

BORO EM *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen: CRESCIMENTO,
TEORES NUTRICIONAIS E ÓLEOS ESSENCIAIS

JÚLIA CAETANO VIMERCATI

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JULHO – 2023

BORO EM *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen: CRESCIMENTO, TEORES
NUTRICIONAIS E ÓLEOS ESSENCIAIS

JÚLIA CAETANO VIMERCATI

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”

Orientadora: Prof.^a Marta Simone Mendonça Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

JULHO – 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

V764

Vimercati, Júlia Caetano.

BORO EM *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen : CRESCIMENTO, TEORES NUTRICIONAIS E ÓLEOS ESSENCIAIS / Júlia Caetano Vimercati. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2024.

90 f. : il.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2024.

Orientadora: Marta Simone Mendonça Freitas.

1. Jambu. 2. Jamburana. 3. Nazaré. 4. Micronutriente . I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

BORO EM *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen: CRESCIMENTO, TEORES
NUTRICIONAIS E ÓLEOS ESSENCIAIS

JÚLIA CAETANO VIMERCATI

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”

Aprovado em 31 de julho de 2023

Comissão examinadora:

Dr^a. Marlene Evangelista Vieira (D.Sc., Produção Vegetal) - SEDAP

Prof^a. Dr^a. Daniela Barros de Oliveira (D.Sc. Química de produtos naturais) - UENF

Prof. Dr. Almy Júnior Cordeiro de Carvalho (D.Sc. Produção Vegetal) - UENF

Prof^a. Dr^a. Marta Simone Mendonça Freitas (D.Sc. Produção Vegetal) UENF

Orientadora

AGRADECIMENTOS

A Deus por me permitir chegar até aqui e por ter me guiado pelo caminho da ciência me fazendo a cada dia superar os obstáculos ao longo dessa jornada; Aos meus pais por todo apoio e suporte, sem vocês eu jamais poderia ter chegado até aqui. Obrigada por sempre darem vida aos meus sonhos e por sempre caminharem comigo, vocês são o meu porto seguro; Aos meus familiares e amigos por serem perfeitos à sua maneira e sempre me apoiaram durante a minha jornada;

À minha orientadora, prof^a. Dr^a. Marta Simone Mendonça Freitas, por ter confiado na minha capacidade, por todo tempo e paciência dedicados à minha orientação e execução da minha pesquisa; Às amigas que fiz no laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Alex Paulo Martins, Liliane Machado, Detony Petri, Luan Silva, Joseph Pereira, David Gomes e Mariana Fernandes, minha fiel escudeira desde a graduação, por toda ajuda e troca de conhecimentos, pelos bons momentos de confraternizações e risadas e por todo apoio nos momentos bons e nos complicados;

Aos amigos que fiz na universidade, Mateus Santana, Laila Brabo, Isis Góes, Vinícius Assunção, Danielle Marques, Lailson Freitas, Jéssica Martins, por toda ajuda ao longo do meu experimento, mas também pelos bons momentos e comemorações juntos; Aos colegas do setor de Fitotecnia por toda ajuda e companhia;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pela oportunidade de realização do mestrado; À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código de financiamento 001, pela concessão da bolsa; E a todas as pessoas que colaboraram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO GERAL.....	4
2.1. Objetivos específicos	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. Jambu	5
3.1.1. Classificação botânica	6
3.2. Genótipos de Jambu	7
3.2.1. Genótipo Nazaré.....	7
3.2.2. Genótipo Jamburana	8
3.2.3. Importância e usos.....	8
3.3. Óleos essenciais.....	9
3.4. Boro nas plantas	11
3.5. Boro e Óleos essenciais.....	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1. Caracterização da área de estudo	22
4.2. Delineamento experimental.....	22
4.3. Preparo do substrato, das mudas e condições do experimento.....	23
4.4. Colheita e variáveis analisadas.....	23
4.5. Análise estatística	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1. Crescimento das plantas de jambu	28
5.1.1. Massa fresca e seca de folhas.....	30

5.1.2.	Massa fresca e seca de inflorescências	32
5.1.3.	Massa fresca e seca de raiz	35
5.1.4.	Altura	36
5.1.5.	Área foliar	38
5.1.6.	Número de folhas.....	39
5.1.7.	Número de inflorescências	41
5.1.8.	Número de ramificações	42
5.1.9.	Volume e comprimento de raiz	43
5.2.	Teores de óleos essenciais.....	45
5.3.	Teores de macronutrientes e boro na parte aérea	46
5.3.1.	Teores de Boro na parte aérea.....	47
5.3.2.	Teores de Nitrogênio na parte aérea	49
5.3.3.	Teores de Fósforo na parte aérea	50
5.3.4.	Teores de Potássio na parte aérea.....	52
5.3.5.	Teores de Enxofre na parte aérea	53
5.3.6.	Teores de Cálcio na parta aérea.....	54
5.3.7.	Teores de Magnésio na parte aérea	56
6.	RESUMO E CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

RESUMO

VIMERCATI, Júlia Caetano. M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Julho de 2023; Boro em *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen: crescimento, teores nutricionais e de óleos essenciais; Orientadora: D.Sc. Marta Simone Mendonça Freitas.

O jambu (*Acmella oleracea*) é uma planta nativa do Norte do Brasil. Este vegetal possui grande importância cultural, sendo utilizado na culinária e medicina popular, fazendo com que seu uso se popularizasse, gerando interesse por parte das indústrias farmacêutica e cosmética. Uma das substâncias bioativas presente no jambu é o espilantol, que apresenta ação analgésica e de salivação, além de causar formigamento na boca, apresentando grande interesse econômico. Os nutrientes minerais, dentre eles o boro, alteram a composição e qualidade dos óleos essenciais. Embora haja estudos sobre o jambu, ainda há poucos trabalhos relacionados com a influência da nutrição mineral nos teores de óleos essenciais. Objetivou-se avaliar a influência do boro na produção, no rendimento dos óleos essenciais e nos teores nutricionais em dois genótipos de jambu, Jamburana e Nazaré, no cultivo com solução nutritiva. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro em Campos dos Goytacazes/RJ, utilizando delineamento em blocos casualizados, em fatorial 2x4, sendo dois genótipos (Jamburana e Nazaré) e quatro concentrações de boro (0; 12,5; 25 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$), com 4 repetições. A coleta foi realizada aos 76 dias após a semeadura, tendo sido mantido em tratamento por 60 dias. As variáveis

analisadas foram altura, número de folhas, número de inflorescências, área foliar, massa fresca e seca das folhas, inflorescências e das raízes, volume e comprimento das raízes e teores de óleos essenciais, além da determinação dos teores de macronutrientes das partes aéreas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão em nível de 5% de probabilidade no software R com auxílio do pacote ExpDes.pt. Os resultados demonstraram que a faixa de concentração de boro estimada entre 30 - 38 $\mu\text{mol L}^{-1}$, em solução nutritiva, proporcionou incrementos para todas as variáveis biométricas e para os teores de óleos essenciais nos dois genótipos de jambu, Jamburana e Nazaré. O incremento nas doses de boro diminuiu a absorção dos macronutrientes na parte aérea do jambu, independente dos genótipos. Os teores de boro na parte aérea do jambu foram incrementados em 641%, em ambos os genótipos, sem causar sintomas visuais de toxidez.

.

ABSTRACT

VIMERCATI, Júlia Caetano. M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; July 2023; Boron in *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen: growth, nutritional and essential oil contents; Advisor: D.Sc. Marta Simone Mendonça Freitas.

Jambu (*Acmella oleracea*) is a plant native to Northern Brazil. This vegetable has great cultural importance, being used in cooking and folk medicine, making its use popular, generating interest from the pharmaceutical and cosmetic industries. One of the bioactive substances present in jambu is spilanthol, which has analgesic and salivation effects, in addition to causing tingling in the mouth, presenting great economic interest. Mineral nutrients, including boron, alter the composition and quality of essential oils. Although there are studies on jambu, there is still little work related to the influence of mineral nutrition on the content of essential oils. The objective was to evaluate the influence of boron on jambu production, the yield of essential oils and nutritional contents in two genotypes, Jamburana and Nazaré, when cultivated with nutrient solution. The experiment was conducted in a greenhouse at the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro in Campos dos Goytacazes/RJ, using a randomized block design, in a 2x4 factorial, with two genotypes (Jamburana and Nazaré) and four boron concentrations (0; 12.5, 25 and 50 μmol), with 4 repetitions. The collection was carried out 76 days after sowing, having been kept in treatment for 60 days. The variables analyzed were height, number of leaves, number of inflorescences, leaf area, fresh and dry mass

of leaves, inflorescences and roots, volume and length of roots and essential oil content, in addition to determining the macronutrient content of the aerial parts. The data obtained were subjected to analysis of variance and regression at a 5% probability level in the R software with the help of the ExpDes.pt package. The results demonstrated that the boron concentration range estimated between 30 - 38 $\mu\text{mol L}^{-1}$, in nutrient solution, provided increases for all biometric variables and for the essential oil contents in the two jambu genotypes, Jamburan and Nazaré. The increase in boron doses decreased the absorption of macronutrients in the aerial part of jambu, regardless of the genotypes. Boron levels in the aerial part of jambu increased by 641%, in both genotypes, without causing visual symptoms of toxicity.

