



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**JULLYA ROSA AFFONSO SANTOS DOS SANTOS**

**BORO COMO MITIGADOR DO EFEITO TÓXICO DO ALUMÍNIO NO  
DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE PALMA DE ÓLEO.**

**BELÉM**  
**2020**

**JULLYA ROSA AFFONSO SANTOS DOS SANTOS**

**BORO COMO MITIGADOR DO EFEITO TÓXICO DO ALUMÍNIO NO  
DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE PALMA DE ÓLEO.**

Trabalho apresentado à Universidade Federal Rural da  
Amazônia, como parte das exigências do Curso de Pós-  
graduação em Agronomia: área de concentração  
Fertilidade do solo, Adubação e Nutrição de Plantas,  
para obtenção do título de mestrado.

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior.

**BELÉM**

**2020**

**JULLYA ROSA AFFONSO SANTOS DOS SANTOS**

**BORO COMO MITIGADOR DO EFEITO TÓXICO DO ALUMÍNIO NO  
DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE PALMA DE ÓLEO.**

Trabalho apresentado à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia: área de concentração Fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral de plantas, para obtenção do título de mestrado.

Orientador: Prof. Dr. Mario Lopes da Silva Jr.

**BANCA EXAMINADORA**

*Mário Lopes da Silva Júnior*

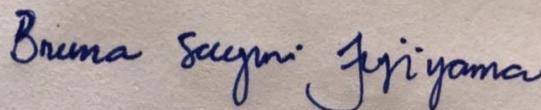
---

Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior – Orientador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA



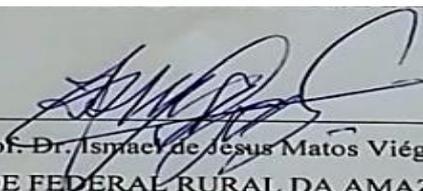
---

Dr. Gilson Sánchez Chia  
AGROPALMA S/A



---

Prof. Dra. Bruna Sayuri Fujiyama  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA



---

Prof. Dr. Ismael de Jesus Matos Viégas  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

D722b dos Santos, Jullya Rosa Affonso Santos  
BORO COMO MITIGADOR DO EFEITO TÓXICO DO ALUMÍNIO NO DESENVOLVIMENTO  
DE MUDAS DE PALMA DE ÓLEO. / Jullya Rosa Affonso Santos dos Santos. - 2020.  
58 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Agronomia(PPGA), Campus Universitário  
de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior

1. Alumínio. 2. Elaeis guineensis Jacq.. 3. Níveis de Boro. 4. Toxidez. I. Lopes da Silva Júnior ,  
Mário , *orient.* II. Título

---

CDD

633.851098115

Aos meus avós, Rosa Santos e Ivan Paixão  
dos Santos “in memoriam”.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela sua infinita bondade e misericórdia.

À Universidade Federal Rural da Amazônia, pela oportunidade de realizar este trabalho.

Ao programa PPGAGRO, pela realização do mestrado.

Ao CNPQ, pela concessão da bolsa.

A empresa Agropalma, pelo aporte com o trabalho.

Ao meu orientador Mário Lopes da Silva Júnior, pela orientação, pelos ensinamentos e confiança.

Ao Dr. Gilson Sanches Chia, pelo esforço, dedicação e contribuição com este trabalho.

Aos professores Hugo Pinheiro e Rafael Viana, pela contribuição com as análises do IRGA.

A minha querida mãe Verônica Santos, por tanto amor, por tanta empatia, pela força, incentivos a continuar com a pesquisa.

A minha irmã Jamilly Santos, que sempre esteve comigo em todos os momentos, você faz parte deste sonho, meu muito obrigada.

Ao meu namorado Paulo Henrique Alexandrino, pela parceria, pelos incentivos e apoio, você foi fundamental durante esta caminhada.

A minha grande amiga de pós-graduação, Hercília Samara que sempre esteve presente, me ajudando e contribuindo, te agradeço pelos conselhos e parceria.

Ao meu amigo Yan Dias, pelo apoio, amizade e auxílio na pesquisa.

Aos amigos que fiz durante o mestrado Josué Valente e Bruna Fujiyama, pela amizade e dedicação em ajudar com este trabalho, vocês são peças chave nesta caminhada, obrigada por tanto.

Ao meu melhor amigo, Rafael Moraes, por conselhos, por me ajudar a seguir, por me ouvir e me apoiar.

As minhas amigas de pós-graduação Maynara Gomes e Ana Renata Moraes, pela força e companheirismo.

Ao Wendel Valter, pela amizade e ajuda sempre que necessária, você foi uma pessoa incrível com a contribuição deste trabalho.

Ao Ítalo Sampaio, pela disponibilidade em ajudar sempre que possível na pesquisa.

A todo grupo PET SOLOS, pela contribuição em diferentes etapas de processo durante o experimento e com o acolhimento diário. Em especial ao meu amigo, João Carlos Duarte, pela parceria e contribuição, você é incrível.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	9
REFERENCIAIS.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
REFERENCIAIS.....	16
3. CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS, ÍNDICE SPAD, CLOROFILA E CAROTENÓIDES EM MUDAS DE <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO E BORO.....	18
RESUMO.....	18
3. GROWTH, GAS EXCHANGES, SPAD INDEX, CHLOROPHYLL AND CAROTENOIDS IN SEEDLINGS OF <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. UNDER DIFFERENT CONCENTRATIONS OF ALUMINUM AND BORON. ....	19
ABSTRACT.....	19
3.1 INTRODUÇÃO.....	20
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.2.1 Localização do experimento .....	21
3.2.2 Material vegetal .....	21
3.2.3 Delineamento experimental e tratamentos.....	22
3.2.4 Trocas gasosas.....	24
3.2.5 Índice SPAD .....	24
3.2.6 Teor de Clorofila e Carotenóide.....	23
3.2.7 Análise de crescimento.....	23
3.2.8 Produção de matéria seca das plantas.....	24
3.2.9 Análise Estatística .....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 Trocas gasosas.....	25
4.2 Índice SPAD.....	32
4.3 Teor de clorofila e caratenóides .....	33
4.4 Análise de crescimento.....	37
4.5 Produção de Massa Seca.....	42
4.5.1. Relação Parte Aérea/Raiz.....	45

<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERENCIAIS.....</b>	<b>52</b>
<b>Anexo.....</b>	<b>57</b>

## RESUMO

A palma de óleo é a oleaginosa de maior importância no âmbito mundial, e o Al pode ser um fator abiótico limitante a sua produtividade e qualidade, causando diminuição no crescimento e desenvolvimento dessa planta; o B por sua vez, é um micronutriente que participa da síntese da parede e do alongamento celular, no transporte de carboidratos, evita a paralisação do crescimento radicular, apresentando grande importância no desenvolvimento das raízes e crescimento, podendo ajudar a mitigar os efeitos tóxicos do alumínio, afetando diretamente na sua produção e rendimento. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do B viabilizando o maior crescimento e desenvolvimento a partir de avaliações morfológicas, trocas gasosas, teor de clorofila e carotenóides em mudas de palma de óleo, cultivadas em Latossolo Amarelo textura média sob diferentes saturações por alumínio. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando como substrato amostras de um Latossolo Amarelo de camada de 0-20 cm, em delineamento inteiramente casualizado, arranjo fatorial 3x5, sendo três níveis de saturação por Al (m%): 50, 60 e 70%, aplicado na forma de cloreto de alumínio ( $\text{AlCl}_3$ ) e cinco doses de B: 0, 3, 6, 10 e 15  $\text{mg}/\text{dm}^3$  solo na forma de  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , sendo as plantas cultivadas por 8 meses. Os resultados mostraram que o B promoveu melhores resultados quando comparados aos tratamentos com a ausência do micronutriente, além de mitigar o efeito do alumínio tóxico apresentando maior eficiência pelo uso da água em mudas de palma de óleo. Para as variáveis de MSPA, MSR e MST a quantidade de B a ser aplicada para máxima eficiência técnica é de 0,40  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ; 2,71  $\text{mg}/\text{dm}^3$  e de 0,04  $\text{mg}/\text{dm}^3$  de B para a saturação de 70% de Al. Verifica-se que as variáveis biométricas e de trocas gasosas para as mudas de palma de óleo foram influenciadas significativamente pela saturação de Al no solo, e o B conseguiu mitigar o efeito tóxico do Al em mudas de palma de óleo quando submetido as doses entre 3 e 6  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , de acordo com a variável *EisUA*, sendo micronutriente indispensável no crescimento e desenvolvimento das plantas.

**PALAVRAS CHAVE:** Alumínio; *Elaeis guineensis* Jacq.; Níveis de Boro; Toxidez.

## **ABSTRACT**

The oil palm is the most important oilseed worldwide, and Al can be an abiotic factor limiting its productivity and quality, causing a decrease in the growth and development of these plants, B in turn, is a micronutrient that participates in the synthesis of the wall and cellular elongation, in the transport of carbohydrates, avoids the paralysis of the root growth, presenting great importance in the development of the roots, growth that can help to mitigate the toxic effects of aluminum, directly affecting its production and yield. In this context, the objective of the work was to study the effect of B, enabling greater growth and development from the evaluations of morphological processes, gas exchange, chlorophyll and carotenoid content in oil palm seedlings, grown under different aluminum saturations. The experiment was carried out in a greenhouse, using as substrate samples of a Yellow Latosol with a 0-20 cm layer, in a completely randomized design, 3x5 factorial arrangement, with three levels of Al saturation (m%): 50, 60 and 70%, applied in the form of aluminum chloride (AlCl<sub>3</sub>) and five doses of B: 0, 3, 6, 10.15 mg // dm<sup>3</sup> soil in the form of H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, the samples were grown in the period of 8 months. The results showed that B promoted better results when compared to treatments with the absence of micronutrient, in addition to mitigating the effect of toxic aluminum, showing greater efficiency by using water in oil palm seedlings, for the variables of MSPA, MSR and MST the amount of B to be applied for maximum technical efficiency is 0.40 mg / dm<sup>3</sup>; 2.71 mg / dm<sup>3</sup> and 0.04 mg / dm<sup>3</sup> of B for 70% Al saturation. Therefore, it is concluded that the biometric and gas exchange variables for oil palm seedlings were significantly influenced by saturation of Al in the soil, and B was able to mitigate the toxic effect of Al in oil palm seedlings when submitted to doses of 3 and 6 mg / dm<sup>3</sup>, according to the variable EisUA, being an essential micronutrient in the growth and development of plants.

**KEYWORDS:** Aluminum; *Elaeis guineensis* Jacq.; Boron Levels; Toxicity.

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma palmeira originária da costa ocidental da África (Golfo da Guiné) e possui grande importância no mercado nacional (BORGES, 2016). O Brasil é o 9º maior produtor de palma de óleo do mundo, sendo o estado do Pará o maior produtor com cerca de 1.533.735 t/ano, o que corresponde a aproximadamente 90% da produção brasileira (IBGE, 2019).

De acordo com Monteiro (2011), o Brasil apresenta cerca de 140.000 ha de área cultivada, sendo cerca de 90% áreas pertencente a agroindústria, 5,1% a médios proprietários e 4,9% por agricultores familiares. A cultura da palma de óleo apresenta grande importância na cadeia agrícola, pois é grande geradora de emprego e renda para a região (MAPA, 2018)

De acordo com Souza & Macedo (2019), o estado do Pará é considerado o maior produtor de palma de óleo do Brasil com 93% da produção nacional. O governo do Pará vem estimulado a expansão do agronegócio da palma de óleo por meio da agenda do Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável do Estado do Pará - PARÁ 2030 lançado em 2016, onde tais dados indicam que o estado possui em torno de 166 mil hectares de palma de óleo, apresentando uma produção de óleo de 350 mil toneladas. No entanto, de acordo com os dados do IBGE (2019), sobre a lavoura permanente do ano 2016, confirmou-se que a área de cultivo de palma no estado girava em torno de 99.212 hectares, distribuída em 36 municípios do nordeste paraense.

Homma (2016) cita que entre os anos de 2000 e 2017 houve um avanço na produção de palma de óleo no Nordeste Paraense, apresentando estimativas consideráveis das empresas produtoras de palma, tendo um aumento na produção de óleo de palma no estado do Pará, onde os três maiores produtores de cachos de frutos frescos de palma são Tomé Açu, Tailândia e Concórdia, respectivamente (SANTOS et al., 2017), onde a palma de óleo encontrou no estado do Pará condições climáticas favoráveis para o seu desenvolvimento na região, viabilizando seu grande potencial de produção na agricultura (USDA, 2011).

De acordo com Barcelos et al. (2001), a fase de produção de mudas é importante pois a produtividade na fase adulta é reflexo do cuidado na fase inicial. Um plantio de dendezeiro de alta qualidade apresenta melhor sistema radicular e maior absorção por água e nutrientes, aumentando assim, a sua capacidade potencial de produção, sendo um diferencial no desenvolvimento. O bom manejo das plantas na fase de mudas, além de trazer benefícios

para a planta no crescimento e desenvolvimento, também apresenta melhor resistência a diversidades edafoclimática (SILVA, 2011).

Lima (2004) cita que os solos brasileiros apresentam grandes restrições quanto a sua fertilidade, restrições essas que estão relacionadas de forma direta com a elevada acidez dos solos, sendo uma característica comum dos solos da Amazônia, causados pela diminuição na disponibilidade de elementos catiônicos básicos e o aumento da solubilidade de elementos cátions tóxicos como hidrogênio, alumínio e manganês.

O conhecimento dos efeitos tóxicos do alumínio (Al) sobre o desenvolvimento e crescimento de mudas de palma de óleo e a essencialidade do boro ainda são mínimos (MENDES et al., 2018). O Al é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, em solos ácidos é solubilizado para a solução do solo na forma de  $Al^{+3}$ , sendo um inibidor para o crescimento da planta, devido a sua inibição rápida no alongamento de raiz, isto faz com que as plantas tenham alta sensibilidade ao Al, fazendo com que o seu crescimento e desenvolvimento sejam comprometidos, devido à formação de raízes mais grossas, curtas e escuras, com menor número de ramificações e volume, diminuindo o poder de absorção de água e de nutrientes, além de causar danos severos à parede celular (LEMOS et al., 2015).

O Al na forma de  $Al^{+3}$  afeta negativamente a absorção e transporte dos elementos essenciais, isso porque em grandes concentrações no solo implica na diminuição da solubilidade de fósforo e molibdênio, além de diminuir as concentrações de macronutrientes na solução do solo (ROUT et al., 2001), comprometendo a nutrição e a circulação da água, causando sérios danos a planta (SILVA et al., 2013). A toxidez por Al é um fator que limita o crescimento das plantas, e atualmente tem-se como a principal forma de diminuir essa toxicidade é por meio da utilização de calagem para aumentar o pH do solo. No entanto, o uso por calcário nem sempre é economicamente viável (ZHANG & YANG, 1997).

Em paralelo, o boro (B) é um elemento essencial, cujo a valência é constante +3, além de apresentar um raio iônico 0,23 Å, possui tendência por ligações covalentes (principalmente oxiânion). No solo, o boro encontra-se na estrutura de minerais de baixa (principal mineral que contém boro: turmalina) e alta solubilidade, sendo que o B na solução do solo é encontrado sob a forma de ácido bórico  $[B(OH)_3]$  (GOLDBERG, 1997).

Para o crescimento e desenvolvimento das plantas, o boro é absorvido a partir da solução do solo principalmente na forma de ácido bórico (ZHOU et al., 2015). O B por sua vez, pode aliviar os estresses causados pela toxidez do Al, uma vez que a aplicação de B

atua no crescimento radicular e na inibição do Al, afetando os seus padrões de absorção e dos demais elementos nutricionais em plantas (LENOBLE et al., 1996). A toxidez por Al e a deficiência de B apresentam sintomas semelhantes nas raízes, afetando o crescimento radicular, a capacidade de absorção de água e nutrientes, além de prejudicar as funções da parede celular (POSCHENRIEDER et al., 2008). Yu et al. (2009) citam que existem semelhanças entre a toxidez por Al e a deficiência por B, por isso, têm sido desenvolvidos estudos referentes a amenização da toxidez por Al e a deficiência de B.

