

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

NONATO JUNIOR RIBEIRO DOS SANTOS

RESPOSTA DE *Cedrela fissilis* Vell. À POTÁSSIO E CLORETO

MANAUS, 2020

NONATO JUNIOR RIBEIRO DOS SANTOS

RESPOSTA DE *Cedrela fissilis* Vell. À POTÁSSIO E CLORETO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Faculdade de Ciências Agrárias - UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos

MANAUS, 2020

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S237c Santos, Nonato Junior Ribeiro dos
Resposta de *Cedrela fissilis* Vell. à potássio e cloreto / Nonato
Junior Ribeiro dos Santos . 2020
72 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: José Zilton Lopes Santos
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal
do Amazonas.

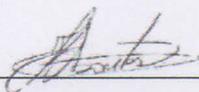
1. Cedro. 2. Nutrição mineral. 3. Solução nutritiva. 4. Silvicultura .
5. Manejo de plantas . I. Santos, José Zilton Lopes. II. Universidade
Federal do Amazonas III. Título

Nomato Junior Ribeiro Dos Santos

Resposta de *Cedrela fissilis* Vell. à potássio e cloreto

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Faculdade de Ciências Agrárias - UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Aprovado em: 04/05/2020



Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Ari de Freitas Hidalgo
Universidade Federal do Amazonas



Profa. Dra. Aline Ellen Duarte de Souza
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Cristóvão Gomes Plácido Júnior
Instituto Federal do Amazonas



Profa. Dra. Maria do Rosário Lobato Rodrigues
Embrapa Amazônia Ocidental

Agradecimentos

Agradeço à minha mãe, irmãs e sobrinhos pelo amor e incentivo incondicionais a mim dedicados, essenciais para a realização dessa tese.

Ao meu orientador, professor José Zilton, que me orientou, treinou e acima de tudo transmitiu apoio e confiança durante todo esse período de seis anos de parceria.

À minha amiga Sulianne pelo companheirismo, apoio e sobretudo paciência durante todas as etapas deste e de outros projetos.

A toda equipe do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, principalmente à Mylena, Tainá e Isabela, pela dedicação e apoio na realização deste projeto (*“juntos somos mais fortes”*).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado.

Por último, mas não menos importante, à Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e a todo corpo docente com o qual tive o privilégio de aprender. Registro minha gratidão pela oportunidade de realizar minha formação acadêmica nesta instituição da qual muito me orgulho e lembrarei sempre com carinho.

Resumo

Conhecer a demanda nutricional de espécies florestais nativas da Amazônia com potencial madeireiro é fundamental para o fornecimento adequado de nutrientes e aumento da produtividade destas espécies. Entretanto, são incipientes os estudos sobre o impacto do fornecimento de potássio e cloreto no crescimento inicial de espécies madeireiras nativas da Amazônia. O estudo teve como objetivos determinar o nível crítico de deficiência e toxicidade de K para o cultivo inicial e investigar o efeito do cloreto no desenvolvimento de plantas jovens de cedro. Realizamos um estudo com cinco níveis de K (0; 1; 2; 5 e 8 mM L⁻¹), e outro com quatro concentrações de Cl (0; 75; 750 e 7500 µM L⁻¹) para investigar a resposta do estado nutricional, parâmetros fisiológicos e crescimento inicial de plantas jovens de cedro, cultivado em casa de vegetação durante 30 dias. Os níveis de K influenciam positivamente o desenvolvimento inicial de plantas de cedro até o fornecimento de 4,00 mM K L⁻¹, entretanto, abaixo da concentração de 3,48 mM K L⁻¹ na solução nutritiva não houve resposta significativa da espécie. O nível crítico de deficiência e toxicidade de K na massa seca da parte aérea em plantas de cedro foi estimado em 26,08 e 27,28 g kg⁻¹, respectivamente. Por sua vez, as concentrações de Cl não influenciaram significativamente os parâmetros fisiológicos, bioquímicos, teor, acúmulo e eficiência de utilização deste nutriente na massa seca da parte aérea da espécie, entretanto, recomendamos o fornecimento de Cl na fase inicial para o bom desenvolvimento do cedro.

Palavras chave: Cedro, nutrição mineral, solução nutritiva, silvicultura, manejo de plantas.

Abstract

Knowing the nutritional demand of native forest species in the Amazon with timber potential is essential for the adequate supply of nutrients and increased productivity of these species. However, studies on the impact of the supply of potassium and chloride on the initial growth of wood species native to the Amazon are incipient. The study aimed to determine the critical level of K deficiency and toxicity for the initial cultivation and to investigate the effect of chloride on the development of young cedar plants. We conducted a study with five levels of K (0; 1; 2; 5 and 8 mM L⁻¹), and another with four concentrations of Cl (0; 75; 750 and 7500 μM L⁻¹) to investigate the state response nutritional, physiological parameters and initial growth of young cedar plants, grown in a greenhouse for 30 days. The K levels positively influence the initial development of cedar plants until the supply of 4.00 mM K L⁻¹, however, below the concentration of 3.48 mM K L⁻¹ in the nutrient solution, there was no significant response of the species. The critical level of K deficiency and toxicity in the aerial part dry matter in cedar plants was estimated at 26.08 and 27.28 g kg⁻¹, respectively. In turn, the Cl concentrations did not significantly influence the physiological, biochemical parameters, content, accumulation and efficiency of use of this nutrient in the dry mass of the aerial part of the species, however, we recommend the supply of Cl in the initial phase for the good development of the cedar.

Keywords: Cedar, mineral nutrition, nutritive solution, forestry, plant management.

Lista de figuras

CAPÍTULO 1.

Figura 1. Teor e nível crítico de deficiência e toxicidade de potássio (K) (A), fósforo (P) (B), cálcio (Ca) (C), magnésio (Mg) (D), enxofre (S) (E), manganês (Mn) (F), zinco (Zn) (G), cobre (Cu) (H) e ferro (Fe) (I) na parte aérea de plantas de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de K. * $P < 0,01$ 27

Figura 2. Sintomas visuais na parte aérea e raízes de plantas jovens de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de K na solução de cultivo. 28

Figura 3. Acúmulo e nível crítico de deficiência e toxicidade de potássio (AK) (A), fósforo (AP) (B), cálcio (ACa) (C), magnésio (AMg) (AD), enxofre (AS) (E), manganês (AMn) (F), zinco (AZn) (G), cobre (ACu) (H) e ferro (AFé) (I) na parte aérea de plantas de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de K. * $P < 0,01$ 29

Figura 4. Eficiência de absorção (EAK) (A) e utilização de potássio (EUK) (B) em plantas *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de K. * $P < 0,01$ 30

Figura 5. Concentração de prolina nas folhas de plantas de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de K. ** $P < 0,05$ 31

Figura 6. Taxa de crescimento relativo em altura (TCR_{alt}) (A), taxa de crescimento relativo do diâmetro do coleto (TCR_{dc}) (B), massa seca da parte aérea (MSPA) (C) e massa seca da raiz (MSR) (D) de plantas de *Cedrela fissilis* e nível crítico de deficiência e toxicidade, aos 120 DAS, em função de níveis de K. ** $P < 0,05$ 33

Figura 7. Níveis de potássio na solução nutritiva ($mM L^{-1}$) e teor de potássio na massa seca da parte aérea ($g Kg^{-1}$) referentes as zonas de nível crítico de deficiência e toxidez em plantas de *Cedrela fissilis*, 120 DAS, em função de níveis de K. Linhas indicam o intervalo ótimo das concentrações de K para todos os parâmetros avaliados. 34

CAPÍTULO 2.

Figura 8. Conteúdo de cloro na parte aérea (ACl) (A) e eficiência de utilização de cloro (EUCl) (B) em mudas de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de Cl. Caixas mostram os quartis de 25 e 75 %, barras mostram os quartis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. 55

Figura 9. Eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m) (A), índice de desempenho na base ABS (PI_{ABS}) (B), índice de desempenho total (PI_{total}) (C), índice SPAD (D) e prolina (E) em mudas de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de Cl. Caixas mostram os quartis de 25 e 75 %, barras mostram os quartis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. 56

Figura 10. Taxa de crescimento relativo em altura (TCR_{alt}) (A), taxa de crescimento relativo do diâmetro do coleto (TCR_{dc}) (B), taxa de crescimento relativo da raiz (TCR_{cr}) (C), massa seca total (MSPA) (D) de

mudas de *Cedrela fissilis* aos 120 DAS, em função de níveis de Cl. Caixas mostram os quartis de 25 e 75 %, barras mostram os quartis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. 58

Figura 11. Sintomas visuais na parte aérea e raiz em plantas jovens de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de Cl. 59

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL	8
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
CAPÍTULO 1.....	15
1. INTRODUÇÃO	18
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
2.1 LOCAL E CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO DAS PLANTAS	20
2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	21
2.3 PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS.....	21
2.4 AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO	23
2.5 ANÁLISES DOS DADOS	25
3. RESULTADOS.....	26
3.1 TEOR, SINTOMATOLOGIA E ACÚMULO DE NUTRIENTES	26
3.2 PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICO.....	31
3.3 CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO	32
4. DISCUSSÃO.....	34
5. CONCLUSÕES	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
CAPÍTULO 2.....	44
1. INTRODUÇÃO	47
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
2.1 LOCAL E CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO DAS PLANTAS	49
2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	49
2.3 PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS.....	50
2.4 AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO	52
2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	54
3. RESULTADOS.....	54
3.1 TEOR, ACÚMULO E EFICIÊNCIA DE USO DE CLORO	54
3.2 PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICO.....	56
3.3 CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO	57
4. DISCUSSÃO.....	59
5. CONCLUSÕES	63
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	63
3. CONSIDERAÇÕES GERAIS	70

1. Introdução geral

O aumento da demanda por madeira serrada de alta qualidade no Brasil cresce com o passar dos anos, intensificando a pressão sobre as populações de espécies florestais madeireiras (PLATH et al., 2011) e provocando redução de suas populações nativas nos últimos anos (VERÍSSIMO et al., 1995; ZEUGIN et al., 2010). Entretanto, são incipientes informações silviculturais sobre as espécies florestais com potencial comercial madeireiro (MARANHO; PAIVA; PAULA, 2013), principalmente aquelas relacionadas a real exigência nutricional nas suas diferentes fases de crescimento (CAIONE; LANGE; SCHONINGER, 2012; CIRIELLO; GUERRINI; BACKES, 2014).

Dentre estas espécies com potencial madeireiro tem destaque o cedro (*Cedrela fissilis*), espécie tropical de grande importância econômica e ambiental para o Brasil, devido sua madeira de boas características físicas e químicas (CUSATIS, 2014) e de relevância no mercado nacional e internacional de madeira serrada (SANCHES et al., 2017). *Cedrela fissilis* pertence à família Meliaceae, considerada uma espécie secundária a clímax (RENÓ et al., 1997), ocorre naturalmente nas Américas Central e do Sul, na Floresta Amazônica, sendo encontrada em ambientes de terra firme (CARRERO et al., 2014).

Nesta região predominam Latossolos e Argissolos (QUESADA et al., 2011) fortemente ácidos ($\text{pH} \cong 4,4$) (BATISTA, 2014), com alta saturação por alumínio ($m = 84,3 \%$), baixos teores de fósforo (P) ($\approx \leq 5,1 \text{ mg dm}^{-3}$), potássio (K) ($\approx 0,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), baixa concentração de Cl ($\approx 0,2 \text{ mg dm}^{-3}$), baixa saturação por bases ($\approx 12,72 \%$) e teor de matéria orgânica variando de 2 a $3,1 \text{ g kg}^{-1}$ (MOREIRA; FAGERIA, 2009). O clima é tropical, classificado como Aw (PEEL; FINLAYSON; McMAHON, 2007), com temperatura média do ar entre $24,6$ e $26,9^\circ\text{C}$, umidade relativa diária oscilando entre 75% durante os dias relativamente secos, até 92% na estação chuvosa e com precipitação média anual de 2.362 mm (ARAÚJO et al., 2002).

Entretanto, espécies florestais da região Amazônica com potencial madeireiro, requerem abundantes quantidades de nutrientes em sua fase inicial de crescimento (NASCIMENTO et al., 2014), assim como *C. fissilis* (FREIBERGER et al., 2013). Dentre os nutrientes essenciais necessários para o crescimento vegetal, recebe destaque o potássio (K) por ser o elemento demandado em grande quantidade (ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014). Plantas necessitam, para o seu bom desenvolvimento o fornecimento em torno de 70 mg K dm^{-3}

³ (BATTIE-LACLAU et al., 2016), entretanto na terra firme da Amazônia, onde predominam Latossolos e Argissolos em sua grande maioria ($\approx 76,99\%$) são encontradas concentrações biodisponíveis de K em torno de 40 mg dm^{-3} (ALVAREZ VENEGAS et al., 1999; MOREIRA; FAGERIA, 2009).

O K atua em processos fisiológicos da planta, influenciando o estado energético, translocação e armazenamento de assimilados e manutenção de água nos tecidos vegetais (AHMAD; MAATHUIS, 2014), age também como ativador de numerosas enzimas e serve como contraíons para cargas negativas (OOSTERHUIS et al., 2014). Dessa forma, baixas concentrações de K ocasionam baixo teor proteico, menor turgor e expansão celular, aumento na produção de prolina, maior potencial osmótico e ocasiona o funcionamento irregular dos estômatos, baixa captação de nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^-) e sua translocação no xilema, conseqüentemente podendo diminuir a assimilação de CO_2 e a taxa fotossintética (FAGERIA, 2001; WANG et al., 2015). Por outro lado, a absorção excessiva de K pelas plantas é refletida na redução do seu crescimento decorrente principalmente de distúrbios na absorção de nutrientes como o P, cálcio (Ca) e magnésio (Mg), devido ao seu efeito antagonico sobre estes elementos (FAGERIA, 2001; ROBSON; PITMAN, 1983).

Espécies florestais respondem positivamente à adubação potássica (OOSTERHUIS et al., 2014), como observado por Da Silva et al. (1997) que estudando o efeito da omissão e fornecimento (84 mg Kg^{-1}) de K em 14 espécies florestais, de diferentes grupos sucessionais, dentre elas o *C. fissilis*, crescidas em um Cambissolo Álico, da camada superficial de 0 a 20 cm de profundidade, verificaram que o fornecimento de K no substrato proporcionou aumento do crescimento em altura, diâmetro e produção de biomassa nas espécies, sendo necessário a fornecimento deste nutriente para otimizar o desenvolvimento da espécie, entretanto não se conhece a real demanda e o efeito de concentrações críticas de K em *C. fissilis*.

Existe uma diversidade de fontes comerciais para o fornecimento de K, como o nitrato de potássio (KNO_3), sulfato de potássio (K_2SO_4), cloreto de potássio (KCl) e fosfato de potássio (KH_2PO_4), destacando-se o KCl por apresentar alta concentração de K_2O (58%), baixo custo e alta disponibilidade no mercado (QUAGGIO; MATTOS JUNIOR; BOARETTO, 2011), sendo a fonte de K mais utilizada no Brasil e no mundo (FAO, 2019). Entretanto, essa fonte possui em sua composição 47% a 49% de cloro (Cl). Dessa forma, o uso de 160 kg ha^{-1} de K_2O , dose

rotineiramente recomendada para o cultivo de citros, equivale ao fornecimento de 132,41 kg ha⁻¹ de Cl para as plantas (QUAGGIO; MATTOS JUNIOR; BOARETTO, 2011).

Apesar do cloro ser um micronutriente requerido em baixas concentrações e ser encontrado em concentrações muito maiores nos tecidos vegetais, este elemento é essencial para bom desenvolvimento da planta, atuando principalmente na osmorregulação e quebra da molécula de água, para captura do CO₂ no fotossistema II (PSII) (XU et al., 1999). Plantas sensíveis a cloro toleram no máximo o fornecimento de 16 mM L⁻¹ (WHITE; BROADLEY, 2001), entretanto, plantas tolerantes suportam concentrações de até 200 mmol L⁻¹ de Cl sem ter seu crescimento substancialmente afetado (WHITE; BROADLEY, 2001).

A exigência de Cl para o crescimento ideal das plantas é de $\approx 0,2 - 0,4$ g Kg⁻¹ de matéria seca (MARSCHNER, 2012), entretanto, na maioria das culturas, como tomate, batata e citros, são encontrados teores médios de Cl na matéria seca na faixa de 2,0 - 20,0 g Kg⁻¹ (CHEN et al., 2010). Dessa forma são mais comuns relatos da toxicidade por Cl quando comparado à deficiência (KIRKBY; RÖMHELD, 2007), como observado por Pinheiro et al. (2008) estudando a resposta da mamona (*Ricinus communis* L.) cultivada em casa de vegetação em Latossolo Amarelo exposta a 0 e 30 mM NaCl dm⁻³.

Dessa forma, o fornecimento de Cl abaixo da demanda da planta é refletido na perda do controle da regulação osmótica e diminuição da atividade do PSII (WEGE; GILLIHAM; HENDERSON, 2017), devido ao funcionamento irregular dos estômatos, baixa fotooxidação da água, redução na produção de oxigênio nos cloroplastos, menor taxa fotossintética e desenvolvimento da planta (GEILFUS, 2018), como relatado por (PINHEIRO et al., 2008). Por outro lado, o estresse por excesso de cloro na planta são caracterizados por desequilíbrio iônico, afetando a absorção, redistribuição e uso dos demais nutrientes, principalmente o nitrogênio na forma de nitrato (N-NO₃), como observado por Gomes et al. (2017), resultando no menor crescimento e desenvolvimento da cultura como observado por Jaarsma; De Vries; De Boer (2013), estudando diferentes cultivares de batata em condições semicontroladas, em solução nutritiva, com níveis crescente de NaCl.

O estado nutricional de uma planta altera a sua taxa de desenvolvimento, a intensidade de crescimento e mesmo características morfológicas específicas. Dessa maneira, o bom desenvolvimento das plantas ocorrerá quando o substrato for fértil e apresentar concentrações

adequadas dos nutrientes minerais (MARSCHNER, 2012), ressaltando que o efeito de um nutriente sobre o desenvolvimento de uma cultura pode variar entre e dentro das espécies (DA SILVA et al., 1997; JAARSMA; DE VRIES; DE BOER, 2013).

Portanto, devido à forte pressão da exploração florestal em áreas nativas e a falta de informações silviculturais relacionadas à demanda nutricional de espécies florestais com potencial madeireiro, associado à falta de um bom manejo nutricional, tornam-se necessários estudos que busquem elucidar a real demanda por K e Cl desta espécie. Diante do exposto este estudo tem como objetivo investigar o efeito das concentrações de K e Cl no desenvolvimento inicial de plantas de *C. fissilis*.

2. Referências bibliográficas

AHMAD, I.; MAATHUIS, F. J. M. Cellular and tissue distribution of potassium: physiological relevance, mechanisms and regulation. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 708–14, 2014.

ALVAREZ VENEGAS, V. H. et al. Interpretation of soil analysis results. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Eds.). . **Recommendations For Use of Amendments and Fertilizers in Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa, Brasil: Soil Fertility Commission for the State of Minas Gerais, 1999. p. 25–32.

ARAÚJO, A. C. et al. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. 20, p. 1–20, 2002.

BATISTA, I. M. P. **Recomendação de calagem para alguns solos do Estado do Amazonas**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2014.

BATTIE-LACLAU, P. et al. Potassium fertilization increases water-use efficiency for stem biomass production without affecting intrinsic water-use efficiency in Eucalyptus grandis plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 364, p. 77–89, 2016.

CAIONE, G.; LANGE, A.; SCHONINGER, E. L. Crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) em substrato fertilizado com nitrogênio, fósforo e potássio. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 40, n. 94, p. 213–221, 2012.

CARRERO, G. C. et al. **Árvores do sul do Amazonas: Guia de espécies de interesse econômico e cológico**. 1. ed. Manaus: IDESAM, 2014.

CHEN, W. et al. Chlorine nutrition of higher plants: Progress and perspectives. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 7, p. 943–952, 2010.

CIRIELLO, V.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C. Doses de nitrogênio no crescimento inicial e nutrição de plantas de Guanandi. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 653–660, 2014.