1. INTRODUÇÃO

Acmella oleracea (L). R. K. Jansen pertencente à família Asteraceae, conhecido popularmente como jambu, agrião-do-Norte, agrião-do-Pará, abecedária, botão-de-ouro, agrião-do-Brasil, nhambu e erva-maluca (Gilbert e Favoreto, 2010), é comumente cultivado na região Norte do Brasil.

Existem diversos genótipos de *A. oleracea*, dentre elas os genótipos Nazaré e Jamburana. A cultivar Nazaré apresenta cor arroxeada no ápice de suas inflorescências, sendo a mais utilizada para fins medicinais, além de apresentar características mais selvagens (Homma et al., 2011; Nascimento et al., 2019; Silva et al., 2020). A cultivar Jamburana apresenta inflorescências amarelas sendo mais utilizada para fins alimentícios, possuindo maiores níveis de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (Poltronieri et al., 2000; Homma et al., 2011; Nascimento et al., 2019; Silva et al., 2020).

O jambu é amplamente utilizado na culinária e na medicina popular (Homma et al., 2011; Borges et al., 2013). Seu consumo na culinária pode ocorrer cru ou cozido (Araújo et al., 2007), sendo usado em pratos da gastronomia paraense como o tacacá e o pato-no-tucupi, mas com sua popularização passou a ser utilizado na preparação do arroz com jambu, pizzas e saladas (Homma et al., 2011).

Na medicina popular é utilizado para tratar problemas odontológicos, dor de garganta, gripe, tosse e cálculos de bexiga, pois apresenta ação antifúngica, antibiótica, antimicrobiana, além de larvicida e inseticida (Ramsewak et al., 1999;

Gilbert e Favoreto, 2010; Homma et al., 2011; Borges et al., 2013). Segundo Gilberto e Favoreto, (2010) o jambu também apresenta propriedades digestiva, antigripal, cicatrizante, febrífuga e desinfetante.

As diversas propriedades do jambu estão diretamente associadas à composição de seus óleos essenciais. Os óleos essenciais são produtos do metabolismo secundário das plantas, responsáveis pelos aromas das mesmas, sendo produzidos nas sementes, folhas, raízes, cascas de árvores, resinas, flores, grãos e casca de frutos cítricos (Kuzey, et al., 2019), além de apresentarem diversas propriedades, como antifúngica, antiviral, antibacteriana e antimicrobiana (Contrucci et al., 2019; Kuzey, et al., 2019).

A composição química dos óleos essenciais do jambu possuem uma concentração em torno de 0,7% (Lorenzi e Matos, 2008) sendo o espilantol o componente de maior interesse econômico. O espilantol é uma molécula bioativa, sendo uma N-alquilamida, que atua na planta como proteção contra herbivoria, apresentando também ação antifúngica, e antibacteriana (Veryser et al., 2014; Barbosa, et al., 2016). Está presente nas folhas, flores e ramos do jambu, porém, a maior concentração se encontra nas inflorescências (Homma et al., 2011). Industrialmente o espilantol é utilizado na fabricação de medicamentos analgésicos, pastas de dente, antissépticos, anti-inflamatórios, cremes antirrugas, entre outros (Pinheiro et al., 2020).

Fatores bióticos, como a herbivoria, e abióticos, como luz, temperatura, água, nutrientes etc., podem influenciar nos teores dos óleos essenciais e dentro dos fatores abióticos, os nutrientes minerais alteram a composição e a qualidade dos óleos essenciais em diversas culturas (Freitas et al., 2004; Fávoro et al., 2011; Najafian e Zahedifar, 2015; Peçanha et al., 2021), mas existem poucas informações disponíveis sobre o impacto dos micronutrientes na produção de óleos essenciais.

O boro atua em processos fundamentais como divisão celular, formação das paredes celulares, florescimento, formação de sementes e frutificação (Brown et al., 2002; Marschner's, 2012). O jambu apresenta grande demanda por boro, principalmente em sua fase reprodutiva (Araújo et al., 2021), pois o boro está diretamente relacionado ao crescimento e desenvolvimento do vegetal e, conseqüentemente com a produção de óleos essenciais, por estar diretamente

ligado ao período reprodutivo das plantas, na formação de flores e inflorescências, e frutos e algumas das principais estruturas de onde são extraídos os óleos essenciais (Dixit et al., 2002; Sugier et al., 2017; Choudhary et al., 2020).

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do boro na produção de jambu, no rendimento dos óleos essenciais e nos teores nutricionais em dois genótipos, Jamburana e Nazaré, no cultivo com solução nutritiva.

2.1. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito das doses de boro sobre o crescimento de dois genótipos de jambu;
- Determinar os teores de macronutrientes e boro das plantas em dois genótipos de jambu sob o efeito das doses; e
- Quantificar os teores de óleos essenciais em dois genótipos de jambu em resposta a doses de boro.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Jambu

O jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen), conhecido popularmente como agrião-do-Norte, agrião-do-Pará, abecedária, botão-de-ouro, agrião-do-Brasil, nhambu e erva-maluca (Gilbert e Favoreto, 2010), é nativo e popularmente cultivado na região Norte do Brasil.

A. oleracea apresenta diversas sinonímias como *Spilanthes oleracea*, *Spilanthes acmella* var *oleracea*, *Spilanthes fusca* e *Bidens fervida* Lan. Esta planta pertence à família Asteraceae (Gusmão e Gusmão, 2013). Seu gênero, *Acmella* e tribo Heliantheae, estão presentes em diversas regiões tropicais do mundo, na África, América, Ásia e Oceania (Silva e Santos, 2011).

Os locais de ocorrência natural do jambu contemplam altas temperaturas, alto índice de radiação solar e umidade elevada (Poltronieri et al., 2000). A colheita do jambu pode ser realizada cerca de 45 a 50 dias após o plantio, ou quando as plantas atingirem cerca de 20 a 30 cm de altura (M.A.P.A., 2010).

De acordo com o MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o jambu se classifica como uma Planta Alimentícia Não Convencional (PANC) por conta de sua limitação de distribuição, ocorrendo principalmente na região norte do Brasil (M.A.P.A, 2010).

Esta hortaliça é bastante consumida no estado do Pará, principalmente em festividades como o Círio de Nazaré e comemorações de fim de ano (Borges et al.,

2013). Em 2017, durante o período do Círio de Nazaré, Homma (2017) estimou o consumo de 240 mil maços desta hortaliça na região. Seu consumo na culinária pode ocorrer cru ou cozido, sendo também utilizado em infusões, tinturas e na medicina popular (Araújo et al., 2007).

3.1.1. Classificação botânica

A. oleracea é uma planta C3, herbácea anual, atingindo entre 20-40 cm de altura, com caule cilíndrico, carnoso, de coloração esverdeada à arroxeada, com ramos decumbentes e ramificados e sem raízes nos nós (Gilbert e Favoreto, 2010; Homma et al., 2011).

Suas folhas são pecioladas, membranáceas, compostas e opostas, apresentando pelos esparsos sobre ambas as faces da folha, especialmente na nervura central. O limbo apresenta bordas dentadas e ápice agudo (Hind e Biggs, 2003; Gilbert e Favoreto, 2010).

Suas inflorescências são compostas por capítulos globosos terminais, com flores hermafroditas de coloração amarela (Homma et al., 2011) com áreas púrpuras distintas na páleas do cálice, sendo mais visíveis nos capítulos imaturos (Gilbert e Favoreto, 2010). Sua polinização é chamada de cleistogamia, um processo de autopolinização que ocorre quando o estilete cresce e ultrapassa as anteras, chegando ao estigma, onde está contido o pólen (Cardoso e Garcia, 1997).

Segundo Hind e Biggs (2003) os frutos do jambu são pequenos e aquênios, com pericarpo quase preto, sendo envolvido por partes membranáceas.

Suas raízes apresentam um forte enraizamento secundário, com hastes rastejantes, que podem chegar a 20 cm no solo e 30 cm em hidroponia (Gusmão e Gusmão, 2013).

3.2. Genótipos de Jambu

3.2.1. Genótipo Nazaré

O genótipo Nazaré é originário da Embrapa Amazônia Oriental, onde foram realizadas seleções a partir de coletas de áreas produtoras (Farias et al., 2010).

Sendo o único genótipo de jambu registrado, sua origem é resultado do processo seleção artificial, através de sete ciclos de seleção individual, com testes de progênie. O material primário que deu origem a cultivar foi coletado no município de Santa Izabel do Pará em 1994. Em testes iniciais com essas plantas elas se mostraram resistentes a doenças como o carvão (*Thecaphora spilanthes*) e a ferrugem (*Puccinia cnici-oleracei*) (Poltronieri et al., 1999; Poltronieri et al., 2000). As plantas originadas foram selecionadas por apresentarem inflorescências de capítulos mais graúdos, subglobosos e de cor amarela intensa, caules e folhas de cor verde-escuro e maior resistência a doenças (Poltronieri et al., 2000; Silva e Silva, 2021).

Este genótipo apresenta ramos com predominância de pigmentos antociânicos, conferindo assim a cor arroxeada, assim como no ápice de suas inflorescências. Suas folhas apresentam um verde mais intenso que a cultivar Jamburana (Homma et al., 2011; Nascimento et al., 2019). Suas inflorescências apresentam capítulos graúdos e subglobosos, com cerca de oito ramos por planta, sendo precoce e uniforme (Poltronieri e Müller, 2000).