O B tem seu papel no metabolismo das plantas bastante associado à parede celular, onde a sua maior concentração está localizada, e sua deficiência geralmente se associa a má formação dessas paredes, pois não há expansão devido as alterações das suas propriedades mecânicas (BROWN et al., 2002). De acordo com o Boletim de pesquisa da Embrapa, 1999 escrito por Oliveira et al., a região do trópico brasileiro possui um grande escassez relacionadas a pesquisas por micronutrientes, principalmente sobre o B como micronutriente, desde a sua disponibilidade até os sintomas de deficiência.

Sendo assim, a hipótese geral do trabalho é de que o B é capaz de mitigar os efeitos tóxicos do Al no crescimento, trocas gasosas, melhorando o desempenho da planta no teor de clorofila e carotenóides de mudas de palma de óleo. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do B viabilizando o maior crescimento e desenvolvimento a partir de avaliações dos processos morfológicos, trocas gasosas, teor de clorofila e carotenóides em mudas de palma de óleo, cultivadas sob diferentes saturações de alumínio em Latossolo Amarelo.

## REFERENCIAIS

- BARCELOS, E.; RODRIGUES, M. do R. L.; SANTOS, J.; DE A. DOS CUNHA, R. N. V. Produção de mudas de dendezeiro na Amazônia. **Embrapa Amazônia Ocidental - Circular Técnica (INFOTECA-E)**. 11 p., Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001.
- BORGES, A. J.; COLLICCHIO, E.; CAMPOS, G. A. A cultura da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Brasil e no mundo: aspectos agronômicos e tecnológicos - uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 17, n. 27, p. 01-118, 2016.
- GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. **Review Plant Soil**, v.193, p. 35-48, 1997.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema de recuperação de informações - **SIDRA**. Homepage IBGE, Brasília, 2015. Disponível em: &lt;<http://www.sidra.ibge.gov.br>&gt;. Acesso em: 20 de setembro de 2019.
- HOMMA, A. O desenvolvimento da agroindústria no Estado do Pará. Saber, ciências exatas e tecnologia. Belém, v. 3, Edição Especial, p. 49-76, 2001.
- LENOBLE M. E.; BLEVINS D. G.; MILES R. J. I. Prevention of aluminium toxicity with supplemental boron. II. Stimulation of root growth in acidic, high-aluminium subsoil. **Review Plant Cell Environ**. p. 1143-1148, 1996.
- LEMOS, J. J. Minimização dos processos de emissão de novos galhos após a realização da poda em árvores utilizadas na arborização urbana: importância para o setor elétrico. 2015. 170 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.
- LIMA, E. V. Plantas de cobertura e calagem superficial na fase de Implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco. Tese, Botucatu-SP, p. 116, 2004.
- MENDES, T. P.; OLIVEIRA, F. L.; TOMAZ, M. A.; RODRIGUES, W. N.; TEIXEIRA, A. G. Aluminum toxicity effect on the initial growth of yacon plantlets. **Revista Ceres** vol.65 nº 2. Viçosa, 2018.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - **MAPA**. Diagnóstico da Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. ISBN 978-85-7991-098-2. Brasília: Mapa/ACE, 2018.
- MONTEIRO, K.; GARCEZ F. Análise de indicadores de sustentabilidade socioambiental em diferentes sistemas produtivos com palma de óleo no estado do Pará. Belém, 2013.
- OLIVEIRA, R. F.; SINGH, R.; CRUZ, E. de S. Disponibilidade de boro em solos do trópico úmido brasileiro. Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa, 1999.
- ROUT, G.; SAMANTARA, S.; DAS, P. Aluminum toxicity in plants: A review. **Agronomie**, v. 21, p. 3-21, 2001.

SANTOS, J. R. A. S.; COSTA, H. S. C.; NUNES, Y. D. A conjuntura do mercado da palma de óleo no estado do Pará. **VII Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia**. Belém, 2017.

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, A. C.; MENDONÇA, V.; SOARES, F. M. Substratos na produção de mudas de mangabeira em tubetes.- - **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 279-285, 2011.

SILVA J. A. G.; REIS C. E. S.; CRESTANI M.; SOUSA R .O.; OLIVEIRA A. C.; DE CARVALHO F. I. F. Absorção de cálcio e magnésio por cultivares de aveia submetidas a níveis de toxidez por alumínio. Seminário: **Ciências Agrárias**, 34:3563-3576, 2013.

SOUZA, R. B.; MACEDO, C. O. Geosul, Florianópolis, v. 34, n. 71- Dossiê Agronegócios no Brasil, p. 525-549, 2019.

USDA. Oilseeds: World markets and Trade. **Foreign Agricultural Service**, Circular series FOP 1 – 11. 2011.

YU, M.; SHEN, R.; XIAO, H.; XU, M.; WANG, H.; WANG, H.; ZENG, Q.; BIAN, J. Boron alleviates aluminum toxicity in pea (*Pisum sativum*). **Review Plant Soil**, 314:87-98, 2009.

ZHANG H.; YANG Y. Effect of boron on the growth of mung bean seedlings under aluminium stress. Department of Biological Sciences and Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, p, R, China. 1997.

ZHOU XX.; YANG LT.; QI3 YP.; GUO P.; CHEN LS. Mechanisms on Boron-Induced Alleviation of Aluminum-Toxicity in Citrus grandis Seedlings at a Transcriptional Level Revealed by cDNA-AFLP Analysis. B-Induced Alleviation of Citrus Al-Toxicity Revealed by cDNA-AFLP PLOS ONE, PLoS ONE 10, 2015.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é a planta oleaginosa de maior importância em âmbito mundial (SHEIL et al., 2009), é uma planta perene de ciclo longo e seu cultivo é feito geralmente de forma manual, o que contribui para o desenvolvimento social, gerando emprego e renda para a região (PÁDUA et al., 2012).

A produção de mudas é um fator fundamental para que as plantas cresçam com qualidade, por isso, o cuidado inicial é essencial, pois quando expostas a poucos minutos ao Al já apresentam restrição no crescimento de suas raízes, levando ao atrofiamento das raízes primárias e à inibição da formação das raízes laterais, e, como reflexo, diminui a absorção de água e de nutrientes e fotossíntese (SAMAC & TESFAYE, 2003).

O Al geralmente se encontra presente como óxidos e aluminossilicatos, não apresentando toxidez as plantas, no entanto, à medida que se tem um pH do solo inferior a 5,5 ele se transforma na forma tóxica ( $Al^{+3}$ ), afetando diretamente nos mecanismos de crescimento das plantas (RYAN et al., 2001).

As plantas acometidas ao estresse por Al são caracterizadas principalmente pelos efeitos sobre a morfologia das raízes, causando o engrossamento, afetando seu crescimento, diminuindo as atividades respiratórias das raízes e causando alterações nos processos fotossintéticos (FOY et al., 1978).

O Al de acordo com Konrad (2005), causa diminuição no crescimento da planta, resultante da diminuição das taxas fotossintéticas e conseqüentemente no teor de clorofila. A clorofila *a* está presente em todos os organismos que realizam fotossíntese oxigênica e é considerada como o pigmento principal e a clorofila *b* é encontrada em plantas, algas verdes e algumas bactérias (TAIZ & ZEIGER, 2002).

Rodrigues et. al. (2002), citam que na Amazônia a palma de óleo vem sendo cultivada em Latossolos e Argissolos, sendo que suas composições mineralógicas apresentam grandes quantidades de óxido de ferro, alumínio, e caulinita, o que limita diretamente a agricultura devido aos problemas relacionados a nutrição mineral desses solos e as ocorrências de Al, nas plantas cultivadas em solos amazônicos está associada geralmente a lixiviação muito comum nestes solos e a baixa fertilidade e a elevada acidez (RODRIGUES et al., 2016).

O B por sua vez evita a paralisação do crescimento radicular, apresentando grande importância no desenvolvimento das raízes, participando da síntese da parede e do alongamento celular, transportando carboidratos e afetando diretamente na produção e fotossíntese (CAKMAK, 1995).

O B influencia na ação meristemática, por isso é considerado um fator determinante para o bom desenvolvimento do sistema radicular (CARVALHO, 2007). O incremento de B pode diminuir a toxicidade por Al (YANG & ZHANG, 1998) pois reduz na absorção e mobilização de íons de Al além de eliminar os efeitos oxidante por estresse e lesões radiculares (STASS et al., 2007), já plantas quando apresentam deficiência de B também apresentam sintomas de estresse semelhantes a toxidez de Al no sistema radicular (BLEVINS & LUKASZEWSKI, 1998).

De acordo com Wimmer & Eichert (2013), a deficiência por B afeta as funções estomáticas e reduz a taxa fotossintética das plantas, o que pode estar diretamente ligado aos menores teores de clorofila, sendo assim o B um elemento essencial para participação na fotossíntese, fornecendo transportando carboidratos necessários para o crescimento das raízes nas plantas, além de fazer parte da constituição da parede celular e na integridade da membrana plasmática.

Prado et al. (2006) ao estudarem os níveis críticos de B no solo e na planta para o cultivo de mudas de maracujazeiro, citaram que o manejo adequado do B no sistema solo-planta é normalmente dificultado, pois existe uma faixa de concentração entre a deficiência e a toxicidade muito pequena quando comparada à dos demais nutrientes. Por isso, deve-se aprofundar mais os estudos sobre o elemento, para se obter a recomendação adequada para cada cultura.

## REFERENCIAIS

- BLEVINS, D.G.; LUKASZEWSKI, K.M. Boron in plant structure and function.. **Review Plant Biology** 49 (1), 481–500. 1998.
- CAKMAK, V. Boro em Laranjeira: absorção e mobilidade. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- CARVALHO, L. A cultura do algodão no Brasil: fatores que afetam a produtividade. **Editora Potafos**, Piracicaba, 2007, 286 p.
- FOY, C. D.; CHANEY, R. L.; WHITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 29, p. 511-566, 1978.
- KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A, FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Revista Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.339-347, 2005.
- PÁDUA, M. S.; SILVA, L. G. T. DA; SILVA, L. C.; STEIN, V.C.; PAIVA, L. V. Influência do meio de cultivo e diferentes fontes de carboidratos na germinação in vitro de dendezeiro ( *Elaeis guineenses* Jacq.) In: XXI Congresso de Pós-Graduação, Lavras -2012.
- PRADO, R. M. de; NATALE, W. ROZANE, D. E. Níveis críticos de boro no solo e na planta para cultivo de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 28, n. 2, p. 305-309, 2006.
- RODRIGUES, M.R.L.; AMBLARD, F.; SILVA, E.B.; MACEDO, J.L.V.; CUNHA, R.N.V. & TAVARES, A.M. Avaliação do estado nutricional do dendezeiro: análise foliar. (**Circular técnica**, 11) EMBRAPA Amazônia Ocidental, dezembro 2002.
- RODRIGUES, M. R. L.; ALMEIDA, A. S.; CORRÊA, M. L.; LIMA, M. C. NUNES, C. M. Alumínio no desenvolvimento inicial e na nutrição de plântulas de *Elaeis*, cultivadas em tubetes. 6º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. 9º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, Natal – RN, 2016.
- RYAN, P.; DELHAIZE, E.; JONES, D. Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. **Annual Review Plant Biol.** 52, 527–560, 2001.
- SAMAC, D. A.; TESFAYE, M. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils **Review Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 75, p. 189-207, 2003.
- SHEIL, D; CASSON, E. MEIJAARD, M.; VAN NOORDWIJK, J.; GASKELL, J.; SUNDERLAND-GROVES, K.; WERTZ, H.; KANNINEN, T. The impacts and opportunities of oil palm in Southeast Asia: what do we know and what do we need to know? Bogor: CIFOR, p. 80, 2009.
- STASS, A.; KOTUR, Z.; HORST, W.J. Effect of boron on the expression of aluminium toxicity in *Phaseolus vulgaris*. **Review Physiology Plant.** 131 (2), 283–290, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant Physiology. 3. ed. Sunderland:Sinauer Associates Publishers. p. 624, 2002.

WIMMER, M. A.; EICHERT, T. Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. **Review Plant science**, v. 203, p. 25-32, 2013.

YANG, Y.H. & ZHANG, H.Y. Boron amelioration of aluminum toxicity in mung bean seedlings. **Journal Plant Nutrition**, 21:1045-1054, 1998.

### 3. CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS, ÍNDICE SPAD, CLOROFILA E CAROTENÓIDES EM MUDAS DE *Elaeis guineensis* Jacq. SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO E BORO.

#### RESUMO

A palma de óleo é uma oleagionia de grande importância para a economia nacional devido a sua grande empregabilidade em diversos segmentos da economia, gerando emprego e renda. O Al é o fator abiótico mais importante que limita o crescimento de plantas em solos ácidos, com os efeitos deletérios do mesmo aparecendo primeiramente nas raízes, deixando-as curtas e grossas e ineficiente na absorção de água e nutrientes. Em paralelo à toxidez de Al, deficiência por B afeta a funcionalidade das membranas, a formação da parede celular, diminui a fotossíntese e assimilação de CO<sub>2</sub>, além de também diminuir a atividade metabólica. O objetivo foi avaliar os efeitos do B em relação aos parâmetros biométrico, trocas gasosas, índice spad, clorofila e carotenóides em mudas de palma de óleo cultivadas em Latossolo Amarelo, da camada de 0-20 cm sob diferentes saturações por Al e doses de B. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo três níveis de saturação por Al: 50, 60 e 70%, aplicado na forma de AlCl<sub>3</sub> e cinco doses de B: 0, 3, 6, 10, 15 mg/dm<sup>3</sup> solo na forma de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>. Os resultados mostraram que as variáveis biométricas apresentaram melhores respostas quando condicionadas a aplicação de B, no entanto, o aumento das doses promoveu redução das variáveis trocas gasosas. Por outro lado, as variáveis de taxa fotossintética (*A*), transpiração (*E*) e condutância estomática (*g<sub>s</sub>*) apresentaram melhores respostas quando submetidas às doses de B; o teor de clorofila foi significativamente influenciado pelo aumento da saturação de Al no solo. As plantas que receberam B, de acordo com a média total entre os tratamentos com B sob estresse por Al, apresentaram valores médios maiores em relação aos tratamentos que não foram adicionados B. Conclui-se que o aumento da saturação de Al diminui as atividades biométricas e fisiológicas da planta; e o B por sua vez, em doses adequadas, influencia de maneira positiva e oposta ao Al tóxico, melhorando principalmente a eficiência do uso da água.

**Palavras Chave:** Doses de B; Palma de óleo; Toxidez por Al.

### **3. GROWTH, GAS EXCHANGES, SPAD INDEX, CHLOROPHYLL AND CAROTENOIDS IN SEEDLINGS OF *Elaeis guineensis* Jacq. UNDER DIFFERENT CONCENTRATIONS OF ALUMINUM AND BORON.**

#### **ABSTRACT**

The oil palm is of great importance in national production due to its great employability, generating jobs and income. The most important abiotic factor that limits the growth of plants in soils, with the deleterious effects of the same apparent that are detected in the roots of the plants, leaving them as cut and thick, and inefficient in the absorption of water and nutrients. In parallel with Al toxicity, the change in B affects the functionality of membranes, the formation of the cell wall, decreases photosynthesis and CO<sub>2</sub> assimilation, in addition to also decreasing metabolic activity. The objective was to evaluate the effect of B in relation to biometric parameters, gas exchange, spad index, chlorophyll and carotenoids in oil palm seedlings cultivated in Yellow Latosol, in the 0-20 cm layer under different saturations for all doses of B. The experimental design was randomized, with three levels of Al saturation: 50, 60 and 70%, applied in the form of AlCl<sub>3</sub> and five doses of B: 0, 3, 6, 10.15 mg/dm<sup>3</sup> H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> form . The results shown as biometric variables showed the best responses when the conditions of application of B, however, the increase in doses promotes a reduction of variations studied, for gas exchange, such as variations of A, and the response responses caused when doses as doses of B, as well as the chlorophyll content was expressly influenced by the increase of Al saturation in the soil. As plants that receive doses of B, according to the total average between the tests with doses of B under stress by Al, show higher average values in relation to the procedures that were not used B, It was concluded that the saturation of Al, it decreases as biometric and physiological activities of the plant. In turn, in activated doses, positive and opposite influence toxic, mainly improving the efficiency of water use.

**Keywords:** B doses; Palm oil; Toxicity by Al.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da palma de óleo é caracterizada por ser uma atividade que possui vários benefícios socioambientais, gerando emprego e renda, consequentemente melhorando a qualidade de vida dos produtores e trabalhadores nela envolvidos e acelerando o comércio local, reduzindo o êxodo rural, fixando o homem no campo e contribuindo no sustento das famílias por meio da cultura, além de aumentar a produção de biodiesel, devido ao seu alto teor de óleo (HOMMA et al., 2000; LEVERMANN & SOUZA, 2014; BRITO, 2014).

