

CRESCIMENTO DE MOGNO BRASILEIRO E RESISTÊNCIA A *HYPSSIPYLA GRANDELLA* EM FUNÇÃO DO CÁLCIO E BORO¹

Mário Lopes da Silva Júnior²; João Cardoso de Souza Junior³; Ana Carolina Maciel Braga³; Orlando Shigeo Ohashi²; Vânia Silva de Melo²; George Rodrigues da Silva²; Augusto José Silva Pedrosa⁴; Ismael de Jesus Matos Viégas⁵; Eduardo Cezar Medeiros Saldanha⁶

RESUMO – O mogno brasileiro possui alto valor madeireiro, mas seu cultivo comercial é inviabilizado pelo ataque da broca *Hypsipyla grandella*. Objetivou-se avaliar o efeito de doses de cálcio e boro nas variáveis de crescimento do mogno e na resistência ao ataque da broca *H. grandella*. O delineamento utilizado foi o fatorial 4² em blocos ao acaso com quatro doses de cálcio (0; 100; 200 e 400 mg L⁻¹) e quatro de boro (0; 0,5; 2 e 4 mg L⁻¹) e três repetições com três plantas por repetição. Avaliaram-se: altura; diâmetro; massa seca aérea e de raiz; relação parte aérea raiz⁻¹; taxa de infestação e comprimento da galeria promovida pela broca. Os dados foram submetidos ao teste de Tukey a 5% e a análise de correlação e regressão. Não houve interação estatística entre os nutrientes, nem significância para a altura e diâmetro do coleto. A massa de raízes e da parte aérea apresentou os maiores resultados na omissão dos elementos, verificando as menores relações parte aérea / raiz nas doses de 100 mg L⁻¹ em função do cálcio e 0,5 mg L⁻¹ em função do boro. A dose 100 mg Ca L⁻¹ proporcionou a menor taxa de infestação de *H. grandella*. Para a resistência do mogno ao desenvolvimento da galeria, tanto o cálcio quanto o boro apresentaram significância, sendo os menores comprimentos verificados nas doses de 100 mg L⁻¹ Ca e 0,5 mg L⁻¹ B, respectivamente. Estes nutrientes influenciam a resistência do mogno ao ataque da broca e mostram a necessidade de estudos em condições de campo.

Palavras-chave: *Swietenia macrophylla*, broca do mogno, nutrição mineral do mogno.

BRAZILIAN MAHOGANY GROWTH AND RESISTENCE OF *HYPSSIPYLA GRANDELLA* UNDER CALCIUM AND BORUM

ABSTRACT – The Brazilian mahogany has high timber value but its commercial cultivation is rendered impossible by the attack of *Hypsipyla grandella* drill. The aim of this study was to evaluate the effect of doses of calcium and boron on mahogany growth variables and predation of its drill. The design was a 4² factorial randomized blocks with four doses of calcium (0, 100, 200 and 400 mg L⁻¹), four doses of boron (0, 0.5, 2 and 4 mg L⁻¹) and three replications with three plants per replication. Evaluated: height; diameter; air mass and root dry; relation air mass root⁻¹; infestation rate and length of the gallery promoted by drill. The results were analyzed by Tukey test at 5% and subjected to correlation analysis and regression. There was no statistical interaction between the treatments and no significance for height and stem diameter. The mass of roots and aerial

¹ Estudo desenvolvido dentro do projeto Management of *Hypsipyla grandella* in *Swietenia macrophylla* King plantations in Pará and São Paulo states, Brazil, financiado pelo ITTO.

² Professor, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Avenida Perimetral, nº 2501, Bairro: Terra Firme, CEP. 66.077-830, Belém, Pará, Brasil. mario.silva@ufra.edu.br

³ Engenheiro Agrônomo, Ufra.

⁴ Engenheiro Agrônomo, Campus de Paragmonias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará, Brasil.

⁵ Professor, Campus de Capanema, Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará, Brasil

⁶ Professor, Campus de Capitão Poço, Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará, Brasil

parts showed the highest results in the deletion of elements and checking the relationship of these parts in the lower dose of 100 mg L⁻¹ as a function of calcium and 0.5 mg L⁻¹ as a function of boron. The 100 mg Ca L⁻¹ dose yielded the lowest rate of infestation of *H. grandella*. Resistance to the development of the mahogany gallery, so as calcium boron were significant smaller lengths observed at doses of 100 and 0.5 mg L⁻¹, respectively. These nutrients influence the strength of mahogany drill and show the need for studies under field conditions.

Keywords: *Swietenia macrophylla*, mahogany shoot-borer, mineral nutrition of mahogany.

1. INTRODUÇÃO

O mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) é uma planta heliófila que atinge alturas de até 70 metros e 3,5 metros de diâmetro a altura do peito (CARVALHO, 2007). Há interesse de manejá-la em decorrência de seu elevado valor no mercado madeireiro (GROGAN et al., 2002; ALVES-SILVA et al., 2013), fato que estimula a inclusão da espécie em programas de reflorestamento e sistemas agro-florestais (VIEIRA, 2007). O estímulo a sua exploração ilegal ocorre, principalmente, pela grande aceitação no mercado devido sua madeira possuir elevada qualidade. No mercado abastecido com madeiras ilegais, o mogno possui significativa parcela. Segundo estimativas, 50% das exportações de madeira da Amazônia, África Central, Sudeste da Ásia e da Rússia são provenientes de extrações ilegais (DEGEN et al., 2013).

O mogno brasileiro ocorre em circunstâncias naturais, como por exemplo nas florestas nativas do Pará – Amazônia oriental – e não se verificam limitações no seu crescimento quando em função da fertilidade do solo (NORGHAUER et al., 2008); entretanto se verificam quando plantadas em larga escala (OHASHI et al., 2008). Ohashi et al. (2002) e Wallau et al. (2008) indicam que a maior limitação e mais problemática é o ataque da broca do mogno (*Hypsipyla grandella* Zeller). O ataque provoca a necrose do meristema do ápice caulinar e perda da dominância apical, levando a redução em altura e sucessivas ramificações, tornando a madeira pouco ou não comercializável (PEREZ et al., 2010).