O genótipo Nazaré tem recomendação de plantio em condições de clima quente e úmido, com temperatura média de 25,9°C e umidade relativa em torno de 80%. São recomendados solos argilo-arenosos e ricos em matéria orgânica. (Poltronieri et al., 1999; Poltronieri et al., 2000). Segundo a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), esta cultivar é mais utilizada para fins medicinais (Silva et al., 2020).

3.2.2. Genótipo Jamburana

Esta cultivar apresenta predominância de clorofila nas folhas e caules, deixando-os verde-escuros, suas inflorescências se apresentam em capítulos globosos e grãos de cor amarela intensa, produzindo em média oito ramos por planta (Poltronieri et al., 2000; Homma et al., 2011; Nascimento et al., 2019).

A cultivar Jamburana é mais utilizada para fins alimentícios, possuindo maiores níveis de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante quando comparada à cultivar Nazaré (Silva et al., 2020).

Dentre os demais nomes populares da cultivar jamburana se encontram jambu branco e jambu-zebu, por conta de suas inflorescências amareladas e suas sementes esbranquiçadas (Cardoso e Garcia, 1997; Silva e Silva, 2021).

3.2.3. Importância e usos

O jambu apresenta diversos usos, que vão desde o culinário, medicina popular, farmacológico e cosmético.

Na culinária tem destaque em pratos como tacacá, pato no tucupi, arroz paraense, pizza e pastel de jambu, e em natura em saladas (Homma et al., 2011).

Na medicina popular é amplamente utilizada por conta de sua atividade anestésica vinda de seu principal princípio ativo, o espilantol (Revilla, 2002). Suas inflorescências e folhas são usadas para tratar problemas odontológicos e doenças da boca, garganta e cálculos renais, pois apresenta ação antibiótica e anestésica. Infusões com flores e folhas costumam ser utilizadas para tratar anemia e escorbuto devido à presença de ferro e vitamina C (Cardoso e Garcia, 1997; Poltronieri et al., 1999; Homma et al., 2011).

Na indústria farmacêutica e cosmética é empregado em produtos antissépticos, enxaguantes bucais e pastas de dente, cremes e máscaras faciais antissinais (Homma et al., 2011). Outros produtos como analgésicos e anti-inflamatórios de uso odontológico também são preparados a base de espilantol (Estrella, 1995; Araújo et al., 2007).

O jambu também apresenta propriedades com características larvicida, inseticida, carrapaticida, antioxidante, antipirética, antibacteriana e diurética (Oliveira et al., 2016).

Por conta das possibilidades comerciais e industriais que o jambu apresenta, tem atraído o interesse de pesquisadores e empresas, tanto nacionais quanto internacionais, para a fabricação de cosméticos e fármacos (Barbosa et al., 2016; Almeida et al., 2020).

3.3. Óleos essenciais

Os óleos essenciais constituem os produtos do metabolismo secundário das plantas, sendo responsáveis pelos aromas das mesmas, possuindo diversas propriedades, como antifúngica, antiviral, antibacteriana e antimicrobiana (Contrucci et al., 2019; Kuzey, et al., 2019).

Esses óleos são compostos voláteis que apresentam funções de autodefesa para as plantas, assim como são atrativos para agentes polinizadores. Esses compostos são biossintetizados em grande parte da planta, como sementes, folhas, raízes, cascas de árvores, resinas, flores, grãos e casca de frutos cítricos (Kuzey, et al., 2019).

Atualmente os óleos essenciais vêm sendo amplamente utilizados na indústria farmacêutica, principalmente como uma fonte alternativa de antioxidantes naturais, além disso podem ser empregados em suplementações alimentícias (Pereira e Maia, 2007; Borges et al., 2020). Outro potencial que pode ser extraído dos óleos essenciais é o controle de pragas, podendo ser utilizado em lavouras e plantações, e com isso diminuir o uso de agroquímicos e defensivos agrícolas, que vem sendo utilizados de forma indiscriminada, além de muitas vezes apresentar descarte incorreto, e se utilizado de outras formas de manejo agrícola, como os óleos essenciais, pode-se aumentar a qualidade do produto vegetal e reduzindo a contaminação do meio ambiente por agentes químicos, além de oferecer menores riscos a quem lida diretamente com a produção agrícola (Borges et al., 2020).

Assim como muitas plantas, o jambu apresenta como constituinte de seu metabolismo secundário os óleos essenciais, que na sua composição química possuem uma concentração em torno de 0,7% (Lorenzi e Matos, 2008) sendo o espilantol o componente de maior interesse econômico. O espilantol está presente nas folhas, flores e ramos do jambu, porém, a maior concentração se encontra em suas inflorescências (Homma et al., 2011). O jambu também possui flavonoides, vitamina C e antioxidantes (Borges et al., 2020).

Estudos de Li-Chen et al. (2008) concluíram que o espilantol apresenta efeitos anti-inflamatórios, com potencial para produção de drogas anti-inflamatórias. Uma das principais utilizações dos óleos essenciais do jambu é na indústria de cosméticos, devido ao seu potencial antioxidante, assim como na indústria farmacêutica, para a produção de anestésicos e medicamentos odontológicos (Borges et al., 2021).

Apesar de haver diferenças na composição do óleo essencial do jambu, de acordo com os fatores bióticos, como herbivoria, e abióticos, como luz, água e temperatura, há estudos que trazem a composição química deste óleo, como é o caso do trabalho de Baruah e Leclercq (1993), que descreve a composição dos óleos essenciais dos capítulos florais da *A. oleracea*, em que foram detectados 20 componentes. As análises foram realizadas por Cromatografia em Fase Gasosa acoplada à Espectrometria de Massa, destacando os componentes majoritários o β -cariofileno, germacrene D, mirceno, (Z)- β -ocimene e o limoneno. Contudo, pode-se afirmar que o componente mais abundante nos capítulos florais do jambu é o espilantol, uma isobutilamida capsaicinoide (Jacobson, 1957). O espilantol é o principal responsável pela sensação de formigamento e anestesia na boca deixada pelas folhas e inflorescências do jambu (Gilbert e Favoreto, 2010).

O espilantol (Figura 1), também conhecido como afinina, é uma N-alquilamida, e assim como outras alquilamidas, é um composto anfifílico, contendo uma amida parcialmente polar e um ácido graxo menos polar (Prachayasittukul et al., 2013; Abeysinghe et al., 2014; Rios e Olivo, 2014; Barbosa, et al., 2016). Por ser um composto bioativo ajuda na proteção da planta contra herbivoria, além de apresentar características antibacterianas, antifúngicas e analgésicas (Veryser et al., 2014; Barbosa et al., 2016).

As partes do espilantol que apresentam importância farmacológica relacionada com a ação analgésica, de salivação e formigamento na boca são as amidas e ácidos graxos insaturados (Ley et al., 2006; Rios e Olivo, 2014; Barbosa et al., 2016).

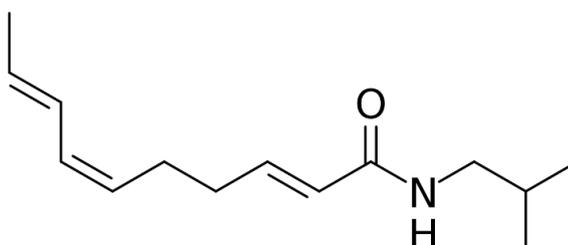


Figura 1. Estrutura química do espilantol (Ramsewak et al., 1999).

3.4. Boro nas plantas

O boro (B) é um micronutriente que atua na formação das paredes celulares, divisão celular, germinação do pólen, florescimento, formação de sementes e frutificação (Brown et al., 2002; Marschner's, 2012). É um cofator na síntese da clorofila, sendo de maior exigência nutricional com o início da fase reprodutiva e na formação das sementes (Shireen et al., 2018; Araújo, et al., 2021), apresentando um papel crítico na divisão e alongamento dos tecidos jovens em crescimento, apresentando maior demanda nessa fase (Dell e Huang, 1997; Shireen et al., 2018).

O boro está envolvido no funcionamento enzimático e nas proteínas de membrana, garantindo a elas integridade, sendo a concentração ótima de boro responsável pela hiperpolarização da membrana plasmática. A deficiência de boro, por sua vez, altera o potencial da membrana e reduz a atividade H⁺-ATPase (Goldbach et al., 2001; Brown et al., 2002; Goldbach e Wimmer., 2007; Shireen et al., 2018).

Sendo amplamente distribuído na litosfera e na hidrosfera, a presença do boro no ambiente pode ser natural ou antropogênica (Brdar-Jokanović, 2020), a forma mais encontrada do boro é o ácido bórico (H₃BO₃) ou borato (Paula, 2009; Miwa e Fujiwara, 2010) presente principalmente nas camadas superiores do solo,

sendo sua formação associada à presença de matéria orgânica (Oliveira et al., 2019). Outras formas de boro natural no solo são minerais borossilicato, turmalina, correntes geotérmicas, emanções vulcânicas voláteis, água do mar e águas subterrâneas. Sendo apenas o boro solúvel não dissociado disponível para as plantas, o que corresponde apenas 10% do boro total no solo (Power e Woods, 1997; Lima, 2011; Oliveira et al., 2019), sendo a principal fonte disponível para as plantas proveniente da mineralização da matéria orgânica (Malavolta, 2006; Oliveira et al., 2019).