CUSATIS, A. C. **Melhoramento genético e silvicultural de *Cedrela fissilis* Vell.** [s.l.] Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2014.

DA SILVA, I. R. et al. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 205–212, 1997.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p. 1269–1290, 2001.

FAO. **World fertilizer trends and outlook to 2019**. Disponível em: <www.fao.org/publications>. Acesso em: 2 dez. 2019.

FREIBERGER, M. B. et al. Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 385–392, 2013.

GEILFUS, C. M. Chloride: From Nutrient to Toxicant. **Plant and Cell Physiology**, v. 59, n. 5, p. 877–886, 2018.

GOMES, M. A. DA C. et al. Salinity effects on photosynthetic pigments, proline, biomass and nitric oxide in *Salvinia auriculata* Aubl. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 29, n. 0, p. 1–13, 2017.

JAARSMA, R.; DE VRIES, R. S. M.; DE BOER, A. H. Effect of Salt Stress on Growth, Na⁺ Accumulation and Proline Metabolism in Potato (*Solanum tuberosum*) Cultivars. **PLoS ONE**, v. 8, n. 3, 2013.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas- Funções, Absorção e Mobilidade. **Informações agronômicas**, v. 118, n. 2, p. 1–24, 2007.

MARANHO, Á. S.; PAIVA, A. V. DE; PAULA, S. R. P. DE. Crescimento inicial de espécies nativas com potencial madeireiro na Amazônia, Brasil. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 913–921, 2013.

MARSCHNER, H. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Soil chemical attributes of Amazonas State, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, n. 17–18, p. 2912–2925, 2009.

NASCIMENTO, H. H. C. DO et al. Aspectos ecofisiológicos de mudas de *Hymenaea courbaril* L. em resposta a supressão de N, P e K. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 315–328, 2014.

OOSTERHUIS, D. M. et al. The physiology of potassium in crop production. In: NORMAN, A. G. (Ed.). **Advances in Agronomy**. 12. ed. Massachusetts: Academic Press, 2014. v. 126p. 203–233.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 4, n. 2, p. 439–473, 2007.

PINHEIRO, H. A. et al. Short communication Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 27, p. 385–392, 2008.

PLATH, M. et al. Establishment of native tropical timber trees in monoculture and mixed-species plantations: Small-scale effects on tree performance and insect herbivory. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 3, p. 741–750, 2011.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M. Sources and rates of potassium for sweet orange production. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 3, p. 369–375, 2011.

QUESADA, C. A. et al. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. **Biogeosciences**, v. 8, n. 6, p. 1415–1440, 2011.

RENÓ, N. B. et al. Limitações nutricionais ao crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 17–25, 1997.

ROBSON, A. D.; PITMAN, M. G. Interactions Between Nutrients in Higher Plants. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Eds.). . **Inorganic Plant Nutrition**. 1. ed. Heidelberg: Springer Berlin, 1983. p. 147–180.

SANCHES, M. C. et al. Morpho-physiological responses in *Cedrela fissilis* Vell. submitted to changes in natural light conditions: implications for biomass accumulation. **Trees**, v. 31, n. 1, p. 215–227, 2017.

VERÍSSIMO, A. et al. Extraction of a high-value natural resource in Amazonia: the case of mahogany. **Forest Ecology and Management**, v. 72, n. 1, p. 39–60, 1995.

WANG, X. G. et al. Effects of potassium deficiency on photosynthesis and photoprotection mechanisms in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 5, p. 856–863, 2015.

WEGE, S.; GILLIHAM, M.; HENDERSON, S. W. Chloride: Not simply a “cheap osmoticum”, but a beneficial plant macronutrient. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 12, p. 3057–3069, 2017.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review. **Annals of Botany**, v. 88, n. 6, p. 967–988, 2001.

XU, G. et al. **Advances in Chloride Nutrition of Plants** *Advances in Agronomy*, 1999.

ZEUGIN, F. et al. Is tree diversity an important driver for phosphorus and nitrogen acquisition of a young tropical plantation? **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 9, p. 1424–1433, 2010.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture - Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656–669, 2014.

CONCENTRAÇÕES CRÍTICAS DE POTÁSSIO PARA O CULTIVO INICIAL DE
Cedrela fissilis

SANTOS, Nonato Junior Ribeiro. Concentrações críticas de potássio para o cultivo inicial de *Cedrela fissilis* Em: **Resposta de *Cedrela fissilis* Vell. à potássio e cloreto**. 2020. cap. 1, 28 p. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM.

Resumo

Fornecer nutrientes em quantidades ideais é fundamental para o aumento da produtividade de espécies madeireiras. Apesar disso, pouco se sabe sobre a real exigência de potássio (K) das espécies florestais nativas da Amazônia. O estudo teve como objetivo determinar o nível crítico de deficiência e toxicidade de K para o cultivo inicial de cedro. Plantas de cedro foram cultivadas em solução nutritiva sob o efeito de cinco níveis de potássio (0; 1; 2; 5 e 8 mM L⁻¹) por 30 dias em delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. Os níveis de K influenciam positivamente o crescimento, teores e conteúdo de nutrientes na massa seca parte aérea em plantas jovens de cedro. O nível crítico de K em plantas de cedro foi estimado em 3,48 mM K L⁻¹, enquanto o nível crítico de toxicidade foi de 4,00 mM K L⁻¹, essas concentrações internas de K na massa seca da parte aérea das plantas ocorrem quando o K na solução nutritiva está 26,08 e 27,28 g kg⁻¹, respectivamente.

Palavras chave: Cedro, nutrição florestal, deficiência de potássio, toxicidade de potássio.

SANTOS, Nonato Junior Ribeiro. Critical potassium concentrations for the initial cultivation of *Cedrela fissilis* In: *Cedrela fissilis* Vell's response to potassium and chloride. 2020. cap. 1, 28 p. Thesis (Doctorate in Tropical Agronomy) - Federal University of Amazonas, Manaus, AM.

Abstract

Providing nutrients in certain ideals is essential for increasing the reproduction of timber species. Despite this, little is known about the real potassium (K) potential of forest species native to the Amazon. The study aimed to determine the critical level of K deficiency and toxicity for the initial cultivation of cedar. Cedar plants were grown in nutrient solution under the effect of five levels of potassium (0, 1, 2, 5 and 8 mM L⁻¹) for 30 days in a completely randomized design with five replications. K levels have a positive influence on growth, content and nutrient content in dry aerial part of young cedar plants. The critical level of K in cedar plants was estimated at 3.48 mM K L⁻¹, while the critical level of toxicity was 4.00 mM K L⁻¹, these internal concentrations of K in the dry mass of the aerial part of the plants occur when the K in the nutrient solution is 26.08 and 27.28 g kg⁻¹, respectively.

Keywords: Cedar, forest nutrition, potassium deficiency, potassium toxicity.

1. Introdução

Solos predominantes em terra firme da Amazônia (Latosolos e Argissolos) (QUESADA et al., 2011), em sua grande maioria ($\approx 76,99\%$), apresentam baixas concentrações ($< 40 \text{ mg dm}^{-3}$) biodisponíveis de potássio (K) (ALVAREZ VENEGAS et al., 1999; MOREIRA; FAGERIA, 2009). Entretanto para o bom desenvolvimento das plantas são necessárias concentrações em torno de 70 mg dm^{-3} (BATTIE-LACLAU et al., 2016). Diante disso, a fertilização potássica desses solos é prática silvicultural indispensável (MALAVOLTA; CROCOMO, 1982), e vem aumentando em cultivos florestais (FAO, 2019; ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014).

A exigência das plantas quanto ao K é de aproximadamente $20 - 50 \text{ g Kg}^{-1}$ de matéria seca para que espécies vegetais tenham um crescimento adequado (MARSCHNER, 2012), fato relacionado ao K ser o nutriente inorgânico catiônico mais abundante, e geralmente constituir cerca 2% a 10% do peso seco da planta (WANG et al., 2015). O K é o cátion mais abundante nos tecidos vegetais, e o segundo nutriente mais exigido pelas culturas (MARSCHNER, 2012), desempenha papel central em processos fisiológicos da planta, influenciando o estado energético, translocação e armazenamento de assimilados e manutenção de água nos tecidos vegetais (AHMAD; MAATHUIS, 2014), serve como contra íons para cargas negativas e também como ativador de mais de 60 enzimas (OOSTERHUIS et al., 2014).

A deficiência de K para a planta implica em uma menor pressão de turgor e expansão celular, diminuição da ativação da enzima redutase nitrato e funcionamento irregular dos estômatos, que reduzem a entrada e assimilação de CO_2 na planta, e conseqüentemente o desempenho fotossintético e o desenvolvimento da cultura (FAGERIA, 2001; WANG et al., 2015). Clones de castanheira (*Bertholletia excelsa*) com maior eficiência de utilização de K, apresentaram maior atividade fotossintética e maior crescimento (FERREIRA et al., 2016).

O estresse causado pelas baixas concentrações de K nas plantas estimula o aumento da produção de prolina, que pode exercer a função de proteção e osmorregulação em plantas estressadas por estresse hídrico e deficiência nutricional (LEITE; VIRGENS FILHO; RODRIGUES, 2000). Evitando a perda de água em excesso para o meio, plantas de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) aumentam a produção de prolina apenas em suas folhas, sugerindo que o aumento da produção de prolina no tecido foliar haja como inibidor dos efeitos de estresse causadas pela deficiência de K (RAO; KRISHNASASTRY; UDAYAKUMA, 1981a, 1981b).

A absorção excessiva deste elemento ocasiona, principalmente, redução na absorção de nutrientes como o fósforo (P), Ca e Mg, e nitrogênio (N) na forma de amônio (N-NH₄⁺), devido à alta mobilidade do K no solo e na planta e a competição destes nutrientes pelo local de absorção, transporte e função com o K (FAGERIA, 2001; ROBSON; PITMAN, 1983). Esse desbalanço nutricional, ocasionado pelo excesso de K, além de afetar processos metabólicos da planta, como a absorção e assimilação de CO₂, fotossíntese e eficiência no uso da água (OOSTERHUIS et al., 2014), também limita o desenvolvimento e rendimento das culturas (REICH, 2017).

De maneira geral, a partir do fornecimento de 13,6 mM L⁻¹ de K ocorre redução na taxa fotossintética, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes como N, P, Ca e Mg nos diferentes órgãos das plantas de lírio (*Lilium* sp. cv. Arcachon) (BARRERA-AGUILAR et al., 2013). Dessa forma os sintomas da toxicidade de K, expressos na forma de redução do crescimento da parte aérea e raiz, são oriundos principalmente de deficiência de outros nutrientes, causado pelo efeito antagônico do K sobre estes (REICH, 2017), como observado por Wallau et al. (2008) estudando plantas de *Swietenia macrophylla* na omissão de macros e micronutrientes.

Plantas apresentam uma demanda específica pelo K, que pode variar entre e dentro de cada espécie e de acordo com a sua fase de crescimento (MARSCHNER, 2012). Entretanto, são encontrados poucos trabalhos nos quais foram estudados a resposta de espécies florestais à adubação potássica (OOSTERHUIS et al., 2014), especialmente as nativas da Amazônia com potencial madeireiro comercial (DA SILVA et al., 1997). Entre essas espécies tem destaque o cedro (*Cedrela fissilis*).

O cedro é uma espécie com grande potencial de produção de madeira na região tropical. Sua madeira é de boa qualidade (CUSATIS, 2014), e de grande importância econômica e ambiental para o Brasil, devido sua relevância no mercado nacional e internacional de madeira serrada (SANCHES et al., 2017). Por outro lado, o aumento da demanda por produtos madeireiros (ZEUGIN et al., 2010) tem exercido uma forte pressão sobre as florestas naturais nos trópicos (PLATH et al., 2011) provocando a redução das populações nativas nos últimos anos (VERÍSSIMO et al., 1995; ZEUGIN et al., 2010).

O cedro é uma espécie secundária a clímax, pertence à família Meliaceae (RENÓ et al., 1997), ocorre naturalmente nas Américas Central e Sul. Na Floresta Amazônica é encontrado

em ambientes de terra firme e solos profundos (CARRERO et al., 2014). Nesta região predominam Latossolos e Argissolos (QUESADA et al., 2011) fortemente ácidos ($\text{pH} \cong 4,4$) (BATISTA, 2014), com alta saturação por alumínio ($m = 84,3\%$), baixos teores de fósforo (P) ($\approx \leq 5,1 \text{ mg dm}^{-3}$), K ($\approx 0,09 \text{ cmolc dm}^{-3}$), baixa saturação por bases ($\approx 12,72\%$) e teor de matéria orgânica variando de 2 a $3,1 \text{ g kg}^{-1}$ (MOREIRA; FAGERIA, 2009). O clima da região é tropical, classificado como Aw (PEEL; FINLAYSON; McMAHON, 2007), com temperatura média do ar entre $24,6^\circ\text{C}$ e $26,9^\circ\text{C}$, umidade relativa diária oscilando entre 75% durante os dias relativamente secos, até 92% na estação chuvosa e com precipitação média anual de 2.362 mm (ARAÚJO et al., 2002).

O efeito positivo de K no desenvolvimento e crescimento inicial do *C. fissilis* foi observado por Da SILVA et al. (1997). Nesse estudo os autores avaliaram a resposta de 14 espécies florestais, de diferentes estados sucessionais, dentre elas o *C. fissilis*, a omissão e fornecimento de 84 mg dm^{-3} de K, em casa de vegetação, tendo como substrato um Cambissolo Álico da camada superficial de 0 a 20 cm de profundidade, e observaram que o fornecimento de K no substrato proporcionou aumento do crescimento em altura, diâmetro e produção de biomassa na espécie. Freiburger et al. (2013) em estudo com *C. fissilis*, crescido em casa de vegetação, sem controle de temperatura e umidade relativa do ar, tendo como substrato um Latossolo Vermelho de textura média, observaram o teor de K nas folhas igual a $10,0 \text{ g Kg}^{-1}$, sendo o K o segundo nutriente mais exigido pela espécie. Diante do exposto, o presente estudo objetivou determinar o nível crítico de deficiência e toxicidade de K para o cultivo inicial da espécie.

2. Material e Métodos

2.1 Local e condições de crescimento das plantas

O estudo foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM. O cultivo foi feito em casa de vegetação com luz natural e condições ambientais semi-controladas, temperatura média de $34,29^\circ\text{C}$, umidade relativa do ar de 63%, fotoperíodo de 12:00 h/12:00 h (dia/noite) e $612,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de densidade de fluxo de fóton fotossintético.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado em um delineamento inteiramente casualizado, expondo plantas jovens de *C. fissilis* a cinco concentrações de K (0; 1; 2; 5 e 8 mM L⁻¹), com cinco repetições e uma planta por unidade experimental. Os níveis de K estão fundamentados nos resultados de pesquisa de Barrera-Aguilar et al. (2013) e Li e Si (2019).

2.3 Procedimentos específicos

Preparo do substrato e recipientes de cultivo: utilizou-se como substrato areia de rio com partículas entre 0,5 e 2,0 mm de diâmetro, padronizadas através de peneiras. O substrato passou por sucessivas lavagens em água corrente até que a água drenada através desta, ficasse incolor. Em seguida, o substrato ficou submerso em uma solução de HCl 0,5 mol L⁻¹ por 24 horas, e posteriormente, passou por sucessivas lavagens em água de torneira e finalmente foi lavada em água deionizada até a água drenada apresentar condutividade elétrica (C.E.) ≤ 3 μS. O substrato lavado foi seco em condições naturais e acondicionada em vasos plásticos de polietileno, com poro de drenagem controlado e capacidade volumétrica de 3,5 dm³, pintados externamente com tinta de alta temperatura para reduzir a absorção de luz e evitar o aquecimento do substrato e solução nutritiva.

Obtenção de mudas: sementes de *C. fissilis* oriundas de 10 matrizes, foram beneficiadas e desinfestadas externamente com hipoclorito de sódio a 1%, posteriormente lavadas com água corrente e água deionizada. As sementes tratadas foram semeadas em bandejas plásticas com dimensões de 60 x 40 x 10 cm (comprimento, largura e altura, respectivamente), utilizando-se como substrato areia de rio lavada (conforme descrito anteriormente), previamente desinfestado com hipoclorito de sódio a 0,3%. O substrato de germinação foi inicialmente saturado com uma solução de CaCl₂ 0,1 mM L⁻¹, posteriormente foi irrigado diariamente, durante 30 dias após a semeadura (DAS), fornecendo ≈ 200 ml de água deionizada.

Preparo das soluções: tanto as soluções nutritivas de pré-cultivo quanto aquelas de cultivo e tratamentos, foram feitas a partir de soluções-estoque preparadas com reagentes puros para análise (p.a.). Procurando evitar a formação de precipitados, foram preparadas uma

solução para cada fonte de macronutrientes ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), uma solução contendo apenas Fe-EDTA e uma solução composta pelos demais micronutrientes ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; H_3BO_3 ; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ e $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). As soluções-estoque de macronutrientes estavam todas na concentração de $0,5 \text{ M L}^{-1}$, enquanto os micronutrientes estavam na concentração de mM L^{-1} , sendo 1000 vezes mais concentrada do que o recomendado na solução padrão de Hoagland e Arnon (1950).

Fornecimento e troca de soluções de nutrientes: os nutrientes foram fornecidos a cada três dias, nos demais dias as plantas receberam água deionizada com pH ajustado a 5,8, ambos através do suprimento de $50 \text{ ml planta}^{-1}$. A saturação do substrato no recipiente foi mantida em torno de 65% da capacidade da sua saturação total ($\approx 580 \text{ ml}$ de solução), visando evitar estresse por anoxia. A renovação da solução nutritiva, para a dessalinização do substrato, foi realizada a cada sete dias, iniciando com o monitoramento da C.E. da solução nutritiva, limpeza do substrato através do fornecimento de água deionizada, até que a água drenada dos recipientes apresentasse $\text{C.E.} \leq 3 \mu\text{S}$, seguido da renovação da solução de cultivo e reaplicação dos tratamentos.

Pré-cultivo: plântulas com 30 DAS vigorosas e uniformes, foram transplantadas para os recipientes de cultivo e pré-cultivadas por 60 dias, recebendo uma adubação básica na forma de solução nutritiva, equivalente a $1/10$ e $1/4$ da solução padrão de Hoagland e Arnon (1950), nos primeiros 30 dias e nos últimos 30 dias de pré-cultivo, respectivamente. Nessa fase o K foi mantido na concentração de $0,3 \text{ mM L}^{-1}$ e o pH da solução foi mantido em 5,8, utilizando NaOH ou HCl à $0,2$ e $0,5 \text{ M L}^{-1}$, respectivamente.

Cultivo: após a fase de pré-cultivo, as plantas foram cultivadas durante 30 dias, recebendo os tratamentos (0; 1; 2; 5 e 8 mM K L^{-1}), utilizando como fonte de K o sulfato de potássio (K_2SO_4), juntamente com uma adubação básica, na forma de solução nutritiva com força iônica equivalente a $1/4$ da solução padrão de Hoagland e Arnon (1950), com composição química correspondente a: $2,98 \text{ mM L}^{-1}$ de N-NO_3^- ; $1,24 \text{ mM L}^{-1}$ de N-NH_4^+ ; $0,25 \text{ mM L}^{-1}$ de P; $1,0 \text{ mM L}^{-1}$ de Ca; $0,5 \text{ mM L}^{-1}$ de Mg; $0,5 \text{ mM L}^{-1}$ de S; $2,27 \mu\text{M L}^{-1}$ de Mn; $0,2 \mu\text{M L}^{-1}$ de Zn; $0,075 \mu\text{M L}^{-1}$ de Cu; $11,65 \mu\text{M L}^{-1}$ de B; $0,025 \mu\text{M L}^{-1}$ de Mo; $8,0 \mu\text{M L}^{-1}$ de Fe; $12,5 \mu\text{M L}^{-1}$ de Cl, o pH da solução foi mantido em 5,8, utilizando NaOH ou HCl à $0,2$ e $0,5 \text{ M L}^{-1}$, respectivamente.