A palma é uma planta monóica, apresenta folhas do tipo grande e pinada, com folíolos longos, pecíolo de tecido fibroso com base por espinhos nas margens, seus frutos estão presentes em cachos, densos, na forma ovoide, e podem ser classificados como: a) Psífera, sem endocarpo, geralmente abortivo; b) Dura, endocarpo mais espesso e com pouca polpa; e, c) Tenera, apresenta endocarpo fino e maior proporção de polpa “maior produção de óleo” (FERREIRA et al., 2012).

A produção de mudas, de acordo com Rodrigues et al. (2010), requer um cuidado especial para que haja obtenção de mudas com qualidade e obtenha sucesso na produção. A maioria das espécies cresce em solos ácidos com altos níveis de Al (KOCHIAN, 2004), e nas Américas cerca de 81% desses solos apresentam altas concentrações de Al, apresentando baixa fertilidade, com elevados níveis de deficiência de macro e micronutrientes (CASIERRA et al., 2008; ARCOS & NARRO, 2009).

A toxidez por Al é um fator limitante no crescimento e desenvolvimento das plantas, problema este bastante comum em solos de regiões tropicais e subtropicais. O Al influencia na baixa disponibilidade de nutrientes, afeta o desenvolvimento da planta e, consequentemente, limita a produção agrícola (MENDES, 2018).

A toxidez por Al é o fator abiótico mais importante que limita o crescimento de plantas em solos ácidos, aparecendo primeiramente nas raízes das plantas, deixando-as curtas e grossas, e ineficiente na absorção de água e nutrientes (MALAVOLTA, 2006). Uma hipótese levantada por Kochian (1995) é de que essa toxidez por Al pode ocorrer pelo fato de o Al sobrepor o B em funções consideradas importantes para o funcionamento da planta, subentendendo que o Al na forma de aluminato  $Al(OH)_3$  apresenta forma estrutural semelhante ao do  $B(OH)_3$ , podendo assim, induzir deficiência por B.

Em paralelo à toxidez de Al, a deficiência por B afeta a funcionalidade das membranas, a formação da parede celular, diminui a fotossíntese e assimilação de CO<sub>2</sub>, além de também diminuir a atividade metabólica (MALAVOLTA, 2006).

De acordo com Dechen & Nachtigall (2007), o B atua em processos importantes de frutificação, no metabolismo do N e na atividade de hormônios, além de influenciar na fotossíntese, podendo inferir no teor de clorofila da planta, onde sua deficiência causa diminuição da concentração. Os carotenoides contribuem para o processo fotossintético, eles aumentam o espectro de absorção de luz além de proteger as clorofilas de danos provocados pelo excesso de energia radiante (Taiz & Zeiger, 2002).

A hipótese deste trabalho é de que o B atua positivamente no crescimento vegetativo e fisiológico de mudas de palma de óleo que crescem em solos com níveis diferentes de alumínio. O objetivo foi avaliar os efeitos do B em relação aos parâmetros de crescimento e trocas gasosas, clorofila e carotenóides de mudas de palma de óleo cultivadas em Latossolo Amarelo sob diferentes saturações de alumínio.

## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Localização do experimento**

O trabalho foi conduzido de março a dezembro de 2019, em casa de vegetação da Área de Ciência do Solo, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra), Campus Belém – Pará, situada nas coordenadas 48°26'14'' W e 1°27'22'' S e altitude de 9 m e clima classificado por Köpen como Afí com temperatura média de 26 °C.

### **3.2.2 Material vegetal**

As mudas de palma de óleo (*Elaeis guineensis*) foram provenientes da empresa Agropalma S/A localizada no município de Tailândia - PA. A cultivar escolhida tinha 3 meses de idade e foi proveniente do cruzamento entre tipo Deli e tipo La Mé, altamente produtivo e de grande qualidade.

### 3.2.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3x5, sendo três níveis de saturação por Al: 50 (saturação do solo), 60 e 70%, estes dois últimos níveis de m% obtidos com a aplicação de cloreto de alumínio ( $\text{AlCl}_3$ ), e cinco doses de B: 0, 3, 6, 10, 15  $\text{mg}/\text{dm}^3$  solo na forma de  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , perfazendo 15 tratamentos e 5 repetições, totalizando 75 unidades experimentais, sendo cada unidade formada por uma muda de planta e cultivada em vaso com 17 kg de solo.

O solo utilizado no experimento como substrato foi proveniente da área da empresa Agropalma S/A, localizada no município de Tailândia – PA, onde coletou-se a camada arável de 0 a 20 cm, com auxílio de maquinário, classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2013).

Antes da aplicação dos tratamentos foram coletadas amostras de solo para avaliação das propriedades químicas e físicas (Tabela 1 e Tabela 2). Não houve a realização da adubação antes da implantação do experimento, e a aplicação de nutriente na forma de adubo ocorreu durante a condução do experimento e seguiu a recomendação de adubação para mudas utilizada pela Empresa Agropalma, de acordo com o calendário de manutenção de viveiro (AGROPALMA, 2019).

**Tabela 1** – Características químicas do Latossolo Amarelo, textura média, camada de 0-20 cm, de Tailândia-PA, usado no experimento.

pH	P	K	Na	B	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTCef	CTC pH 7	m	V	
----- $\text{mg}/\text{dm}^3$ -----				----- $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ -----										-- % ---
5,04	1	24	6	0,24	0,3	0,2	0,5	2,69	0,56	1,06	3,25	47,1	17,3	

1/Extrator Mehlich-1; 2/Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; 3/Solução de Acetato de Cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH7; 4/EMBRAPA (1997)

**Tabela 2** – Características físicas do Latossolo Amarelo, textura média, camada de 0-20 cm, de Tailândia-PA, usado no experimento.

Areia (g/kg)	Argila (g/kg)	Silte (g/kg)
647	207	146

EMBRAPA (1997)

O transplântio das mudas foi realizado 30 dias após o período de incubação do solo com Al. As plantas receberam adubação de acordo com a formulação da empresa para mudas em viveiro, NPK+ Mg + S= 15-10-12+1,2+10,4. Para a adubação de N, utilizou-se a ureia, e para os demais nutrientes foram aplicados ao solo a partir da solução nutritiva, sendo: 1,5 g/planta de N (3,30 g de ureia); 0,46 g de P (1,43 g/planta de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ); 1g /planta de K (0,8g de KCl); 0,6 g/planta de Mg (0,12g/planta de  $\text{MgSO}_4$ ); 1,04 g/planta de S (0,7g/planta de  $\text{MgSO}_4$ ). As doses de B foram calculadas a partir da recomendação da empresa para B e aplicado nas plantas de viveiro, utilizando o fertilizante Granubor® 2 com 14,3% de B, na sua composição e aplicadas 120 DAT (Dias Após Transplântio).

A irrigação das mudas foi realizada diariamente, sendo a reposição da água perdida por evapotranspiração feita pelo método gravimétrico, com auxílio de balança digital, tendo como referência a massa do conjunto solo (S) + vaso (V) + umidade (U) a 80% capacidade de campo. A massa que o sistema S+V+U, o faltante era completado com água destilada.

### 3.2.4 Trocas Gasosas

Para a avaliação das trocas gasosas foram amostradas as plantas no terceiro folíolo da quarta folha, do ápice para a base. Foram feitas as seguintes avaliações: a) taxa de fotossíntese ( $A$ ), b) transpiração ( $E$ ), c) condutância estomática ( $g_s$ ), d) concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ), e) eficiência instantânea do uso da água (EisUA) e f) eficiência intrínseca do uso da água (EicUA) de mudas de palma de óleo. Para a avaliação das trocas gasosas foi usado o analisador de gases infravermelho portátil (IRGA, modelo LI-6400XT, da marca LICOR®), onde foram avaliadas 4 plantas por tratamento.

As avaliações foram realizadas pela manhã, das 9:00 às 11:00 h, horário ideal para as condições de intensidade luminosa, temperatura e umidade relativa do ar. As mudas de palma de óleo foram avaliadas 90 DAT e 180 DAT.

### 3.2.5 Índice SPAD

O índice Soil Plant Developmet (SPAD), foi avaliado com o uso do clorofilômetro (SPAD 502 plus, modelo Konica Minolta®), para avaliar os níveis de clorofila total na folha. Para a análise, foi amostrada em todas as plantas, no terceiro folíolo da quarta folha, do ápice para a base, sendo feito três pontos a cada lado da nervura central da folha. A avaliação foi

realizada no período antes da aplicação das doses de B. As plantas foram avaliadas com 80 DAT, quando as mudas estavam sob efeito somente da saturação de Al.

### 3.2.6 Teor de Clorofila e Carotenóide

Os teores de clorofila e carotenóide foram determinados a partir das amostras, retirando 0,1 g do tecido foliar coletado e em seguida macerado em 5 mL de acetona 80% e uma pitada de  $\text{CaCO}_3$ . Posteriormente, o material foi filtrado (lavando com 20 mL de acetona) diretamente num balão de 25 mL envolvido com papel alumínio, após a filtração do sobrenadante foram calculados os teores de clorofila a (Chl a), clorofila b (Cl b), clorofila total (Chl total = soma de clorofila a + clorofila b) e de carotenóides (Crt) de acordo com Lichtenthaler (1987), a partir da absorbância da solução obtida por espectrofotometria e 470, 647 e 663 nm, respectivamente. Os resultados foram expressos em  $\text{mg g}^{-1}$  de matéria fresca (MF).

### 3.2.7 Variáveis de Crescimento

Os parâmetros biométricos analisados foram:

- a) **Altura das plantas:** Determinada com o auxílio de uma trena métrica, tomando a distância na vertical entre a base do coleto da planta até a ponta da folha mais alta, dado em metros.
- b) **Número de folhas:** Considerada a partir da primeira folha, como a mais nova, expressa em unidade.
- c) **Comprimento Foliar:** Foi determinado com o auxílio de uma trena métrica, distância na vertical entre a base da folha da planta até a ponta, dado em centímetros.
- d) **Diâmetro do Coleto:** Foi medido entre o coleto, na porção final do estipe da palmeira, a cerca de 2 cm do solo, com o uso de um paquímetro digital, dado em milímetros.

### 3.2.8 Produção de matéria seca das plantas

Ao final do experimento as plantas de palma de óleo foram retiradas para a obtenção da massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST).

As plantas após serem colhidas e separadas a parte área e raiz foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados, e colocados para secar em estufa com circulação de ar, temperatura na faixa de 65 ° a 70 °C. O período de secagem das amostras foi definido por meio de pesagens realizadas até a obtenção de peso constante. Logo em seguida, cada amostra teve sua biomassa seca quantificada em balança analítica, sendo os valores expressos em gramas.

### 3.2.9 Análise Estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), quando significativo pelo teste *F*, realizou-se análise de regressão por meio do programa SISVAR com  $P < 0,05$  (FERREIRA, 2011). As medidas de variabilidade dos dados foram dados em torno da média.

Foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e análise descritiva para determinar as medidas de tendência central e variabilidade. Os dados foram submetidos a ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), software Statistica 10.

Os resultados foram submetidos a análises de correlação entre a saturação de Al e os teores de B e as variáveis de crescimento, produção de massa seca e trocas gasosas, o coeficiente de correlação (*r*) foi testado a 1% de probabilidade pelos testes *t* de student e *F*, usando o software Statistica 10.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Trocas gasosas

O alumínio influenciou nos parâmetros fisiológicos de trocas gasosas para as variáveis taxas de fotossíntese (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), eficiência instantânea do uso da água (*EisUA*), eficiência intrínseca do uso da água (*EicUA*) de mudas de palma de óleo (Figura 1).

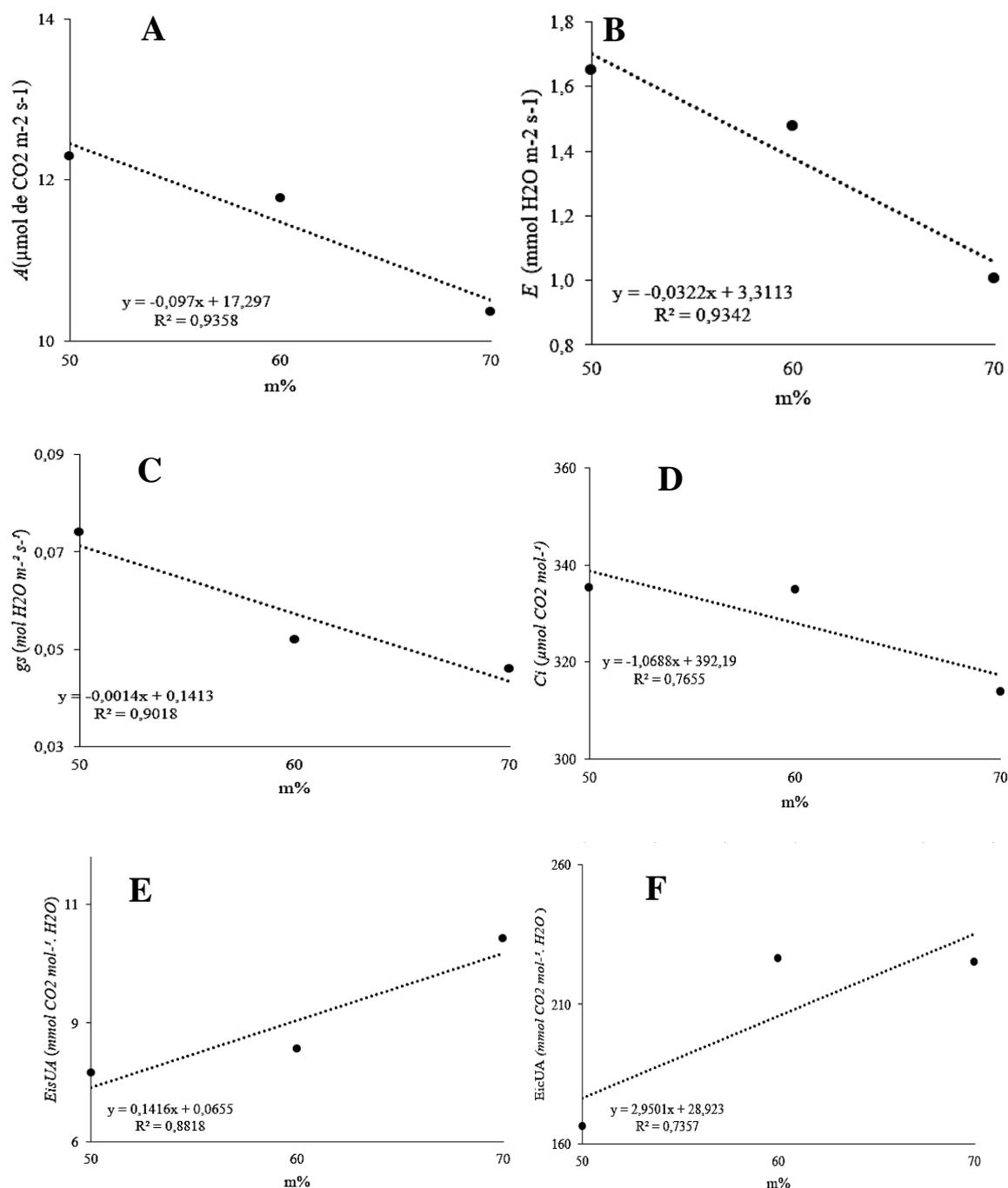


Figura 1. Influência da saturação de alumínio sob as variáveis fisiológicas A (A), E (B), *gs* (C), *Ci* (D), *EisUA* (E) e (F) *EicUA* nas mudas de palma de óleo. Significativo a 5%.

Houve a diminuição para as variáveis taxas de fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (*gs*) pelo efeito do estresse por Al, provavelmente pela diminuição da absorção de água, o que acarreta a diminuição nos valores dessas variáveis (FERREIRA et al., 2017).