O boro apresenta características de ser um ametal, fator esse que favorece seu transporte até as raízes por fluxo de massa, entrando nas células por meio de aquaporinas. Existem mecanismos para absorção e transporte de boro, são eles a difusão passiva através da membrana plasmática; o transporte ativo de alta afinidade reconciliado por transportadores de borato persuadidos sob baixa disponibilidade de boro e o transporte facilitado via proteínas de canal (Brown et al., 2002; Takano et al., 2008; Miwa e Fujiwara, 2010; Shireen et al., 2018).

O fator não edáfico que mais influencia a absorção de boro é a taxa de transpiração, pois o aumento na transpiração faz com que haja um aumento na absorção de boro, ou seja, há uma influência da umidade relativa, temperatura e intensidade luminosa (Hu et al., 1997; Oliveira et al., 2019).

A mobilidade deste elemento é bastante baixa, porém, algumas plantas conseguem fazer a translocação do boro de regiões mais velhas para as mais novas, principalmente para as partes reprodutivas (Brown e Shelp, 1997). No interior da planta, o boro é transportado de forma unidirecional no xilema, via corrente respiratória, passando das raízes para a parte aérea, e no floema é praticamente imóvel, o que faz com que seja pouco distribuído ao longo da planta, o que pode levar a sintomas de carência nos órgãos mais novos e nas regiões de crescimento (Taiz e Zeiger, 2017). Sendo um elemento considerado altamente permeável à bicamada lipídica, o boro é imóvel ou de mobilidade intermediária, dependendo da espécie de planta e de suas estruturas de membrana (Dordas e Brown, 2000; Marschner's, 2012; Shireen et al., 2018).

O aumento do influxo de boro para as células radiculares aumenta a permeabilidade do ácido bórico na membrana celular, pois o boro é extraído da

solução do solo pelas células das raízes, sendo liberado das células do parênquima do xilema para o apoplasto, para em seguida ser distribuído em brotos e em outras partes da planta em condições de deficiência de boro (Shireen et al., 2018).

O limiar entre a deficiência e a toxidez de boro é muito estreito (Dell e Huang, 1997; Shireen et al., 2018). Esse limiar muitas vezes é um grande problema agrícola para plantas superiores em solos áridos ou semiáridos (Shorrocks, 1997; Shireen et al., 2018). A faixa de suficiência e a toxicidade do boro nas folhas de plantas superiores oscila dentro de um pequeno intervalo de cerca de 20 mg/kg, sendo um equilíbrio delicado (Mengel e Kirkby, 2012). Alguns dos sintomas do excesso e da deficiência de boro podem ser vistos na tabela 1.

Tabela 1. Excesso e deficiência de boro nas plantas.

Excesso de boro	Deficiência de boro
Clorose e necrose de folhas maduras	Tecidos foliares e raízes mais frágeis
Danos estruturais aos tilacoides	Afeta a resposta dos estômatos
Inibição da fotossíntese	Afeta o processo de fotossíntese
Limitação da absorção de CO ₂	Afeta a transpiração, translocação e Distribuição de água pelo vegetal
Alteração na estrutura da parede celular	Interrupção da divisão celular no meristema apical, cessando o crescimento radicular
Alteração na função de moléculas energéticas	Desenvolvimento de flores e frutos deformados
Alteração na função ligada ao RNA para interromper o mecanismo de divisão e expansão celular	Compromete a formação das paredes celulares

Fonte: Gupta et al., (2013); Landi et al., (2013); Shireen et al., (2018); Choudhary (2020).

Os sintomas de toxicidade do boro variam entre diferentes genótipos, assim como a concentração do boro, que varia conforme a espécie da planta, a capacidade de mobilidade de boro e estágio de desenvolvimento da planta (Nable

et al., 1990; Furlani et al., 2003; Torun et al., 2006; Turan et al., 2018; Brdar-lokanović, 2020).

Pode haver três principais causas para a toxidez do boro, são elas: interrupção da divisão celular e desenvolvimento por ligação à ribose, quer como açúcar livre ou dentro do RNA, a ruptura do desenvolvimento da parede celular, ou perturbação metabólica por ligação às porções de ribose de ATP, NADH ou NADPH (Stangoulis e Reid, 2002).

O acúmulo de boro ocorre da base da folha para a ponta, o que demonstra sinais típicos de toxidez, principalmente em folhas mais velhas, como clorose nas pontas, nas margens ou ambas e necrose (Marschner, 1995; Roessner et al., 2006; Camacho-Cristóbal et al., 2008). Nas folhas, grandes concentrações de boro no final do fluxo de transpiração podem levar ao desequilíbrio osmótico (Reid et al., 2004; Oliveira et al., 2019). Por conta dos teores de boro se encontrarem superiores nas folhas do que nas raízes, os sintomas de toxidez se mostram mais visíveis nas folhas, mesmo em níveis muito elevados de suprimento de boro tais sintomas de toxidez não se desenvolvem nas raízes (Oertli e Roth, 1969; Nable, 1988; Nable, 1997; Dhassi et al., 2019).

A deficiência de boro pode causar diversas alterações nas plantas, interferindo na anatomia, bioquímica e fisiologia, comprometendo a formação das paredes celulares, fazendo com que tecidos foliares e raízes fiquem mais frágeis, o que afeta o processo de fotossíntese, resposta dos estômatos, transpiração, translocação e distribuição de água pelo vegetal (Moraes et al., 2002; Wimmer e Eichert, 2013). O efeito mais observado é a interrupção da divisão celular no meristema apical, cessando o crescimento radicular, pois a debilidade de boro inibe consideravelmente o alongamento das raízes, gerando flores e frutos deformados por conta da divisão celular prejudicada na região meristemática (Gupta et al., 2013, Shireen et al., 2018).

A fotossíntese também é afetada indiretamente pela deficiência de boro, gerando enfraquecimento dos tecidos vasculares responsáveis pelo transporte de íons (Wang et al., 2015; Shireen et al., 2018), sendo rupturas nas membranas do cloroplasto, aparelho estomático, gradiente de energia através da membrana e o transporte de elétrons nos tilacoides a principal razão para a redução da

fotossíntese sob deficiência de boro (Goldbach e Wimmer, 2007; Shireen et al., 2018).

A limitação de boro interfere negativamente na capacidade reprodutiva das plantas, causando a redução da microesporogênese, encurtamento do tubo polínico e problemas de germinação, devido a diminuição da fertilidade das estruturas masculinas da planta, alterando a floração e conseqüentemente o modo de frutificação, o que resulta em anteras vazias e enrugadas, tubos polínicos rompidos, pólen inviável, abscisão de botões florais, falha no desenvolvimento e queda prematura de frutos (Lovatt, 1985; Cheng e Rerkasem, 1993; Dell e Huang, 1997; Match, 1997; Rerkasem et al., 2019; Brdar-lokanović, 2020). Esses pontos sugerem que o boro afeta principalmente o desenvolvimento reprodutivo em comparação com o crescimento vegetativo das plantas (Dell e Huang, 1997; Marschner's, 2012; Shireen et al., 2018).

Os sintomas da deficiência de boro dependem da gravidade da deficiência, podendo ser uma deficiência uniforme, em folhas inteiras, ou manchas isoladas nas folhas. Devido à natureza quase imóvel do boro, ele costuma se acumular nas folhas mais velhas, enquanto as folhas mais novas não recebem boro o suficiente para se desenvolver de forma adequada, fazendo com que os sintomas de deficiência apareçam primeiro nas folhas mais jovens, sendo eles: folhas quebradiças, grossas e enroladas, o que reduz a exposição foliar ao sol; clorose nas nervuras; manchas amarelas encharcadas de água nas lâminas; distância intermodal curta. Em casos mais graves, pode ocorrer necrose do ápice das folhas e morte das mesmas (Dell e Huang, 1997; Sheng et al., 2009; Marschner's, 2012; Zhou et al., 2014; Shireen et al., 2018).

Uma das características típicas de plantas deficientes em boro é o acúmulo de fenol, pois o boro está envolvido no metabolismo fenólico (Marschner's, 2012; Shireen et al., 2018). Para reduzir o acúmulo de fenol ocorre a formação do complexo B-açúcar cis-diol, porém, devido ao deslocamento da via da glicose para o fosfato as plantas não formam esse complexo, o que resulta na formação e acumulação de compostos (Mengel e Kirkby, 2001; Shireen et al., 2018).

A correção da deficiência de boro ocorre através da aplicação de fertilizantes apropriados contendo boro, sendo mais comum a aplicação desses

fertilizantes no solo, mas a aplicação foliar também é utilizada (Güneş et al., 2003; Soyly et al., 2005; Fontes et al., 2008; Jin et al., 2008; Brdar-Jokanović, 2020).

Estudos realizados por Steiner e Lana (2013), com solo brasileiro, naturalmente ácido, advindo do estado do Paraná, mostraram que a adsorção de boro foi dependente e crescente em função do pH, mas também devido às propriedades do solo, como argila, teor de matéria orgânica e óxido de alumínio. Quando aplicado ao solo para corrigir a deficiência de boro, uma parte desta aplicação sofre lixiviação, por meio de irrigação ou de chuvas, fazendo com que haja uma diminuição dos níveis deste elemento no solo, situação que pode ser ainda mais agravada em solos arenosos (Foloni et al., 2016; Silva, 2016; Corioletti et al., 2021).

Algumas plantas são indicadoras de solos com baixa concentração de boro, pois a baixa eficiência na absorção de boro, como é o caso do girassol (*Helianthus annuus*) faz com que essa cultura apresente sintomas de deficiência principalmente na fase de florescimento e maturação dos grãos, o que faz com que tenha uma redução na produção desta planta (Blamey e Chapman, 1982; Castro et al., 1996; Castro et al., 2006).