2.4 Avaliação do experimento

Foi realizada por meio de medições do comprimento de raízes (CR) aos 30 e 120 DAS, altura da parte aérea (ALT) e diâmetro do coleto (DC) aos 90 e 120 DAS para se obter as taxas de crescimento, parâmetros fisiológicos e bioquímicos, estado nutricional e demais variáveis de crescimento e desenvolvimento aos 120 DAS.

Fluorescência da clorofila a: eficiência quântica máxima do fotossistema II (PSII) (F_v/F_m), índice de desempenho na base ABS (PI_{ABS}) e o índice de desempenho total (PI_{total}), foram determinados por meio de um fluorômetro portátil (PEA, MK2 - 9600 - Hansatech, Norfolk, UK). As mesmas folhas selecionadas para análise de trocas gasosas foram submetidas a um período de adaptação ao escuro durante 30 minutos, utilizando cliques apropriados. Em seguida, foram expostas a um pulso de luz saturante de alta intensidade luminosa ($3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e comprimento de onda de 650 nm s^{-1}). As respostas relacionadas à fluorescência da clorofila *a* foram obtidas a partir do software Handy PEA - v 1,30, de acordo com equações do teste JIP (STRASSER et al., 2010).

Índice relativo de clorofila (Índice SPAD): foi mensurado em três folíolos completamente expandidas ao longo da copa, utilizando um medidor manual de clorofila (SPAD-502). As leituras do SPAD foram realizadas no ponto médio de cada folíolo, no espaço entre as nervuras, entre 09h às 11h, em duas repetições. O valor do índice SPAD corresponde à média de seis leituras do SPAD-502 obtidas de cada unidade experimental (FREIBERGER et al., 2013).

Taxa de crescimento relativo: a altura da parte aérea (ALT), foi obtida desde a base do coleto até a gema apical da planta, com o auxílio de uma régua graduada em cm, e o diâmetro do coleto (DC) foi medido com um paquímetro digital (King Tools 0 - 200 mm), a 0,5 cm da superfície da areia. Após a retirada das plantas do substrato, foi mensurado o comprimento da raiz (CR), com o auxílio de uma régua graduada em cm. De posse dos dados de ALT, DC e CR, as taxas de crescimento relativo (TCR), para cada unidade experimental, foram obtidas através da equação: $TCR_Y = (\text{Log}Y_{final}) - (\text{Log}Y_{inicial}) / \text{Tempo}_{final} - \text{Tempo}_{inicial}$ (BUGBEE, 1996; DAVANSO et al., 2002), onde, TCR_Y = taxa de crescimento relativo da variável dependente; Y_{final} = valor final da variável dependente; $Y_{inicial}$ = valor inicial da variável dependente; Tempo_{final} = tempo final da

condução do experimento (meses); Tempo_{inicial} = tempo inicial da condução do experimento (meses).

Produção de massa seca: após a retirada das plantas jovens do substrato, estas foram compartimentalizadas em parte aérea (folha + caule + pecíolos) e raízes. Em seguida foram lavadas em água deionizada e secas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 70°C até atingirem massa constante. Após a secagem, foi determinada a massa seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e total MST (MST = MSPA + MSR), utilizando-se balança com precisão de 0,001 g.

Teor de prolina: foi determinado na massa seca das raízes (MSR), conforme Bates, Waldren e Teare (1973), com adaptação de Leite, Virgens Filho e Rodrigues (2000). As amostras foram maceradas com o uso de pistilo num almofariz e homogeneizadas com 10 ml de ácido sulfossalicílico 3% (p/v). Em seguida, a mistura foi transferida para tubos de microcentrífuga (15 mL) e centrifugada a 6000 rpm por 30 min. Foram coletados 2 mL do sobrenadante e transferidos para tubos de microcentrífuga de 15 mL, onde foram acrescentados 2 mL de solução ácida de ninhidrina (1,25 g de ninhidrina e 2 mL de ácido acético glacial concentrado). Em seguida, os tubos, hermeticamente fechados, foram levados ao banho-maria a 100°C durante 1 hora. Após esse período, os tubos foram colocados em recipientes contendo gelo para finalizar a reação. Após a reação ser interrompida, cada tubo recebeu 4 mL de tolueno, e em seguida, foram agitados (15 a 20 segundos). Os tubos foram deixados em repouso até a mistura formar duas fases, e posteriormente, o sobrenadante foi pipetado em três eppendorfs. A leitura destas amostras foi feita em espectrofotômetro a 520 nm, utilizando-se o tolueno como branco. A concentração de prolina foi estimada com o auxílio de reta padrão previamente estabelecida, sendo os resultados obtidos expressos em micromol de prolina por grama de matéria seca ($\mu\text{M g}^{-1} \text{MSPA}^{-1}$).

Sintomatologia, teor e acúmulo de macro e micronutrientes: ao final do experimento, os sintomas do estado nutricional na parte aérea e raízes das plantas foram fotografadas (Nikon - D750), a MSPA foi moída em moinho tipo Willey para ser analisada quimicamente quanto aos elementos K, Ca, Mg, P, enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) conforme (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O N, cloro (Cl) e boro (B) não foram

determinados por falta de material vegetal. A determinação da concentração de nutrientes na MSPA das plantas foi realizada da seguinte forma: uma amostra de 0,5 g foi pesada e digerida, usando 5 mL de uma mistura de HNO₃ e HCl na relação 2:1 (v/v), utilizando macro tubos de digestão (80 mL) sobre um bloco de digestão, na temperatura de 210 °C. P foi determinado por espectrofotometria visível ($\lambda = 680 \text{ nm}$) (espectrofotômetro Micronal® modelo B-580); K foi determinado por fotometria de chama (fotômetro Micronal® modelo B-462); Ca; Mg; Zn, Cu; Fe e Mn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (GBC, modelo Avanta Sigma, Australia). O S foi determinado com BaCl₂ em 1 mL de uma solução ácida (HCl 6 mol L⁻¹ + 20 mg L⁻¹ de S) e realizada sua leitura pelo método turbimétrico ($\lambda = 420 \text{ nm}$). O acúmulo de nutrientes (AN), na parte aérea das plantas, foi calculado da seguinte maneira: AN (g ou mg planta⁻¹) = concentração de nutrientes (g ou mg kg⁻¹) x MSPA (g).

Eficiência de absorção e utilização de K: a eficiência de absorção de K (EAK) foi obtida conforme a expressão: $EAK = K_1 - K_0 / K_2 \times 100$ (BALIGAR; FAGERIA; HE, 2001), onde, K₀ = teor de K na MSPA no tratamento sem o fornecimento de K; K₁ = teor de K na MSPA referente a dose de K aplicada; K₂ = nível de K fornecido na solução nutritiva. A eficiência de utilização de K (EUK) foi obtida de acordo com a expressão: $EUK = (MSPA)^2 / AK$ (SIDDIQI; GLASS, 1981), onde: MSPA = é o valor da MSPA da unidade experimental; AK = é o acúmulo de K na MSPA da unidade experimental.

2.5 Análises dos dados

Os resultados obtidos foram previamente submetidos aos testes de normalidade (SHAPIRO; WILK, 1965) e homogeneidade de variâncias (LEVENE, 1960). As variáveis que não atenderam estes pressupostos (TCR_{cr}, Prolina, teor de P, K, Ca, Mn, Cu, Fe, AP, ACa e EUK), foram transformadas na função logarítmica e posteriormente submetidos novamente aos testes de normalidade de homocedasticidade.

Atendendo aos princípios de normalidade e homocedasticidade, os dados foram submetidos à análise de variância e, quando o *F* foi significativo ($P < 0,05$), as médias das variáveis dependentes: K, P, Ca, Mg, S, Mn, Zn, Cu, Fe, AK, AP, ACa, AMg, AS, AMn, AZn, ACu, AFe, EAK, EUK, prolina, TCR_{alt}, TCR_{dc}, MSPA e MSR foram testadas e ajustados a modelos matemáticos de regressão polinomial de primeiro e segundo grau. Os critérios para escolha dos

modelos de regressão foram o maior coeficiente de determinação e a significância do modelo. A partir das equações de comportamento quadrático foram estimados os níveis de K (mM L^{-1}) no substrato e concentrações (g Kg^{-1}) para atingir o nível crítico de deficiência (NCD), que neste estudo foi considerado como 90% da produção máxima (PM), e o nível crítico de toxidez (NCT) correspondente à dose acima da MEF suficiente para promover uma redução de 10% na variável resposta (DAVIS; BECKETT; WOLLAN, 1978).

3. Resultados

3.1 Teor, sintomatologia e acúmulo de nutrientes

Os níveis de K influenciaram significativamente ($P < 0,01$) os teores de K, P, Ca, Mg, S, Mn, Zn, Cu e Fe na massa seca da parte aérea de *C. fissilis*. Os dados de teores de nutrientes na MSPA ajustaram um comportamento quadrático, exceto os teores de cálcio que aumentaram linearmente a medida em que aumentou os níveis de K no substrato (Figura 1).

Como não há referência para as concentrações de nutrientes na massa seca da parte aérea das plantas de *C. fissilis* em função da variação dos níveis de K, foram utilizados para comparação os níveis de nutrientes no tecido foliar encontrados na mesma espécie aos sete meses após a germinação, cultivada em um Latossolo Vermelho de textura média, durante 120 dias, no estudo realizado por Freiburger et al. (2013). Observamos que teores de K na MSPA das plantas de *C. fissilis* cultivadas sem o fornecimento de K ($6,66 \text{ g Kg}^{-1}$), e os teores mínimos e máximos obtidos para Ca ($1,78 - 4,53 \text{ g Kg}^{-1}$), Mg ($0,97 - 1,96 \text{ g Kg}^{-1}$) e S ($1,66 - 2,46 \text{ g Kg}^{-1}$) estavam abaixo da faixa considerada adequada para melhor crescimento da espécie (FREIBERGER et al., 2013), as concentrações K na parte aérea das plantas com o fornecimento de 1, 2, 5 e 8 mM K L^{-1} ($17,86; 24,60; 24,80$ e $27,01 \text{ g Kg}^{-1}$, respectivamente) e de maneira geral os menores e maiores teores de P ($0,70 - 2,13 \text{ g Kg}^{-1}$), Mn ($34,25 - 96,76 \text{ mg Kg}^{-1}$), Zn ($150,46 - 293,7 \text{ mg Kg}^{-1}$), Cu ($4,50 - 10,03 \text{ mg Kg}^{-1}$) e Fe ($184,68 - 657,66 \text{ mg Kg}^{-1}$) permaneceram acima da faixa considerada ideal para o bom crescimento da espécie (FREIBERGER et al., 2013).

Os teores de K, P, S e Zn na MSPA responderam positivamente aos níveis de K testados, ajustando-se a um modelo de regressão quadrática (K - $R^2 = 0,84$; P - $R^2 = 0,99$; S - $R^2 = 0,54$ e Zn - $R^2 = 0,92$) ao aumento do fornecimento de K na solução nutritiva, tendo os teores máximos (K = $28,97 \text{ g Kg}^{-1}$; P = $2,18 \text{ g Kg}^{-1}$; S = $2,47 \text{ mg Kg}^{-1}$ e Zn = $288,28 \text{ mg Kg}^{-1}$) atingidos com o nível

de 5,58; 2,72; 4,47 e 2,65 mM K L⁻¹, respectivamente, estando os valores da produção máxima de K, P e S acima e o de Zn abaixo do considerado ideal para o desenvolvimento da espécie (FREIBERGER et al., 2013). Portanto, as doses referentes ao NCD e NCT foram estimadas numa faixa entre 3,48 e 7,88; 0,69 e 4,75; 1,63 e 7,51 e 0,19 e 5,19 mM K L⁻¹ para K, P, S e Zn, respectivamente (Figura 1 A, B, E, G).

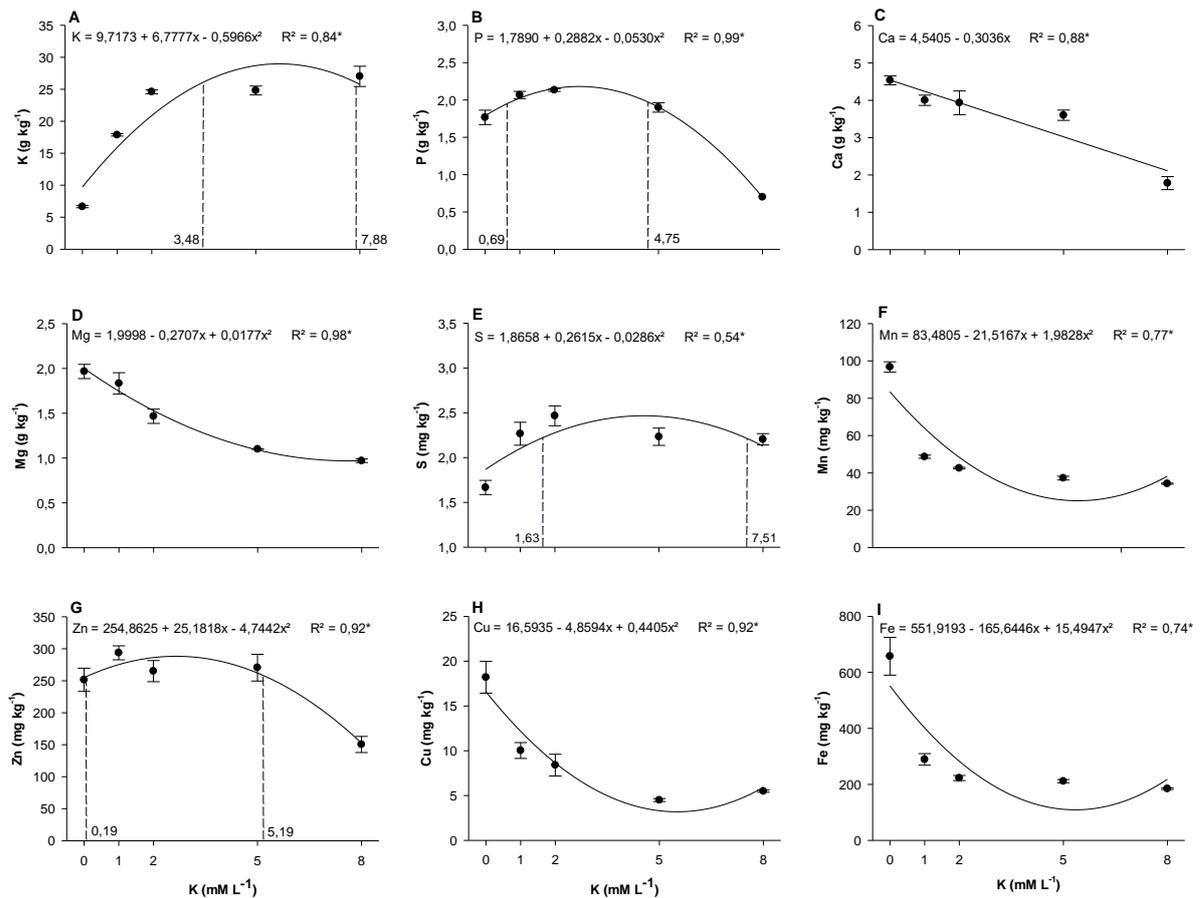


Figura 1. Teor e nível crítico de deficiência e toxicidade de potássio (K) (A), fósforo (P) (B), cálcio (Ca) (C), magnésio (Mg) (D), enxofre (S) (E), manganês (Mn) (F), zinco (Zn) (G), cobre (Cu) (H) e ferro (Fe) (I) na parte aérea de plantas de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de K. * $P < 0,01$.

Por outro lado, os teores de Mg, Mn, Cu e Fe na MSPA mostraram padrão de resposta similar, sendo o modelo matemático polinomial quadrático, que representa o comportamento dos dados (Mg - $R^2 = 0,98$; Mn - $R^2 = 0,77$; Cu - $R^2 = 0,92$ e Fe - $R^2 = 0,74$), havendo, de maneira geral, uma redução curvilínea até o nível de 5 mM K L⁻¹ e um ligeiro aumento na última dose testada (Figura 1 D, F, H, I). Dessa forma, os maiores valores de teor, observados em plantas sem o fornecimento de K (Mg = 1,96 g Kg⁻¹; Mn = 96,76 mg Kg⁻¹; Cu = 10,03 mg Kg⁻¹ e Fe = 657,66 mg Kg⁻¹) (Figura 1 D, F, H, I), estavam acima da concentração considerado ideal para Mn, Cu e

Fe segundo observado por (FREIBERGER et al., 2013), com exceção do Mg que se encontrava abaixo. Entretanto, o teor de Ca diminuiu linearmente ($R^2 = 0,88$) com o aumento dos níveis de K, apresentando o maior teor de Ca ($4,43 \text{ g Kg}^{-1}$) com o nível de 0 mM K L^{-1} e uma redução de $0,3036 \text{ g Kg}^{-1}$ para o aumento de uma unidade na disponibilidade K na solução (Figura 1 C), mantendo-se abaixo da demanda da espécie para um bom crescimento.

Apesar de ao final do período experimental plantas de *C. fissilis* em contato com níveis de 1, 2, 5 e 8 mM K L^{-1} apresentarem teores acima daqueles considerados como ideal por Freiburger et al. (2013) (Figura 1 A), observamos sintomas, que assemelham-se aqueles relatados à toxidez de K, apenas em plantas com o fornecimento de $8,0 \text{ mM K L}^{-1}$, a partir de 20 dias das plantas em contato com este tratamento. Esses foram expressos com a uma redução no crescimento da parte aérea, raízes e lançamento de folhas novas (Figura 2). Entretanto não observamos sintomas característicos de deficiência de K, como a clorose, encarquilhamento e necrose do ápice da folha em direção às bordas em folhas mais velhas de *C. fissilis*, durante os 30 dias das plantas sem o fornecimento de K (0 mM K L^{-1}) (Figura 2).



Figura 2. Sintomas visuais na parte aérea e raízes de plantas jovens de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de K na solução de cultivo.

Os níveis de K na solução de cultivo influenciaram significativamente ($P < 0,01$) o conteúdo dos nutrientes na parte aérea das plantas (Figura 3). Observamos que dados de acúmulo de K, P, Ca, S e Zn em *C. fissilis*, em função dos tratamentos testados (0, 1, 2, 5 e 8 mM K L^{-1})

K L⁻¹), ajustaram-se melhor ao modelo de regressão quadrática (Figura 3 A, B, C, E, G), sendo observado valores de K iguais à 2,67; 8,43; 9,96; 11,23 e 4,31 g planta⁻¹ para 0, 1, 2, 5 e 8 mM K L⁻¹, respectivamente, na solução nutritiva de cultivo. O conteúdo de K, P, Ca, S e Zn aumentaram linearmente até o fornecimento de 4,07, 2,80; 1,84; 3,33 e 2,78 mM K L⁻¹, respectivamente, havendo uma redução no conteúdo dos respectivos nutrientes a partir destes pontos e proporcionando conteúdo máximo de K = 12,23 g planta⁻¹, P = 0,99 g planta⁻¹, Ca = 1,87 g planta⁻¹, S = 1,12 mg planta⁻¹ e Zn = 131,77 mg planta⁻¹ (Figura 3 A, B, C, E, G). Portanto, os níveis de K na solução nutritiva referentes ao NCD e NCT situam numa faixa de 2,55 e 5,60; 1,03 e 4,56; 0,21 e 4,00; 1,52 e 5,14 e 0,94 e 4,62 mM K L⁻¹ para de K, P, Ca, S e Zn, respectivamente (Figura 3 A, B, C, E, G).