Para as respostas de A (Figura 1A), as plantas submetidas a menor saturação apresentaram maiores valores médios. Os valores obtidos foram de 12,3; 11,77 e 10,36  $\mu\text{mol}$

de  $\text{CO}_2$   $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para as respectivas saturações de 50, 60 e 70% de Al, apresentando uma diminuição de 16,18% em relação as plantas quando condicionadas a menor saturação por Al, efeito este causado devido ao estresse sofrido pela planta. A taxa fotossintética ( $A$ ) apresentou menores valores para maior saturação estando diretamente relacionado a menor concentração de  $\text{CO}_2$  constatada no interior das folhas, decorrente do fechamento estomático em resposta ao estresse abiótico provocado pelo alumínio (JADOSKI et al., 2005)

Os valores obtidos para a transpiração em diferentes concentrações de Al (Figura 1B), teve um efeito relativamente baixo quando submetida a maior saturação por Al, onde a  $E$  em saturação de Al por 50% teve um incremento de 31%, sendo superior as plantas que se encontravam em saturação de Al a 70% atingindo valor médio de  $1,008 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Para a condutância estomática ( $g_s$ ) também foi observada a diminuição (Figura 1C) em plantas cultivadas nas maiores saturações por Al, apresentando uma diminuição de  $0,028 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  em relação as mudas presentes nos tratamentos de saturação por Al a 50%, mostrando uma queda de 38%, o que pode limitar taxa fotossintética e a transpiração da planta.

Efeitos semelhantes da toxidez de alumínio foram obtidos por Calbo & Moraes (1997), ao estudarem mogno durante um período de estresse hídrico. Os autores observaram a diminuição na  $g_s$  quando sob maiores níveis de estresse. Neste trabalho, a condutância estomática foi reduzida significativamente, mantendo relação com o processo de que a abertura estomática só ocorre quando as células-guarda se encontram túrgidas (MOTA, 2013), sendo que qualquer alteração sob estresse das plantas afetará o movimento dos estômatos, provocando o fechamento estomático.

Para a variável concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) foi observada em plantas mantidas com maior saturação por Al uma diminuição dessa concentração, atingindo valores médios de 335,36; 334,89 e 313,96  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ , respectivamente, para as saturações de 50, 60 e 70% por alumínio no solo (Figura 1D) tendo uma redução de 37,83%.

A  $C_i$  é importante para a produtividade da planta pois representa o produto obtido da energia solar interceptada e do  $\text{CO}_2$  fixado, durante determinado período, onde nas condições adequadas de luz solar e na ausência por estresses, essas concentrações de  $\text{CO}_2$  podem sustentar a  $A$  elevada, diferente de quando a  $C_i$  se encontra muito baixa, quando limitasse a fotossíntese (TAIZ et. al., 2017).

Por outro lado, o mau funcionamento dos estômatos compromete as atividades fisiológicas da planta, pois quando os estômatos se encontram abertos, têm-se a assimilação de CO<sub>2</sub> e a perda de H<sub>2</sub>O. Quando os estômatos se fecham, há uma redução na entrada de CO<sub>2</sub> para os sítios de carboxilação da rubisco no interior dos cloroplastos e conservam H<sub>2</sub>O, reduzindo o risco de desidratação (PELOSO et. al., 2015).

A eficiência instantânea do uso da água (*EisUA*) apresentou maiores valores de acordo com o aumento da saturação por Al, onde foram obtidos valores médios de 7,44; 7,93 e 10,27 mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>. H<sub>2</sub>O, respectivamente, apresentando um aumento de 27,6% quando as mudas foram cultivadas em solo com m% igual a 70% em relação a menor saturação (Figura 1E).

Houve feito crescente da variável *EisUA* para as mudas de palma de óleo, o que indica que há uma diminuição pelas variáveis de *A* e *E* nas plantas com maior estresse por Al mantendo-se a capacidade de campo a 80%, esse acréscimo para tal variável pode estar associado ao efeito tóxico do Al, que por sua vez inibe a divisão celular da raiz e impossibilita o crescimento radicular, fazendo com que a planta crie mecanismos de sobrevivência. Foi possível observar para *EicUA* que com o aumento dos níveis de saturação por Al também obteve-se maiores valores para a variável estudada tendo um aumento de 59,001 mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>. H<sub>2</sub>O quando atingida a saturação de 70% de Al, mostrando os efeitos causados pelo alumínio, o que ocasionou na diminuição do grau de abertura estomática e da taxa de transpiração, aumentando valores de *EicUA* pela planta (Figura 6F).

O Al quando absorvido pelas raízes influencia diretamente nos processos fisiológicos da planta, a exemplo da fotossíntese (LEMOS, 1992). Com isso, o estresse ocasionado pela absorção do alumínio tóxico pelas raízes, ocasiona redução das taxas fotossintéticas, da transpiração, redução da condutância estomática e redução da concentração interna de CO<sub>2</sub>.

Houve interação entre as saturações de Al e as doses de B. Houve também significância nos parâmetros fisiológicos de trocas gasosas para as variáveis taxas de fotossíntese (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), eficiência instantânea do uso da água (*EisUA*) em mudas de palma de óleo em relação as doses de B, sob diferentes saturações de Al (Figura 2).

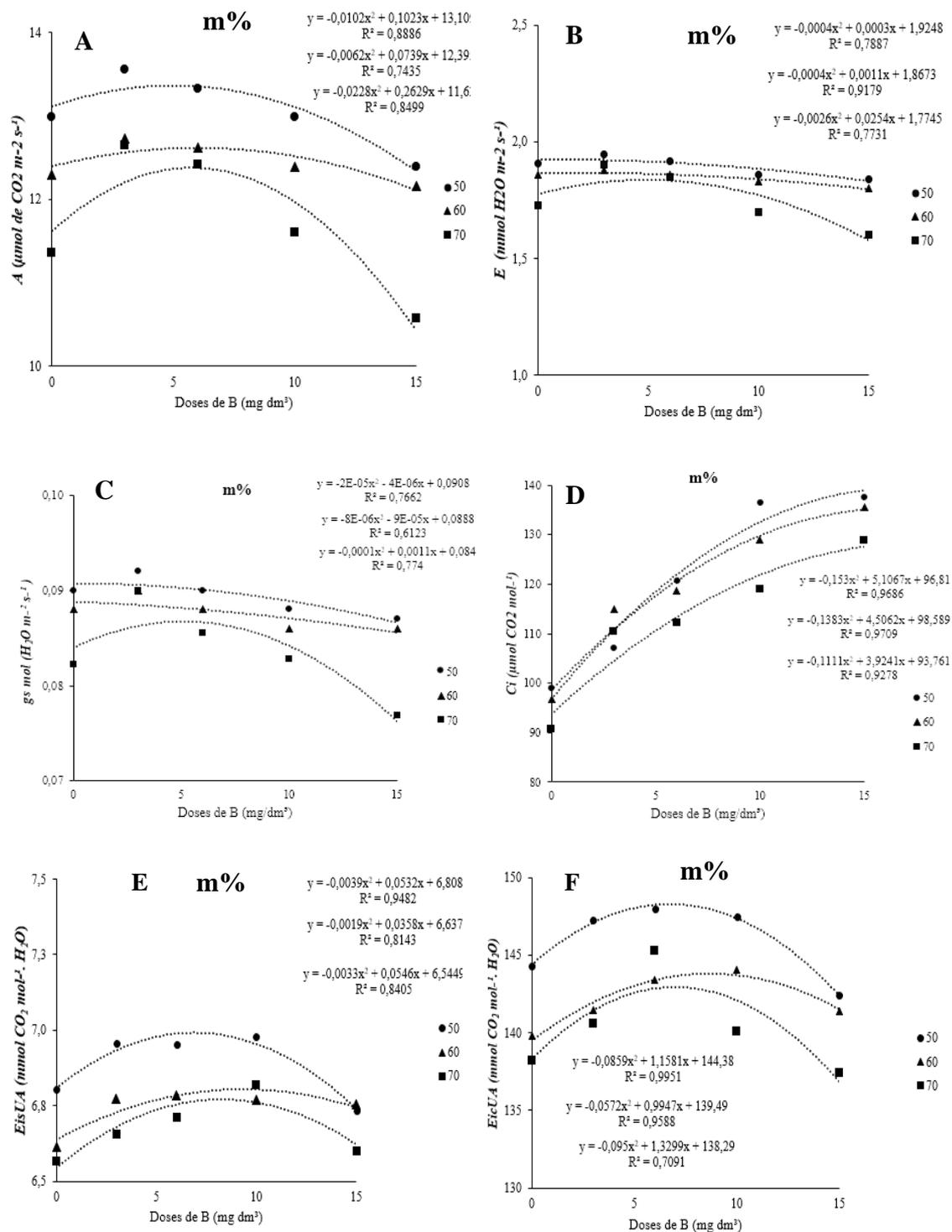


Figura 2. Influência das doses B nas variáveis fisiológicas A (A), E (B),  $g_s$  (C),  $C_i$  (D),  $EisUA$  (E) e (F)  $EicUA$  em mudas de palma de óleo cultivadas em Latossolo Amarelo em função das saturações por Al. \*significativo a 5%.

Para a variável A verificou-se que na saturação de 50% de Al a quantidade de B a ser aplicada para máxima eficiência técnica é de 5,01 mg/dm<sup>3</sup> na saturação de 50%, de 5,96 mg/dm<sup>3</sup> para saturação a saturação 60% e de 5,77 mg/dm<sup>3</sup> de B para a saturação de 70% de Al.

Na Figura 2A verifica-se que houve o efeito significativo das doses de B quanto à taxa de fotossíntese, sendo que as mudas que apresentaram comportamento crescente no gráfico quando foram as adubadas até a dose de 3 mg /dm<sup>3</sup> de B, nas diferentes saturações de Al, tendo o valores médios de 13,55; 12,73 e 12,65 μmol de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para as saturações de 50, 60 e 70%, respectivamente. As mudas tiveram uma queda na A a partir da dose 10 mg /dm<sup>3</sup> de B, a taxa fotossintética diminuiu em 8,56% quando presente na saturação de 50%; 4,47 na saturação de 60% e 16,44% na saturação de 70% de Al, quando atingida a dose máxima de B.

Para a variável *E*, foi visto que a quantidade de B a ser aplicada para a máxima eficiência técnica é de 0,38; 1,38 e 4,88 mg/dm<sup>3</sup> de B para as respectivas saturações de 50, 60 e 70% de Al no solo. A transpiração (Figura 2B) quando condicionada as saturações de Al de 50 e 60%, apresentaram comportamento semelhante no gráfico, no entanto quando houve o aumento na concentração de Al, foi possível observar uma queda para esta variável, atingindo valor médio mínimo quando condicionada a dose de 15 mg/dm<sup>3</sup> de B, mostrando uma diminuição de 15,73% em relação a menor dose aplicada (3mg/dm<sup>3</sup> de B) em saturação a 70% de Al.

Quanto a variável *gs* para a máxima eficiência técnica, a dose de B a ser aplicada é de 0,10 mg/dm<sup>3</sup> para saturação de 50%, 5,63 mg/dm<sup>3</sup> para saturação de Al á 60% e de 5,50 para a maior saturação, sendo a de 70% de Al. A condutância estomática (Figura 2C), teve comportamento semelhante à variável *E*, onde na ausência de B e nos maiores níveis do nutriente, obteve-se os menores valores para esta variável, tendo uma diminuição de 5,43; 4,44 e 14,53%, nas saturações de 50, 60 e 70% de Al, respectivamente, quando presente em 15 mg /dm<sup>3</sup> de B se comparada a dose (3 mg /dm<sup>3</sup> de B), essa redução de *gs* pelas plantas diminui a taxa fotossintética, pois os estômatos se encontram fechados e limitam a assimilação de CO<sub>2</sub>.

Para a *Ci* a máxima eficiência técnica a dose de B a ser adotada é a de 16,69; 16,29 e 17,66 para as respectivas saturações de Al de 50, 60 e 70%. Foi possível observa que para a variável de concentração interna de CO<sub>2</sub>, as plantas quando submetidas a maiores doses de B, apresentaram um comportamento crescente em independente da saturação de Al no solo, também foi possível observar que quando houve a ausência do micronutriente B, o valor para *Ci*, foi de 27,95; 28,69 e 29,63% menor, para as saturações de 50, 60 e 70%, respectivamente (Figura 2D).

Observou-se que à medida que aumentou as doses de B, os valores de  $E$  foram reduzidos, devido ao estresse da planta considerando sintomas fisiológicos de toxidez por B quando atingiu-se níveis de B a partir de 10 mg /dm<sup>3</sup>, resultado do fechamento estomático como defesa da planta, aumentando significativamente o  $C_i$ , sugerindo que a taxa fotossintética também pode estar sendo limitada por fatores bioquímicos, podendo estar ligada a rubisco (TAIZ et al., 2017; RONCHI et al., 2015).

As plantas submetidas à deficiência de B, apresentaram alta sensibilidade nas variáveis fisiológicas, em relação as que cresceram nos tratamentos com B. De acordo com Clarkson et al. (2000), as plantas com ausência de B restringe a sua eficiência no transporte de água das raízes para a sua parte aérea, devido a sua redução de permeabilidade da membrana plasmática e no seu fluxo de água, o que diminui a absorção de nutrientes. A ausência de B também afeta na condutância hídrica do xilema, o que pode ser relacionado com as menores taxas de transpiração, consequentemente afetando nos seus parâmetros de crescimento.

Para a variável  $E_{isUA}$  a máxima eficiência técnica, a dose de B a ser aplicada é de 6,82 mg/dm<sup>3</sup> na saturação á 50%, de 9,42 mg/dm<sup>3</sup> em saturação á 60% e de 8,27 mg/dm<sup>3</sup> de B para saturação de 70% de Al. Para a  $E_{icUA}$ , a dose de B a ser aplicada para a máxima eficiência técnica é de 6,74 mg/dm<sup>3</sup> para 50% de Al, de 8,69 mg/dm<sup>3</sup> para saturação de 60% e de 7,00 mg/dm<sup>3</sup> de B para 70% de B.

Quanto a  $E_{isUA}$  e a  $E_{icUA}$  em plantas sob diferentes doses de B houve acréscimo para ambas as variáveis com o incremento de B (Figura 2E e 2F, respectivamente). Tal fato pode estar associado ao efeito mitigador do B na toxidez do Al, uma vez que quando as plantas foram submetidas as doses de B, ocorreu aumento do sistema radicular, melhorando a sua eficiência na absorção de água e nutrientes pelas raízes, refletindo diretamente no aumento dos seus parâmetros biométricos (Figura 3) em comparação as plantas sob ausência de B.



Figura 3. Comparação entre os tratamentos sem suprimento de B e com o suprimento de B em saturação por Al de 70%.

As variáveis fisiológicas *A*, *E*, *gs*, *EisUA* e *EiCUA* apresentaram redução quando atingiram as doses de 10 mg /dm<sup>3</sup> de B, podendo estar relacionada pela toxidez do macronutriente na planta, assim como pelas altas saturações de Al, presentes no solo.

Em relação as maiores doses de B, as plantas continuaram a apresentar um aumento pela *EisUA*, no entanto este aumento pode estar relacionado ao efeito de toxidez por B, pois as plantas apresentam valores decrescentes para *A* e *E*, quando se atingiu as doses de 10 e 15 mg /dm<sup>3</sup> de B. De acordo com SANTOS & CARLESSO (1998), o aumento da eficiência do uso da água, pode estar indicando não necessariamente que houve aumento da produtividade, mas sim mostrando que a planta pode estar criando um mecanismo de defesa resultante da tolerância da planta sob condições de estresse.

#### 4.2 Índice SPAD

Houve efeito significativo para o Índice SPAD, para as saturações de 50, 60 e 70% respectivamente (Figura 4). Pode-se observar uma diminuição no teor de clorofila total quando se obteve o aumento da saturação de alumínio no solo, passando de 64 para uma faixa de 44,57 quando se atingiu o nível máximo de m%, havendo uma redução de 30,4% no teor de clorofila produzida pelas plantas.