Inseticidas foram formulados com o objetivo de controlar a infestação de *H. grandella*, alguns com resultados promissores, contudo, estão relacionados a fortes impactos ambientais e, ou possuem baixa eficiência no controle (GOULET et al., 2005). Controles alternativos de manejo como o plantio consorciado com eucalipto (*Eucalyptus* spp.) podem reduzir a taxa de infestação, mas sofrem com a competição interespecífica, reduzindo a altura e o diâmetro do caule do mogno (NETO et al., 2004). Estudos evidenciaram que o consórcio com plantas de nim (*Azadirachta indica* A. Juss) também pode reduzir os danos da broca, entretanto, somente

quando o mogno é manejado em baixa densidade de plantio (ALVES-SILVA et al., 2013). Perez et al. (2010) não constataram redução no ataque da broca quando garfos de mogno brasileiro foram enxertados em plantas resistentes de mogno africano (*Khaya senegalensis*) e toona (*Toona ciliata*). O pouco sucesso dessas diversas alternativas indicam a dificuldade do controle desta praga-chave.

Pesquisas que evidenciam a relação entre os nutrientes minerais e a incidência de pragas no mogno brasileiro são escassas, assim como para outras espécies arbóreas (LECOMPTE et al., 2010; FORBES e HOSENHEIM, 2011). Na nutrição mineral do mogno, trabalhos anteriores realizadas por Ohashi et al. (2008) e Silva et al. (2009) indicaram a influência do cálcio e do boro na resistência ao ataque da *H. grandella*, por mecanismos ainda não elucidados. Firmino et al. (2006) verificaram a influência do cálcio e do boro na indução de resistência em plantas de *Solanum gilo* devido ao aumento da lignificação promovido pelos nutrientes. Almeida et al. (2008) ao estudarem o efeito do silicato de cálcio, verificaram que este adubo reduziu a população de trips (*Thrips palmi*) e os danos econômicos provocados pela sua predação em plantas de *Solanum melongena*.

O cálcio (Ca) atua na síntese da parede celular, como mensageiro secundário em resposta a sinais bióticos e abióticos e é requerido como co-fator por enzimas que participam da hidrólise de ATP (TAIZ e ZEIGER, 2009). É encontrado principalmente na parede celular apoplástica compondo os pectatos de cálcio da lamela média (EPSTEIN e BLOOM, 2006), participando da biossíntese de lignina e propiciando resistência a herbívoros em plantas (FIRMINO et al., 2006).

O boro (B) possui funções relacionadas principalmente com a arquitetura da parede celular (EPSTEIN e BLOOM, 2006), sendo encontrado até 90% de sua quantidade total armazenada nesta estrutura (MALAVOLTA, 2006). Está ainda envolvido no processo de alongamento celular (TAIZ e ZEIGER, 2009), regulando enzimas, participando do funcionamento das membranas, da síntese de lignina e relacionado também com a resistência a pragas e doenças (MALAVOLTA, 2006).

Diante deste contexto, objetivou-se avaliar o efeito de doses do elemento cálcio e do boro no crescimento da planta, na taxa de infestação e o comprimento da galeria provocada pela *H. grandella* em plantas jovens de mogno cultivadas em solução nutritiva.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Área de Ciência do Solo, na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém (PA), no período de janeiro a

dezembro de 2011. A temperatura média da casa de vegetação variou entre 28° e 37 °C e a umidade relativa do ar em torno de 70% a 90%.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, arranjo fatorial 4 x 4 com quatro doses de Ca (0; 100; 200 e 400 mg L⁻¹) e quatro doses de boro (0; 0,5; 2; 4 mg L⁻¹) com três repetições e três plantas por repetição, totalizando 48 parcelas e 144 unidades experimentais. As doses de cálcio e de boro selecionadas para compor os tratamentos foram baseadas nos teores propostos por Hoagland e Arnon (1950) para estes elementos, tendo como concentração média recomendada 200 mg L⁻¹ de cálcio e 0,5 mg L⁻¹ de boro para crescimento adequado das plantas.

As unidades experimentais consistiram de vasos plásticos de cor azul com capacidade para 5 L e drenos na base. A reposição e drenagem da solução nutritiva foram feitas, respectivamente, no início da manhã e final da tarde, de forma manual, diariamente. O substrato utilizado foi sílica moída, tipo grossa. A solução nutritiva base utilizada foi de Hoagland e Arnon (1950) modificada por Sarruge (1975) quanto à pressão osmótica, utilizando sais puros para análise, com renovação periódica semanal e adição a cada três dias da água perdida por transpiração. A transpiração diminui a concentração de nutrientes com menor cinética de absorção, que é o caso do Ca e B (MALAVOLTA, 2006).

As plantas de mogno foram originadas de sementes de plantas matrizes da Fazenda Tramontina, no município de Aurora do Pará (PA). As sementes foram germinadas em bandejas de 50 x 50 x 5 cm, tendo como substrato areia branca lavada e esterilizada, sendo as plântulas transplantadas posteriormente para os vasos definitivos.

Durante 177 dias cultivou-se o mogno em solução nutritiva com todos os nutrientes para permitir o adequado desenvolvimento das mudas. Após esse período, alterou-se o regime de solução completa para água destilada por quatro dias, visando minimizar os efeitos residuais dos nutrientes. Ao término dos quatro dias, aplicou-se os tratamentos utilizando novamente a solução inicial de Hoagland, entretanto, modificada quanto a adequação das doses estudadas.