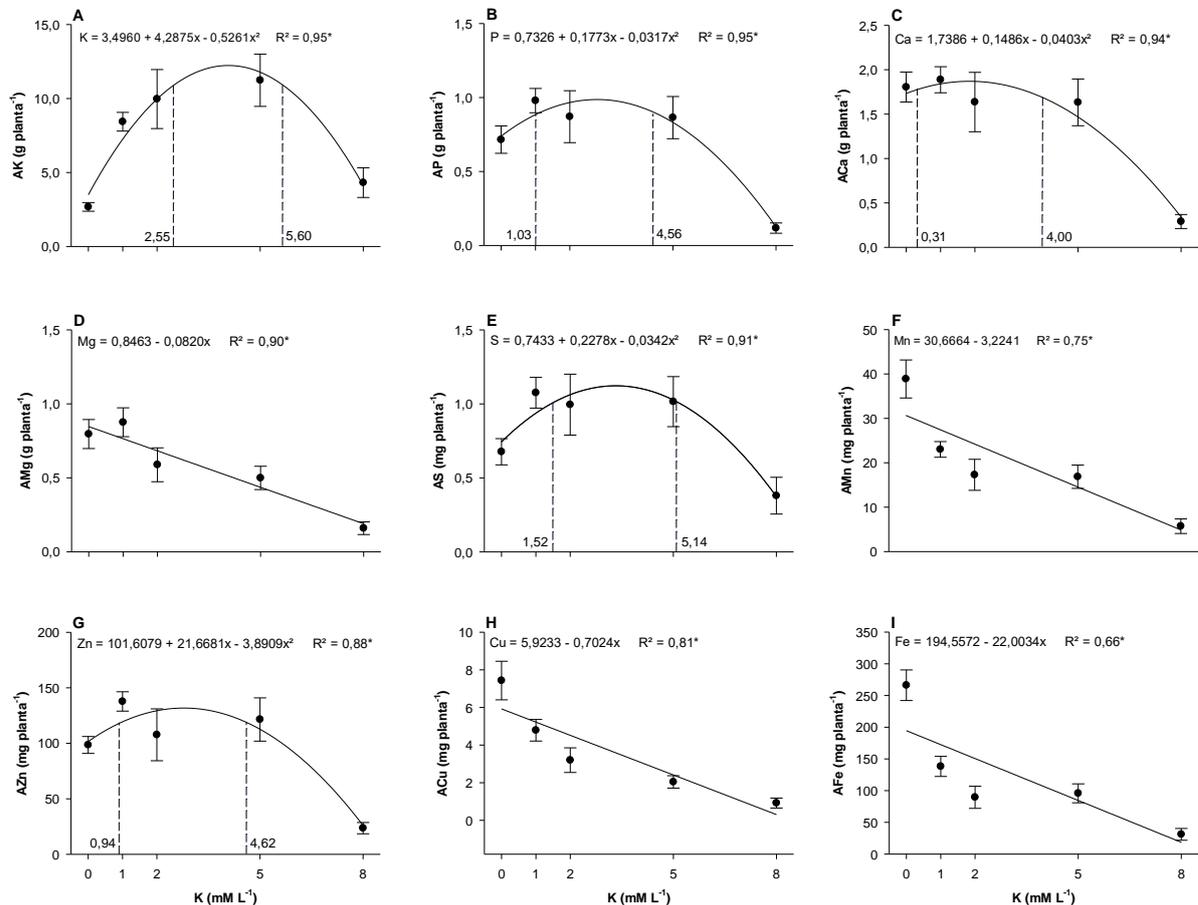


Figura 3. Acúmulo e nível crítico de deficiência e toxicidade de potássio (AK) (A), fósforo (AP) (B), cálcio (ACa) (C), magnésio (AMg) (AD), enxofre (AS) (E), manganês (AMn) (F), zinco (AZn) (G), cobre (ACu) (H) e ferro (AFe) (I) na parte aérea de plantas de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de K. * $P < 0,01$.

Por outro lado, o acúmulo de Mg, Mn, Cu e Fe ajustaram-se ao modelo de regressão linear (Mg - $R^2 = 0,90$; Mn - $R^2 = 0,75$; Cu - $R^2 = 0,81$ e Fe - $R^2 = 0,66$), diminuindo linearmente

com o aumento dos níveis de K na solução de cultivo (Figura 3 D, F, H, I). Dessa forma, a maior produção obtida sem o fornecimento de K (0 mM K L⁻¹) proporcionou acúmulo de 0,79 g planta⁻¹; 38,88 mg planta⁻¹; 7,43 mg planta⁻¹ e 266,19 mg planta⁻¹ de Mg, Mn, Cu e Fe (respectivamente) em plantas de *C. fissilis*, apresentado uma redução a Mg = 0,082; Mn = 3,224; Cu = 0,702 e Fe = 22,003 para cada unidade de K fornecida até a maior concentração testada (Figura 3 D, F, H, I).

Os valores de EAK e EUK foram afetados significativamente ($P < 0,01$) pelos níveis crescentes de K na solução nutritiva de cultivo (Figura 4 A, B). De maneira geral, a EAK e EUK apresentaram um padrão similar de comportamento, onde os dados melhores se ajustaram ao modelo matemático polinomial quadrático, $R^2 = 0,99$ e $0,89$ para EAK e EUK, respectivamente (Figuras 4 A e B).

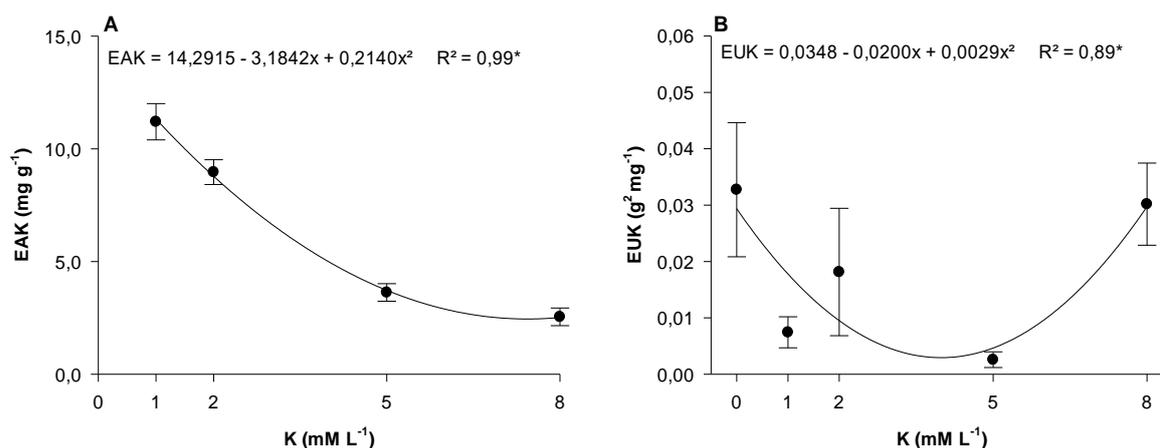


Figura 4. Eficiência de absorção (EAK) (A) e utilização de potássio (EUK) (B) em plantas *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de K. * $P < 0,01$.

De modo geral, os valores de ambas as variáveis reduziram com o aumento dos níveis de K na solução de cultivo (Figura 4 A, B), mas enquanto houve uma estabilização da EAK na dose de 8 mM de K (Figura 4 A), que apresentava diminuição de 3,184 com o aumento de cada unidade de K na solução. Para a EUK este comportamento ocorreu entre a dose de 2 e 5 mM de K, com posterior de aumento de 0,0029 em cada unidade de K fornecida nestes valores a partir desta dose (Figura 4 B).

3.2 Parâmetros fisiológicos e bioquímico

Os diferentes níveis de K não influenciaram significativamente ($P < 0,05$) os parâmetros fisiológicos eficiência quântica máxima do fotossistema II (PSII) (F_v/F_m), índice de desempenho na base ABS (PI_{ABS}), índice de desempenho total (PI_{total}) e índice relativo de clorofila (índice SPAD) (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo das análises de variância para as variáveis eficiência quântica máxima do fotossistema II (PSII) (F_v/F_m), índice de desempenho na base ABS (PI_{ABS}), índice de desempenho total (PI_{total}) e índice relativo de clorofila (índice SPAD) em plantas de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de K. * $P < 0,05$.

F. V.	G.L.	Q.M.			
		F_v/F_m	PI_{ABS}	PI_{total}	Índice SPAD
Níveis de potássio	4	0,0107 ns	0,1536 ns	0,0308 ns	9,3716 ns
Resíduo	20	0,0030 ns	0,1198 ns	0,0197 ns	9,0375 ns
Total	24	-	-	-	-
C.V. (%)	-	27,5	67,9	41,8	31,3

F.V. = Fonte de variação; G.L. = Grau de liberdade; C.V. = Coeficiente de variação; Q.M. = Quadrado médio. *, ns = não significativo a 5% pelo teste de F.

O teor de prolina das plantas jovens de *C. fissilis* foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) pelas doses de K na solução nutritiva. À medida em que se aumentou as doses e K no substrato de cultivo, houve uma redução linear nos teores prolina nas folhas das plantas (Figura 5).

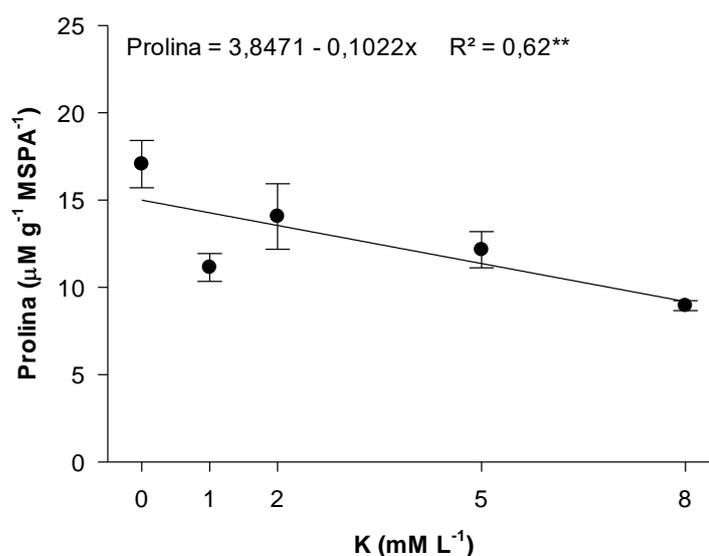


Figura 5. Concentração de prolina nas folhas de plantas de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de K. ** $P < 0,05$.

Observamos a maior (17,05 mg g⁻¹ MSPA) e menor (8,95 mg g MSPA⁻¹) concentração de prolina em folhas das plantas jovens de *C. fissilis* com 0 mM K L⁻¹ e com 8 mM K L⁻¹ fornecimento de K da solução nutritiva de cultivo, respectivamente. De modo geral, para cada aumento de uma unidade na disponibilidade de K na solução nutritiva, ocorreu uma diminuição de 0,1022 mg g⁻¹ MSPA da concentração de prolina nas folhas em plantas jovens de *C. fissilis*.

3.3 Crescimento e desenvolvimento

Os níveis de K na solução de cultivo influenciaram significativamente ($P < 0,05$) a TCR_{alt}, TCR_{dc}, MSPA e MSR. Entretanto não afetaram a TCR_{cr} e MST (dados não apresentados).

Os dados de TCR_{alt} e MSPA ajustaram a um modelo quadrático positivo com a exposição a níveis crescentes de K na solução de cultivo (TCR_{alt} - $R^2 = 0,80$ e MSPA - $R^2 = 0,90$) (Figura 6 A e C). De modo geral, observamos que os valores de TCR_{alt} e MSPA aumentaram com o aumento nos níveis de K na solução de cultivo, tendo sua produção máxima (TCR_{alt} = 0,13 cm cm⁻¹ mês⁻¹ e MSPA = 0,48 g) obtidas nas doses de 3,67 e 2,72 mM K L⁻¹, respectivamente e, a partir deste ponto, para cada unidade de K na solução nutritiva houve um decréscimo de 0,0035 cm cm⁻¹ mês⁻¹ para TCR_{alt} e 0,0114 g para MSPA (Figura A, C). Portanto o valor referente a 90% da produção máxima é de 0,11 cm cm⁻¹ mês⁻¹ para TCR_{alt} e 0,48 g para MSPA. Dessa forma, os níveis de K na solução de cultivo correspondentes ao NCD e NCT para TCR_{alt} e MSPA são de 1,77 e 5,57 e 0,68 e 4,77 mM K L⁻¹, respectivamente (Figura 6 A, C).

Por outro lado, o aumento nos níveis de K na solução de cultivo proporcionou uma redução nos valores de TCR_{dc} e MSR (Figura 6 B, D). No entanto, os dados de TCR_{dc} ajustaram a um modelo matemático quadrático ($R^2 = 0,84$) (Figura 6 B), com maior taxa de crescimento (0,13 mm mm⁻¹ mês⁻¹) observada sem o fornecimento de K, valores diminuindo linearmente até a presença de 5,48 mM K L⁻¹ na solução nutritiva e apresentando leve aumento até a maior dose de K testada. Enquanto os dados de MSR ajustaram a um modelo matemático linear ($R^2 = 0,90$) (Figura 6 D), de modo geral, para cada aumento de uma unidade na disponibilidade de K na solução de cultivo, ocorreu uma diminuição de 0,0419 g de MSR em plantas jovens de *C. fissilis*.

Para determinar o NCD e NCT que de maneira geral não prejudique o desempenho destas variáveis, avaliamos variáveis repostas com ajuste ao modelo matemático quadrático (K,

P, S, Zn, AK, AP, Aca, AS, AZn TCR_{alt} e MSPA), observamos que o maior nível de K na solução de cultivo relacionado ao NCD foi obtido para o teor de K na MSPA (3,48 mM K L⁻¹) e, o menor nível de K na solução referente ao NCT foi observada no Aca = 4,00 mM L⁻¹ em plantas jovens de *C. fissilis* (Figura 7).

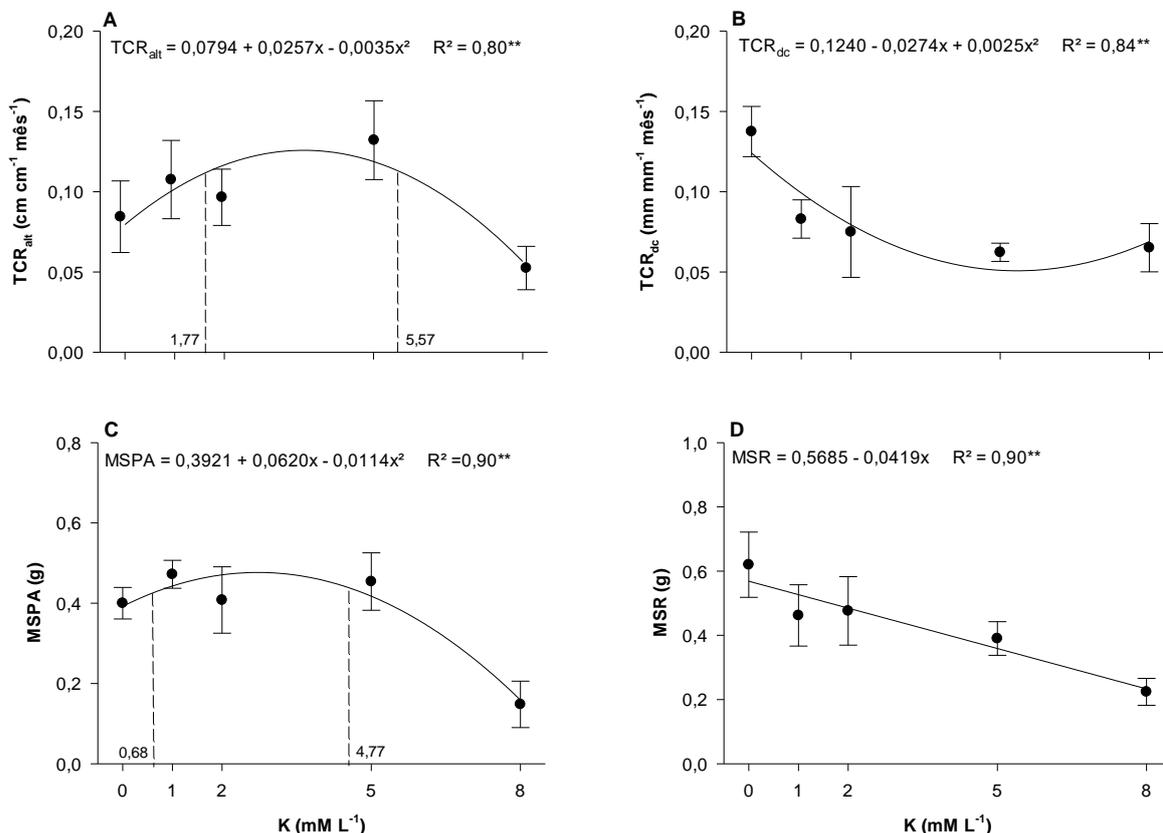


Figura 6. Taxa de crescimento relativo em altura (TCR_{alt}) (A), taxa de crescimento relativo do diâmetro do coleto (TCR_{dc}) (B), massa seca da parte aérea (MSPA) (C) e massa seca da raiz (MSR) (D) de plantas de *Cedrela fissilis* e nível crítico de deficiência e toxicidade, aos 120 DAS, em função de níveis de K. ****** $P < 0,05$.

Dessa forma, relacionando os níveis de K referentes ao maior valor de NCD e menor valor de NCT com os teores K na MSPA, observamos que a concentração ótima de K na MSPA referente a 90% da produção máxima é de 26,08 g de K Kg⁻¹ na MSPA e o teor de K em plantas de *C. fissilis* correspondente à dose acima da produção máxima suficiente para promover uma redução de 10% na produção é de 27,28 g de K Kg⁻¹ na MSPA (Figura 7), estando ambos valores acima da faixa considerada ideal para o bom crescimento e desenvolvimento da espécie (FREIBERGER et al., 2013).

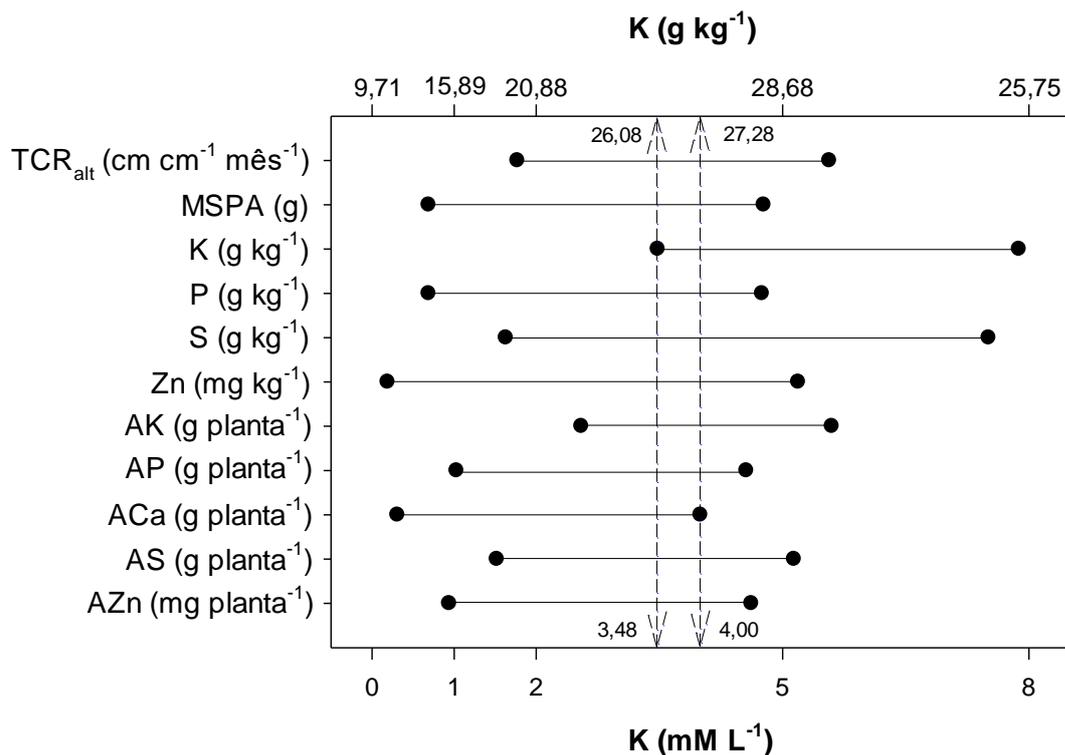


Figura 7. Níveis de potássio na solução nutritiva (mM L^{-1}) e teor de potássio na massa seca da parte aérea (g Kg^{-1}) referentes as zonas de nível crítico de deficiência e toxicidade em plantas de *Cedrela fissilis*, 120 DAS, em função de níveis de K. Linhas indicam o intervalo ótimo das concentrações de K para todos os parâmetros avaliados.