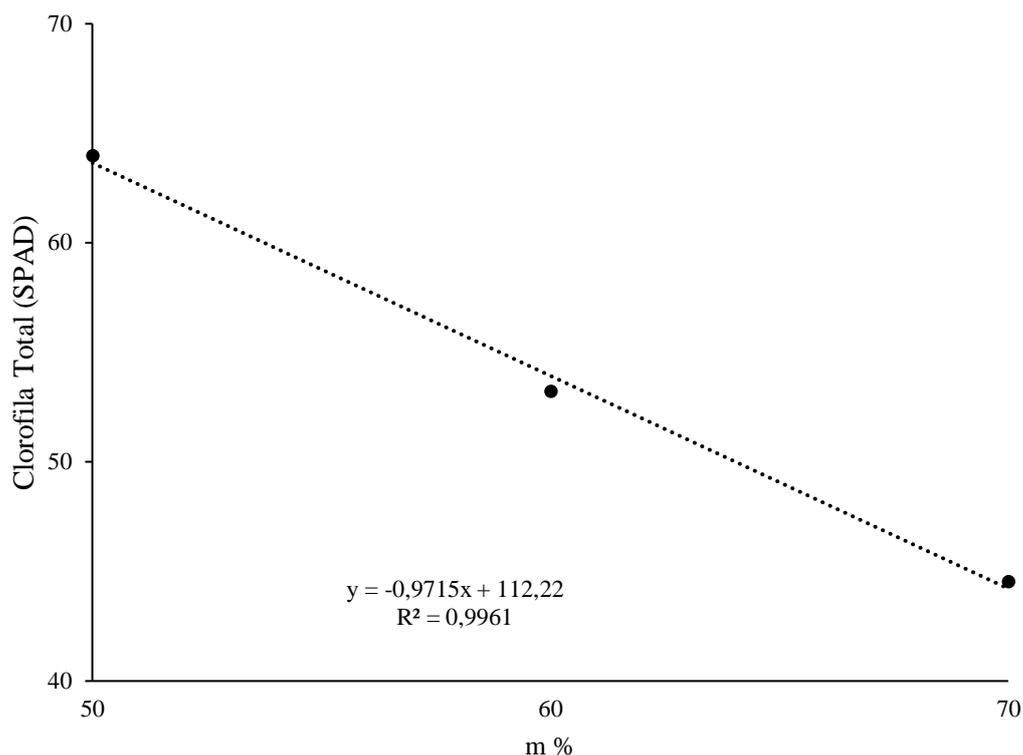


Figura 4. Influência da saturação de alumínio (m%) sob a clorofila total pelo índice SPAD em mudas de palma de óleo cultivadas em Latossolo Amarelo. \*significativo a 5%.

Vários trabalhos pontuaram sobre o efeito do alumínio nos teores de clorofila, como Cruz et al., (2008) ao estudarem plantas de *Sorghum bicolor* (L.), verificaram que os teores de clorofila *a* e clorofila *b* e clorofila total; apresentaram diminuição em seu teor, quando submetidas a toxidez por Al. FREITAS et. al. (2017) também trabalharam com o alumínio tóxico e encontraram em seu trabalho com *Tibouchina granulosa*, que quando obteve-se um aumento nas doses de alumínio aplicados no solo, os teores de clorofila total apresentaram redução de 25% em relação ao tratamento controle. Isto está relacionado ao fato de que as clorofilas são pigmentos responsáveis pela captura de luz solar e são essenciais na etapa fotoquímica da fotossíntese (LIMA et al., 2004).

#### 4.3 Teor de clorofila e carotenóides

A influência das doses de B foi significativa para as variáveis de clorofila *a* (*Chl a*), clorofila *b* (*Chl b*), clorofila total (*Chl T*) e carotenóides (CRT) nas diferentes saturações por Al (Figura 5).

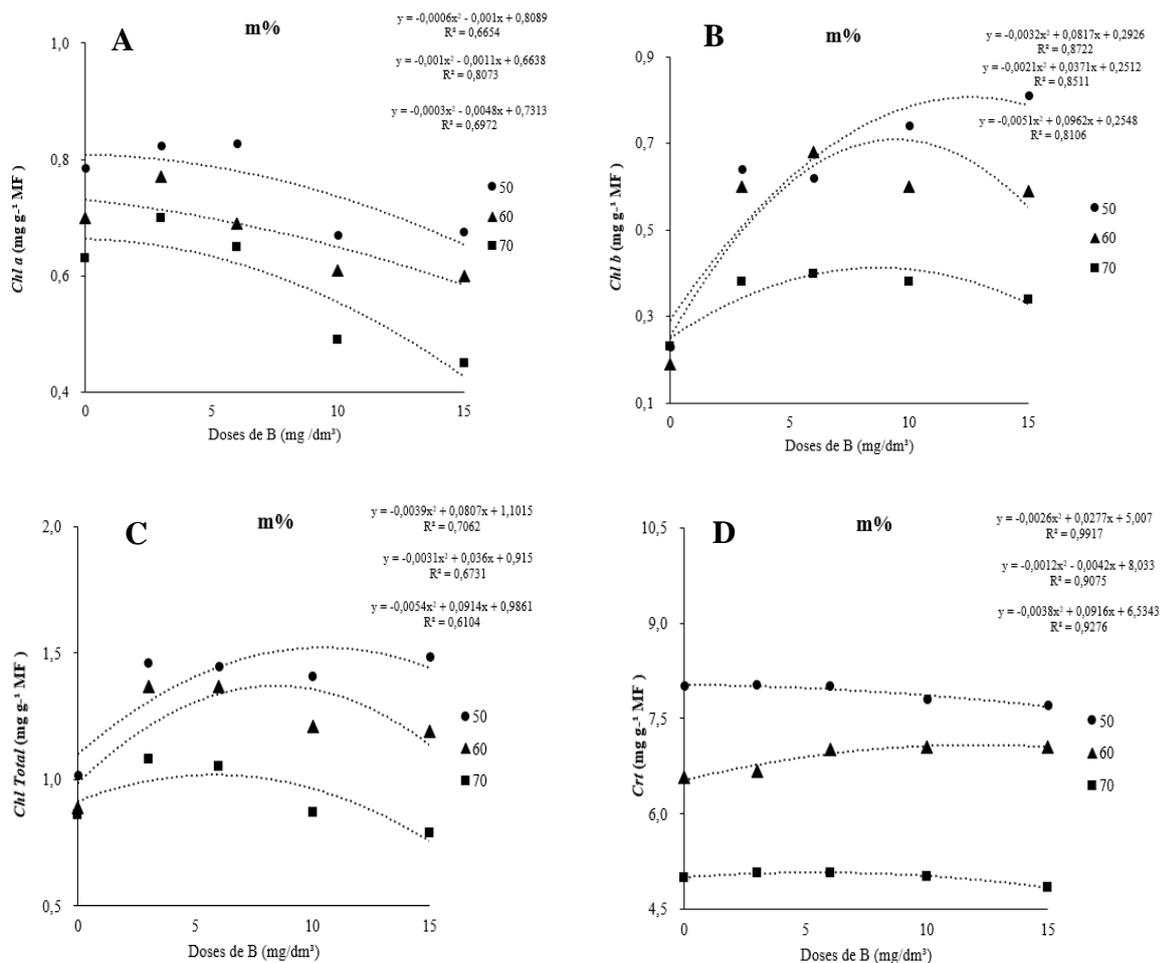


Figura 5. Influência das doses de B sob saturação de alumínio nas variáveis de clorofila a- *Chl a* (A), clorofila b – *Chl b* (B), clorofila total – *Chl total* (C) e carotenóides - *Crt* (D) em mudas de palma de óleo. Significativo a 5%.

Para a variável clorofila a para a maior eficiência técnica, a dose de B adequada para a saturação de Al de 50% é de 0,83 mg/dm<sup>3</sup>; já para a saturação de 60% a dose de B é de 0,55 mg/dm<sup>3</sup> e para a saturação de 70% a dose para a maior eficiência é de 8 mg/dm<sup>3</sup> de B.

O teor de clorofila a (*Chl a*) apresentou diminuição de valores quando aconas mudas cresceram nas maiores saturações por Al e as crescentes doses de B (Figura 5 A), quando as plantas foram submetidas a maior dose de B houve uma menor taxa no teor de clorofila quando comparada a dose de 3 mg /dm<sup>3</sup>, diminuindo em 17,98% quando em saturação de 50%, 22,1% na saturação de 60% e 35,7% na saturação de 70% de Al.

A variável clorofila b para obter a maior eficiência técnica a dose de B a ser aplicada é de 12,77 mg/dm<sup>3</sup>; 8,83 mg/dm<sup>3</sup> e 9,43 mg/dm<sup>3</sup> para as respectivas saturações de 50, 60 e 70% de Al.

A Figura 5 B mostra que o teor de clorofila *b* (*Chl b*), na saturação a 50% por Al, apresentou comportamento crescente, indo de 0,64 mg g<sup>-1</sup>.MF na dose de 3 mg /dm<sup>3</sup>, para 0,81 mg g<sup>-1</sup>.MF na dose de 15 mg/dm<sup>3</sup> de B, indicando um aumento de 19% em relação a menor dose aplicada. O oposto ocorreu nas saturações de 60 e 70% de Al, o teor de *Chl b* onde o comportamento apresentou-se de maneira decrescente.

De acordo com Von Elbe (2000), a *Chl b* é sintetizada por meio da oxidação do grupo metil da *Chl b* para um grupo aldeído, porém, há estudos que citam para definir a biossíntese da *Chl b*, mas as rotas para a sua formação ou das proteínas envolvidas ainda não foram esclarecidas. A *Chl b* é convertida em *Chl a* através de uma enzima chamada *Chl a* oxigenase, que catalisa a conversão do grupo metil ao grupo aldeído.

A clorofila *b*, de acordo Tanaka & Tanaka (2011), atua na captura de fótons em menor intensidade luminosa, sendo este em um espectro de absorção diferente ao da clorofila *a*, portanto, a clorofila *b* tem uma forte absorção no comprimento de onda, região de luz na qual a clorofila *a* não absorve eficientemente.

Para a variável *Chl T* a maior eficiência técnica é obtida quando aplicada a dose de 10,35 mg/dm<sup>3</sup> para saturação de 50%, 5,81 mg/dm<sup>3</sup> em saturação a 60% e de 8,36 mg/dm<sup>3</sup> de B a 70% de Al.

Os teores de clorofila total diminuíram a partir da dose estimada de 10 mg /dm<sup>3</sup> de B nas saturações de 60 e 70% de Al (Figura 5 C), o que coincidiu com o aparecimento de clorose (Figura 6) em decorrência da toxidez causada pela dose elevada de B e do aumento da saturação de Al. Zanão Júnior et al. (2014), ao estudarem com a produção e a qualidade de rosas em razão das doses de B, também apresentaram resultados semelhantes quando aplicaram dose estimada de 9,54 mg kg<sup>-1</sup> de B, onde um dos primeiros efeitos da toxidez por causa do excesso de B foi a redução nos teores de clorofila, o que antecedeu ao aparecimento dos sintomas visuais de toxidez.

A variável carotenoides (Crt) para a maior eficiência técnica estimada a dose de B a ser aplicada é de 5,33 mg/dm<sup>3</sup> em saturação à 50%, 1,75 em saturação à 60% e de 12,05 em saturação de 70% de Al.

Na Figura 5 D, os teores de carotenóide apresentaram menores valores médios quando se encontraram na maior saturação por Al, e o valor mínimo obtido foi de 4,82 mg g.MF. Os carotenóides são pigmentos que apresentam duas funções primordiais, sendo a absorção de luz e uma ação foto-protetora do aparato fotoquímico (CARVALHO, 1996).

Tohidi et al. (2015), ao estudarem o efeito do Al nas características da *Brassica napus*, verificaram melhores resultados para o teor de clorofila e carotenóide quando as plantas ficaram expostas nas menores concentrações de Al, de acordo com o estudo pode-se ver que o Al pode controlar a biossíntese de clorofila por meio do controle de enzimas existentes no complexo de ruptura de água no lugar da oxidação do sistema PSII, controla a transmissão de fotossíntese eletrônica e, por isso, evita o efeito de estimulação da clorofila impedindo a transmissão na corrente de elétrons.

A toxicidez de Al e do B resultou em uma diminuição gradual do teor de clorofila a, b e carotenoides, sugerindo que a toxidez atua como inibidor das atividades fotossintéticas. Para o conteúdo de clorofila pode ser indiretamente inibido pela adição de Al, que compete com magnésio que integra a molécula de clorofila (YANG et al., 2015), e o B que apresenta a tolerância relativa das plantas à toxidez de boro parece depender diretamente da velocidade do transporte das raízes para a parte aérea (MALAVOLTA, 1997).



Figura 6. Sintomas visuais de toxicidez de B nas folhas mais velhas, clorose seguido de necrose em saturação de Al à 70%.

Oliveira et al. (1996) citam em um estudo com feijão que as plantas com deficiência de clorofila apresentaram-se atrofiadas e suas folhas com a coloração entre verde pálido e amarela, sendo que estes sintomas se iniciam pelas folhas mais velhas.

#### 4.4 Análise de crescimento

A influência da toxidez de alumínio foi significativa para as variáveis biométricas de número de folhas (NF), comprimento foliar (CF), diâmetro do coleto (DC) e altura (H). O número de folhas, comprimento foliar e o diâmetro do coleto, assim como altura média das plantas, apresentaram diminuição de valores quando as plantas foram submetidas a maiores m% (Figura 7).

O número de folhas de palma apresentou uma tendência de crescimento linear decrescente e foi significativamente influenciado pelo aumento das saturações por Al. As plantas submetidas a saturação de 50% de Al apresentaram maior número médio de folhas (9,92), e quando submetidas ao aumento da saturação de Al houve uma pequena queda no NF, apresentando diminuição de 1,75 no valor médio obtido (Figura 7 A).

Quanto ao comprimento foliar, também apresentou um comportamento linear decrescente e valores médios de 53,74; 51,07 e 45,69 cm, respectivamente, quando aumento da saturação de Al (Figura 7B), diminuindo em 15% no seu comprimento quando submetida a maior saturação.

Para a variável diâmetro do coleto (Figura 7C), houve diminuição de 32,92% quando submetido a saturação de Al à 70% . As mudas de palma de óleo quando submetidas a alta concentração de Al apresentaram menor altura em relação ao tratamento controle (Figura 7 D), tendo uma diminuição de 19,83%.

Steiner et al. (2012) verificaram, ao estudar os efeitos do alumínio no crescimento e na absorção de nutrientes em plantas jovens de pinhão-manso, que as plantas em solução com maiores níveis de  $Al^{+3}$  ativo apresentaram menor altura e área foliar, mostrando que o efeito tóxico do alumínio prejudica o crescimento da planta, onde as plantas com ausência de alumínio apresentaram comprimento 50% superior ao tratamento com maior quantidade de Al na solução.

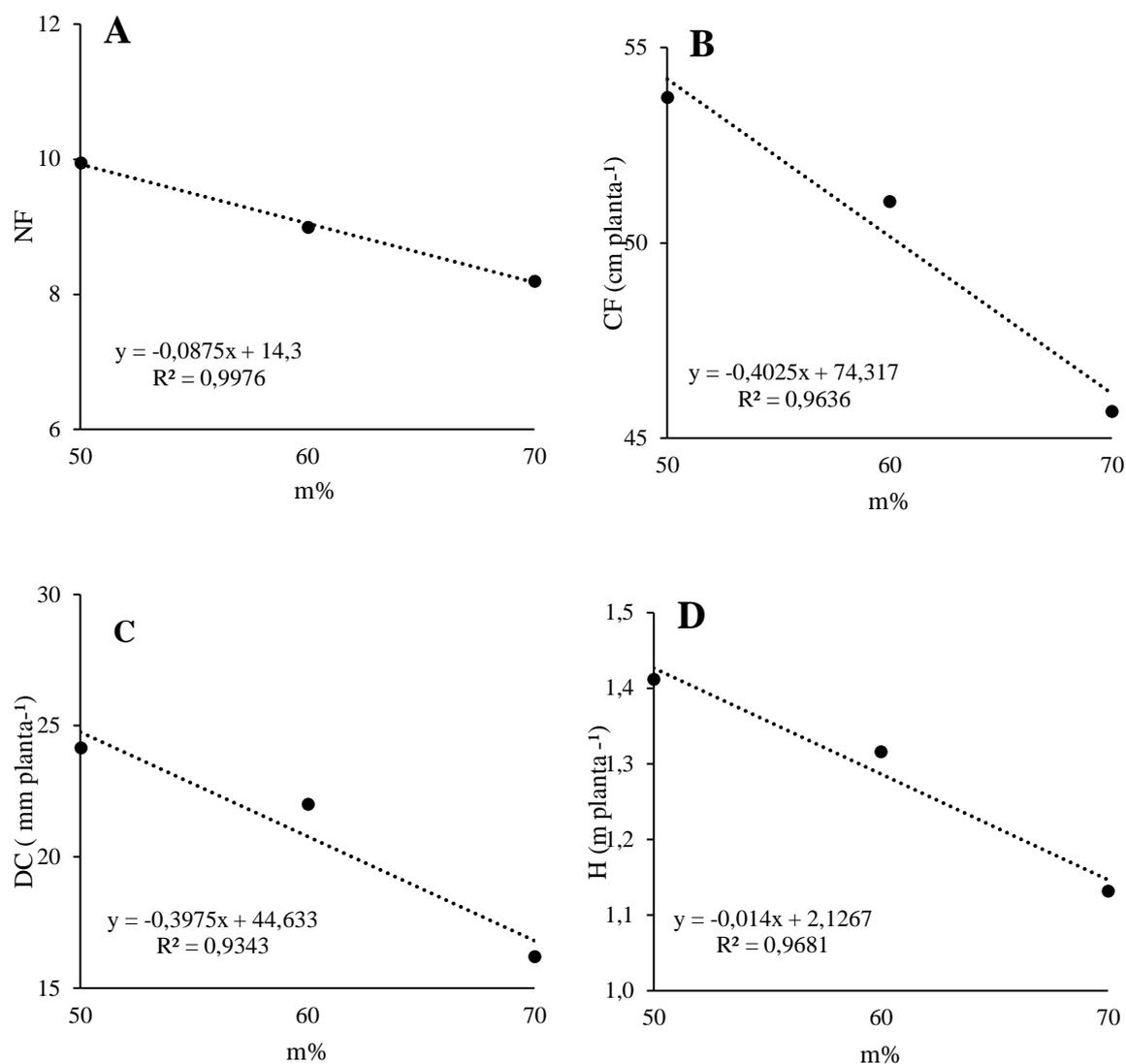


Figura 7. Influência da saturação por Al (m%) no número de folhas (A), comprimento foliar (B), diâmetro do coleto (C) e Altura (D) em mudas de palma de óleo cultivadas em Latossolo Amarelo. \*significativo a 5%.