Três modificações foram realizadas na solução contendo os tratamentos, sendo: 1. Uso de solução de micronutrientes sem B, fornecendo as doses do elemento separadamente via H₃BO₃; 2. Uso de NaNO₃ e NH₃NO₃ para compensar a perda de N fornecido pelo Ca(NO₃)₂ nas doses abaixo de 200 mg L⁻¹ de cálcio; 3. Uso de CaCl₂ para aumentar a dose de Ca nas doses acima de 200 mg L de solução nutritiva base. Os tratamentos estudadas foram aplicados durante 156 dias, inclusive no período avaliação do ataque da broca.

Aos 297 dias após o início do experimento (10 de novembro de 2011) foi realizada a inoculação dos ovos de *H. grandella* em todas as plantas (Figura 1). Realizaram-se duas inoculações por planta em um único momento, fixando com alfinete no caule não lignificado uma tela de tecido de 1 cm² contendo um ovo viável. A inoculação nesta parte da planta é realizada para facilitar a entrada do herbívoro. Os ovos da broca do mogno foram produzidos no Laboratório de Entomologia da Universidade Federal Rural da Amazônia.

A variável para avaliação da infestação foi a presença ou ausência de serragem e seiva endurecida nos pontos de invasão (Figura 1.C) produzida pela destruição do lenho, da parede celular e dos vasos condutores (OHASHI et al., 2008; LUNS et al., 2009), juntamente com a presença ou ausência de galeria formada pela *H. grandella* nos vasos condutores. É importante destacar que a presença de galeria se configura como o melhor parâmetro para avaliação da infestação provocado pelo inseto (OHASHI et al., 2002), sendo este critério adotado no estudo para quantificação da variável.

O período de avaliação da taxa de infestação e comprimento da galeria foi de 40 dias após a inoculação dos ovos, sendo feito, posteriormente, a separação das partes da planta em raízes e parte aérea, as quais foram colocados em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C visando a obtenção do peso constante, assim como realizado por Martiello et al. (2009) em mudas de eucalipto. Os parâmetros de crescimento avaliados no experimento foram: a) altura (AL); b) diâmetro de colo (DC); c) massa seca da parte aérea (MSPA); d) massa seca de raízes (MSR); e) relação parte aérea raiz⁻¹ (PA/RA); f) taxa de infestação de *H. grandella* (TI) e; g) comprimento da galeria (CG) produzido pela lagarta.

Os dados de taxa de infestação e comprimento da galeria sofreram transformação angular de $\arcsen \sqrt{x/100}$ para normalização dos resultados e, juntamente com os demais, foram submetidos à análise de variância, comparando as médias a partir do teste de Tukey a 5% com auxílio do software estatístico SAEG 9.1. As variáveis significativas foram submetidas a análise de regressão, ajustando as equações de acordo com o maior coeficiente de determinância (R²).

3. RESULTADOS

3.1. Crescimento da planta

Não foi verificada interação estatística entre os fatores cálcio e boro para as variáveis de crescimento ($p > 0,05$), sendo constatado apenas efeito dos fatores isolados. As doses de Ca e B avaliadas não influenciaram ($p > 0,05$) a AL e o DC das plantas de mogno, entretanto, verificou-se efeito das doses para a produção de MSR ($p < 0,05$) e MSPA ($p < 0,01$). Estas

variáveis apresentam comportamento diferenciado em resposta ao aumento das doses dos nutrientes. Para o Ca, o comportamento foi linear (Figura 2.A e 2.B) e para o B quadrático (figura 2.C e 2.D).

Em geral, as maiores produções de MSR e MSPA foram obtidas no tratamento com supressão do Ca e B nas soluções nutritivas (Tabela 1), sendo os coeficientes de determinação encontrados para estas variáveis elevados (Figura 1). Houve variação significativa ($p < 0,01$) para a relação PA/RA em resposta ao aumento dos níveis de Ca e B isoladamente, entretanto a equação que melhor se ajustou para os nutrientes foi de terceiro grau.

3.2. Taxa de infestação e comprimento da galeria produzido pela broca do mogno.

Não houve interação significativa entre os nutrientes cálcio e boro ($p > 0,05$) para a TI e CG produzido pela broca, sendo verificado apenas efeito dos fatores isolados (Tabela 1). O ajuste de equação que obteve o melhor coeficiente de determinação para o cálcio *versus* taxa de infestação foi o quadrático (Figura 2.E). O comprimento da galeria em função do cálcio e do boro não se ajustaram a equações de primeiro e segundo grau, apenas de terceiro grau.

A supressão de Ca na solução nutritiva favoreceu o aumento da TI da broca, por outro lado, na dosagem de 100 mg Ca L^{-1} verificou-se o menor valor para a variável (Tabela 1, Figura 2.E), sendo o efeito das doses acima destas iguais estatisticamente. Houve redução de 41,7% da TI em resposta ao aumento de 0 para 100 mg Ca L^{-1} .

O comprimento da galeria provocado pela broca de *H. grandella* foi influenciada pelo cálcio ($p < 0,01$) e boro ($p < 0,05$). Houve redução de 38,62 mm do CG em resposta ao aumento do nível de Ca de 0 para 100 mg L^{-1} , sendo este o nível que proporcionou o menor valor da variável. Além disso, o aumento dos níveis de cálcio favoreceu aumento do comprimento da galeria ($p < 0,01$). Em relação ao boro, verificou-se que houve redução desta variável em 9,5 mm como resposta ao aumento de 0 para $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de boro e aumento do CG com o aumento das doses deste elemento.

A correlação linear entre taxa de infestação *versus* comprimento da galeria foi significativa e apresentou elevado valor (Figura 2.F). Não houve significância na correlação entre MSPA *versus* taxa de infestação ($r^2 = 0,6684$) e MSPA *versus* comprimento da galeria ($r^2 = 0,2521$).

4. DISCUSSÃO

4.1. Influência do cálcio e boro na massa seca da parte aérea e raízes.

As plantas submetidas às omissões de Ca e B apresentaram sintomas de deficiência nutricionais característicos dos nutrientes como clorose, encarquilhamento e posterior necrose

de folhas novas e do meristema apical. Quando necrosado o meristema apical, houve ramificação do ápice caulinar, gerando brotos novos que também foram necrosados.