4. Discussão

O efeito positivo do K no crescimento e produção de biomassa na parte aérea de *C. fissilis* foi observado neste estudo (Figura 6 A, B, C), corroborando com o observado por Da Silva et al. (1997) em estudo realizado com o cedro e outras 13 espécies florestais com potencial madeireiro, avaliando o fornecimento de 84 mg K dm^{-3} e a omissão deste nutriente. Entretanto, apesar de *C. fissilis* apresentar eficiência de absorção e utilização em condições de baixo fornecimento de potássio (Figura 4), as maiores concentrações testadas, aumentaram o nível de estresse da planta (Figura 5). Dessa forma, podemos verificar que o fornecimento em excesso de K para a espécie acarreta prejuízos ao estado nutricional (Figura 1) e crescimento (Figura 6).

Devido a suas funções fisiológicas na planta, sabemos que níveis adequados de K favorecem a absorção e translocação de N-NO_3^- (FAGERIA, 2001). O crescimento vegetal, principalmente o da parte aérea é diretamente influenciado pela concentração de N na planta (McALLISTER; BEATTY; GOOD, 2012), que embora não tenha sido analisado neste trabalho, tem sua maior parte absorvida, cerca de 50 a 70 %, direcionada para órgãos da parte aérea

(KRAISER et al., 2011) e contribui em torno de 5 a 30% no peso seco das plantas, através de compostos que contém N (TRIPATHI; RAGHUBANSHI, 2014).

O aumento nos níveis de K proporcionaram a menor taxa de crescimento da raiz (Figura 6 B) e menor produção de massa seca da raiz (Figura 6 D), como observado na avaliação visual das plantas de *C. fissilis* ao fim do período experimental (Figura 2). O K, quando em altas concentrações influenciou negativamente a absorção de P (Figura 1 B), evidenciando o princípio de interação negativa entre esses nutrientes, como descrito por Robson e Pitman (1983).

Dessa forma, apesar de o K não exercer efeito direto sobre o crescimento radicular (OOSTERHUIS et al., 2014), influenciou negativamente a produção de massa seca e taxa de crescimento da raiz em plantas através do seu efeito sobre os teores de P absorvidos. Tendo em vista a importância do P em processos metabólicos e produtividade das plantas, devido sua participação na transferência de energia, síntese de ácidos nucléicos, glicose, respiração, síntese e estabilidade de membrana, ativação e desativação de enzimas, reações redox, metabolismo de carboidratos e fixação de N₂ que refletem na divisão e alongamento celular, incrementando o crescimento das raízes (NUSSAUME, 2011; VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003), a drástica redução do crescimento radicular das plantas de *C. fissilis*, a partir do fornecimento de 5 mM K L⁻¹, e MSR (Figura 2), pode estar relacionada aos baixos teores de P encontrados nas plantas sob essas condições. Comportamento similar foi observado em plantas de *Swietenia macrophylla* na omissão de P (WALLAU et al., 2008), onde plantas de mogno, aos 100 dias de cultivo com solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), com omissão de P, apresentaram redução no seu desenvolvimento radicular.

Tendo em vista o papel do K no processo de ajustamento osmótico da planta (WANG et al., 2015), plantas jovens de *C. fissilis* com o maior fornecimento de K na solução de cultivo apresentaram menor produção prolina quando comparadas a plantas sem o fornecimento de K (Figura 5). Observamos que apesar da maior eficiência de absorção e utilização de K pelas plantas de *C. fissilis* sem o fornecimento deste nutriente (Figura 4 A, B) encontram-se em situação de estresse, devido à baixa concentração de K absorvida (Figura 1 A). Estes resultados corroboram com o observado por Rao, Krishnasastry e Udayakuma (1981a), onde a alta produção de prolina vem para ajudar no processo de osmorregulação, restringindo a perda de

água da planta para a atmosfera, evitando maior desidratação dos tecidos foliares devido ao mal funcionamento estomatal causado pelos baixos teores de K no tecido foliar. A prolina se acumula em uma grande variedade de espécies de plantas, como citros, amendoim e tomate, em resposta ao estresse proporcionado à deficiência de nutrientes K (KAUR; ASTHIR, 2015), atuando como mecanismo de proteção ativado pelas plantas em resposta às condições adversas relacionados ao funcionamento irregular dos estômatos, devido sua sensibilidade a tais condições adversas (MAGDY; MANSOUR; ALI, 2017; SZABADOS; SAVOURÉ, 2010).

A concentração e conteúdo dos nutrientes analisados, influenciaram o crescimento e desenvolvimento de *C. fissilis* (Figura 2), indicando uma dependência destes nutrientes em função dos níveis de K na planta, como observado por Oosterhuis, Loka e Raper, (2013) e Robson e Pitman (1983) (Figura 1 e 2), e expondo o efeito positivo, até o nível tolerado, sobre a absorção de P, S e Zn e o impacto negativo do auto suprimento de K sobre a absorção, principalmente de Ca e Mg (FAGERIA, 2001). Dessa forma, apesar de plantas de *C. fissilis* sem o fornecimento de K na solução, apresentarem teor abaixo do tido como ideal para o desenvolvimento da espécie (Figura 1 A), segundo os níveis propostos por Freiburger et al. (2013) para o cedro aos sete meses de idade, a falta de sintomas característicos de K nas plantas pode estar relacionada a adaptabilidade da espécie a solos com baixa disponibilidade desse nutriente (CARRERO et al., 2014; DA SILVA et al., 1997). Não verificamos a manifestação de sintomas visuais da toxidez de K nas plantas, devido ao fato do excesso desse nutriente dificilmente manifestar sintoma visual típico. Esse desequilíbrio nutricional é expresso na redução da absorção de outros nutrientes, principalmente P, Ca e Mg (FAGERIA, 2001).

A menor absorção de Ca e Mg em condições de altos níveis de K na solução, de maneira geral, está relacionada à semelhança de suas propriedades químicas, à alta mobilidade de K para atravessar a membrana plasmática com maior velocidade, diminuindo a absorção de cátions mais lentos e, a competição pelo local de adsorção, absorção, transporte e função com o K (FAGERIA, 1983; WANG et al., 2013). Apesar das concentrações de Ca, Mg e S em função do K na solução de cultivo, estarem abaixo do aceito como ideal para o crescimento de espécies florestais (FREIBERGER et al., 2013), não foram observados sintomas de deficiência destes elementos durante todo o período de condução do experimento (Figura 2). A ausência de sintomas de deficiência e toxidez destes elementos, indicam que estes nutrientes não exercem

forte influência sobre o desenvolvimento inicial da *C. fissilis*, sendo demandas em baixas concentrações para o bom desenvolvimento da espécie aos 120 DAS. Entretanto *C. fissilis*, tende a demandar maiores concentrações de Ca, Mg e S com o avançar do seu desenvolvimento, como observado por Freiburger et al. (2013).

Em relação aos micronutrientes, existem registros da interação (cátion-cátion) de forma competitiva entre K e Mn (ROBSON; PITMAN, 1983). Observamos um comportamento proporcionalmente inverso dos teores desses elementos na MSPA com o aumento dos níveis de K na solução de cultivo (Figura 1 A, F). Entretanto, em todos os níveis de K testados, a concentração de Mn (mg Kg^{-1}) em plantas de *C. fissilis*, estiveram acima do considerado ótimo para o crescimento de essências florestais aos sete meses de cultivo (FREIBERGER et al., 2013).

Por outro lado, não existem relatos de interação entre K com cátions como Cu, Fe e Zn (FAGERIA, 2001), portanto, o comportamento desses nutrientes com o aumento dos níveis de K testados (Figura 1 G, H, I), pode estar relacionado ao desempenho do P em função dos tratamentos, uma vez que P pode potencializar a absorção de Zn (SILVA; TREVIZAM, 2015) e ter efeito depressivo sobre Cu e Fe (ROBSON; PITMAN, 1983).

Apesar da adaptação do *C. fissilis* às condições naturais de déficit nutricional predominantes na maioria dos solos da Amazônia (CARRERO et al., 2014; MOREIRA; FAGERIA, 2009), observamos que disponibilidade de K afeta a demanda nutricional (Figura 2, 3, 4), parâmetros bioquímicos (Figura 5) e o desenvolvimento (Figura 6) de plantas jovens de *C. fissilis*. Os resultados obtidos, aos 120 após a germinação, têm importantes implicações para o manejo adequado da adubação potássica, uso consciente de fertilizantes e aumento da produtividade das espécies florestais. O estabelecimento de um intervalo ótimo para o fornecimento de K na fase inicial de plantas jovens de *C. fissilis*, além de garantir a otimização no uso de recursos limitantes, relacionados a fertilização da espécie e potencializar seu crescimento e desenvolvimento, contribui para o cultivo inicial da espécie.

5. Conclusões

A adubação potássica influencia positivamente o desenvolvimento de plantas jovens de *Cedrela fissilis*. Nas condições experimentais em que este estudo foi realizado, o nível crítico de deficiência na massa seca da parte aérea em plantas jovens de *C. fissilis* foi de $26,08 \text{ g K kg}^{-1}$

enquanto o nível crítico de toxicidade foi estimado em 27,28 g K kg⁻¹, observamos que essas concentrações internas de K são obtida quando o nível de K na solução nutritiva é de 3,48 e 4,00 mM K L⁻¹, respectivamente.

6. Referências bibliográficas

AHMAD, I.; MAATHUIS, F. J. M. Cellular and tissue distribution of potassium: physiological relevance, mechanisms and regulation. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 708–14, 2014.

ALVAREZ VENEGAS, V. H. et al. Interpretation of soil analysis results. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Eds.). **Recommendations For Use of Amendments and Fertilizers in Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa, Brasil: Soil Fertility Commission for the State of Minas Gerais, 1999. p. 25–32.

ARAÚJO, A. C. et al. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. 20, p. 1–20, 2002.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n. 7–8, p. 921–950, 2001.

BARRERA-AGUILAR, E. et al. Potassium nutrition in Liliun: Critical concentrations, photosynthesis, water potential, leaf anatomy, and nutrient status. **HortScience**, v. 48, n. 12, p. 1537–1542, 2013.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and soil**, v. 39, n. 1, p. 205–207, 1973.

BATISTA, I. M. P. **Recomendação de calagem para alguns solos do Estado do Amazonas**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2014.

BATTIE-LACLAU, P. et al. Potassium fertilization increases water-use efficiency for stem biomass production without affecting intrinsic water-use efficiency in Eucalyptus grandis plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 364, p. 77–89, 2016.

BUGBEE, B. G. Growth, analysis and yield components. In: **Units, Symbols, and Terminology for plant physiology**. New York: Oxford University Press, 1996. p. 115–119.

CARRERO, G. C. et al. **Árvores do sul do Amazonas: Guia de espécies de interesse econômico e cológico**. 1. ed. Manaus: IDESAM, 2014.

CUSATIS, A. C. **Melhoramento genético e silvicultural de *Cedrela fissilis* Vell.** [s.l.] Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2014.

DA SILVA, I. R. et al. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 205–212, 1997.

DAVANSO, V. M. et al. Photosynthesis, growth and development of *Tabebuia avellanedae* Lor. ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, n. 3, p. 375–384, 2002.

DAVIS, R. D.; BECKETT, P. H. T.; WOLLAN, E. Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley. **Plant and Soil**, v. 49, n. 2, p. 395–408, 1978.

FAGERIA, N. K. Ionic interactions in rice plants from dilute solutions. **Plant and Soil**, v. 70, n. 3, p. 309–316, 1983.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p. 1269–1290, 2001.

FAO. **World fertilizer trends and outlook to 2019**. Disponível em: <www.fao.org/publications>. Acesso em: 2 dez. 2019.

FERREIRA, M. J. et al. Clonal variation in photosynthesis, foliar nutrient concentrations, and photosynthetic nutrient use efficiency in a Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) plantation. **Forest Science**, v. 62, n. 3, p. 323–332, 2016.

FREIBERGER, M. B. et al. Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 385–392, 2013.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. 2. ed. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950.

KAUR, G.; ASTHIR, B. Proline : a key player in plant abiotic stress tolerance. **Biologia Plantarum**, v. 59, n. 4, p. 609–619, 2015.

KRAISER, T. et al. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 4, p. 1455–1466, 2011.

LEITE, M. DE L.; VIRGENS FILHO, J. S.; RODRIGUES, J. D. Variação dos níveis de prolina em folhas de Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidos a diferentes déficits hídricos. **Biotemas**, v. 13, n. 1, p. 21–33, 2000.

LEVENE, H. Contributions to probability and statistics. **Essays in honor of Harold Hotelling**, p. 278–292, 1960.

LI, H. Y.; SI, D. X. Effect of potassium on uptake and translocation of sodium and potassium in Chinese cabbage under NaCl stress. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 3, p. 250–260, 2019.

MAGDY, M.; MANSOUR, F.; ALI, E. F. Evaluation of proline functions in saline conditions. **Phytochemistry**, v. 140, p. 52–68, 2017.

MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O. **O potássio e a planta**. 4. ed. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1982.

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

MARSCHNER, H. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

McALLISTER, C. H.; BEATTY, P. H.; GOOD, A. G. Engineering nitrogen use efficient crop plants: the current status. **Plant Biotechnology Journal**, v. 10, n. 9, p. 1011–1025, 2012.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Soil chemical attributes of Amazonas State, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, n. 17–18, p. 2912–2925, 2009.

NUSSAUME, L. Phosphate import in plants: focus on the PHT1 transporters. **Frontiers in Plant Science**, v. 2, n. November, p. 1–12, 2011.

OOSTERHUIS, D. M. et al. The physiology of potassium in crop production. In: NORMAN, A. G. (Ed.). . **Advances in Agronomy**. 12. ed. Massachusetts: Academic Press, 2014. v. 126p. 203–233.

OOSTERHUIS, D. M.; LOKA, D. A.; RAPER, T. B. Potassium and stress alleviation: Physiological functions and management of cotton. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 3, p. 331–343, 2013.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 4, n. 2, p. 439–473, 2007.

PLATH, M. et al. Establishment of native tropical timber trees in monoculture and mixed-species plantations: Small-scale effects on tree performance and insect herbivory. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 3, p. 741–750, 2011.

QUESADA, C. A. et al. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. **Biogeosciences**, v. 8, n. 6, p. 1415–1440, 2011.

RAO, R. C. N.; KRISHNASASTRY, K. S.; UDAYAKUMA, M. Role of potassium in proline metabolism. II. Activity of arginase in K-deficient and K-sufficient plants. **Plant Science Letters**, v. 23, p. 335–340, 1981a.

RAO, R. C. N.; KRISHNASASTRY, K. S.; UDAYAKUMA, M. Role of potassium in proline metabolism. I. Conversion of precursors into proline under stress conditions in K-sufficient and K-deficient plants. **Plant Science Letters**, v. 23, p. 327–334, 1981b.

REICH, M. The significance of nutrient interactions for crop yield and nutrient use efficiency. In: HOSSAIN, M. A. et al. (Eds.). . **Plant macronutrient use efficiency: molecular and genomic perspectives in crop plants**. 1. ed. London: Academic Press, 2017. p. 65–82.

ROBSON, A. D.; PITMAN, M. G. Interactions Between Nutrients in Higher Plants. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Eds.). **Inorganic Plant Nutrition**. 1. ed. Heidelberg: Springer Berlin, 1983. p. 147–180.

SANCHES, M. C. et al. Morpho-physiological responses in *Cedrela fissilis* Vell. submitted

to changes in natural light conditions: implications for biomass accumulation. **Trees**, v. 31, n. 1, p. 215–227, 2017.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965.

SHEVYAKOVA, N. I. Metabolism and the physiological role of proline in plants under conditions of water and salt stress. **Soviet Plant Physiolog**, v. 30, p. 597–608, 1984.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index : A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 289–302, 1981.

SILVA, M. L. DE S.; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações Agronômicas**, n. 149, p. 10–16, 2015.

STRASSER, R. J. et al. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, n. 6–7, p. 1313–1326, 2010.

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 2, p. 89–97, 2010.

TRIPATHI, S. N.; RAGHUBANSHI, A. S. Seedling growth of five tropical dry forest tree species in relation to light and nitrogen gradients. **Journal of Plant Ecology**, v. 7, n. 3, p. 250–263, 2014.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, n. 3, p. 423–447, 2003.

VERÍSSIMO, A. et al. Extraction of a high-value natural resource in Amazonia: the case of mahogany. **Forest Ecology and Management**, v. 72, n. 1, p. 39–60, 1995.

WALLAU, R. L. R. et al. Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno

cultivadas em solução nutritiva. **Cerne**, v. 14, n. 4, p. 304–310, 2008.

WANG, M. et al. The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, n. 4, p. 7370–7390, 2013.

WANG, X. G. et al. Effects of potassium deficiency on photosynthesis and photoprotection mechanisms in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 5, p. 856–863, 2015.

ZEUGIN, F. et al. Is tree diversity an important driver for phosphorus and nitrogen acquisition of a young tropical plantation? **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 9, p. 1424–1433, 2010.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture - Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656–669, 2014.

EFEITO DO CLORETO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE *Cedrela fissilis*

SANTOS, Nonato Junior Ribeiro. Efeito do cloreto no desenvolvimento inicial de *Cedrela fissilis*. Em: **Resposta de *Cedrela fissilis* Vell. à potássio e cloreto**. 2020. cap. 2, 26 p. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM.

Resumo

O cloro (Cl) é um micronutriente fundamental para o desenvolvimento das plantas, entretanto são poucos os estudos relacionados à tolerância e/ou sensibilidade das espécies florestais a este elemento. Este estudo objetivou investigar o efeito do cloro no desenvolvimento de plantas jovens de cedro. Testamos o efeito de quatro níveis de Cl (0; 75; 750 e 7500 $\mu\text{M L}^{-1}$) em plantas de cedro cultivadas durante 30 dias em solução nutritiva, dispostas em um delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. O aumento das concentrações de Cl não afetou significativamente os parâmetros fisiológicos, bioquímicos, teor, acúmulo e eficiência de utilização deste nutriente na massa seca da parte aérea da espécie. Entretanto os níveis de Cl tiveram efeito positivo no crescimento e produção de biomassa das plantas de cedro. Apesar de níveis crescentes de cloro não influenciarem significativamente o desenvolvimento inicial de *C. fissilis*, recomendamos o fornecimento de Cl para o melhor crescimento da espécie e a repetição do estudo para melhor compreender o efeito do cloro sobre a fase inicial de crescimento do cedro.

Palavras chave: Cedro, tolerância, sensibilidade, silvicultura, nutrição florestal.

SANTOS, Nonato Junior Ribeiro. Effect of chloride on the early development of *Cedrela fissilis*. In: ***Cedrela fissilis* Vell's response to potassium and chloride**. 2020. cap. 2, 26 p. Thesis (Doctorate in Tropical Agronomy) - Federal University of Amazonas, Manaus, AM.

Abstract

Chloride (Cl) is a fundamental micronutrient for the development of plants, however there are few studies related to the tolerance and / or sensitivity of forest species to this element. This study aimed to investigate the effect of chloride on the development of young cedar plants. We tested the effect of four levels of Cl (0; 75; 750 and 7500 $\mu\text{M L}^{-1}$) on cedar plants grown for 30 days, in nutrient solution, arranged in a completely randomized design, with five replications. The increase in Cl concentrations did not significantly affect the physiological, biochemical parameters, content, accumulation and efficiency of use of this nutrient in the dry mass of the aerial part of the species. However, Cl levels had a positive effect on the growth and biomass production of cedar plants. Although increasing levels of chloride do not significantly influence the initial development of *C. fissilis*, we recommend providing Cl for the best growth of the species and repeating the study to better understand the effect of chloride on the early growth stage of cedar.

Keywords: Cedar, tolerance, sensitivity, forestry, forest nutrition.