Peçanha et al. (2019) trabalhando com plantas de jambu (*Acmella oleracea*) e deficiências nutricionais, demonstraram que as plantas de Jambu apresentaram alguns sintomas, como baixa resistência mecânica nas extremidades, fazendo que se rompessem facilmente, principalmente abaixo das inflorescências, com omissão de boro, após 28 dias do início da aplicação dos tratamentos. As plantas deste experimento se mostraram quebradiças, sendo facilmente danificadas pelo vento. Também apresentou murcha de brotações crescidas após o início dos primeiros sintomas, fazendo com que não retornassem a sua turgidez total. As plantas apresentaram 76,4 mg kg⁻¹ de boro nas folhas novas e 170,0 mg kg⁻¹ nas folhas velhas no tratamento completo e 28,4 mg kg⁻¹ folhas novas e 67,3 mg kg⁻¹ nas folhas velhas no tratamento deficiente em boro.

O jambu apresenta uma alta demanda de boro durante sua fase reprodutiva, como citado por Araújo et al. (2021), onde essa exigência nutricional ocorre por volta do 44º dia após a germinação. Essa demanda ocorre porque o boro está diretamente relacionado ao desenvolvimento vegetal (Shireen et al., 2018).

Teores inadequados de boro podem acarretar um lento desenvolvimento das plantas de jambu, o que atrasará o período de floração, ocasionando um aumento no tempo do ciclo comercial esperado (Araújo et al., 2021).

3.5. Boro e Óleos essenciais

Os micronutrientes apresentam um importante papel no crescimento vegetal, influenciando diretamente nos teores e rendimento dos óleos essenciais e sua qualidade, pois atuam na fotossíntese e utilizam fotoassimilados que podem estar envolvidos no armazenamento, síntese e catabolismo de monoterpenos (Farooqi, Ah Abad, Misra, 1983; Choudhary, 2020).

Segundo Alves (2019), o boro pode alterar os teores dos óleos essenciais, assim como os perfis de metabólitos nas culturas, e essas alterações podem ocorrer tanto de maneira positiva quanto negativa, de acordo com a dose de boro disponível à cultura. Loomis e Durst (1992) afirmam que, quando a concentração de boro é relativamente baixa, processos, como o de floração e frutificação e a produtividade como um todo, são mais responsivos; o oposto ocorre com o crescimento vegetativo, que apresenta melhor desenvolvimento com níveis mais elevados de boro (Asad et al., 2003; Sugier et al., 2017).

As condições adequadas de crescimento e desenvolvimento da planta estão diretamente relacionadas com a produção de óleos essenciais e sua composição, além de estar relacionado com a produção de folhas. Na deficiência de boro ocorre uma redução na síntese de lignina e pectina, fazendo com que as paredes celulares do lenho fiquem mais delgadas, acarretando um menor crescimento vegetal e conseqüentemente uma menor produção de folhas (Moraes et al., 2002; Fávoro, 2011).

Em experimento realizado com *Mentha arvensis* e *Cymbopogon flexuosus*, utilizando cinco concentrações de boro (2,5; 5; 10; 20 e 30 mg kg), observou-se que a aplicação do boro mostrou efeitos inibidores do crescimento da planta, demonstrado pelo comprimento das raízes, partes aéreas e no peso fresco e seco. Os teores de óleos essenciais, nas duas espécies, aumentaram na concentração

de 2,5 mg/kg de boro e diminuíram com o aumento nas concentrações. Nas plantas de *C. flexuosus* foi observado aumento no teor de geraniol e citral nos óleos essenciais, enquanto em *M. arvensis* foi observado aumento no teor de mentol e acetato de mentila nos óleos essenciais, quando comparados com o controle (Choudhary et al., 2020).

Estudos realizados por Silveira (1996) com folhas de *Eucalyptus citriodora* deficientes em macronutrientes e boro, observou-se que a deficiência de boro reduziu o número de glândulas produtoras de óleos essenciais presentes no limbo foliar quando comparadas com folhas que receberam o tratamento nutricional completo.

No trabalho com *E. citriodora*, realizado por Maffeis et al. (2000), as menores concentrações de óleos essenciais foram encontradas nas plantas que tiveram omissão de nitrogênio e boro, o que levou a uma redução na produção de folhas e no número de glândulas produtoras de óleos essenciais.

Experimento realizado com *Arnica montana* L. e *Arnica chamissonis* Less, e 3 doses de boro (100, 200 e 300 g B ha⁻¹) visando avaliar a adubação foliar com boro sobre os teores de óleos essenciais e produção de capítulos florais, demonstraram que o boro é um dos responsáveis por proporcionar diferenças na composição química de óleos essenciais dos capítulos florais, de ambas as espécies de arnica, tendo efeito significativo na produtividade, composição química, intensificando a produção dos principais compostos dos óleos essenciais, mostrando que a adubação foliar com boro pode ser utilizada como uma ferramenta de baixo custo para aumentar a qualidade e o rendimento de óleos essenciais (Sugier et al., 2017).

Estudos realizados por Gao et al. (2019), com *Litsea cubeba* (Lour.) Persson utilizando aplicação foliar de boro e zinco sozinhos e combinados, visaram avaliar o rendimento, componente do rendimento, teor de óleo essencial e teor de citral de três variedades (Fuyang 1 (FY1), Jianou 2 (JO2), e Jianou 3 (JO3)) de *L. cubeba*. Foi aplicado, através de pulverização, sulfato de zinco (0,25%), ácido bórico (0,25%) e sulfato de zinco (0,25%) + ácido bórico (0,25%) em árvores selecionadas em cinco épocas diferentes, em plena floração e 28 dias antes da colheita dos frutos, uma vez a cada sete dias. A aplicação somente com zinco apresentou um

efeito negativo no rendimento, componente do rendimento, teor de óleo essencial e teor de citral nas três variedades, quando comparado com o controle. A aplicação somente com boro apresentou efeitos positivos no rendimento, componentes do rendimento, teores de óleos essenciais e teor de citral em duas variedades (JO2 e JO3), mas não na variedade FY1, quando comparado com o controle. A aplicação de boro e zinco combinados apresentou os maiores teores de rendimento, componente do rendimento, teor de óleo essencial e teor de citral nas três variedades (Gao et al., 2019).

Karayel (2020), trabalhando com *Salvia sclarea* L. e diferentes doses de boro (sem boro, boro puro com 8 litros por hectare e na proporção de 1/8 de boro diluído) observou a taxa e qualidade do óleo volátil em plantas de almíscar. A taxa de óleo essencial encontrado em plantas cultivadas sem boro foi de 0,11%, enquanto as plantas cultivadas com boro puro obtiveram o valor de 0,44% de óleo essencial. Para o tratamento com 1/8 de boro foi encontrado o valor de 0,23% de óleo essencial. A aplicação do boro puro apresentou efeito positivo, quando comparado aos outros tratamentos na produção de óleo essencial de *S. sclarea*.

Em estudo realizado com girassol utilizando doses de nitrogênio e boro com o objetivo de avaliar os efeitos desses nutrientes na produção de grãos e óleos essenciais, onde foram utilizados dois híbridos de girassol (BRS 321 e Neon) e as doses de boro e nitrogênio foram aplicadas em solução nutritiva: B + 50 N (2,49 kg de B ha⁻¹ e 10 kg de N ha⁻¹ no plantio e 40 kg de N ha⁻¹ suplementar); B + 10 N (2,49 kg de B ha⁻¹ e 10 kg de N ha⁻¹ no plantio); 50 N (sem B e 10 kg de N ha⁻¹ no plantio e 40 kg de N ha⁻¹ suplementar); 10 N (sem B e 10 kg de N ha⁻¹ no plantio). Obteve-se como melhor resultado para a produção de óleo a combinação entre o fornecimento de boro com a maior adubação nitrogenada no híbrido BRS 321. Já para a produção de grãos o tratamento com a menor dose de adubação nitrogenada (sem B e 10 kg de N ha⁻¹ no plantio) apresentou melhor resposta à aplicação de boro no híbrido Neon (Alves et al., 2017).

Em plantas de açafrão (*Curcuma longa* L.), cultivadas em solução nutritiva com duas concentrações de boro (0 e 0,5 g m⁻³), Dixit et al. (2002) avaliaram os teores de óleos essenciais e curcumina, entre outros fatores. Como resultado obteve-se que a deficiência de boro resultou na diminuição da área foliar, massa

fresca e seca e teor de clorofila, principalmente nas folhas jovens. Houve diminuição na distribuição de fotoassimilados para os óleos essenciais nas folhas e para a curcumina nos rizomas. Os autores afirmaram que essas influências causadas pela deficiência de boro podem ser atribuídas à redução da formação e translocação de fotossintatos.

Shamsuzzoha et al. (2019) realizaram estudos com gergelim e doses de boro e nitrogênio utilizando quatro doses de nitrogênio (N_0 : 0 kg N ha⁻¹ (controle), N_1 : 50 kg N ha⁻¹, N_2 : 60 kg N ha⁻¹, N_3 : 70 kg N ha⁻¹) e três doses de boro (B_0 : 0 kg B ha⁻¹ (controle), B_1 : 2 kg B ha⁻¹, B_2 : 3 kg B ha⁻¹). Como resultado obteve-se que a combinação de 60 kg N ha⁻¹ e 3,0 kg B ha⁻¹ mostrou maior rendimento de óleo essencial, assim como o retorno econômico dos parâmetros do estudo se mostrou satisfatório.