As plantas expostas às dosagens máximas de cálcio e de boro não tiveram seu meristema apical necrosado, entretanto, apresentaram os sintomas de toxidez como clorose e necrose de folhas velhas, decorrentes do possível acúmulo desses elementos nessas regiões de maior atividade metabólica e transpiração, pois esses elementos são conduzidos no xilema via corrente transpiratória (MALAVOLTA, 2006).

Diferentemente do que propõe Vitti et al. (2006) e Dechen e Nachtigall (2007), os aumentos dos teores de cálcio e boro na solução nutritiva levaram a redução do desenvolvimento radicular para o mogno. Isso está relacionado com a baixa necessidade destes elementos pela planta, fato que pode ter gerado fitotoxidez nas dosagens mais altas, reduzindo o desenvolvimento radicular e da parte aérea. Miwa e Fujiwara (2010) mostraram que níveis de B podem facilmente se tornar tóxico às células das plantas. Em contrapartida, altos teores de Ca e B podem diminuir o desenvolvimento radicular pela abundância destes minerais na solução e a não necessidade de expansão radicular para aumento de superfície de contato em busca do elemento.

A não significância dos resultados de diâmetro do colo e altura em função de doses de Ca e B corroboram com os resultados encontrados por Souza et al. (2010), que não verificaram resposta em nenhum dos parâmetros de crescimento analisados em plantas de mogno quando em função da calagem e adubação boratada. Matos da Silva et al. (2007) também não encontraram resposta na altura quando mudas de mogno foram submetidas a calagem, mas concordam com os resultados ao encontrarem significância nas doses para a massa seca da parte aérea, massa seca de raiz e relação parte aérea raiz.

Os resultados do presente estudo mostram que o cálcio e o boro influenciam a produção de matéria seca de raiz e da parte aérea, ocorrendo redução dessas variáveis com o aumento das doses desses elementos, devido a baixa necessidade nutricional por esses elementos e possível efeito fitotóxico destes elementos. Nomura et al. (2011) ao avaliarem o efeito da adubação de boro em plantas adultas de banana, verificaram que este mineral também não influenciou significativamente na altura e no diâmetro do pseudocaule. Gonçalves et al. (2008) mostraram que mudas de angico-vermelho também não responderam a aplicação de Ca em relação as variáveis de crescimento, pois este elemento se mostrou um dos menos limitantes para esta espécie.

Clones de eucalipto também apresentaram modelos quadráticos de respostas quando submetidos a doses de boro nos níveis de 0, 10, 20, 50 e 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (MARTIELLO al.,

2009), que mostrou respostas negativas quando em elevados teores na solução nutritiva, apresentando máximos valores de matéria seca nas mais baixas concentrações, concordando com os resultados encontrados neste estudo. Os resultados também concordaram com Gomes da Silva et al. (2007) quando estudaram o efeito da adubação com micronutrientes em mudas de mogno brasileiro, indicando que a omissão de B também apresentou tendência de maiores resultados em relação a produção de matéria seca.

Zhou et al., 2012 ao avaliarem o crescimento de teca (*Tectona grandis*) expostas ao Ca e B, verificaram efeito significativo apenas quando estes nutrientes agiram em interação, o que não foi verificado no presente estudo. Sena et al. (2010) ao estudarem os efeitos da calagem sobre o crescimento de mudas de angelim-pedra, mostraram que doses de cálcio influenciaram na altura, diâmetro do colo, matéria seca da parte aérea e matéria seca da raiz, com exceção da relação parte aérea raiz. Tucci et al. (2010), de forma contrária ao presente estudo, mostraram que a calagem afetou significativamente o crescimento em altura e diâmetro do colo das mudas de pau-de-balsa.

4.2. Influência do cálcio e do boro na taxa de infestação e no comprimento da galeria produzida pela *H. grandella*.

O ataque da broca nas plantas de mogno ocorreu de forma agressiva, destruindo severamente o meristema apical em no máximo quatro dias após a inoculação. Isso provocou também a ramificação do broto terminal, quebrando a dominância apical das plantas atacadas (Figura 1). Isso ratifica que o principal dano ocasionado pela *H. grandella* é a ramificação do meristema apical, que limita sua comercialização por reduzir a qualidade física da madeira (OHASHI et al., 2002).

Os sinais característicos de infestação visual (Figura 1.C) como a serragem e seiva nos pontos de invasão se manifestaram em 75% do total do número de plantas, entretanto, desse total, 70% não possuíam galeria formada nos vasos condutores. Isso mostra que a classificação como infestadas ou não pela presença da seiva e, ou serragem nos pontos de invasão não é confiável, pois superestima a taxa de infestação devido a maioria das plantas atacadas não apresentaram evolução no ataque e, conseqüentemente, não desencadeariam danos significativos à madeira.

Em estudos anteriores, Silva et al. (2009) encontraram resultados que convergem com o presente estudo, quando avaliaram a resistência de plantas de mogno ao ataque da broca submetidas a doses de Ca. Estes autores verificaram que o aumento das doses de Ca reduziu a taxa de infestação para 20% na dosagem de 320 mg Ca L⁻¹, além deste nutriente também

afetar o comprimento da galeria. Ohashi et al. (2002) verificaram efeitos de redução da taxa de infestação da broca do mogno em resposta a aplicação de calcário.

A resistência induzida pelo Ca pode ser explicada pela relação de vários mecanismos fisiológicos e bioquímicos de defesa da planta ativados por esse nutriente, entretanto, dois fatores se destacam. O primeiro está relacionado ao fato de que o fornecimento de Ca, em teores ideais, pode estimular mecanismos de defesa da planta, sintetizando mais lignina e pectatos de cálcio (FIRMINO et al., 2006). A lignina possui rigidez física que proporciona menor consumo pelos herbívoros e, por ser estável quimicamente, é pouco digestível. Além disso, o processo de lignificação pode induzir bloqueios ao crescimento de patógenos (TAIZ e ZEIGER, 2009).