1. Introdução

Em regiões tropicais e subtropicais, especialmente aquelas com alta precipitação hídrica, os níveis de cloro (Cl) no solo são muito baixos, variando entre 2 - 6 mg dm⁻¹ (GEILFUS, 2019), o que poderia acarretar deficiência deste nutriente para as plantas (CHEN et al., 2010). Apesar disso, tem sido mais comum relatos de sua toxidez em relação à deficiência (KIRKBY; RÖMHELD, 2007), sugerindo que espécies que evoluíram nesses habitats possam ser pouco tolerantes ao cloro e devem apresentar uma alta sensibilidade a doses elevadas deste elemento (CHEN et al., 2010).

Espécies sensíveis ao alto fornecimento de Cl, tem seus processos fisiológicos, crescimento e desenvolvimento reduzidos quando a concentração de Cl excede 16 mM L⁻¹ (WHITE; BROADLEY, 2001). Entretanto, plantas tolerantes suportam até 200 mmol L⁻¹ de Cl sem ter seu crescimento substancialmente afetado (WHITE; BROADLEY, 2001). Para seu crescimento ideal de plantas sensíveis ao Cl exigem \approx 4,0 - 7,0 g Kg⁻¹ de matéria seca, por sua vez plantas tolerantes requerem para seu crescimento ideal \approx 7,0 - 15,0 g Kg⁻¹ de matéria seca (CHEN et al., 2010). Contudo, na maioria das culturas, como citros, tomate e batata são encontrados teores médios de Cl na matéria seca na faixa de 2,0 - 20,0 g Kg⁻¹ (CHEN et al., 2010).

Em regiões tropicais com alta precipitação e distantes da costa marítima, a deposição de Cl nos solos ocorre principalmente devido ao uso de adubos à base de cloro (GEILFUS, 2019). Dentre as fontes cloretadas, o cloreto de potássio (KCl), destaca-se como a fonte mais utilizada no Brasil (95%) e no mundo para o fornecimento de potássio (FAO, 2019), devido sua alta concentração de K₂O (58 %), baixo custo e alta disponibilidade no mercado (QUAGGIO; MATTOS JUNIOR; BOARETTO, 2011). Em contrapartida, o KCl possui em sua composição 47 % de cloro (Cl), onde o uso de doses rotineiramente recomendadas para culturas agrônômicas, como o citros (ex. 160 kg ha⁻¹ de K₂O) na fonte KCl equivalem ao fornecimento de 132,41 kg ha⁻¹ de Cl para as plantas (QUAGGIO; MATTOS JUNIOR; BOARETTO, 2011), quase duas vezes mais altos do que os 68 kg Cl ha⁻¹ tidos como limite máximo no solo para a absorção das plantas, sem ocasionar decréscimos na produção (RUIZ DIAZ et al., 2012). Portanto, são comuns relatos ligados a toxidez de Cl nas plantas (KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

O Cl é um micronutriente essencial para o desenvolvimento da planta, estando envolvido na osmorregulação, quebra de água para captura de CO₂ no fotossistema II (PSII) e no crescimento e desenvolvimento vegetal (CHEN et al., 2010). Entre os prejuízos no rendimento das plantas pela deficiência de Cl no substrato, os principais estão associados à diminuição da regulação osmótica e atividade do PSII (WEGE; GILLIHAM; HENDERSON, 2017). Diferentes genótipos de girassol, cultivados em casa de vegetação, com adubação básica igual a 1/2 da força iônica da solução completa de Hoagland e Arnon (1950), com o fornecimento de 0 e 100 mM NaCl L⁻¹, apresentaram redução da atividade do PSII, em função do maior nível de NaCl testado (BAKER et al., 2011). Processo resultante do mal funcionamento dos estômatos, baixa fotooxidação da água e, conseqüentemente, menor produção de oxigênio nos cloroplastos, refletida na redução da fotossintética líquida e desenvolvimento da planta (GEILFUS, 2018).

O excesso de Cl nas plantas é caracterizado, principalmente, pelo desequilíbrio osmótico e iônico, afetando essencialmente a absorção e redistribuição de nitrogênio (N) na forma de nitrato (N-NO₃⁻) (ZÖRB; GEILFUS; DIETZ, 2019). Plantas de *Salvinia auriculata* cultivadas em níveis crescentes de NaCl, apresentaram diminuição da absorção de macro e micronutrientes, produção de matéria seca e a maior produção de prolina (GOMES et al., 2017). A prolina normalmente é produzida em resposta ao estresse da planta, como o gerado pela falta de ajuste osmótico e deficiência nutricional (LEITE; VIRGENS FILHO; RODRIGUES, 2000), portanto, plantas sensíveis ao Cl tendem a aumentar a produção desse aminoácido (MAGDY; MANSOUR; ALI, 2017).

Em relação à sensibilidade e/ou tolerância das plantas ao Cl, ainda são poucos os estudos com espécies florestais, especialmente às nativas da Amazônia. Dentre essas, destaca-se o cedro (*Cedrela fissilis*), uma espécie da família Meliaceae, de secundária a clímax (RENÓ et al., 1997), ocorrendo naturalmente nas Américas Central e Sul. Na Floresta Amazônica é encontrada em ambientes de terra firme e solos profundos (CARRERO et al., 2014).

Nesta região predominam Latossolos e Argissolos (QUESADA et al., 2011) fortemente ácidos (pH \cong 4,4) (BATISTA, 2014), com alta saturação por alumínio (m = 84,3 %), baixos teores de fósforo (P) (\approx \leq 5,1 mg dm⁻³), K (\approx 0,09 cmolc dm⁻³), baixa saturação por bases (\approx 12,72 %), baixa concentração de Cl (\approx 0,2 mg dm⁻³) (RAJI; JIMBA, 1999) e teor de matéria orgânica

variando de 2 a 3,1 g kg⁻¹ (MOREIRA; FAGERIA, 2009). O clima da região é tropical, classificado como Aw (PEEL; FINLAYSON; McMAHON, 2007), com temperatura média do ar entre 24,6°C e 26,9°C, umidade relativa diária oscilando entre 75% durante os dias relativamente secos, até 92% na estação chuvosa e com precipitação média anual de 2.362 mm (ARAÚJO et al., 2002).

A madeira serrada de *C. fissilis* é de grande importância econômica e ambiental para o Brasil, devido sua relevância no mercado madeireiro nacional e internacional de alta qualidade (SANCHES et al., 2017), tendo elevada demanda e valor comercial (RUSSELL et al., 1993), pela trabalhabilidade e resistência natural de sua madeira de (CUSATIS, 2014). Entretanto, a alta demanda por seus produtos madeireiros vem provocando a redução de sua população em florestas nativas nos últimos anos (VERÍSSIMO et al., 1995; ZEUGIN et al., 2010), devido à forte pressão sobre essas comunidades naturais nos trópicos (PLATH et al., 2011).

Diante das baixas concentrações naturais de Cl em regiões tropicais e do alto fornecimento deste elemento através do uso de adubos cloretados, bem como da falta de conhecimento sobre a sensibilidade e/ou tolerância de espécies florestais madeireiras ao Cl, este estudo objetivou investigar o efeito de níveis de cloro no desenvolvimento de plantas jovens de *C. fissilis*.

2. Materiais e métodos

2.1 Local e condições de crescimento das plantas

O estudo foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM. O cultivo foi feito em casa de vegetação com luz natural e condições ambientais semi-controladas, temperatura média de 34,29°C, umidade relativa do ar de 63%, fotoperíodo de 12:00 h/12:00 h (dia/noite) e 612,3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de densidade de fluxo de fóton fotossintético.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado em um delineamento inteiramente casualizado, expondo plantas jovens de *C. fissilis* a quatro concentrações de Cl (0; 75; 750 e 7500 $\mu\text{M L}^{-1}$), com cinco repetições e uma planta por unidade experimental. Os níveis de K estão fundamentados nos

resultados de pesquisa de Kafkafi; Tarchitzky (2011), Paiva Neto; Queiroz (1946) e White e Broadley (2001).

2.3 Procedimentos específicos

Preparo do substrato e recipientes de cultivo: utilizou-se como substrato areia de rio com partículas entre 0,5 e 2,0 mm de diâmetro, padronizadas através de peneiras. O substrato passou por sucessivas lavagens em água corrente até que a água drenada através desta, ficasse incolor. Em seguida, o substrato ficou submerso em uma solução de HCl 0,5 mol L⁻¹ por 24 horas, posteriormente, passou por sucessivas lavagens em água de torneira e finalmente foi lavada em água deionizada até a água drenada apresentar condutividade elétrica (C.E.) ≤ 3 μS. O substrato lavado foi seco em condições naturais e acondicionada em vasos plásticos de polietileno, com poro de drenagem controlado e capacidade volumétrica de 3,5 dm³, pintados externamente com tinta de alta temperatura para reduzir a absorção de luz e evitar o aquecimento do substrato e solução nutritiva.

Obtenção de mudas: sementes de *C. fissilis* oriundas de 10 matrizes, foram beneficiadas e desinfestadas externamente com hipoclorito de sódio a 1%, posteriormente lavadas com água corrente e água deionizada. As sementes tratadas foram semeadas em bandejas plásticas com dimensões de 60 x 40 x 10 cm (comprimento, largura e altura, respectivamente), utilizando-se como substrato areia de rio lavada (conforme descrito anteriormente), previamente desinfestado com hipoclorito de sódio a 0,3%. O substrato de germinação foi inicialmente saturado com uma solução de CaCl₂ 0,1 mM L⁻¹, posteriormente foi irrigado diariamente, durante 30 dias após a semeadura (DAS), fornecendo ≈ 200 ml de água deionizada.

Preparo das soluções: tanto as soluções nutritivas de pré-cultivo quanto aquelas de cultivo e tratamentos, foram feitas a partir de soluções-estoque preparadas com reagentes puros para análise (p.a.). Procurando evitar a formação de precipitados, foram preparadas uma solução para cada fonte de macronutrientes (K₂HPO₄; NH₄NO₃; K₂SO₄; Ca(NO₃)₂.4H₂O; Mg(NO₃)₂.6H₂O e (NH₄)₂SO₄), uma solução contendo apenas Fe-EDTA e uma solução composta pelos demais micronutrientes (MnSO₄.H₂O; ZnSO₄.7H₂O; CuSO₄.5H₂O; H₃BO₃ e

(NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O). As soluções-estoque de macronutrientes estavam todas na concentração de 0,5 M L⁻¹, enquanto os micronutrientes estavam na concentração de mM L⁻¹, sendo 1000 vezes mais concentrada do que o recomendado na solução padrão de Hoagland e Arnon (1950).

Fornecimento e troca de soluções de nutrientes: os nutrientes foram fornecidos a cada três dias, nos demais dias as plantas receberam água deionizada com pH ajustado a 5,8, ambos através do suprimento de 50 ml planta⁻¹. A saturação do substrato no recipiente foi mantida em torno de 65% da capacidade da sua saturação total (≈ 580 ml de solução), visando evitar estresse por anoxia. A renovação da solução nutritiva, para a dessalinização do substrato, foi realizada a cada sete dias, iniciando com o monitoramento da C.E. da solução nutritiva, limpeza do substrato através do fornecimento de água deionizada, até que a água drenada dos recipientes apresentasse C.E. ≤ 3 μS, seguido da renovação da solução de cultivo e reaplicação dos tratamentos.

Pré-cultivo: plântulas com 30 DAS vigorosas e uniformes, foram transplantadas para os recipientes de cultivo e pré-cultivadas por 60 dias, recebendo uma adubação básica na forma de solução nutritiva, equivalente a 1/10 e 1/4 da solução padrão de Hoagland e Arnon (1950), nos primeiros 30 dias e nos últimos 30 dias de pré-cultivo, respectivamente. Nessa fase o Cl foi mantido na concentração de 2,5 mM L⁻¹ e o pH da solução da solução foi mantido em 5,8, utilizando NaOH ou HCl à 0,2 e 0,5 M L⁻¹, respectivamente.

Cultivo: após a fase de pré-cultivo as plantas foram cultivadas durante 30 dias recebendo os tratamentos (0; 75; 750 e 7500 μM L⁻¹), utilizando como fonte de Cl o cloreto de cálcio (CaCl₂), juntamente com uma adubação básica, na forma de solução nutritiva com força iônica equivalente a 1/4 da solução padrão de Hoagland e Arnon (1950), com composição química correspondente a: 2,23 mM L⁻¹ de N-NO₃⁻; 1,51 mM L⁻¹ de N-NH₄⁺; 0,25 mM L⁻¹ de P; 1,5 mmol L⁻¹ de K; 1,25 mM L⁻¹ de Ca; 0,5 mM L⁻¹ de Mg; 0,5 mM L⁻¹ S; 2,27 μM L⁻¹ de Mn; 0,2 μM L⁻¹ de Zn; 0,075 μM L⁻¹ de Cu; 11,65 μM L⁻¹ de B; 0,025 μM L⁻¹ de Mo; 8,0 μM L⁻¹ de Fe o pH da solução da solução foi mantido em 5,8, utilizando NaOH ou HCl à 0,2 e 0,5 M L⁻¹, respectivamente.

2.4 Avaliação do experimento

Foi realizada por meio de medições do comprimento de raízes (CR) aos 30 e 120 DAS, altura da parte aérea (ALT) e diâmetro do coleto (DC) aos 90 e 120 DAS para se obter as taxas de crescimento, parâmetros fisiológicos e bioquímicos, estado nutricional e demais variáveis de crescimento e desenvolvimento aos 120 DAS.

Fluorescência da clorofila a: eficiência quântica máxima do fotossistema II (PSII) (F_v/F_m), índice de desempenho na base ABS (PI_{ABS}) e o índice de desempenho total (PI_{total}), foram determinados por meio de um fluorômetro portátil (PEA, MK2 - 9600 - Hansatech, Norfolk, UK). As mesmas folhas selecionadas para análise de trocas gasosas foram submetidas a um período de adaptação ao escuro durante 30 minutos, utilizando cliques apropriados. Em seguida, foram expostas a um pulso de luz saturante de alta intensidade luminosa ($3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e comprimento de onda de 650 nm s^{-1}). As respostas relacionadas à fluorescência da clorofila *a* foram obtidas a partir do software Handy PEA - v 1,30, de acordo com equações do teste JIP (STRASSER et al., 2010).

Índice relativo de clorofila (Índice SPAD): foi mensurado em três folíolos completamente expandidas ao longo da copa, utilizando um medidor manual de clorofila (SPAD-502). As leituras do SPAD foram realizadas no ponto médio de cada folíolo, no espaço entre as nervuras, entre 09h às 11h, em duas repetições. O valor do índice SPAD corresponde à média de seis leituras do SPAD-502 obtidas de cada unidade experimental (FREIBERGER et al., 2013).

Taxa de crescimento relativo: a altura da parte aérea (ALT), foi obtida desde a base do coleto até a gema apical da planta, com o auxílio de uma régua graduada em cm, e o diâmetro do coleto (DC) foi medido com um paquímetro digital (King Tools 0 - 200 mm), a 0,5 cm da superfície da areia. Após a retirada das plantas do substrato, foi mensurado o comprimento da raiz (CR), com o auxílio de uma régua graduada em cm. De posse dos dados de ALT, DC e CR, as taxas de crescimento relativo (TCR), para cada unidade experimental, foram obtidas através da equação: $TCR_Y = (\text{Log}Y_{final}) - (\text{Log}Y_{inicial}) / \text{Tempo}_{final} - \text{Tempo}_{inicial}$ (BUGBEE, 1996; DAVANSO et al., 2002), onde, TCR_Y = taxa de crescimento relativo da variável dependente; Y_{final} = valor final da variável dependente; $Y_{inicial}$ = valor inicial da variável dependente; Tempo_{final} = tempo final da

condução do experimento (meses); $\text{Tempo}_{\text{inicial}}$ = tempo inicial da condução do experimento (meses).

Produção de massa seca: após a retirada das plantas jovens do substrato, estas foram compartimentalizadas em parte aérea (folha + caule + pecíolos) e raízes. Em seguida foram lavadas em água deionizada e secas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 70°C até atingirem massa constante. Após a secagem, foi determinada a massa seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e total MST (MST = MSPA + MSR), utilizando-se balança com precisão de 0,001 g.

Teor de prolina: foi determinado na massa seca das raízes (MSR), conforme Bates, Waldren e Teare (1973), com adaptação de Leite, Virgens Filho e Rodrigues (2000). As amostras foram maceradas com o uso de pistilo num almofariz e homogeneizadas com 10 ml de ácido sulfossalicílico 3% (p/v). Em seguida, a mistura foi transferida para tubos de microcentrífuga (15 mL) e centrifugada a 6000 rpm por 30 min. Foram coletados 2 mL do sobrenadante e transferidos para tubos de microcentrífuga de 15 mL; onde foram acrescentados 2 mL de solução ácida de ninhidrina (1,25 g de ninhidrina e 2 mL de ácido acético glacial concentrado). Em seguida, os tubos, hermeticamente fechados, foram levados ao banho-maria a 100°C durante 1 hora. Após esse período, os tubos foram colocados em recipientes contendo gelo para finalizar a reação. Após a reação ser interrompida, cada tubo recebeu 4 mL de tolueno e em seguida foram agitados (15 a 20 segundos). Os tubos foram deixados em repouso até a mistura formar duas fases, e posteriormente, o sobrenadante foi pipetado em três eppendorf. A leitura destas amostras foi feita em espectrofotômetro a 520 nm, utilizando-se o tolueno como branco. A concentração de prolina foi estimada com o auxílio de reta padrão previamente estabelecida, sendo os resultados obtidos expressos em micromol de prolina por grama de matéria seca ($\mu\text{M g}^{-1} \text{MSPA}^{-1}$).

Sintomatologia, teor e acúmulo de macro e micronutrientes: ao final do experimento, os sintomas do estado nutricional na parte aérea e raízes das plantas foram fotografadas (Nikon - D750), a MSPA foi moída em moinho tipo Willey para ser analisada quimicamente quanto a concentração de cloro (Cl) conforme (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn),

zinco (Zn), boro (B) e cobre (Cu) não foram determinados por falta de material vegetal. O acúmulo de Cl (ACI) na parte aérea das plantas, foi calculado da seguinte maneira: $ACI (mg \text{ planta}^{-1}) = \text{concentração de nutrientes} (mg \text{ kg}^{-1}) \times \text{MSPA} (g)$.

Eficiência de utilização de Cl: a eficiência de utilização de Cl (EUCl) foi obtida de acordo com a expressão: $EUCl = (\text{MSPA})^2 / ACI$ (SIDDIQI; GLASS, 1981), onde: MSPA = é o valor da MSPA da unidade experimental; ACI = é o acúmulo de Cl na MSPA da unidade experimental.

2.5 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram previamente submetidos aos testes de normalidade (SHAPIRO; WILK, 1965) e homogeneidade de variâncias (LEVENE, 1960). As variáveis que não atenderam estes pressupostos (ACI, EUCl, F_v/F_m , PI_{ABS} , PI_{total} , índice SPAD, prolina, TCR_{alt} , TCR_{dc} , TCR_{cr} e MST), foram transformadas na função logarítmica e, posteriormente, submetidos novamente aos testes de normalidade de homocedasticidade. Persistindo a anormalidade e heterogeneidade, os dados foram submetidos a análise de variância não paramétrica (KRUSKAL; WALLIS, 1952), teste da soma de postos (MANN; WHITNEY, 1947) e regressão quantílica (KOENKER; BASSETT, 1978), método de regressão baseado no método dos erros absolutos ponderados, fornecendo uma análise estatística de variáveis não paramétricas (KOENKER; BASSETT, 1978, 1982).

3. Resultados

3.1 Teor, acúmulo e eficiência de uso de cloro

Como não há referência para as concentrações de Cl na massa seca da parte aérea das plantas de *C. fissilis*, foram utilizados para comparação os níveis de Cl no tecido foliar, de plantas sensíveis a este nutriente, encontrados em estudos feitos por Xu et al. (1999). As concentrações de 0; 75; 750 e 7500 $\mu\text{M Cl L}^{-1}$ proporcionaram teores de 5,03; 3,99; 3,83 e 3,62 mg Cl Kg^{-1} , respectivamente. De modo geral, a concentração foliar de Cl em plantas com o fornecimento de 75; 750 e 7500 $\mu\text{M Cl L}^{-1}$, permaneceram abaixo da faixa considerada adequada para o melhor crescimento de plantas como citros e tomate (XU et al., 1999), exceto o teor foliar em plantas sem o fornecimento de Cl (0 $\mu\text{M Cl L}^{-1}$) que esteve dentro da faixa considerada apropriada para o crescimento das plantas, segundo Xu et al. (1999).