Cambraia et al. (1989) verificaram que as plantas de sorgo sob incremento de Al apresentam menor altura, resultante pela limitação na absorção de nutrientes. Isto ocorre porque o Al interfere diretamente no metabolismo da planta, por meio da diminuição da absorção de nitrato, diminuindo as suas concentrações nas raízes, quando Al está em teores tóxicos, afetando o crescimento e a área foliar por meio da inibição na biossíntese da citocinina, hormônio este que estimula o processo de divisão celular nas raízes e subsequente diminuindo na sua translocação para os sítios de ação (PAN et al., 1989).

O efeito tóxico do Al inicialmente se manifesta no sistema radicular da planta e, conseqüentemente, ocorre redução progressiva do crescimento, dificultando o crescimento

da parede celular, prejudicando no alongamento celular, pelo deslocamento do cálcio das pontes de ligação localizadas na sua camada interna, prejudicando no crescimento e desenvolvimento das plantas (RENGEL, 1992).

As variáveis de crescimento foram afetadas negativamente pelo aumento nas concentrações de Al e seu efeito fitotóxico refletiu no crescimento quando atingindo maior saturação, isto, segundo Beutler et. al. (2001), é devido os efeitos da toxidez de Al causar uma redução do crescimento, e esse decréscimo pode ser resultante da limitação na absorção de nutrientes importantes pela planta. O Al pode afetar diretamente no crescimento da parte aérea da planta, pois causa a inibição na biossíntese de citocinina, que estimula a divisão celular nas raízes e conseqüentemente há decréscimo na sua translocação para os sítios de ação, assim então, dificultando o crescimento da parede celular, sendo este necessário para que haja o alongamento celular, através do deslocamento do Ca das pontes de ligação localizadas em sua camada interna, causando então uma diminuição de crescimento das plantas (PAN et al., 1989).

A influência das doses de B foi significativa para as variáveis biométricas número de folhas (NF), comprimento foliar (CF), diâmetro do coleto (DC) e altura (H) (Figura 8).

Para a variável NF (Figura 8 A) verificou-se que na saturação de 50% de Al a quantidade de B a ser aplicada para máxima eficiência técnica estimada de 7,65 mg/dm<sup>3</sup>, de 7,80 mg/dm<sup>3</sup> para saturação de 60%, e de 6,69 mg/dm<sup>3</sup> de B para a saturação de 70% de Al. Foi possível observar que as plantas quando expostas a dose de B de 10 mg/dm<sup>3</sup> houve uma diminuição para a variável número de folhas independente da saturação de Al indicando problema de toxidez por esse micronutriente.

Na dose de 6 mg/dm<sup>3</sup> o NF atingiu valores médios de 11,56 em saturação a 70% de Al e a partir da dose de 10 mg/dm<sup>3</sup> sendo possível visualizar uma diminuição de 7,69% para esta variável quanto condicionada a dose de 15 mg/dm<sup>3</sup> em saturação de 70% de Al, a queda na curva de NF foi mais acentuada, podendo ser considerada a grande influência do Al nas respostas morfológicas da planta.

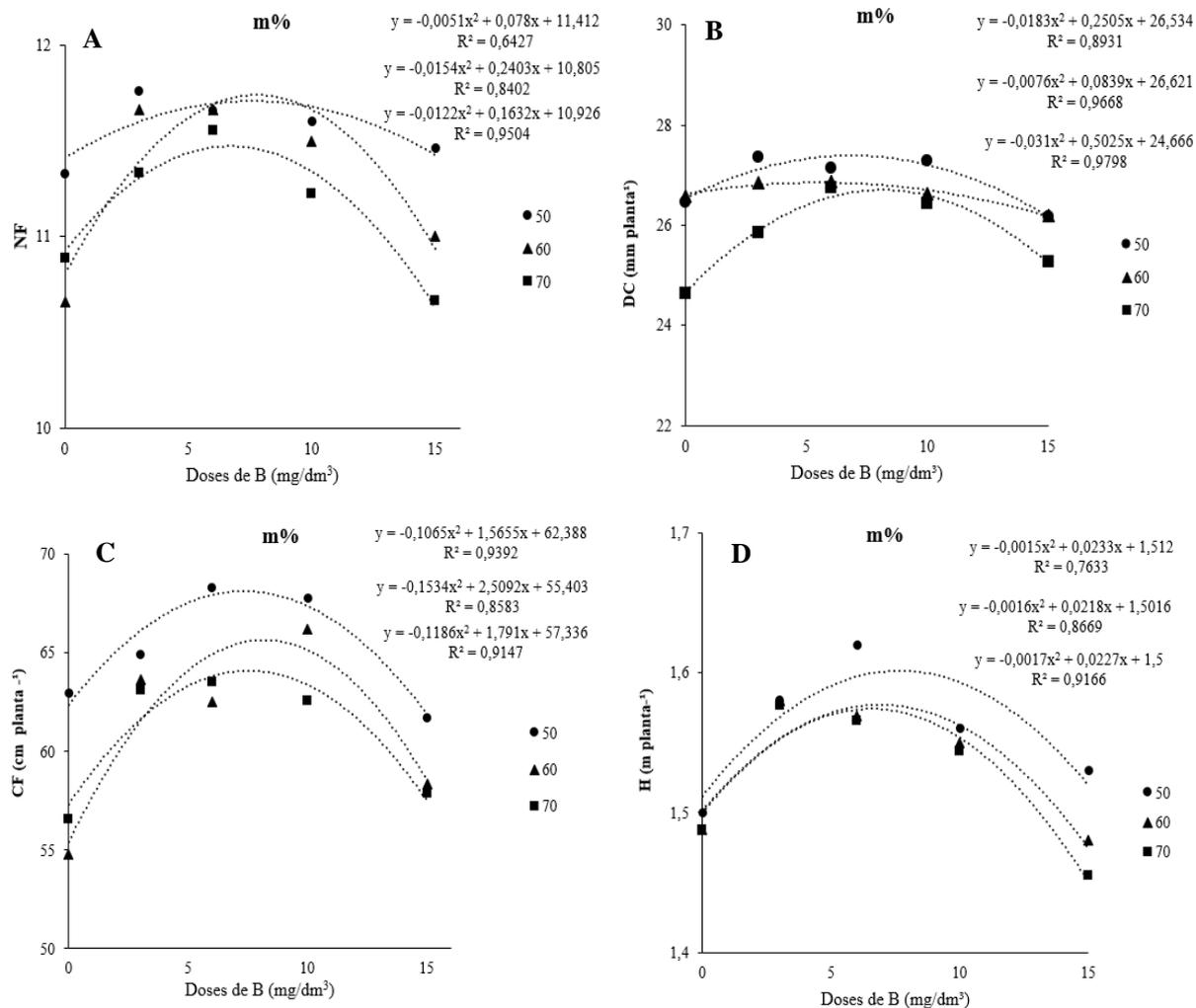


Figura 8. Influência das doses de B no número de folhas (A), comprimento foliar (B), diâmetro do coleto (C) e na Altura (D) em mudas de palma de óleo cultivadas em Latossolo Amarelo em função das saturações por Al. \*significativo a 5%.

Quanto ao DC, a quantidade de B a ser aplicada para máxima eficiência técnica estimada é de 6,84 mg/dm<sup>3</sup> para a saturação de 50% de Al, de 0,55 mg/dm<sup>3</sup> para saturação 60% e de 8,10 mg/dm<sup>3</sup> de B para a saturação de 70% de Al (FIGURA 8B). Verificou-se comportamento quadrático para todos os níveis de saturação por Al, e quando houve um aumento nas doses de B as mudas apresentaram um comportamento decrescente mais acentuado quando presentes na maior saturação de Al, chegando ao valor médio de 25,28 quando exposta a maior dose de B, de 15 mg/dm<sup>3</sup> de B.

Quanto a quantidade de B a ser aplicada para obter-se a máxima eficiência técnica estimada para a variável de CF na saturação de 50% foi de 7,35 mg/dm<sup>3</sup>, para 60% de Al foi de 8,18 mg/dm<sup>3</sup> e para a maior saturação a quantidade B foi de 7,55 mg/dm<sup>3</sup> de B, o gráfico

apresentou um comportamento quadrático (Figura 8C) onde as plantas apresentaram respostas quando condicionadas as doses de B, tendo um crescimento na curva acima as doses máxima eficiência técnica estimada acima de 6 mg/dm<sup>3</sup> e uma queda quando houve um aumento nas doses de B, tendo uma redução para esta variável principalmente quando exposta a maior saturação de Al, com um decréscimo de 6,23% quando condicionada a dose de 15 mg/dm<sup>3</sup> de B em relação a menor saturação de Al. A presença do Al é prejudicial às plantas e seus efeitos sobre a inibição do crescimento da raiz são bem documentados, ocasionando posteriormente outros sintomas de toxidez, afetando a morfologia e fisiologia, trazendo como consequência redução no crescimento da parte aérea devido aos danos causados na raiz (JONES & KOCHIAN, 1995; MATSUMOTO et al., 1976).

Para a variável H a quantidade de B para maior eficiência técnica estimada foi de 7,77 mg/dm<sup>3</sup>; 6,81 mg/dm<sup>3</sup> e 6,68 mg/dm<sup>3</sup> de B, respectivamente, para as saturações de Al de 50, 60 e 70%. O gráfico apresentou comportamento quadrático para as doses de B (Figura 9D), considerando o tratamento com ausência de B na saturação de 70% de Al com uma produção relativa menor 4,98% a dose de 6 mg/dm<sup>3</sup>, também foi possível observar que a variável sofreu interferência do Al no solo e do aumento das doses de B, pois com o aumento da saturação e do incremento de B a partir da dose de 10 mg/dm<sup>3</sup> houve um decréscimo consideravelmente acentuado para esta variável. Os resultados indicam que uma provável toxidez pelo Al e por B tenha ocorrido a partir desde tratamento (Figura 9).



Figura 9. Comparação entre os tratamentos com maiores doses de B em saturação por Al de 60 e 70%, respectivamente.

O Al quando presente inibe o crescimento radicular causando severas alterações morfológicas bloqueando a aquisição e transporte de água e nutrientes acarretando no menor crescimento das raízes, explicando o problema de alongamento e divisão celular, reduzindo assim na sua eficiência (PATERNIANI & FURLANI, 2002).

Vitória et al. (2015), ao estudarem o efeito das doses de B sobre os atributos biométricos na cultura da batata (*Solanum tuberosum*), observaram que as plantas crescidas sob dose de 2,2 kg ha<sup>-1</sup> de B apresentaram melhores respostas, e quando houve o aumento da dosagem, as plantas apresentaram uma leve redução no número de folhas, diminuindo em 3,9 cm o comprimento médio das plantas quando atingiu-se dose máxima de 4,4 kg ha<sup>-1</sup> de B.

O teor de B adequado para o desenvolvimento ótimo das culturas é bastante variável, pois há uma diferença referente a exigência do nutriente, o que é atribuído as diferentes composições químicas da parede celular de diferentes espécies (MARSCHNER, 1995). Faquin (2005) cita que há uma grande preocupação quanto as doses adequadas de B no fornecimento para a planta, pois a faixa entre o adequado e o nível tóxico é muito estreita para a maioria das plantas. Mattiello et al. (2009), em estudo sobre as características fisiológicas e o crescimento de clones de eucalipto em resposta ao B, afirmam que as plantas podem ter diferentes respostas ao B e que isto depende muito da espécie trabalhada, podendo haver diferenças entre elas, desde a sua tolerância a deficiência até a sua toxidez e na eficiência de utilização de B.

#### **4.5 Produção de Massa Seca**

A influência das doses de B foi significativa para as variáveis de produção de massa seca da parte área (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) e apresentou comportamento quadrático (Figura 10).

Para a variável MSPA verificou-se que na saturação de 50% de Al a quantidade de B a ser aplicada para máxima eficiência técnica estimada é de 5,91 mg/dm<sup>3</sup> na saturação de 50%, de 3,56 mg/dm<sup>3</sup> para saturação à saturação 60% e de 0,40 mg/dm<sup>3</sup> de B para a saturação de 70% de Al.

A MSPA (Figura 10 A) mostra que o B apresentou comportamento expressivo na produção de massa seca, no entanto, quando a planta foi submetida a maior saturação de Al, mesmo com tal incremento a resposta não mostrou-se tão eficiente para esta variável, onde apresentou o menor valor médio na dose de 15 mg/dm<sup>3</sup> de B, tendo uma redução de 46,47% em relação a mesma dose na saturação de 50% de Al. O tratamento com menor saturação promoveu um maior acúmulo de massa seca, o que se é esperado quando em razão do efeito do Al na planta.

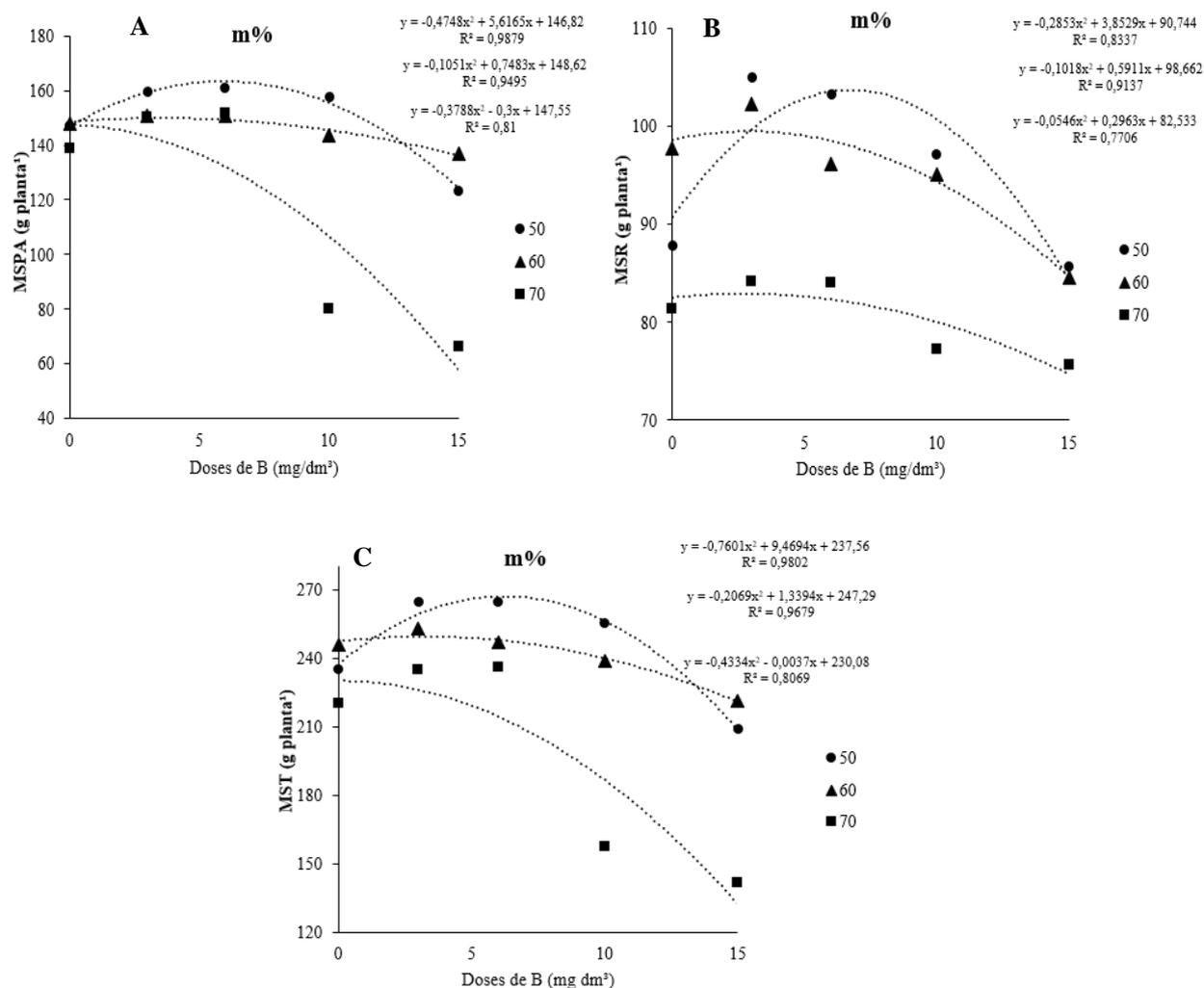


Figura 10. Influência das doses B na massa seca da parte aérea – MSPA(A), massa seca da raiz-MSR (B) e massa seca total – MST (C) em mudas de palma de óleo cultivadas em função das saturações por Al. \*significativo a 5%.