Firmino et al. (2006) ao estudarem a relação existente entre Ca e B no processo de lignificação em plantas de *Solanum gilo*, visando maior resistência a patógenos, concluíram que maiores teores de Ca e B promovem maior comprimento e espessura do vaso condutor e das fibras. No caso do mogno brasileiro, teores adequados destes elementos podem proporcionar maior rigidez e, conseqüente, maior resistência a penetração física da lagarta no caule. Esse efeito pode ter promovido redução e, ou estagnação da movimentação da broca nos vasos condutores, dificultando ou impossibilitando a formação da galeria. A deficiência de cálcio afetou, ainda, o meristema apical, levando a flacidez e, ou necrose dos tecidos meristemáticos (VITTI et al., 2006), fato que provavelmente aumentou a susceptibilidade ao ataque da lagarta, apesar da supressão de Ca aumentar a MSPA e MSR.

O B em teores elevados pode ter se tornado fitotóxico ao mogno, indicado a partir da queda da produção de biomassa e do aumento do comprimento da galeria com o aumento das doses do elemento. A citotoxicidade do boro pode afetar o movimento de cálcio do citoplasma para a parede celular (FIRMINO et al., 2006), fato que pode reduzir a síntese de lignina. Esse efeito justifica o aumento do comprimento da galeria com o aumento do fornecimento do cálcio na solução nutritiva.

O cálcio em altas concentrações também pode ter se tornado citotóxico afetando o seu próprio movimento do citoplasma para a parede celular, já que níveis tóxicos de Ca levam a redução na produção de energia e a precipitação de fosfato inorgânico, este último podendo alterar as funções das membranas (MALAVOLTA, 2006) limitando o bombeamento de Ca pelas Ca-ATPase do vacúolo para a parede celular (ISHIDA e VOGEL, 2010). Esse efeito também pode ter minimizado o potencial de lignificação e de defesa da planta.

O segundo mecanismo que pode estar relacionado ao potencial de defesa promovido pelo fornecimento de Ca é que a deficiência do elemento pode aumentar o tempo de reação da

planta ao ataque de pragas (ARIMURA e MAFFEI, 2010). Epstein e Bloom (2006) mostram que quase sem exceção, os *stress* que as plantas sofrem promovem aumento na concentração de Ca^{+2} no citoplasma e, sob eliminação do *stress*, a concentração de Ca volta ao normal. Esse desbalanço é detectado pela planta que desencadeia uma resposta bioquímica, principalmente relacionada com fitohormônios (etileno), espécies reativas de oxigênio, óxidos nitrosos, ácido salicílico e outros compostos químicos (ARIMURA e MAFFEI, 2010). Isso permite que a planta ative eficientemente seus mecanismos de defesa em tempo hábil, reduzindo assim os danos ocasionados pelas pragas.

A partir da detecção deste estímulo por parte da planta, é desencadeada a síntese de calmodulinas, compostos que atuam na regulação de proteínas e de fitohormônios, que ativam grupos de enzimas que induzem uma resposta por parte da planta, como a produção de metabolitos secundários, aumento da biossíntese de lignina e outras estratégias de defesas (PEROCHON et al., 2011).

5. CONCLUSÃO

1. O cálcio e o boro são nutrientes fundamentais no controle da broca do mogno;
2. O mogno é pouco tolerante a elevados níveis de cálcio e boro;
3. Estudos que relacionam o cálcio e o boro com o ataque de *Hypsipyla grandella* precisam ser ampliados para melhorar a eficiência no controle da broca do mogno.

6. AGRADECIMENTOS

Ao The International Tropical Timber Organization - ITTO pelo fomento financeiro ao Projeto *Management of Hypsipyla grandella in Swietenia macrophylla King plantations in Pará and São Paulo States, Brazil* que custeou esta pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. D. de; PRATISSOLI, D.; ZANUNCIO, J. C.; VICENTINI, V. B.; HOLTZ, A.; M., SERRÃO, J. E. Calcium silicate and organic mineral fertilizer applications reduce phytophagy by Thrips palmi karny (*Thysanoptera*- Thripidae) on eggplants (*Solanum melongena* L.). **Inci**, v.33, p. 835-838, 2008.

ALVES-SILVA, M. C.; ROSA, L. dos S.; VIEIRA, T. A. Eficiência do nim (*Azadirachta indica* A. Juss) como barreira natural ao ataque de *Hypsipyla grandella* (Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) sobre o mogno (*Swietenia Macrophylla* King). **Acta Amazonica**, v.43, p.19-24, 2013.

ARIMURA, G. I.; MAFFEI, M. E. Calcium and secondary CPK signaling in plants in response to herbivore attack. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v.400, p.455-460, 2010.

CARVALHO, P. E. R. Mogno – *Swietenia macrophylla*. **Embrapa**, Colombo, 12 p., 2007 (Embrapa Circular Técnica, 140)

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de, FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, 1017 p., 2007.

DEGEN, B.; WARD, S. E.; LEMES, M. R.; NAVARRO, C.; CAVERS, S.; SEBEN, A. M. Verifying the geographic origin of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) with DNA-fingerprints. **Forensic Science International: Genetics**, v.7, p.55-62, 2013.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas**, Planta, v.1, 416 p., 2006.

FIRMINO, A.; ABREU, H. dos S.; PORTUGAL, A. C. P.; NASCIMENTO, A. M. do; SOUZA, E. L. de; PEREIRA, R. P. W.; MONTEIRO, M. B. de O.; MAÊDA, J. M. Alterações ligno-anatômicas em *Solanum gilo* Raddi por aplicação de cálcio e boro como estratégia de defesa. **Ciência Agrotécnica**, v.30, p.394-401, 2006.