Os níveis de Cl na solução de cultivo não influenciaram significativamente ($P < 0,05$) acúmulo de Cl na MSPA e eficiência de utilização de Cl em plantas jovens de *C. fissilis* (Figura 8 A e B). No entanto, observamos uma tendência de comportamento, com redução linear do ACI na MSPA e UECl, com o aumento dos níveis de Cl na solução nutritiva.

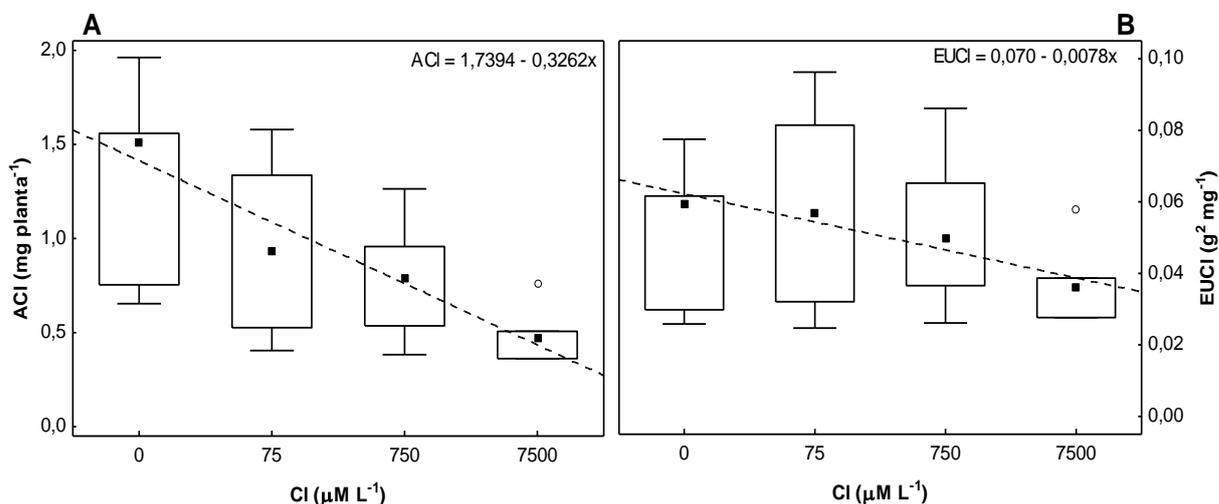


Figura 8. Conteúdo de cloro na parte aérea (ACI) (A) e eficiência de utilização de cloro (EUCl) (B) em mudas de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de Cl. Caixas mostram os quartis de 25 e 75 %, barras mostram os quartis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers.

Em relação ao acúmulo de Cl na parte aérea e EUCl em plantas de *C. fissilis* (Figura 8 A, B), os maiores valores e variabilidade dos dados foram observados em plantas com as menores concentrações de Cl testadas (0 e 75 $\mu\text{M Cl L}^{-1}$), tendo a maior concentração dos dados em torno de 1,50 e 0,93 mg Cl planta^{-1} para ACI e, 0,059 e 0,056 $\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$ para EUCl em plantas com o fornecimento de 0 e 75 $\mu\text{M Cl L}^{-1}$ na solução nutritiva, respectivamente. Observamos que 50% dos valores obtidos em relação ao ACI variaram entre 0,75 - 1,55 mg Cl planta^{-1} em plantas sem o fornecimento de Cl, e entre 0,52 - 1,33 $\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$ em plantas com o fornecimento de 75 $\mu\text{M Cl L}^{-1}$ e em relação a EUCl esses valores foram na ordem de 0,029 - 0,061 $\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$ em plantas com 0 $\mu\text{M Cl L}^{-1}$ e 0,032 - 0,081 $\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$ em plantas supridas com 75 $\mu\text{M Cl L}^{-1}$. Por outro lado, o menor acúmulo de Cl na MSPA foi observado em plantas do tratamento com 7500 $\mu\text{M Cl L}^{-1}$, apresentando uma mediana de 0,47 mg Cl planta^{-1} para ACI e 0,035 $\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$ para EUCl, com distribuição dos dados entre os valores de 0,36 e 0,50 mg Cl planta^{-1} e, 0,027 e 0,038 $\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$ para ACI e EUCl, respectivamente (Figura 8 A e B).

3.2 Parâmetros fisiológicos e bioquímico

Os valores de F_v/F_m , PI_{ABS} , PI_{total} , índice SPAD e prolina não foram influenciados significativamente pelos níveis de Cl testados ($P < 0,05$). Entretanto, mostraram uma tendência de diminuição linear com o aumento do Cl na solução de cultivo (Figura 9).

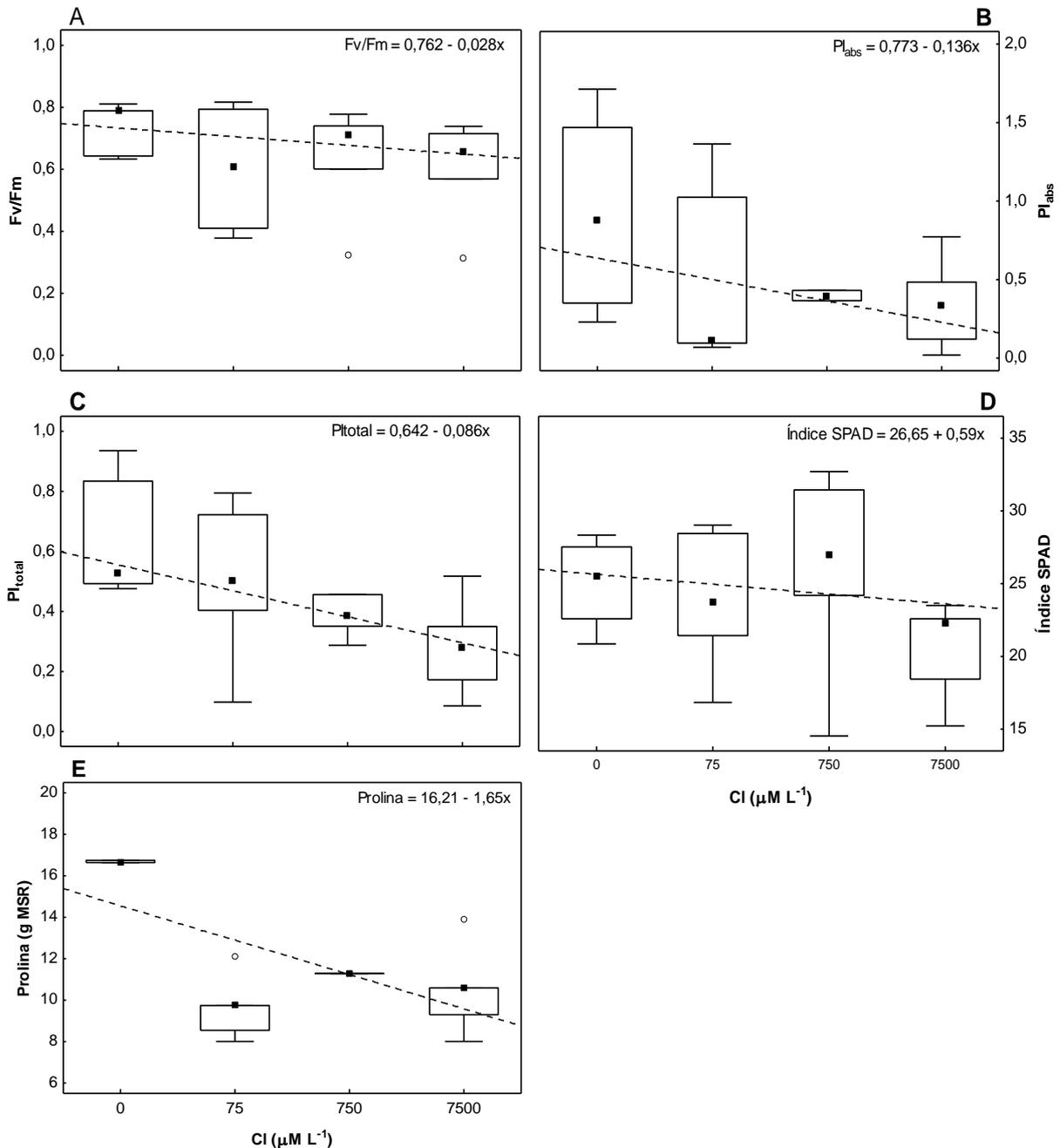


Figura 9. Eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m) (A), índice de desempenho na base ABS (PI_{ABS}) (B), índice de desempenho total (PI_{total}) (C), índice SPAD (D) e prolina (E) em mudas de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de

Cl. Caixas mostram os quartis de 25 e 75 %, barras mostram os quartis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers.

O menor valor da mediana para F_v/F_m (0,60), foi proporcionado pelo fornecimento de $75 \mu\text{M Cl L}^{-1}$ para as plantas jovens de *C. fissilis* (Figura 2 A), com 50% dos dados dispersos entre 0,41 e 0,79. De maneira geral, os menores valores de PI_{ABS} , PI_{total} , índice SPAD e prolina, estavam associados ao nível de $7500 \mu\text{M Cl L}^{-1}$ (Figura 9 B, C, D, E), com uma amplitude dos dados de 0,36; 0,17; 3,6 e 1,3 para PI_{ABS} , PI_{total} , índice SPAD e prolina, respectivamente e, maior concentração dos valores em torno 0,33 para PI_{ABS} , 0,28 para PI_{total} , 23,10 para índice SPAD e $10,59 \mu\text{M g}^{-1} \text{MSPA}^{-1}$ para prolina (Figura 2 B, C, D, E). Por outro lado, observamos em plantas jovens de *C. fissilis*, sem o fornecimento de Cl ($0 \mu\text{M Cl L}^{-1}$), maiores valores da mediana para F_v/F_m (0,78), PI_{ABS} (0,88), PI_{total} (0,53), índice SPAD (26,0) e prolina ($16,63 \mu\text{M g}^{-1} \text{MSPA}^{-1}$), com uma amplitude dos dados igual a 0,14; 1,11; 0,34; 4,30 e 0,11 respectivamente e, sem a presença de valores outliers e extremos.

3.3 Crescimento e desenvolvimento

Os níveis de Cl na solução de cultivo não influenciaram significativamente ($P < 0,05$) as taxas relativas de crescimento em altura, diâmetro do coleto, crescimento de raízes, produção de massa seca da parte aérea, raízes e massa seca total (Figura 10) em plantas jovens de *C. fissilis*.

Apesar de não diferenciaram significativamente, os dados de TCR_{alt} , TCR_{dc} , TCR_{cr} e MST de plantas jovens de *C. fissilis* apresentam uma tendência de comportamento quadrático com o aumento da concentração de Cl na solução de cultivo (Figura 10 A, B, C, F). Menores valores foram observados com o fornecimento de $7500 \mu\text{M Cl L}^{-1}$ para as plantas (Figura 10), com concentração dos dados em torno de $0,083 \text{ cm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$; $0,036 \text{ mm mm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$; $0,038 \text{ cm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ e 0,32 g para TCR_{alt} , TCR_{dc} , TCR_{cr} e MST respectivamente, e dispersão dos dados entre 0,080 - 0,103 para TCR_{alt} , 0,027 - 0,082 para TCR_{dc} , 0,027 - 0,137 TCR_{cr} e 0,30 - 0,53 para MST (Figura 10 A, B, C, D).

Entretanto, o nível de $750 \mu\text{M Cl L}^{-1}$ proporcionou maiores valores da mediana para TCR_{alt} ($0,11 \text{ cm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$), TCR_{dc} ($0,08 \text{ cm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$) e MST (0,78 g), com uma amplitude dos dados igual a 0,09; 0,03 e 0,58 para TCR_{alt} , TCR_{dc} e MST respectivamente, e assimetria na distribuição dos dados, com tendência maior para o limite superior das caixas (quartil 75%). Por

sua vez, o maior valor para TCR_{dc} foi proporcionado pelo fornecimento de $75 \mu\text{M Cl L}^{-1}$ na solução de cultivo (Figura 10), com uma mediana igual a $0,09 \text{ cm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, amplitude de $0,06$ e com dados distribuídos entre $0,07$ e $0,14 \text{ cm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$.

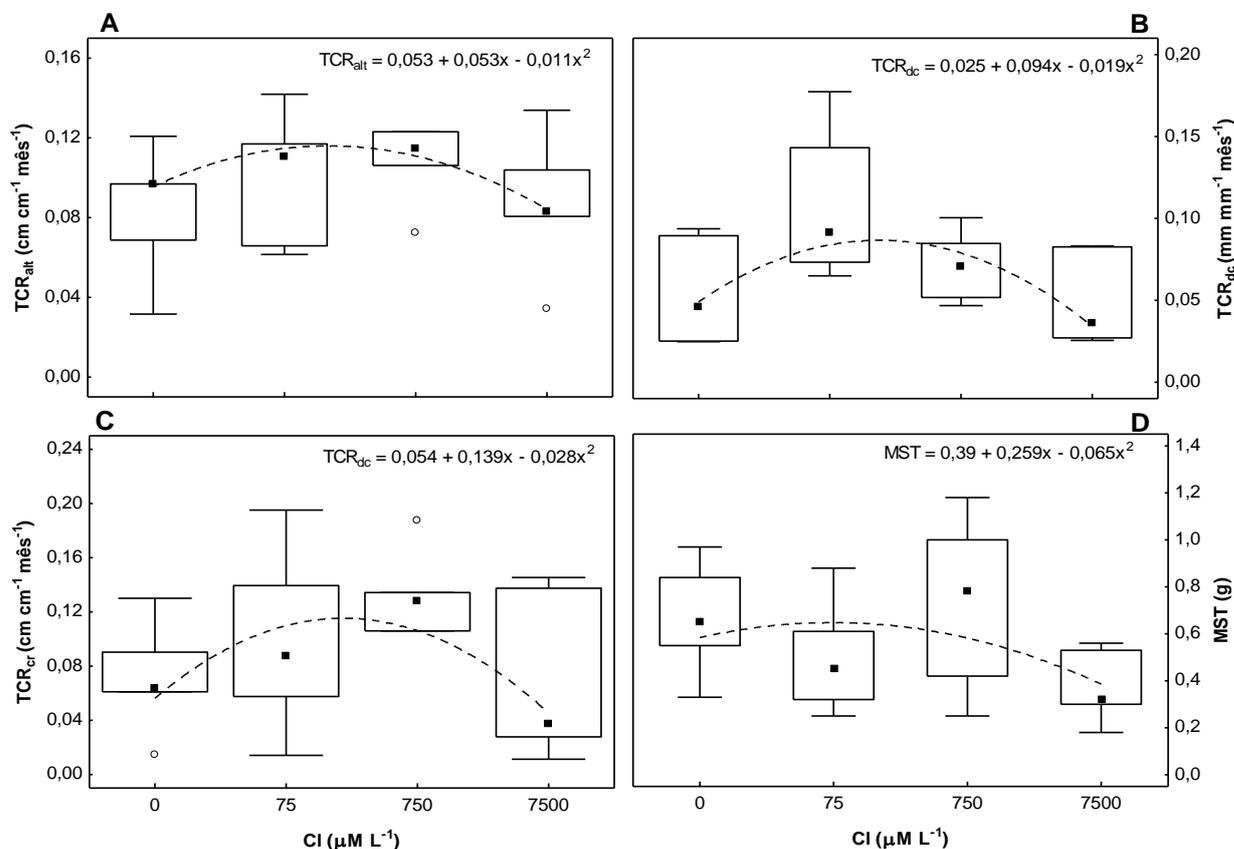


Figura 10. Taxa de crescimento relativo em altura (TCR_{ait}) (A), taxa de crescimento relativo do diâmetro do coleto (TCR_{dc}) (B), taxa de crescimento relativo da raiz (TCR_{cr}) (C), massa seca total (MSPA) (D) de mudas de *Cedrela fissilis* aos 120 DAS, em função de níveis de Cl. Caixas mostram os quartis de 25 e 75 %, barras mostram os quartis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers.

Ao final do período experimental, plantas de *C. fissilis* em contato com níveis de Cl testados, apresentaram teores abaixo daqueles considerados como ideal por Xu et al. (1999), com exceção plantas sem o fornecimento de Cl ($0 \mu\text{M Cl L}^{-1}$) que esteve dentro da faixa considerada apropriada para o crescimento das plantas. Observamos que, apesar da redução da atividade do PSII (Figura 9 A, B, C e D) a espécie apresentou crescimento até o fornecimento de $750 \mu\text{M Cl L}^{-1}$, e na maior dose testada ($7500 \mu\text{M Cl L}^{-1}$) houve uma redução do crescimento da planta (Figura 11).

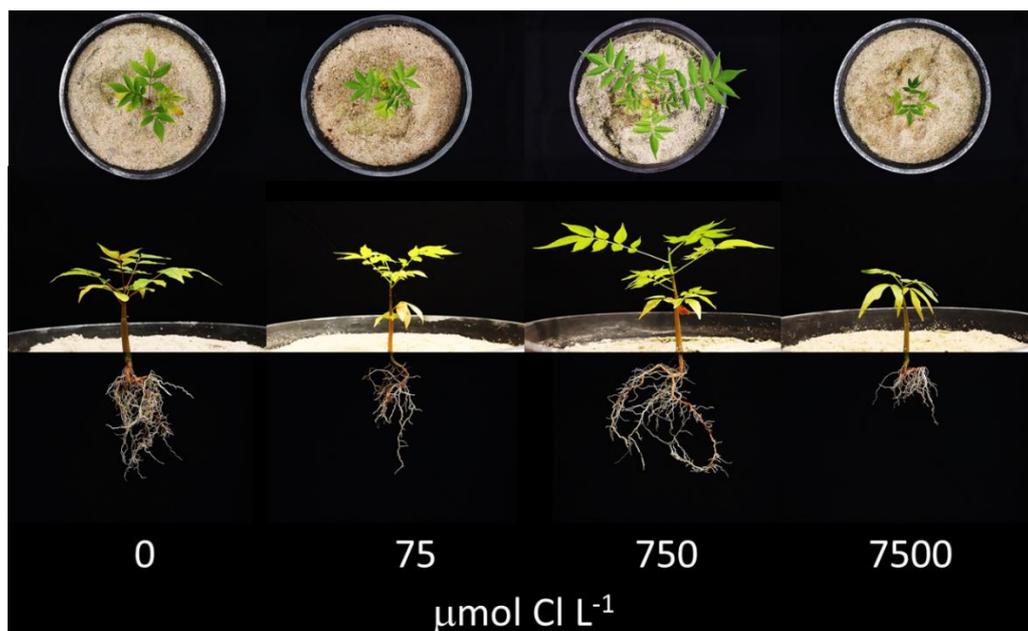


Figura 11. Sintomas visuais na parte aérea e raiz em plantas jovens de *Cedrela fissilis*, aos 120 DAS, em função de níveis de Cl.

4. Discussão

Um grande número de trabalhos (FAGERIA, 2001; KAFKAFI; TARCHITZKY, 2011; SILVA; TREVIZAM, 2015) demonstra que o fornecimento de altos níveis de cloro reduz a absorção e acúmulo de nitrato (NO_3^-) ou afeta sua partição dentro da planta (BORGOGNONE et al., 2016), devido ao desequilíbrio iônico que resulta em interação competitiva entre estes nutrientes (FAGERIA, 2001). Este comportamento não foi possível avaliar neste estudo em função da baixa produção de massa seca da parte aérea das plantas, que pode estar relacionada à solução básica de cultivo e o tempo de condução do experimento.