Em pesquisa realizada por Tripathi et al. (2021) com gerânio rosado (*Pelargonium graveolens* L.) e três doses de boro (2,5; 5,0 e 7,5 kg ha⁻¹) em teste de campo, avaliou-se a biomassa, o rendimento e os constituintes dos óleos essenciais nas folhas *P. graveolens* L. em diferentes escalas de tempo. Como resultado, foi registrado o maior rendimento de óleo essencial e biomassa na dose de 5,0 kg ha⁻¹. Para a dose de 7,5 kg ha⁻¹ apresentou sintomas de toxicidade, observado pela queda no teor de clorofila e proteínas e um aumento em enzimas responsivas a estresse (CAT e SOD) nas folhas. Observou-se também que os efeitos do boro sobre os constituintes do óleo essencial variaram de acordo com os estágios de desenvolvimento da planta. A dose que apresentou melhor resposta ao rendimento de óleo essencial, 5,0 kg ha⁻¹, atua como um estimulante que pode influenciar na melhoria da quantidade e qualidade de óleo essencial em *P. graveolens*. Portanto, o estudo mostra que o equilíbrio na dose de boro é um parâmetro crucial para o aumento da produtividade do óleo essencial de gerânio rosado.

Karayel (2022) realizou um estudo com boro e *Mentha spicata* L. para determinar os efeitos do boro na qualidade e quantidade de óleo essencial de hortelã. Foram utilizadas quatro doses de boro (0, puro e 1/2 dose, 1/8 dose (8L ha⁻¹)). Foi obtido o valor de 1,25% de óleo essencial para os tratamentos sem boro, para o tratamento com 1/8 de boro obteve-se o valor de 2,22%. O estudo concluiu

que a dose recomendada para se ter melhores resultados para o óleo essencial de hortelã é de 1/8 da dose de boro.

No trabalho com *Lavandula officinalis*, realizado por Fouad et al. (2023), com aplicação foliar de boro (0, 2,5 e 5 mg B L⁻¹) em diferentes épocas de colheita, obteve-se que a dose de 5 mg L⁻¹ ocasionou aumento no crescimento vegetativo e no rendimento de óleo essencial. Alguns compostos do óleo (eucaliptol e (+) -2-Bornanone) apresentaram maiores valores em plantas pulverizadas com as doses de 0, 2,5 e 5 mg L⁻¹. Outros compostos (o α -Pineno quanto o β -Pineno) atingiram seus valores máximos nas plantas pulverizadas com as doses de 2,5 e 5 mg L⁻¹, respectivamente.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Unidade de Apoio à Pesquisa, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, na cidade de Campos dos Goytacazes (21°45'S e 41°17'W, 11 metros de altitude). Durante a condução do experimento foram registradas as temperaturas máxima e mínima e a umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação com uso de registrador HOBO® pro v2 Data Logger. Foi observado que as temperaturas variaram de 33°C a 22°C e a umidade relativa do ar ficou em torno 80%. O experimento foi conduzido de outubro a dezembro de 2022.

4.2. Delineamento experimental

Foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com dois genótipos de jambu, Jamburana e Nazaré, e quatro doses de boro (0; 12,50; 25 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$) sendo utilizada a solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), com quatro repetições. A unidade experimental foi composta por dois vasos plásticos contendo 6 dm^3 de areia lavada e duas plantas por vaso.

4.3. Preparo do substrato, das mudas e condições do experimento

Foi utilizado como substrato a areia, previamente lavada com água corrente. As sementes de Jambu dos genótipos Jamburana e Nazaré, oriundas do estado do Pará, cedidas por um produtor, foram previamente reproduzidas em condições ideais de nutrição em substrato areia com utilização da solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1950) até o fim do ciclo reprodutivo, onde posteriormente as sementes oriundas dessa reprodução foram utilizadas no experimento.

A partir das sementes produzidas em Campos dos Goytacazes foi implantado o experimento. As sementes foram germinadas em espuma fenólica contendo 5 sementes por célula. Cerca de 14 após a semeadura (DAS) as plantas já apresentaram folhas verdadeiras. Nesse momento foi realizado o transplântio definitivo para os vasos onde foi iniciada a aplicação dos tratamentos. As plantas permaneceram nos vasos até a fase reprodutiva aos 76 dias após o transplântio (DAT).

Os vasos foram mantidos em casa de vegetação, onde foram irrigados diariamente com solução nutritiva com formulação e concentrações conforme os tratamentos, de forma a manter o substrato na capacidade de campo, durante o período de condução do experimento.

4.4. Colheita e variáveis analisadas

60 dias após o transplântio para os vasos, contabilizando 76 dias após a semeadura, as plantas foram colhidas, ou seja, quando já estavam na fase reprodutiva, atingindo o tamanho comercial (Gusmão e Gusmão, 2013). O experimento foi coletado entre 10 e 13 de dezembro de 2023, entre às 6 e às 9 horas da manhã. No momento da colheita a parte aérea e as raízes foram separadas para a realização das análises biométricas.

Na parte aérea foram realizadas análises biométricas, tais como, altura, número de ramificações, número de inflorescências, número de folhas e área foliar.

A área foliar foi medida por meio do medidor de bancada LI-3100 (LICOR, Lincoln, NE, USA), obtendo o resultado em cm².

Foi determinada a massa da matéria fresca das folhas, inflorescência e raiz de cada planta. Na sequência, foram acondicionadas individualmente em sacos de papel, identificadas, e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 40°C (Borges et al., 2013).

Após secagem, as folhas, inflorescências e raízes, foram novamente pesadas para a obtenção da massa da matéria seca. Na sequência os materiais, exceto as raízes, foram triturados em moinho de facas do tipo Wiley e armazenados em frascos hermeticamente fechados para posterior análise do teor dos nutrientes minerais.

Para a quantificação dos teores de nitrogênio amoniacal, as amostras da parte aérea foram submetidas à digestão sulfúrica e no extrato foram determinados os teores de N pelo método de Nessler (Jackson, 1958). Os demais nutrientes, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre e Boro, foram submetidos à digestão com HNO₃ concentrado e H₂O₂ em sistema de digestão aberta e quantificados em plasma (ICPE-9000) da marca Shimadzu® (Peters, 2005).

Os óleos essenciais da parte aérea (folhas, ramos e inflorescência), seca e moída, foram extraídos por meio de hidrodestilação utilizando o aparelho Clevenger por uma hora. Foi utilizada 10g de massa da matéria seca das partes aéreas moídas e estas foram submetidas à hidrodestilação em aparelho de Clevenger equipado com balão de 2 L, contendo 1L de água deionizada. O tempo de extração foi de 60 minutos contados a partir da condensação da primeira gota. Para a purificação do óleo essencial, o hidrolato foi separado da fase aquosa por partição líquido-líquido em funil de separação, realizando a lavagem com 10 mL de diclorometano. Em seguida o hidrolato e o solvente foram coletados em frascos de vidros devidamente pesados e identificados, e deixados em temperatura ambiente até a total evaporação do solvente, sob a capela de exaustão de gases. Sequencialmente, os frascos de vidro com os óleos foram pesados em balança analítica e pela diferença foi calculada a massa dos óleos e, posteriormente, mantidos sob refrigeração até o momento da análise química. A partir da massa

dos óleos foi determinado o teor, expresso em porcentagem massa/ massa (g de óleos por 100 g de massa da matéria seca da parte aérea).

4.5. Análise estatística

Os pressupostos de normalidade dos dados e homogeneidade de variâncias foram avaliados a 5% de significância por meio do teste de Shapiro-Wilk (1965) e O'Neill e Mathews (2002), respectivamente. Após atendido os pressupostos, o comparativo dos efeitos das concentrações sobre as variáveis respostas avaliadas foram analisadas através do estudo da ANOVA por meio de modelos de regressão. Para análise dos dados foi utilizado o software R 4.3.0, com auxílio do pacote ExpDes.pt. A elaboração dos gráficos foi realizada com uso do software SigmaPlot 14.5.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre as doses de boro e os genótipos de jambu para as seguintes variáveis de crescimento: massa seca e fresca de folhas, massa seca e fresca de inflorescências, massa seca e fresca de raiz, altura, área foliar, número de folhas, número de inflorescências, número de ramificações, volume de raiz e teores de óleos essenciais. Para o comprimento de raiz os valores não se mostraram significativos (Tabela 2).

Para o genótipo Jamburana, com exceção das massas fresca e seca de inflorescências que se ajustaram ao modelo linear, os demais parâmetros biométricos e os teores de óleos essenciais se ajustaram ao modelo quadrático de regressão, assim como os parâmetros de massa fresca de inflorescências e os teores de óleos essenciais do genótipo Nazaré também se ajustaram ao modelo quadrático, onde o aumento das doses de boro resultaram em um aumento das variáveis biométricas até um determinado limite, seguido por uma decréscimo após o ponto de máxima.

Para o genótipo Nazaré, com exceção dos parâmetros de massa fresca de inflorescências e teores de óleos essenciais já citados, os demais parâmetros biométricos se ajustaram ao modelo linear de regressão.