FORBES, A. A.; ROSENHEIM, J. A. Plant responses to insect herbivore damage are modulated by phosphorus nutrition. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.139, p.242-249, 2011.

GOMES da SILVA, W.; TUCCI, C. A. F.; HARA, F. A. dos S.; SANTOS, R. A. C. dos. Efeito de micronutrientes sobre o crescimento de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King) em Latossolo Amarelo. **Acta Amazonica**, v.37, p.371-376, 2007.

GONÇALVEZ, E. de O.; PAIVA, H. N. de; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera marocarpa* (Benth.) Brenan) sob diferentes doses de macronutrientes. **Revista Árvore**, v. 32, p. 1029-1040, 2008.

GOULET, E.; RUEDA, A.; SHELTON, A. Management of the mahogany shoot borer, *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera:Pyralidae), through weed management and insecticidal sprays in 1- and 2-year-old *Swietenia humilis* Zucc. plantations. **Crop Protection**, v.24, p.821-828, 2005.

GROGAN, J.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A. **Mogno na Amazônia brasileira: ecologia e perspectivas de manejo**. Imazon, 56 p., 2002.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method of growing plants without soil. **Agricultural Experimental Station**, Berkeley, 347p., 1950.

ISHIDA, H.; VOGEL, H. J. The solution structure of a plant calmodulin and the CaM-binding domain of the vacuolar calcium-ATPase BCA1 reveals a new binding and activation mechanism. **The Journal of Biological Chemistry**, v.285, p. 38502-38510, 2010.

LECOMPTE, F.; ABRO, M. A.; NICOT, P. C. Contrasted responses of *Botrytis cinerea* isolates developing on tomato plants grown under different nitrogen nutrition regimes. **Plant Pathology**, v.19, p.891-899, 2010.

LUNZ, A. M.; THORNAZINI, M. J.; MORAES, M. C. B.; NEVES, E. J. M.; BATISTA, T. F. C.; DEGENHARDT, J.; SOUSA, L. A. de; OHASHI, O. S. *Hypsipyla grandella* em Mogno (*Swietenia macrophylla*): Situação Atual e Perspectivas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 45-55, 2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 638 p., 2006.

MARTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; SILVA, I. R. da; GUERRA, P. de C.; ANDRADE, V. M. de. Características fisiológicas e crescimento de clones de eucalipto em resposta ao boro. **Revista Árvore**, v.33, p.821-830, 2009.

MATTOS DA SILVA, A. R.; TUCCI, C. A. F.; LIMA, H. N.; FIGUEIREDO, A. F. de. Doses crescentes de corretivos na formação de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, v.37, p.195-200, 2007.

MIWA, K.; FUJIWARA, T. Boron transport in plants: co-ordinated regulation of transporters. **Annals of Botany**, v.105, p.1103-1108, 2010.

NETO, A. B. G.; FELFILI, J. M.; SILVA, G. F. da; MAZZEI, L.; FAGG, C. W.; NOGUEIRA, P. E. Avaliação do plantio homogêneo de mogno, *Swietenia macrophylla* King, em comparação com o plantio consorciado com *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, após 40 meses de idade. **Revista Árvore**, v.28, p.777-784, 2004.

NOMURA, E. S.; TEIXEIRA, L. A. J.; BOARETTO, R. M.; GARCIA, V. A.; FUZITANI, E. J.; JUNIOR, E. R. D.; SAES, L. A.; JUNIOR, D. M. Aplicação de boro em bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 608-617, 2011.

NORGHAUER, J. M.; MALCOLM, J. R.; ZIMMERMAN, B. L.; FELFILI, J. M. Experimental establishment of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedlings on two soil types in native forest of Pará, Brazil. **Forrest Ecology and Management**, v.255, p.282-291, 2008.

OHASHI, O. S.; SILVA JUNIOR, M. L.; LAMEIRA, O. A.; SILVA, J. N. M.; LEÃO, N. V. M.; TEREZO, E. F.; BATISTA, T. F. C.; HIDAKA, D. Z. L.; ALMEIDA, G. B. de; BITTENCOURT, P. R. da G.; GOMES, F. da S.; NEVES, G. S. de M. Danos e controle da

broca de *Hypsipyla grandella* em plantio de mogno *Swietenia macrophylla* no Estado do Pará. In: POLTRONIERE, L. S., TRINDADE, D. R., SANTOS, I. P. **Pragas e doenças de cultivos amazônicos**. Embrapa Amazônia Oriental, 2 ed., 379 p., 2008.

OHASHI, O.S.; SILVA, J.N.M.; SILVA, M.F.G.F.; COSTA, M.S.S.; SARMENTO JUNIOR, R.G.; SANTOS, E.B.; ALVEZ, M.Z.N.; PESSOA, A.M.C.; SILVA, T.C.O.; BITTENCOURT, P.R.G.; BARBOSA, T.C.; SANTOS, T.M. Manejo Integrado da broca do mogno *Hypsipyla grandella* Zeller (Lep. Pyralidae). In: POLTRENIERI, L.S.; TRINDADE, D.R. **Manejo integrado das principais pragas e doenças de cultivos amazônicos**. Embrapa Amazônia Oriental, 304p., 2002.

PEREZ, J.; EIGENBRODE, S. D.; HILJE, L.; TRIPEPI, R. R.; AGUILAR, M. E.; MESEN, F. Use of grafting to prevent *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) damage to new world meliaceae species. **Neotropical Entomology**, v.39, p.618-625, 2010.

PEROCHON, A.; ALDON, D., GALAUD, J. P.; RANTY, B. Calmodulin and calmodulin-like proteins in plant calcium signaling. **Biochimie**, v.93, p.2048-2053, 2011.

SARRUGE, J. R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, v.1, p.231-233, 1975.

SENA, J. S. S.; TUCCI, C. A. F.; LIMA, H. N.; HARA, F. A. dos S. Efeito da calagem e da correção dos teores de Ca e Mg do solo sobre o crescimento de mudas de angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke). **Acta Amazonica**, v.40, p.309-318, 2010.