Por outro lado, foi demonstrado que a salinidade aumenta a necessidade interna de um nutriente específico, como o K^+ (CURTIN; STEPPUHN; SELLES, 1993; GRATTAN; GRIEVE, 1999), como observado por Meiri; Kamburoff; Poljakoff-Mayber, (1971) em estudo realizado com plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L. cv. *Brittle Wax*), acrescida em casa de vegetação sob níveis variáveis de NaCl e Na_2SO_4 . A demanda por K^+ , surge em resposta ao estresse por cloreto e a dificuldade em absorver água, levando a necessidade de um ajuste iônico, que diminuiu a absorção do íon cloreto como alternativa para corrigir distúrbios osmóticos (CHEN et al., 2013). Dessa forma a diminuição do teor de Cl na MSPA em plantas de *C. fissilis*, provavelmente está relacionada ao ajuste osmótico realizada pela planta, aumentando sua absorção de K e diminuindo a eficiência de utilização de Cl (Figura 1 B) e conseqüentemente

diminuindo a atividade de processos fisiológicos dependentes do Cl, como a atividade do PSII (Figura 2 A, B, C).

O Cl é um micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento da planta (RAVEN, 2017), e atua principalmente na osmorregulação e quebra da molécula de água (H₂O) no fotossistema 2 (PSII) (FIXEN, 1993; WEGE; GILLIHAM; HENDERSON, 2017). Portanto, a menor absorção de Cl pelas plantas jovens de *C. fissilis*, com o aumento deste nutriente na solução nutritiva de cultivo, contribuiu para menor atividade no PSII (Figura 2 A, B, C), devido à menor fotooxidação da água, que resulta na diminuição da produção de oxigênio nos cloroplastos e consequentemente redução na atividade fotossintética da planta (GEILFUS, 2018), indicando uma baixa demanda desse nutriente pela espécie.

Observamos que a diminuição na absorção de Cl proporcionou uma menor atividade da fluorescência da clorofila *a* em plantas de *C. fissilis* (Figura 2 A, B, C), devido a essencialidade deste nutriente para o bom desenvolvimento vegetal (CHEN et al., 2010). A menor eficiência de absorção de Cl com o aumento das concentrações de cloro na solução (Figura 1 B), observada neste estudo, corrobora com o estudo de Azevedo Neto et al. (2011), onde foram observados diferentes genótipos de girassol, cultivados em casa de vegetação, expostas à ausência e fornecimento de 100 mM NaCl L⁻¹, apresentaram redução na composição e função do aparato fotossintético em resposta aos níveis de NaCl testado.

O maior teor de cloro na parte aérea das plantas proporciona a diminuição no teor total de clorofila (TERRY, 1977), como observado por Pinheiro et al. (2008), em estudo avaliando a resposta de mudas de mamona (*Ricinus communis* L.), em condições de casa de vegetação, submetidas ao estresse com o fornecimento de 30 mM NaCl L⁻¹. Entretanto, neste estudo, encontramos comportamento inverso ao descrito pelos autores, pois apesar da menor absorção de Cl por plantas jovens de *C. fissilis*, ocorreu a diminuição do índice SPAD. Esta resposta mostra um comportamento atípico da espécie, que pode estar relacionado a diversos fatores bióticos e abióticos como a incidência de luz, fornecimento de água, temperatura, material genético e estágio de desenvolvimento, que segundo Reich (2017), podem influenciar a resposta da planta ao estresse por Cl. Portanto, concentrações de prolina observadas em plantas de *C. fissilis* nesse estudo, podem ou não estar relacionadas aos efeitos dos níveis de Cl

testados, sendo necessário, maiores informações para uma análise mais aprofundada da relação entre níveis de Cl e prolina no desenvolvimento inicial da espécie.

A prolina age como mecanismo de proteção, sendo produzida em maior quantidade pelas plantas em resposta às condições abióticas adversas (MAGDY; MANSOUR; ALI, 2017; SZABADOS; SAVOURÉ, 2010), como o desbalanço nutricional e menor atividade fotossintética ocasionado pelo alto fornecimento de Cl (KAUR; ASTHIR, 2015).

Dessa forma, fundamentados nos níveis de Cl ideais para o bom desenvolvimento das plantas, como Xu et al. (1999), observamos que os maiores teores de Cl encontrados em *C. fissilis* sem o fornecimento deste nutriente durante o período de condução experimento, que estavam dentro da faixa considerada adequada para o bom desenvolvimento das plantas (XU et al. , 1999), proporcionaram maior produção de prolina (Figura 2 E), indicando sensibilidade e estresse da espécie a elevada concentração de Cl na sua parte aérea. O aumento da produção de prolina em resposta a altos teores de Cl, foi observado por Gomes et al. (2017), avaliando o efeito do estresse pelo fornecimento de 150 mmol L⁻¹ NaCl em plantas de *Salvinia auriculata* Aubl aos 30 dias de idade, incubadas, recebendo solução nutritiva básica e diferentes níveis de NaCl (0, 50, 100 e 150 mmol de NaCl L⁻¹) durante cinco dias.

Apesar da menor eficiência de uso do Cl (Figura 1 A e B) em plantas de *C. fissilis*, a espécie demonstra necessitar de Cl para seu crescimento, uma vez que, apesar da diminuição destas variáveis, observamos aumento dos valores de TCR_{alt}, TCR_{dc}, TCR_{cr} e MST (Figura 2 A, B, C, D), evidenciando a essencialidade do Cl para o crescimento desta espécie. Dessa forma, apesar de ser demandado em baixas concentrações, é necessário o fornecimento de Cl para o melhor crescimento inicial do cedro.

O Cl é requerido em concentrações muito baixas pela maioria das plantas, entretanto é encontrado em concentrações muito maiores nos tecidos vegetais, quando comparadas à demanda de cloro na fotossíntese, como observado por Saha, Kunda e Biswas (2012), aproximadas daquelas associadas aos macronutrientes (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). Dessa forma, para o melhor crescimento do *C. fissilis*, deve haver um fornecimento equilibrado de Cl, já que, em plantas com o menor e maior teor e acúmulo de Cl na MSPA, observamos menores taxas de crescimento e produção de massa seca (Figura 3, 4), evidenciando o efeito de baixas e altas concentrações no crescimento da espécie, entretanto é necessário um avaliação de

outros parâmetros como o nutricional e fisiológico, para observar o real efeito do cloro no desenvolvimento inicial de *C. fissilis*.

Baixas concentrações de Cl em espécies vegetais, apesar de não proporcionarem estresse à espécie (Figura 2 E), proporcionam menor desenvolvimento (Figura 4), devido principalmente à redução do controle do funcionamento estomatal e atividade do PSII, conforme por Wege, Gillihan e Henderson (2017).

Por outro lado, apesar da eficiência no uso de Cl na MSPA de plantas jovens de *C. fissilis*, sem o fornecimento do nutriente (Figura 1 A e B), observamos uma restrição no crescimento da espécie (Figura 4), que deve estar associado ao fato que o excesso de Cl inibe o crescimento das plantas, em função de altas concentrações de cloro proporcionarem desequilíbrio osmótico e desbalanço nutricional, principalmente efeito negativo sobre a absorção de $N-NO_3^-$, que é fundamental para a produção de clorofila e captura de energia luminosa utilizada da fotossíntese (ROY; NEGRÃO; TESTER, 2014)

Apesar de não analisados os macro e micronutrientes essenciais neste trabalho, estudos mostram que o excesso de Cl em plantas, ocasiona o desequilíbrio nutricional (ZÖRB; GEILFUS; DIETZ, 2019), diminuindo o desenvolvimento e o rendimento das culturas (CHEN et al., 2010).

Devemos lembrar que, apesar de ser demandado em baixas concentrações, quando comparados aos macronutrientes, o cloro tem importância igual a estes para o crescimento e rendimento das culturas (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). A resposta das plantas ao fornecimento de Cl depende da concentração do elemento no meio, do tempo de exposição, bem com a fase de desenvolvimento da espécie (ZÖRB; GEILFUS; DIETZ, 2019).

Dessa forma, devido à ausência de sintomas de deficiência ou toxidez de cloro na espécie, observamos que as condições de condução, bem como o tempo de exposição das plantas aos tratamentos, a falta de análise nutricional completa e de trocas gasosas podem ter influenciado diretamente os resultados obtidos neste estudo, que contribuiriam para uma compreensão satisfatória sobre o real efeito do Cl no desenvolvimento inicial de *C. fissilis*. Fato que indica a necessidade de estudos futuros, visando elucidar a importância do cloro sobre o desenvolvimento inicial da espécie. Uma vez que compreender a influência do Cl sobre diferentes variáveis fisiológicas, nutricionais e, conseqüentemente o crescimento e desenvolvimento das plantas, é de suma importância para o fornecimento equilibrado de

fertilizantes cloretados (DA SILVA; DELATORRE; DE MORAES, 2011; SANDSTRÖM, 2001), permitindo o manejo adequado de espécies adaptadas a ambientes com baixos teores de Cl, porém, com considerada exigência em K.

5. Conclusões

Níveis crescentes de cloro testados não influenciaram significativamente o desenvolvimento inicial de *C. fissilis*, entretanto é recomendado o fornecimento de Cl para o melhor crescimento da espécie. Dessa maneira, considerando o tempo de condução experimental, falta de informações sobre o manejo adequado da solução nutritiva, ausência da análise de trocas gasosas e dos nutrientes essenciais na parte aérea do cedro, é recomendada a repetição do estudo, em condições de melhor desenvolvimento da espécie durante o seu pré-cultivo e condução experimental em tempo satisfatório para a manifestação de sintomas de deficiência ou toxidez de cloro na espécie para uma compreensão satisfatória sobre o real demanda e efeito do Cl no desenvolvimento inicial de *C. fissilis*.

6. Referências bibliográfica

ARAÚJO, A. C. et al. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. 20, p. 1–20, 2002.

AZEVEDO NETO, A. D. DE et al. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girassol. **Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 893–897, 2011.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and soil**, v. 39, n. 1, p. 205–207, 1973.

BATISTA, I. M. P. **Recomendação de calagem para alguns solos do Estado do Amazonas**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2014.

BORGOGNONE, D. et al. Changes in biomass, mineral composition, and quality of cardoon in response to $\text{NO}_3^-:\text{Cl}^-$ ratio and nitrate deprivation from the nutrient solution. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. June, p. 1–9, 2016.

BUGBEE, B. G. Growth, analysis and yield components. In: **Units, Symbols, and Terminology for plant physiology**. New York: Oxford University Press, 1996. p. 115–119.

CARRERO, G. C. et al. **Árvores do sul do Amazonas: Guia de espécies de interesse econômico e cológico**. 1. ed. Manaus: IDESAM, 2014.

CHEN, W. et al. Chlorine nutrition of higher plants: Progress and perspectives. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 7, p. 943–952, 2010.

CHEN, Y. et al. Optimisation of Potassium Chloride Nutrition for Proper Growth, Physiological Development and Bioactive Component Production in *Prunella vulgaris* L. **PLoS ONE**, v. 8, n. 7, p. 1–7, 2013.

CURTIN, D.; STEPPUHN, H.; SELLES, F. Plant Responses to Sulfate and Chloride Salinity: Growth and Ionic Relations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 1304–1310, 1993.

CUSATIS, A. C. **Melhoramento genético e silvicultural de *Cedrela fissilis* Vell.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2014.

DA SILVA, A. A.; DELATORRE, C. A.; DE MORAES, M. G. Ionomics: Current scenario and prospects. **Ciencia Rural**, v. 41, n. 8, p. 1390–1397, 2011.

DAVANSO, V. M. et al. Photosynthesis, growth and development of *Tabebuia avellanedae* Lor. ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, n. 3, p. 375–384, 2002.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p. 1269–1290, 2001.

FAO. **World fertilizer trends and outlook to 2019**. Disponível em: <www.fao.org/publications>. Acesso em: 2 dez. 2019.

FIXEN, P. E. **Crop Responses to Chloride**. Elsevier Masson SAS, 1993. v. 50

FREIBERGER, M. B. et al. Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 385–392, 2013.

GEILFUS, C. Chloride in soil : From nutrient to soil pollutant. **Environmental and**

Experimental Botany, v. 157, n. June 2018, p. 299–309, 2019.

GEILFUS, C. M. Chloride: From Nutrient to Toxicant. **Plant and Cell Physiology**, v. 59, n. 5, p. 877–886, 2018.

GOMES, M. A. DA C. et al. Salinity effects on photosynthetic pigments, proline, biomass and nitric oxide in *Salvinia auriculata* Aubl. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 29, n. 0, p. 1–13, 2017.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v. 78, p. 127–157, 1999.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. 2. ed. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950.

KAFKAFI, U.; TARCHITZKY, J. **Fertigation: A tool for Efficient Fertilizer and Water Management**. 1. ed. Paris, França: International Fertilizer Industry Association, 2011.

KAUR, G.; ASTHIR, B. Proline : a key player in plant abiotic stress tolerance. **Biologia Plantarum**, v. 59, n. 4, p. 609–619, 2015.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas- Funções, Absorção e Mobilidade. **Informações agronômicas**, v. 118, n. 2, p. 1–24, 2007.

KOENKER, R.; BASSETT, G. Regression Quantiles. **Econometrica**, v. 46, n. 1, p. 33–50, 1978.

KOENKER, R.; BASSETT, G. Robust Tests for Heteroscedasticity Based on Regression Quantiles. **Econometrica**, v. 50, n. 1, p. 43–61, 1982.

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 583–621, 1952.

LEITE, M. DE L.; VIRGENS FILHO, J. S.; RODRIGUES, J. D. Variação dos níveis de prolina em folhas de Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidos a diferentes déficits hídricos. **Biotemas**, v. 13, n. 1, p. 21–33, 2000.

LEVENE, H. Contributions to probability and statistics. **Essays in honor of Harold**

Hotelling, p. 278–292, 1960.

MAGDY, M.; MANSOUR, F.; ALI, E. F. Evaluation of proline functions in saline conditions. *Phytochemistry*, v. 140, p. 52–68, 2017.

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

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. *The Annals of Mathematical Statistics*, v. 18, n. 1, p. 50–60, 1947.

MEIRI, A.; KAMBUROFF, J.; POLJAKOFF-MAYBER, A. Response of bean plants to sodium chloride and sodium sulphate salinization. *Annals of Botany*, v. 53, n. 4, p. 837–848, 1971.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Soil chemical attributes of Amazonas State, Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 40, n. 17–18, p. 2912–2925, 2009.

PAIVA NETO, J. E.; QUEIROZ, M. S. Cloretos (Cl⁻) nos solos do estado de São Paulo, e sua dosagem. *Bragantia*, v. 6, n. 3, p. 119–140, 1946.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, v. 4, n. 2, p. 439–473, 2007.

PINHEIRO, H. A. et al. Short communication Leaf gas exchange , chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L) seedlings subjected to salt stress conditions. *Industrial Crops and Products*, v. 27, p. 385–392, 2008.

PLATH, M. et al. Establishment of native tropical timber trees in monoculture and mixed-species plantations: Small-scale effects on tree performance and insect herbivory. *Forest Ecology and Management*, v. 261, n. 3, p. 741–750, 2011.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M. Sources and rates of potassium for sweet orange production. *Scientia Agricola*, v. 68, n. 3, p. 369–375, 2011.

QUESADA, C. A. et al. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites.

Biogeosciences, v. 8, n. 6, p. 1415–1440, 2011.

RAJI, B. A.; JIMBA, B. W. A preliminary chlorine survey of the savanna soils of Nigeria. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 55, n. 1, p. 29–34, 1999.

RAVEN, J. A. Chloride: Essential micronutrient and multifunctional beneficial ion. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 3, p. 359–367, 2017.

REICH, M. The significance of nutrient interactions for crop yield and nutrient use efficiency. In: HOSSAIN, M. A. et al. (Eds.). . **Plant macronutrient use efficiency: molecular and genomic perspectives in crop plants**. 1. ed. London: Academic Press, 2017. p. 65–82.

RENÓ, N. B. et al. Limitações nutricionais ao crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 17–25, 1997.

ROY, S. J.; NEGRÃO, S.; TESTER, M. Salt resistant crop plants. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 26, p. 115–124, 2014.

RUIZ DIAZ, D. A. et al. Meta-analysis of winter wheat response to chloride fertilization in Kansas. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 43, n. 18, p. 2437–2447, 2012.

RUSSELL, J. S. et al. Rainforest trees as a new crop for Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 60, p. 41–58, 1993.

SAHA, P.; KUNDA, P.; BISWAS, A. K. Influence of sodium chloride on the regulation of Krebs cycle intermediates and enzymes of respiratory chain in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 60, p. 214–222, 2012.

SANCHES, M. C. et al. Morpho-physiological responses in *Cedrela fissilis* Vell. submitted to changes in natural light conditions: implications for biomass accumulation. **Trees**, v. 31, n. 1, p. 215–227, 2017.

SANDSTRÖM, B. Micronutrient interactions: effects on absorption and bioavailability. **British Journal of Nutrition**, v. 85, n. S2, p. S181, 2001.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete

Samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index : A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 289–302, 1981.

SILVA, M. L. DE S.; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações Agronômicas**, n. 149, p. 10–16, 2015.

STRASSER, R. J. et al. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, n. 6–7, p. 1313–1326, 2010.

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 2, p. 89–97, 2010.

TERRY, N. Photosynthesis, Growth, and the Role of Chloride. **Plant Physiology**, v. 60, n. 1, p. 69–75, 1977.

VERÍSSIMO, A. et al. Extraction of a high-value natural resource in Amazonia: the case of mahogany. **Forest Ecology and Management**, v. 72, n. 1, p. 39–60, 1995.

WEGE, S.; GILLIHAM, M.; HENDERSON, S. W. Chloride: Not simply a “cheap osmoticum”, but a beneficial plant macronutrient. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 12, p. 3057–3069, 2017.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review. **Annals of Botany**, v. 88, n. 6, p. 967–988, 2001.

XU, G. et al. Advances in Chloride Nutrition of Plants. **Advances in Agronomy**, v. 68, p. 97–150, 1999.

ZEUGIN, F. et al. Is tree diversity an important driver for phosphorus and nitrogen acquisition of a young tropical plantation? **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 9, p. 1424–1433, 2010.

ZÖRB, C.; GEILFUS, C. M.; DIETZ, K. J. Salinity and crop yield. **Plant Biology**, v. 21, p. 31–38, 2019.

3. Considerações gerais

Apesar da grande importância, nacional e internacional, do cedro no mercado de madeira serrada, são poucas as informações relacionadas a real exigência por K e Cl na sua fase inicial de desenvolvimento. Embora sejam elementos essenciais para as plantas, o fornecimento de maneira desequilibrada, acima ou abaixo da exigência da espécie, pode ocasionar desbalanço nutricional, funcionamento irregular dos estômatos, baixa na atividade fotossintética e redução do desenvolvimento da planta.

Nesse sentido, buscamos conhecer o efeito das concentrações de K e Cl no desenvolvimento inicial de plantas de *C. fissilis*. Observamos que *C. fissilis* é uma espécie que demanda potássio e cloreto para o seu bom desenvolvimento na fase inicial de cultivo, uma vez que, seu crescimento inicial foi influenciado, diferentemente, pelas concentrações de K e Cl testadas neste estudo.

Considerando a influência significativa do K na fase inicial de cultivo da espécie, foi possível verificar plantas de *C. fissilis* respondem positivamente até o fornecimento de 4,00 mM K L⁻¹, entretanto abaixo da concentração de 3,48 mM K L⁻¹ na solução nutritiva não há resposta significativa da espécie ao fornecimento de K, dessa forma, o nível crítico de deficiência e toxicidade de K na massa seca da parte aérea em plantas de cedro foi estimado em 26,08 e 27,28 g kg⁻¹, respectivamente.

Apesar de plantas jovens de *C. fissilis* terem apresentado diminuição no teor, acúmulo e eficiência de uso de cloro, com o aumento da concentração de Cl fornecida na solução nutritiva, observamos o efeito positivo do Cl para o crescimento inicial da espécie (Figura 11). Portanto, apesar de ser requerido em baixas concentrações, o Cl é essencial para o bom desenvolvimento da espécie.

Espera-se que os resultados obtidos neste estudo possam contribuir para a ampliação do conhecimento silvicultural das espécies nativas da Amazônia e para o entendimento da demanda nutricional do cedro e das espécies florestais com potencial madeireiro.