.000	0	.	.	.
	CAT	.000	0	.	.	.
	PTP	.000	0	.	.	.
	COMPRA	.000	0	.	.	.
Error	TAA	3.83E-005	62	6.18E-007	.	.
	TCR	1.426	62	.023	.	.
	AF	1423.685	62	22.963	.	.
	RAF	305095.179	62	4920.890	.	.
	AEF	1470769.441	62	23722.088	.	.
	PSF	.005	62	8.09E-005	.	.
	PSR	.010	62	.000	.	.
	PEFo	.000	62	5.27E-006	.	.
	RPSR	.504	62	.008	.	.
	%Mat.S	9049.544	62	145.960	.	.
	CAT	223.578	62	3.606	.	.
	PTP	.032	62	.001	.	.
	COMPRA	1293.013	62	20.855	.	.
Total	TAA	.000	66	.	.	.
	TCR	5.507	66	.	.	.
	AF	15361.842	66	.	.	.

	RAF	3408434.909	66		
	AEF	19541012.35	66		
		1			
	PSF	.021	66		
	PSR	.038	66		
	PEFo	.001	66		
	RPSR	5.512	66		
	%Mat.S	12712.074	66		
	CAT	1806.130	66		
	PTP	.354	66		
	COMPRA	12462.760	66		
Corrected Total	TAA	4.84E-005	65		
	TCR	2.118	65		
	AF	1448.897	65		
	RAF	338965.484	65		
	AEF	1515383.813	65		
	PSF	.005	65		
	PSR	.011	65		
	PEFo	.000	65		
	RPSR	.544	65		
	%Mat.S	9524.327	65		
	CAT	233.255	65		
	PTP	.033	65		
	COMPRA	1324.355	65		

- a R Squared = .208 (Adjusted R Squared = .170)
 b R Squared = .327 (Adjusted R Squared = .294)
 c R Squared = .017 (Adjusted R Squared = -.030)
 d R Squared = .100 (Adjusted R Squared = .056)
 e R Squared = .029 (Adjusted R Squared = -.018)
 f R Squared = .087 (Adjusted R Squared = .042)
 g R Squared = .081 (Adjusted R Squared = .036)
 h R Squared = .054 (Adjusted R Squared = .008)
 i R Squared = .075 (Adjusted R Squared = .030)
 j R Squared = .050 (Adjusted R Squared = .004)
 k R Squared = .041 (Adjusted R Squared = -.005)
 l R Squared = .051 (Adjusted R Squared = .005)
 m R Squared = .024 (Adjusted R Squared = -.024)