SILVA, S. A. S.; SANTOS, M. M. de L. S.; SILVA, G. R. da S.; SILVA JUNIOR, M. L. da; OHASHI, O. S.; RUIVO, M. de L. P. Efeito do cálcio no controle da *Hypsipyla grandella* em mudas de mogno cultivadas em hidroponia. **Acta Amazonica**, v.39, p.273-278, 2009.

SOUZA, C. A. S. de; TUCCI, C. A. F.; SILVA, J. F. da; RIBEIRO, W. O. Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, v.40, p.515-522, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Artmed, 4 ed, 848 p., 2009.

TUCCI, C. A. F.; LIMA, H. N.; GAMA, A. da S.; COSTA, H. S.; SOUZA, P. A. de. Efeitos de doses crescentes de calcário em solo Latossolo Amarelo na produção de mudas de pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* sw., bombacaceae). **Acta Amazonica**, v.40, p.543-548, 2010.

VIEIRA, T. A. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. **Acta Amazonica**, v.37, p.549-558, 2007.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. F. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, v.1, 432 p.2006.

WALLAU, R. L. R. de; BORGES, A. R.; ALMEIDA, D. R de; CAMARGOS, S. L. **Cerne**, v.14, p.304-310, 2008.

ZHOU, Z.; LIANG, K.; XU, D.; ZHANG, Y.; HUANG, G.; MA, HUAMING. Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property of acidic soil substrate. **New Forrester**, v.43, p.231-243, 2012.

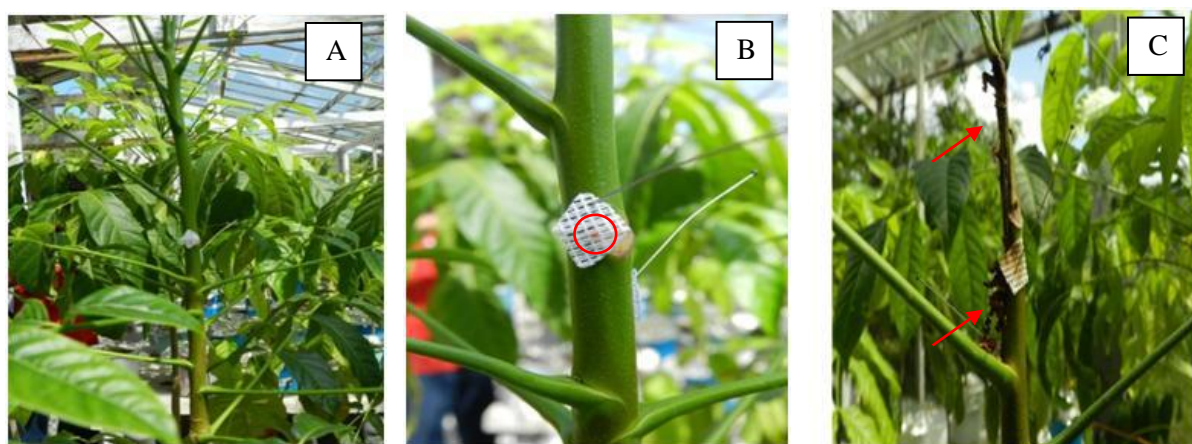


Figura 1 – Plantas de mogno inoculadas com ovos de *H. grandella*. A: Local de fixação do tecido com ovo de *H. grandella* na parte superior não lignificada do caule; B: No detalhe, o ovo viável de *H. grandella*; C: Sintomas de ataque da broca em plantas jovens de mogno, evidenciando a produção de serragem e a destruição do meristema apical.

Figure 1 - Mahogany plants inoculated with eggs of *H. grandella*. A: Place of tissue fixation with egg of *H. grandella* at the top of the not lignified stem, B: In detail, the viable egg of *H. grandella*; C: Symptoms of Drill Attack in seedlings of Mahogany, showing the production of sawdust and the destruction of the apical meristem.

Tabela 1 – Médias dos fatores Ca e B isolados para as variáveis altura (AL), diâmetro de colo (DC), peso seco de raiz (MSR), peso da parte aérea (MSPA), relação parte aérea/raiz (PA/PR), taxa de infestação (TI) e comprimento da galeria (CG)¹.

Table 1 - Means of factors Ca and B isolated for the variables height (AL), stem diameter (DC), dry root weight (MSR), weight of aerial part (MSPA), relation aerial part / root (PA / PR), infestation rate (TI) and length of the gallery (CG) 1.

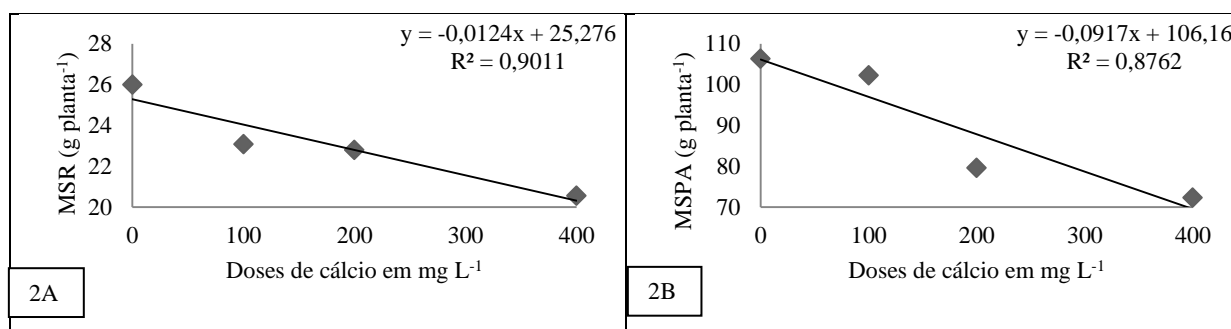
mg L ⁻¹	AL cm	DC (mm planta ⁻¹)	CG	MSR (g planta ⁻¹)	MSPA ^{1s}	PA/PR ---	TI %
	Doses de cálcio						
0	65,07 ^{ns}	12,97 ^{ns}	51,52a ^{**}	25,99a [*]	106,34a ^{**}	4,14ab ^{**}	74,99a ^{**}
100	65,31 ^{ns}	12,90 ^{ns}	12,90b ^{**}	23,08ab [*]	102,25b ^{**}	4,49a ^{**}	33,33b ^{**}
200	65,09 ^{ns}	12,53 ^{ns}	30,63ab ^{**}	22,80ab [*]	79,56c ^{**}	3,53c ^{**}	33,33b ^{**}