Tabela 2. Análise de regressão da Massa Fresca de Folhas (g) (MFF), Massa Seca de Folhas (g) (MSF), Massa Fresca de Inflorescências (g) (MFI), Massa Seca de Inflorescências (g) (MSI), Massa Fresca de Raiz (g) (MFR), Massa Seca de Raiz (g) (MSR), Altura (cm) (ALT), Área Foliar (cm²) (AF), Número de Folhas (planta⁻¹) (NF), Número de Inflorescências (planta⁻¹) (NI), Número de Ramificações (planta⁻¹) (NR), Volume de Raiz (cm³) (VR), Teor de Óleos Essenciais (mg kg⁻¹) (TOE) de plantas de jambu em função de doses de boro sob cultivo hidropônico em substrato

Variável	Equação	R ²	Pr>F	CV (%)
MFF (Jamburana)	$y = 84,050 + 9,137x - 0,140x^2$	0,86	0,00000	7,35
MFF (Nazaré)	$y = 91,490 + 1,789x$	0,23	0,00000	7,35
MSF (Jamburana)	$y = 8,233 + 1,186x - 0,0171x^2$	0,97	0,00000	19,74
MSF (Nazaré)	$y = 14,189 + 0,240x$	0,36	0,00018	19,74
MFI (Jamburana)	$y = 5,585 + 0,595x$	0,82	0,00000	12,78
MFI (Nazaré)	$y = 1,889 + 1,804x - 0,024x^2$	0,97	0,00000	12,78
MSI (Jamburana)	$y = 0,955 + 0,083x$	0,68	0,00000	21,16
MSI (Nazaré)	$y = 0,481 + 0,075x$	0,42	0,00000	21,16
MFR (Jamburana)	$y = 13,346 + 2,636x - 0,039x^2$	0,97	0,00037	29,62
MFR (Nazaré)	$y = 19,038 + 0,574x$	0,28	0,00052	29,62
MSR (Jamburana)	$y = 1,659 + 0,396x - 0,006x^2$	0,99	0,00071	36,97
MSR (Nazaré)	$y = 1,412 + 0,137x$	0,61	0,00000	36,97
ALT (Jamburana)	$y = 38,246 + 1,517x - 0,020 x^2$	0,87	0,00037	10,35
ALT (Nazaré)	$y = 37,262 + 0,451x$	0,29	0,00000	10,35
AF (Jamburana)	$y = 960,756 + 171,237x - 2,442x^2$	0,86	0,00000	11,47
AF (Nazaré)	$y = 1235,166 + 34,872x$	0,18	0,00000	11,47
NF (Jamburana)	$y = 105,811 + 14,144x - 0,200x^2$	0,94	0,00000	3,29
NF (Nazaré)	$y = 137,512 + 2,795x$	0,24	0,00000	3,29
NI (Jamburana)	$y = 2,451 + 2,114x - 0,027x^2$	0,98	0,00000	18,94
NI (Nazaré)	$y = 6,494 + 0,551x$	0,38	0,00000	18,94
NR (Jamburana)	$y = 8,280 + 0,252x - 0,003x^2$	0,99	0,00078	8,9
NR (Nazaré)	$y = 10,454 + 0,046x$	0,40	0,00234	8,9
VR (Jamburana)	$y = 19,607 + 2,429x - 0,040x^2$	0,91	0,00000	11,62
VR (Nazaré)	$y = 22,432 + 0,524x$	0,21	0,00000	11,62
CR (Jamburana)	$\bar{Y} = 26,778$ (ns)	-	-	17,66
CR (Nazaré)	$\bar{Y} = 20,383$ (ns)	-	-	17,66

TOE (Jamburana)	$y = 388,363 + 32,525x - 0,451x^2$	0,93	0,00000	11,23
TOE (Nazaré)	$y = 450,727 + 35,110x - 0,511x^2$	0,77	0,00000	11,23

5.1. Crescimento das plantas de jambu

Observou-se que, aproximadamente 30 dias após o início da aplicação do tratamento, as plantas cultivadas na dose 0 de boro, apresentavam menores tamanhos e número de ramos, com menor quantidade de folhas e inflorescências, em ambos os genótipos, quando comparados com os demais tratamentos. Notou-se também que as plantas estavam frágeis e quebradiças, se rompendo ao menor contato ou manuseio.

Esses sintomas também foram observados por Peçanha et al. (2019), ao trabalhar com jambu e omissão de macronutrientes e boro. Esses autores observaram que as plantas do tratamento com omissão de boro, aos 28 dias após o início do tratamento, apresentaram sintomas como baixa resistência mecânica nas extremidades, principalmente nas inflorescências, fazendo com que se quebrassem mais facilmente.

Este fácil rompimento de extremidades se dá pelo fato do boro estar diretamente ligado à síntese de compostos que constituem a parede celular, como a celulose, lignina e pectina, que conferem dureza a parede celular, e sua deficiência causa comprometimento das estruturas, deixando-as mais frágeis (Moraes et al., 2002). Por conta da baixa mobilidade do boro, os sintomas de deficiência se apresentam primeiramente nas zonas de crescimento apicais e radiculares, ocasionando baixa disponibilidade deste elemento, por exemplo, para brotações, que apresentam sintomas de murcha com maior facilidade, apresentando dificuldades de retornar à turgidez e no período reprodutivo, onde se requer maior quantidade deste elemento (Wimmer e Eichert, 2013).

Os tratamentos 12,5; 25 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de boro apresentaram plantas mais vigorosas e com maior quantidade de folhas e inflorescências. Estes valores foram comprovados a partir das análises biométricas obtidas ao realizar a retirada do

experimento. Nas figuras 2A, B, C e D são apresentadas imagens das plantas de jambu, dos dois genótipos (Jamburana e Nazaré), cultivadas em doses crescentes de boro em hidroponia com substrato em solução nutritiva.

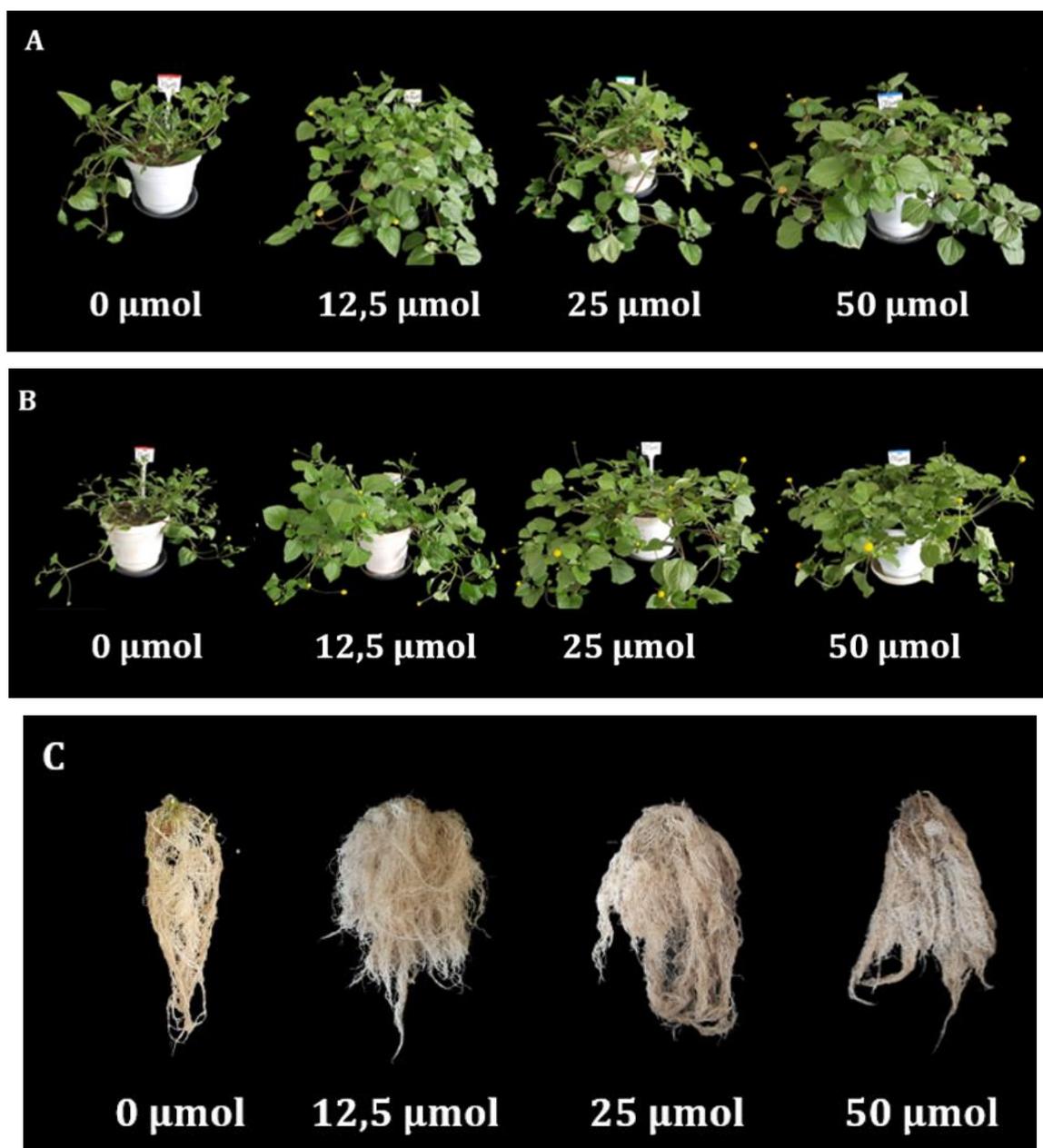




Figura 2. Plantas de jambu, genótipos Nazaré (A) e Jamburana (B), e raízes de jambu, genótipos Nazaré (C) e Jamburana (D), 76 dias após a semeadura, em função das doses de boro, cultivados em sistema hidropônico com substrato em Campos dos Goytacazes-RJ. Fonte: autoria própria (2022).