Para a produção de MSR foi visto que a quantidade de B a ser aplicada para a máxima eficiência técnica estimada é de 6,75; 2,90 e 2,71 mg/dm<sup>3</sup> de B para as respectivas saturações de 50, 60 e 70% de Al no solo. Em relação a variável de produção de massa seca da raiz (Figura 10B), os valores médios quando na ausência de B, foram menores em relação a

quando houve a presença do micronutriente, onde obteve-se um aumento considerável de 16,38; 4,40 e 3,37% quando as mudas de palma de óleo foram supridas com 3 mg /dm<sup>3</sup> de B, nas saturações de 50, 60 e 70% , respectivamente. É provável que o B adicionado tenha influenciado nas atividades meristemática das células, e conseqüentemente na alongação e diferenciação celular (HUANG et al., 2000).

No entanto, também pode-se observar que o aumento da saturação por Al de 70% a produção de massa seca da raiz apresentou uma queda brusca mesmo com o incremento de B, pois o Al é um grande limitante para o acúmulo de MS, pois reduz a taxa de crescimento radicular das plantas, afetando no alongamento e divisão celular, diminuindo a sua capacidade de absorver água, nutrientes e a produção de massa seca da planta (CHAFFAI et al., 2005).

Quanto a produção de MST, a quantidade de B a ser aplicada para máxima eficiência técnica estimada é de 6,23 mg/dm<sup>3</sup> para a saturação de 50% de Al, de 3,24 mg/dm<sup>3</sup> para saturação 60% e de 0,04 mg/dm<sup>3</sup> de B para a saturação de 70% de Al. A figura 10C (MST) mostra que quando houve um aumento das concentrações de Al e das doses de B as mudas apresentaram um comportamento decrescente mais acentuado chegando ao valor médio mínimo de 141,72 g.planta<sup>1</sup> quando exposta a dose de 15 mg/dm<sup>3</sup> de B em saturação a 70% de Al. Pode-se também observar no contexto geral, que todas as variáveis de produção de massa seca sofreram com a diminuição dos valores médios quando houve o aumento da saturação de Al e das doses de B. Marchetti et al. (2001) em pesquisa com girassol em resposta a níveis de B, observaram que com o aumento dos níveis de aplicação de B houve um decréscimo no rendimento de MS da parte aérea, raiz e total, pois o excesso de B pode acarretar atraso ou antecipação no desenvolvimento vegetal

Esse decréscimo observado pode ser explicado porque o Al restringe a capacidade de crescimento das plantas, tornando-as menos produtiva e mais susceptível ao estresse, já a toxidez por excesso de B prejudica o processo fotossintético e conseqüentemente a sua capacidade de suprir fotossintatos para o seu desenvolvimento (REID, 2007). O acúmulo de MS, tomando a planta como um todo para todas as variáveis estudadas, foi maior no tratamento de baixa saturação de Al, independente das dose de B aplicada, mostrando que com o decréscimo na produção de raízes têm-se prejuízos no crescimento e desenvolvimento da planta (BARBOSA, 2013).

#### 4.5.1. Relação Parte Aérea/Raiz

A influência das doses de B foi significativa para a relação PA/R e apresentou comportamento polinomial quadrático (Figura 11). A avaliação da razão entre a massa da raiz/parte aérea apresentou-se de maneira reduzida exposta a saturação de 70% Al na dose de 15 mg/dm<sup>3</sup> de B, indicando que o efeito do Al foi mais evidente na parte aérea que apresentaram máxima, onde verificou-se uma redução no crescimento e investimento no acúmulo de reservas na parte aérea de 39,28% em relação a menor saturação na aplicação da mesma dose de B.

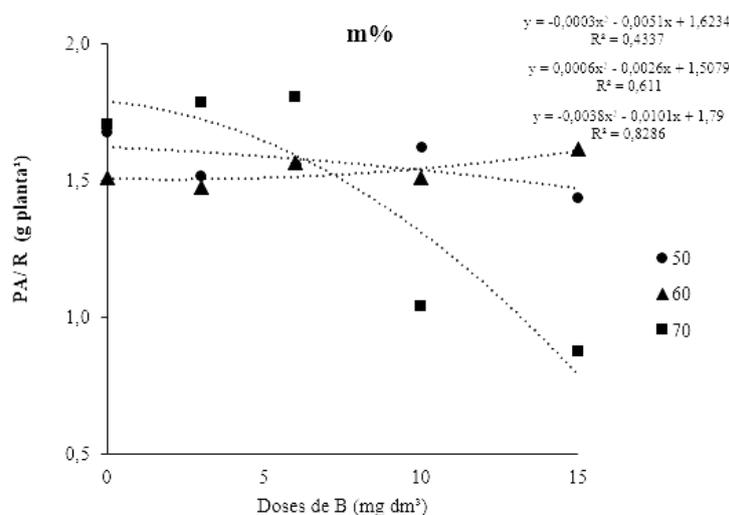


Figura 11. Relação Parte Aérea/Raiz (PA/R) em mudas de palma de óleo cultivadas em saturações por Al e doses de B. \*significativo a 5%.

De acordo com os resultados da ANOVA, pode-se observar efeitos significativos pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) entre os valores médios das variáveis, e quando submetidos aos tratamentos das interações (saturação de Al x doses de B).

Para as variáveis de trocas gasosas ( $A$ ,  $E$ ,  $gs$ ) observa-se que quando as mudas de palma de óleo foram cultivadas com dose de 3 mg/dm<sup>3</sup> de B, independente da saturação por Al, obteve-se respostas superiores aos demais tratamentos (Tabela 3).

Quanto as variáveis de clorofila e carotenóides (Tabela 4) foi possível observar que quando as plantas foram condicionadas a maiores doses de B, obteve-se resultados inferiores para clorofila  $a$  independente da saturação por Al, para a variáveis de clorofila  $b$ , quando a ausência de B, os valores obtidos foram inferiores independente da saturação, o teor de clorofila total mostrou-se inferior quando aplicada a maior dose de B para as saturações de 60 e 70% de Al. O teor de carotenóide, não apresentou diferença significativa quando em saturação de 50% para as doses de B.

Tabela 3 – Valores médios das variáveis de trocas gasosas provenientes das interações significativas na análise de variância, submetidas a diferentes saturações de Al e doses de B.

<b>m%</b>	<b>Boro</b> mg /dm <sup>3</sup>	<b>A</b>	<b>E</b>	<b>gs</b>	<b>Ci</b>	<b>ElSUA</b>	<b>ElcUA</b>
50	0	12,99 c	1,909 c	0,09 b	99,12 e	6,8 ab	144,33 c
	3	13,55 a	1,948 a	0,092 a	107,16 d	6,95 a	147,28 b
	6	13,32 b	1,916 b	0,09 b	120,7 c	6,95 a	148 a
	10	12,98 c	1,86 d	0,088 c	136,51 b	6,97 a	147,5 b
	15	12,39 d	1,84 e	0,087 d	137,59 a	6,7 b	142,41 c
60	0	12,3 c	1,86 ab	0,088 b	96,71 e	6,61 a	139,77 c
	3	12,73 a	1,88 a	0,09 a	115,04 d	6,77 a	141,44 b
	6	12,62 b	1,86 ab	0,088 b	118,73 c	6,78 a	143,4 ab
	10	12,39 c	1,83 b	0,086 c	128,89 b	6,77 a	144,06 a
	15	12,16 d	1,8 ba	0,086 c	135,63 a	6,75 a	141,39 b
70	0	11,36 c	1,73 c	0,0822 c	90,71 a	6,56 b	138,19 c
	3	12,65 a	1,9 a	0,09 a	110,5 b	6,65 a	140,55 b
	6	12,42 b	1,85 b	0,08548 b	112,1 c	6,71 a	145,28 a
	10	11,6 d	1,701 c	0,0828 c	118,9 d	6,81 a	140,09 d
	15	10,57 e	1,601 d	0,07692 d	128,91 e	6,60 b	137,41 e

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4 – Valores médios das variáveis de clorofila e carotenóides provenientes das interações significativas na análise de variância, submetidas a diferentes saturações de Al e doses de B.

<b>m%</b>	<b>Boro</b> mg /dm <sup>3</sup>	<b>CLA</b>	<b>CL B</b>	<b>CT</b>	<b>CRT</b>
50	0	0,785 a	0,23 b	1,015 b	8,01 a
	3	0,823 a	0,64 a	1,463 ab	8,03 a
	6	0,827 a	0,62 a	1,447 ab	8,01 a
	10	0,67 b	0,74 a	1,41 ab	7,8 a
	15	0,675 b	0,81 a	1,485 a	7,71 a
60	0	0,7 b	0,19 c	0,89 c	6,57 c
	3	0,77 a	0,6 b	1,37 a	6,68 b
	6	0,69 b	0,68 a	1,37 a	7,02 b
	10	0,61 c	0,6 b	1,21 b	7,06 a
	15	0,6 c	0,59 b	1,19 b	7,05 a
70	0	0,63 c	0,23 d	0,86 c	5 b
	3	0,7 a	0,38 b	1,08 a	5,08 a
	6	0,65 b	0,4 a	1,05 b	5,08 a
	10	0,49 d	0,38 b	0,87 c	5,02 b
	15	0,45 e	0,34 c	0,79 d	4,85 c

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para as variáveis biométricas (NF, CF e DC) não houve diferença estatística quando condicionadas a saturação de 60% (Tabela 3), já para a variável H, foi possível observar uma diferença significativa quando exposta a saturação de 60% de Al na dose de 3 mg/dm<sup>3</sup> de B, e quando condicionadas a saturação de 70% a H não apresentou diferença.

Para as variáveis biométricas (produção de massa seca), foi possível observar que há uma produção de MSPA superior quando condicionada as doses de 3 e 6 mg/dm<sup>3</sup> de B, já para a variável de MSR e MST, a ausência de B e a sua maior dose, apresentaram uma produção inferior as obtidas nas doses de 3 e 6 mg/dm<sup>3</sup> (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores médios das variáveis biométricas provenientes das interações significativas na análise de variância, submetidas a diferentes saturações de Al e doses de B.

m%	Boro mg /dm <sup>3</sup>	NF	CF	DC	H
50	0	11,33 b	62,95 a	26,45 ab	1,5 b
	3	11,76 a	64,95 a	27,36 a	1,58 a
	6	11,66 ab	68,35 a	27,15 ab	1,62 a
	10	11,6 ab	67,8 a	27,27ab	1,56 ab
	15	11,46 ab	61,7 a	26,16 b	1,53 ab
60	0	10,66 a	54,8 a	26,58 a	1,48 ab
	3	11,66 a	63,65 a	26,86 a	1,58 a
	6	11,66 a	62,55 a	26,87 a	1,56 ab
	10	11,5 a	66,22 a	26,63 a	1,55 ab
	15	11,00 a	58,35 a	26,19 a	1,48 b
70	0	10,8 a	56,56 b	24,65 c	1,48 a
	3	11,33 a	63,14 a	25,85 ab	1,57 a
	6	11,55 a	63,55 a	26,74 a	1,56 a
	10	11,22 a	62,59 a	26,44 a	1,54 a
	15	10,66 a	57,85 b	25,28 b	1,45 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6 – Valores médios das variáveis biométricas (produção de massa seca) provenientes das interações significativas na análise de variância, submetidas a diferentes saturações de Al e doses de B.

<b>m%</b>	<b>Boro</b> mg /dm <sup>3</sup>	<b>MSPA</b> g.planta <sup>-1</sup>	<b>MSR</b> g.planta <sup>-1</sup>	<b>MST</b> g.planta <sup>-1</sup>
50	0	147,29 ab	87,83 b	235,12 b
	3	159,55 a	105,04 a	264,59 a
	6	161,1 a	103,35 a	264,45 a
	10	157,9 ab	97,18 a	255,08 ab
	15	123,53 c	85,75 b	209,28 b
60	0	147,86 b	97,72 b	245,59 c
	3	150,74 a	102,23 a	252,97a
	6	150,56 a	96,12 b	246,68 b
	10	143,66 c	95,06 c	238,72 d
	15	136,81 d	84,61 d	221,43 e
70	0	138,8 b	81,4 b	220,2 b
	3	150,45 a	84,24 a	234,69 a
	6	151,75 a	84,01 a	235,76 a
	10	80,27 c	77,3 c	157,57 c
	15	66,12 d	75,6 d	141,72 d

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve correlação negativa e significativa entre as saturações de Al para variáveis de crescimento, trocas gasosas, clorofila e carotenoides (Tabela 7), resultado este que demonstra que com o aumento da m% há uma diminuição nos valores obtidos das variáveis descritas abaixo.

Foi observada correlação negativa e significativa entre os teores de B e as variáveis de produção de massa seca e as de trocas gasosas, exceto para a variável de *Ci* e *Cib* (Tabela 8), que apresentou correlação positiva e significativa ( $r= 0,91^*$ ), resultado este que demonstra que o aumento nas doses de B corresponde a menores valores produção de massa seca, variáveis de trocas gasosas (*A*, *E*, *gs*), e nos teores de clorofila *a*.

Huang et al. (2014) citam que o Al impede o crescimento radicular, sendo este o sintoma inicial de toxidez, levando a alterações na morfologias das raízes das plantas, causando atrofia, além de diminuir a elasticidade e a plasticidade da parede celular e conseqüentemente reduz a produção de massa seca da planta, diminuindo o seu crescimento.

Tabela 7 – Análise de correlação entre as variáveis de crescimento, trocas gasosas, clorofila e carotenóides em diferentes saturações por Al (m%).

<b>m%</b>	
<b>Variáveis</b>	<b>Coefficiente de correlação (r)</b>
NF	-0,65
CF	-0,65
H	-0,39
DC	-0,66
MSR	-0,66
MSPA	-0,49
MST	-0,56
A	-0,73
E	-0,62
<i>g<sub>s</sub></i>	-0,6
EISUA	-0,82
EICUA	-0,71
<i>Cl<sub>a</sub></i>	-0,66
<i>Cl<sub>b</sub></i>	-0,56
CTOTAL	-0,73
CRT	-0,98

\* = Significativo em 5% de probabilidade pelo de erro, pelo teste t.

Tabela 8 – Análise de correlação entre as variáveis de crescimento, trocas gasosas e clorofila e as doses de B em mudas de palma de óleo.

<b>DOSES DE B</b>	
<b>(g/dm<sup>3</sup>)</b>	
<b>Variáveis</b>	<b>Coefficiente de correlação (r)</b>
MSR	-0,36
MSPA	-0,54
MST	-0,52
A	-0,37
E	-0,46
<i>g<sub>s</sub></i>	-0,49
<i>C<sub>i</sub></i>	0,91
<i>CL<sub>a</sub></i>	-0,59
<i>CL<sub>b</sub></i>	0,51

\* = Significativo em 5% de probabilidade pelo de erro, pelo teste t.