400	64,63 ^{ns}	12,64 ^{ns}	27,36 ^{**}	20,55b [*]	72,30d ^{**}	3,54bc ^{**}	38,88b ^{**}
Doses de boro							
0	64,65 ^{ns}	12,66 ^{ns}	26,22ab [*]	25,93a [*]	94,22b ^{**}	3,69b ^{**}	44,44 ^{ns}
0,5	66,11 ^{ns}	12,21 ^{ns}	17,70b [*]	22,91ab [*]	100,83a ^{**}	4,45a ^{**}	36,10 ^{ns}
2	63,90 ^{ns}	13,13 ^{ns}	41,13a [*]	21,34b [*]	82,28c ^{**}	3,92ab ^{**}	44,44 ^{ns}
4	60,45 ^{ns}	13,04 ^{ns}	37,36ab [*]	22,25ab [*]	83,13c ^{**}	3,73b ^{**}	55,55 ^{ns}
dms	4,48	1,43	23,41	4,06	3,65	0,58	26,59
CV (%)	6,22	10,11	49,45	15,85	3,66	13,31	42,18

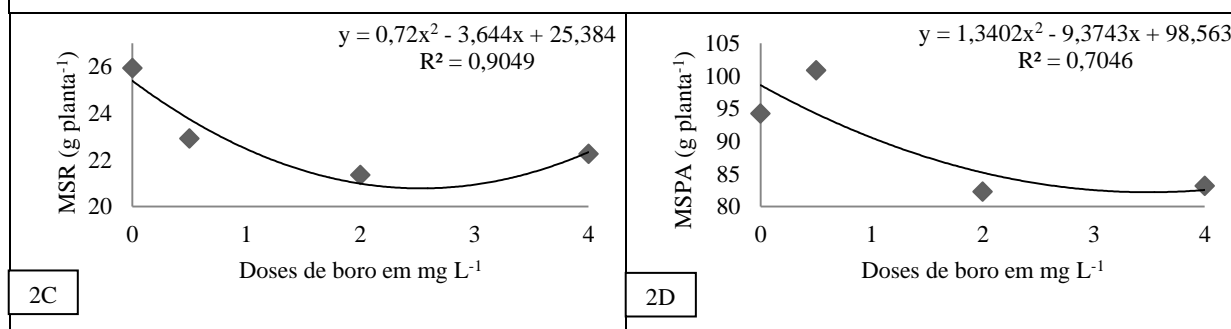
¹Letras diferentes para a mesma variável nas colunas mostram variação significativa pelo teste a 5%; ^{is} Interação significativa; * Variação em nível de 5%; ** Variação em nível de 1%; ^{ns} Não significativo; dms = diferença mínima significativa; CV = coeficiente de variação.

Fonte: os autores.

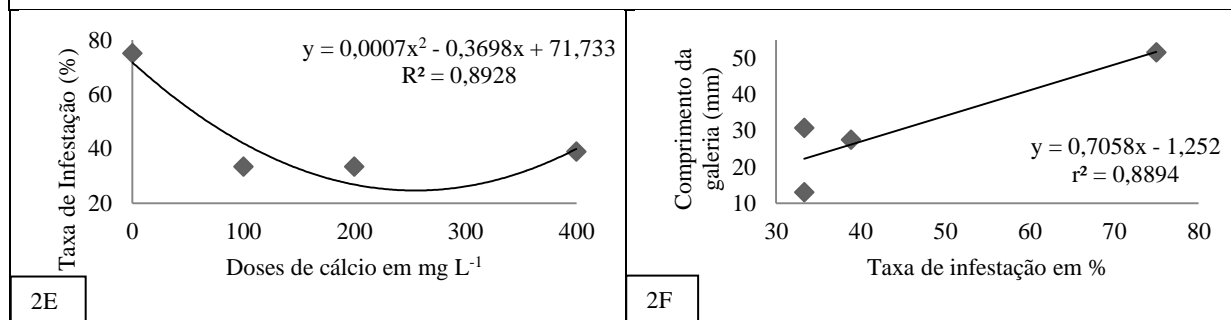
¹Different letters for the same variable in columns show significant variation by test at 5%; ^{is} significant interaction; * Range at 5%; ** Range at the 1% level, ns not significant; dms = least significant difference, CV = coefficient of variation.



2.A e 2.B. Regressão entre doses crescentes de cálcio e matéria seca de raiz (MSR) e da parte aérea (MSPA).



2. C. e 2. D. Regressão entre doses crescentes de boro e matéria seca de raiz (MSR) e da parte aérea (MSPA)



2.E e 2.F. Regressão entre doses de cálcio e taxa de infestação da broca do mogno (TI) e correlação da taxa de infestação com o comprimento da galeria.

Figura 2 – Ajustes de equações das variáveis com significância para peso seco de raiz (PR), peso seco da parte aérea (PA), taxa de infestação de *H. grandella* (TI) e correlação entre taxa de infestação e comprimento da galeria (TI x CG) em função dos fatores cálcio e boro isolados.

Figure 2 - Adjustments to equations of the significant variables for root dry weight (PR), dry weight of aerial parts (PA) infection rate of *H. grandella* (IT) and correlation between infestation rate and length of the gallery (IT CG x) as function of calcium and boron isolated factors.