O B por sua vez atua como um importante micronutriente para o crescimento e desenvolvimento das plantas e sua deficiência assim como a toxidez do Al, atua no crescimento anormal das raízes, causando uma rápida inibição no crescimento radicular e

alongação, desordem clorótica e menor expansão foliar em diferentes estágios de crescimento (HAN et al., 2008).

O excesso de B também pode levar a toxidez, podendo também prejudicar o crescimento e a produtividade das plantas, causando em folhas mais velhas a queima dessas folhas nas suas extremidades podendo provocar clorose e necrose, reduzindo o seu vigor e interferindo no seu crescimento e desenvolvimento (HERRERA-RODRÍGUEZ et al., 2010).

Há uma grande necessidade por aprofundar mais pesquisas para uma recomendação mais precisa da adubação com B para as culturas de modo geral (YAMADA, 2000) e especificamente para mudas de palma de óleo, pois os estudos sobre o B na palma ainda são mínimos, e o B por sua vez, é um micronutriente de muita importância pois exerce funções essenciais no metabolismo das plantas, além de minimizar os efeitos tóxicos do Al, contribuindo no aumento na produção de raízes e na alongamento, conseqüentemente aumentando na eficiência da adubação, diminuindo a quantidade de corretivos e promovendo assim o aumento na produção.

## 5. CONCLUSÃO

1. As variáveis biométricas e de trocas gasosas para as mudas de palma de óleo foram influenciadas negativamente pela saturação por Al no solo, ocorrendo decréscimos devido ao efeito tóxico do elemento, causando menor crescimento e diminuindo de suas atividades fisiológicas por estresse.
2. O Al diminui a capacidade fotossintética e a condutância estomática das mudas de palma de óleo, no entanto o incremento de B consegue atenuar o seu efeito tóxico, contribuindo para a melhor eficiência das variáveis descritas.
3. O aumento da dose de B no meio de cultivo a partir de 10 mg/dm<sup>3</sup> favoreceu o aumento da  $C_i$  e conseqüentemente influência na taxa de assimilação de dióxido de carbono, mesmo nas maior saturação por alumínio (70%).
4. O B mitiga o efeito tóxico do Al em mudas de palma de óleo quando submetido a máxima eficiência técnica estimada de 6,82 mg/dm<sup>3</sup> na saturação á 50%, de 9,42 mg/dm<sup>3</sup> em saturação á 60% e de 8,27 mg/dm<sup>3</sup> de B para saturação de 70% de Al, de acordo com a variável *EisUA*.

## REFERENCIAIS

- AGROPALMA S/A. Gerência de fitotecnia – produção de mudas: Programa de manutenção – Viveiro programa. 2019.
- ARCOS, A., & NARRO, L. Calosa como herramienta de selección para tolerancia del maíz al aluminio. **Manual de laboratorio**, CIMMYT. México, D.F.: CIMMYT, 2009.
- BARBOSA, J. Z. Boro na toxidez por alumínio em trigo e milho. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.
- BEUTLER, A. N.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V. Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 923-928, 2001.
- BRITO, M. Palma no Brasil: a corda está quase no limite. **Agroanalysis**, v. 34, n. 8, p. 25-26, 2014.
- CALBO, M.E.R.; MORAES, J.A.P.V. 1997. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.9, p.117-123.
- CAKMAK, V. Boro em Laranjeira: absorção e mobilidade. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- CAMBRAIA, J.; PIMENTA, J.A.; ESTEVÃO, M.M. & SANT'ANNA, R. Aluminum effects on nitrate uptake and reduction in sorghum. **Journal Plant Nutrition**, 12:1435-1445, 1989.
- CARVALHO, L. A cultura do algodão no Brasil: fatores que afetam a produtividade. **Editora Potafos**, , 286 p. Piracicaba, 2007.
- CARVALHO, P. E. R. Influência da intensidade luminosa e do substrato no crescimento, no conteúdo de clorofila e na fotossíntese de *Cabralea canjerana* (Vell) Mart. subsp. *canjerana*, *Calophyllum brasiliense* Camb. e *Centrolobium robustum* (Vell) Mart. ex Benth., na fase juvenil. 157 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias - Curitiba, 1996.
- CASIERRA, F., CÁRDENAS, J., & ROA, H. Efecto del aluminio sobre la germinación de semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) y de maíz (*Zea mays* L.). **Revista Orinoquía**, 12(1), 45-56, 2008.
- CLARKSON, D. T. et al. Root hydraulic conductance: diurnal aquaporin expression and the effects of nutrient stress. **Journal Experimental of Botany**, v.51, n.1, p.61-70, 2000.
- CHA'AI, R.; TEKITEK, A.; EL FERJANI, E. Aluminum toxicity in maize seedling (*Zea mays* L.): Effects on growth and lipid content. **Journal of Agronomy**, 4(1), 67-74, 2005.
- CRUZ, F. J. R.; COSTA, R. C. da.; BARRETO, A. G. T.; NETO, C. F. de O.; CAMARGO, P. M. P.; Mecanismos bioquímicos e fisiológicos da toxidez de alumínio (Al<sup>3+</sup>) em plantas sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. In: VI Seminário de Iniciação Científica/UFRA e XII

Seminário de Iniciação Científica da EMBRAPA/Amazônia Oriental Anais. Belém-Pará, 2008.

DECHEN, A.R. & NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S., ed. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.327-354.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. 3º ed. Rio de Janeiro, 2013.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras:UFLA/FAEPE, 2005. 183p.

FERREIRA, C. B. B. et al. Diversidade genética molecular de progênies de dendezeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 378-384, 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FREITAS K.; TEIXEIRA W.; FAGAN E.; SOARES J. Adaptação de Tibouchina granulosa Submetida à Aplicação de Alumínio. **Floresta e Ambiente** ,2017.

HAN, S., CHEN, L.-S., JIANG, H.-X., SMITH, B.R., YANG, L.-T., XIE, C.-Y. Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings. **Journal Plant Physiology**. 165, 1331–1341, 2008.

HERRERA-RODRÍGUEZ, M.B., GONZÁLEZ-FONTES, A., REXACH, J., CAMACHO-CRISTÓBAL, J.J., MALDONADO, J.M., NAVARRO-GOCHICOA, M.T. Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stresses. **Review Plant Stress** 4, 115–122. 2010.

HOMMA, A. K. O. et al. Base para uma política de desenvolvimento da cultura do dendê na Amazônia. In: VIÉGAS, I. J. M.; MÜLLER, A. A. (Ed.). A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 11-30.

HUANG, L.B. et al. Estimating boron requirements for sunflower growth a B-buffered solution culture system. *Commun. Soil Sci. Plant Anal., New York*, v. 31, n. 11-14, p. 2111-2123, 2000.

HUANG, W.J., YANG, X.D., YAO, S.C., LWINOO, T., HE, H.Y., WANG, A.Q., LI, C.Z., HE, L.F. Reactive oxygen species burst induced by aluminum stress triggers mitochondria-dependent programmed cell death in peanut root tip cells. **Review Plant Physiology and Biochemistry**. 82, p. 76-84, 2014.

JADOSKI, S.O.; KLAR, A.E.; SALVADOR, E.D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. **Ambiência**, v.1, p.11-19, 2005.

JONES, D.L., KOCHIAN, L.V. Aluminum inhibition of the 1,4,5-triphosphate signal transduction pathway in wheat roots: a role in aluminum toxicity?. **Review Plant Cell, Baltimore**, v.7, p.1913-1922, 1995.

KOCHIAN, L. V. Cellular Mechanisms of Aluminium Toxicity and Resistance in Plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 46, 237-260., 1995.

KOCHIAN, L., HOEKENGA, O., & PIÑEROS, M. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, 55, 459-493, 2004.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A, FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Revista Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.339-347, 2005.

LEMOS FILHO, J. P. Efeito do alumínio sobre os teores de alguns elementos minerais, sobre a atividade de certas oxidases em sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Dissertação de Mestrado. Viçosa: UFV, 1982. 46p.

LEVERMANN, R. A.; SOUZA, J. P. M. Óleo de palma: o crescimento da indústria global. **Agroanalysis**, v. 34, n. 8, p. 25-26, 2014.

LIMA M.G.S.; LOPES N.; BACARIN M.A.; MENDES C.R. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Bragantia**, 2004.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Review Methods of Enzymology**, v.148, p.350-382. 1987.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Editora Agronômica Ceres**, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.. p. 319. Piracicaba: Potafos, 1997.

MARCHETTI, M. E.; MOTOMYA, W. R.; FABRICIO, A. C.; NOVELINO, J.O. Resposta do girassol, *Helianthus annuus*, a fontes e níveis de boro. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 23, n. 5, p. 1107-1110, 2001.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic, 1995. 889 p.

MATTIELLO, E. RUIZII, H. A.; SILVA, I. R.; SARKIS, J. E. S.; NEVES, J. C. L; PUCCI, M. M. Características fisiológicas e crescimento de clones de eucalipto em resposta ao boro. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 5, p. 821-830, 2009.

MATSUMOTO, H., HIRASAWA, F., TORIKAI, H., et al. Localization of absorbed aluminium in pea root and its binding to nucleic acid. **Review Plant Cell Physiology**, Kyoto, v.17, p.627-631, 1976.

MENDES, T. P.; OLIVEIRA, F. L.; TOMAZ, M. A, RODRIGUES, W. N, TEIXEIRA, A. G. Aluminum toxicity effect on the initial growth of yacon plantlets. **Rev. Ceres** vol.65 nº 2. Viçosa, abril/2018.

MOTA, L. H. S. Crescimento e comportamento fisiológico de procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em diferentes níveis de alumínio. DOURADOS MATO GROSSO DO SUL,2013.

OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, R.S.; DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O. (Coord.). *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. p. 169-221. Piracicaba: Potafos, 1996.

PAN, W.L.; HOPKINS, A.G. & JACKSON, W.A. Aluminum inhibition of shoot lateral branches of *Glycine max* and reversal by exogenous cytokinin. **Plant Soil**, 120:1-9, 1989.

PATERNIANI, M. E. A. G.; FURLANI, P. R. Tolerância à toxicidade de alumínio de linhagens e híbridos de milho em solução nutritiva. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p. 11-16, 2002.

PELOSSO, A. F.; TATAGIBA, S. D.; AMARAL, J. F. T.; PEZZOPANE, J. E. M. Assimilação líquida de  $CO_2$ , condutância estomática, taxa transpiratória e concentração interna de  $CO_2$  em folhas de *coffea arabica* L. sob diferentes disponibilidades hídricas no substrato. IFPA, 2015.

RODRIGUES, H. C. D. A.; CARVALHO, S. P.; SOUZA, H. A. & CARVALHO, A. A. (2010) – Cultivares de mamoneira e adubação nitrogenada na formação de mudas. **Revista Acta Scientiarum Agronomy**, vol. 32, n. 3, p. 471-476.

SAMAC, D. A.; TESHAYE, M. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils **Review Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 75, p. 189-207, 2003.

SANTOS R. F.; CARLESSO, R. Deficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos da planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p. 287-294, 1988.

STEINER, F.; ZOZ, T.; PINHO JUNIOR, A. S.; CASTAGNARA, D. D.; DRANSKI, J. A. L. M. Efeitos do alumínio no crescimento e na absorção de nutrientes em plantas jovens de pinhão-mansão. Seminário: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1779-1788, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER M. I.; MURPHY, A. *Plant Physiology* 6. ed. Porto Alegre: **Artmed**. p.174-219, 2017.

TANAKA, R. e TANAKA, A. Chlorophyll cycle regulates the construction and destruction of the light-harvesting complexes. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1807, n. 8, p. 968-976, 2011.

TOHIDI, Z.; BAGHIZADEH, A.; ENTESHARI, S. The Effects of Aluminum and Phosphorous on some of Physiological Characteristics of *Brassica napus*. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 11, n. 1, p. 16-28, 2015.

VITÓRIA, G.; SALVADOR R.; WEBER, F.; LOPES, H. J.; STÜRMER, S. L. K.; VALICHESKI, R.R. Atributos biométricos e produtividade da cultura da batata, variedade ágata, cultivada na região do alto vale do Itajaí-SC sob aplicação de doses de boro. VIII MICTI – Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar. Sombrio-SC.

VON ELBE, J.H. Colorantes. In: FENNEMA, O.W. *Química de los alimentos*. 2.ed. Zaragoza : Wisconsin - Madison, Cap.10, p.782-799, 2000.

YAMADA, T. Boro: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas. *Informações Agronômicas*, v.90, p.1-5, 2000

ZANÃO JUNIOR, L. A.; CARVALHO-ZANÃO, M. P.; FONTES, R. L. F.; GROSSI, J. A. S. Produção e qualidade de rosas em razão de doses de boro aplicadas no substrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 524-531, 2014.

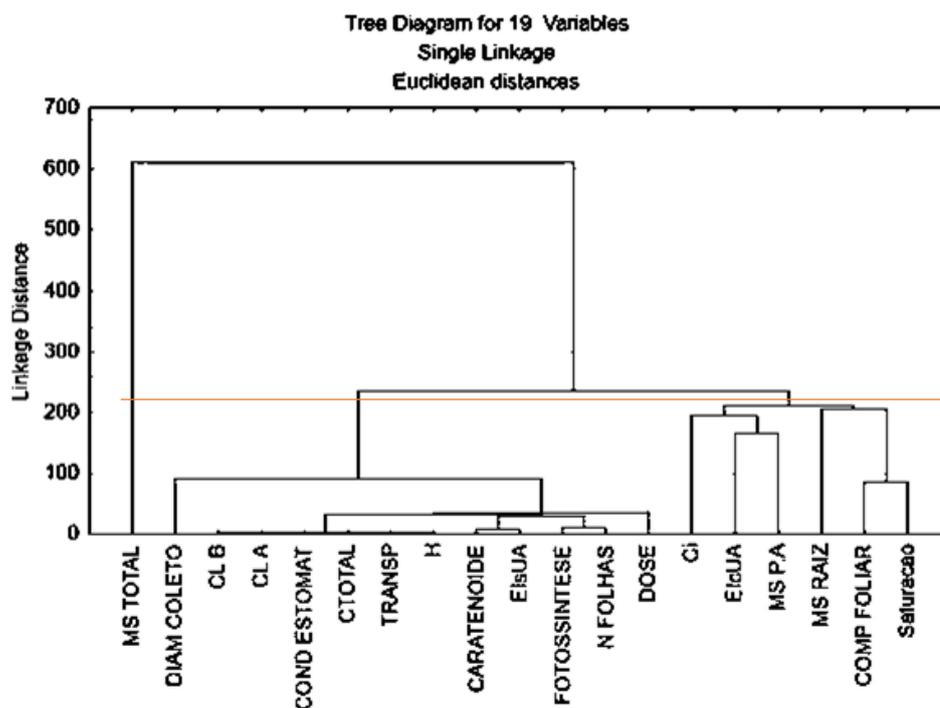
## Anexo

### Dendrograma

Os resultados foram submetidos à análise de variância e o efeito dos tratamentos comparado pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. Para identificar a similaridade das saturações de Al e as doses de B, utilizou-se a estatística multivariada por meio da análise de agrupamento (análise de cluster) e componentes principais.

Inicialmente, realizou-se a análise de cluster para verificar os grupos formados no dendrograma (Anexo 1). Como os dados são expressos em unidades de medidas diferentes, estes foram padronizados para assegurar que todas as variáveis contribuíssem igualmente para o modelo, independente da escala.

Anexo 1. Dendrograma da análise de cluster (distância Euclidiana) das 19 variáveis analisadas em mudas de palma de óleo cultivadas em Latossolo Amarelo com diferentes m% e doses de B.



De acordo com o dendrograma resultante da análise de agrupamento, pode-se constatar a formação de três grupos principais, assim o primeiro grupo é constituído pela Matéria seca total, o segundo grupo foram constituído pelo diâmetro do coleto, clorofila *a*, clorofila *b*, condutância estomática, clorofila total, transpiração, altura, carotenóide, eficiência do uso da água, fotossíntese, número de folhas, e as doses de B já o terceiro grupo foi constituído pela concentração interna de  $\text{CO}_2$ , eficiência intrínseca do uso da água, matéria seca da parte aérea, comprimento foliar e as saturações de Al.