5.1.1. Massa fresca e seca de folhas

A massa fresca de folhas apresentou interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 3). Para a massa fresca de folhas o genótipo Jamburana apresentou modelo de regressão quadrática, com dose estimada de 32,44 μmol de boro e valor máximo de massa fresca estimado em 232,29 g planta^{-1} . O genótipo Nazaré se enquadrou no modelo linear de regressão crescente, havendo incremento de 98% (Figura 3A).

Tabela 3. Massa fresca de folhas plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	72,44a	207,22a	201,27a	192,82a
Nazaré	62,06a	202,58a	61,99b	195,88a

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a massa seca de folhas também houve interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 4). Conforme a massa fresca, a massa seca de folhas do genótipo Jamburana apresentou ajuste ao modelo quadrático de regressão, com dose estimada de 34,68 μmol de boro e valor máximo de massa fresca estimado em 28,80 g planta^{-1} . O genótipo Nazaré, se ajustando ao modelo linear de regressão apresentou incremento de 85% (Figura 3B).

Tabela 4. Massa seca de folhas de plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	7,61a	22,05a	25,93a	24,93a
Nazaré	8,77a	26,95a	16,39b	25,66a

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

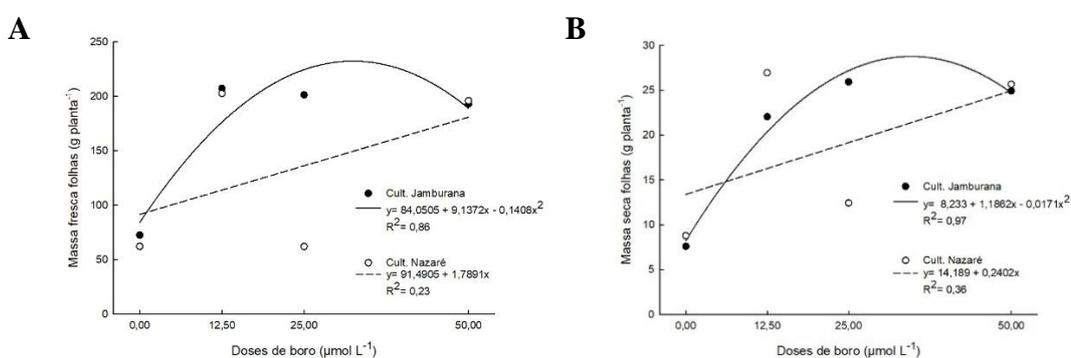


Figura 3. Massa fresca de folhas (A) e massa seca de folhas (B) de plantas de jambu em função de doses de boro e dos genótipos sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

O boro é um micronutriente que atua diretamente na anatomia vegetal, sendo constituinte das paredes celulares, e sua deficiência pode comprometer os tecidos foliares, fazendo com que fiquem mais frágeis, se rompendo mais facilmente, conseqüentemente o processo de fotossíntese é afetado, assim como a resposta dos estômatos, a transpiração, translocação e distribuição de água na planta (Moraes et al., 2002; Wimmer e Eichert, 2013).

Com a fotossíntese afetada, há um enfraquecimento dos tecidos vasculares responsáveis pelo transporte de íons, afetando outras estruturas como membranas do cloroplasto e estômatos, diminuindo o gradiente de energia através da membrana e o transporte de elétrons nos tilacoides, fazendo com que a planta não consiga redistribuir a energia e os fotoassimilados para a produção de novas folhas e para o ciclo reprodutivo (Goldbach e Wimmer, 2007; Wang et al., 2015; Shireen et al., 2018). Como consequência da má distribuição de energia na planta há uma menor produção de folhas, levando a menor produtividade, fazendo com que a massa fresca e seca diminuam.

Souza et al. (2010) avaliando doses de boro em solução nutritiva em plantas de copo-de-leite, observaram que a massa fresca das folhas não foi influenciada pelas doses de boro. Estudos realizados com mudas de pinha, fertirrigadas com doses de boro, mostraram que tanto para massa fresca quanto para massa seca de folhas houve efeito negativo, em que o aumento das doses de boro resultaram em decréscimo das massas fresca e seca, uma vez que o aumento das doses de boro levou ao surgimento de queimaduras nas folhas, levando à queda das folhas (Silva et al., 2020).

Estudos realizados com goiabeira, por Salvador et al. (2003), obteve-se como resultados que as doses de boro estudadas não causaram diferenças para a massa seca de folhas. Isso também foi encontrado por Souza et al. (2010), no trabalho com copo-de-leite e doses de boro.

5.1.2. Massa fresca e seca de inflorescências

A massa fresca de inflorescências apresentou interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 5). O genótipo Jamburana, se ajustou ao modelo linear de regressão, apresentando incremento de 533%. O genótipo Nazaré se ajustou ao modelo quadrático de regressão, apresentando a maior massa fresca, de 35,40 g planta⁻¹ na dose de boro estimada de 37,13 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 4A).

Tabela 5. Massa fresca de inflorescências de plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	0,71a	14,31b	28,28a	31,11a
Nazaré	0,70a	23,82a	29,45a	31,78a

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A massa seca de inflorescências apresentou interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 6). Tanto o genótipo Jamburana quanto o Nazaré apresentaram ajuste ao modelo linear de regressão, ambos apresentando incremento, onde Jamburana apresentou incremento de 438% e Nazaré de 781% (Figura 4B).

Tabela 6. Massa seca de inflorescências de plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	0,15a	1,92b	4,78a	4,29a
Nazaré	0,05a	3,54a	0,04b	4,86a

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

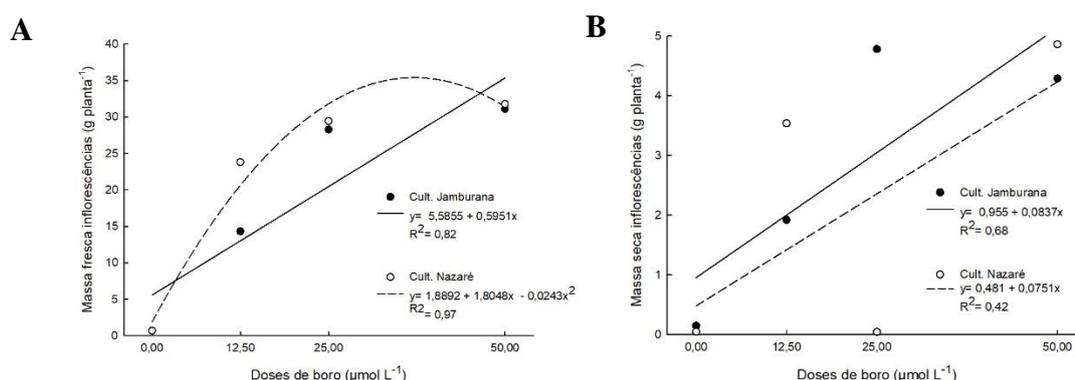


Figura 4. Massa fresca de inflorescências (A) e massa seca de inflorescências (B) de plantas de jambu em função de doses de boro e dos genótipos sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

Há uma maior exigência nutricional de boro durante o período reprodutivo das plantas, pois este micronutriente atua em processos primordiais como a germinação do grão de pólen e na formação do tubo polínico e, conseqüentemente no florescimento, formação de frutos e sementes. A deficiência de boro pode acarretar flores e inflorescências de menor tamanho e massa, e com menor número de pétalas, podendo haver deformações que inviabilizem a maturação das mesmas, assim como o excesso de boro pode acarretar diminuição e má formação na produção de inflorescências (Brown et al., 2002; Marschner's, 2012; Shireen et al., 2018; Araújo et al., 2021). Como consequência da redução da massa fresca de inflorescências tem-se a redução da massa seca das inflorescências, assim, se houver incremento na massa fresca tem-se o aumento na massa seca das inflorescências.

Luz et al. (2017), trabalhando com couve-flor e doses de boro (1, 2, 4, 8 kg ha⁻¹), observaram que a massa fresca das inflorescências se ajustou ao modelo de regressão quadrática, onde a dose estimada de boro que apresentou melhor resultado foi 4,57 kg ha⁻¹, com produção máxima de inflorescências de 709,45 g planta⁻¹. O resultado encontrado apresenta um importante componente de produção e comercialização do produto, relacionado à qualidade vegetal. O tratamento com 1 kg ha⁻¹ de boro proporcionou uma grande quantidade de inflorescências com podridões, deformações e medula oca, fatores que reduzem a qualidade das inflorescências, que pode ser caracterizado como sintomas de deficiência de boro. Na maior dose de boro, 8 kg ha⁻¹, houve sintomas de fitotoxidez, nas plantas de couve-flor, como podridão e redução do número de inflorescências, além de morte de algumas plantas.

Trabalhando com doses de boro (0,05; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 2,00 mg L⁻¹ de boro) e plantas de copo-de-leite, em solução nutritiva com 30% da força iônica, Souza et. al. (2010) observaram que a matéria seca das inflorescências não foi influenciada pelas doses de boro.

5.1.3. Massa fresca e seca de raiz

A massa fresca de raiz apresentou interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 7). O genótipo Jamburana se justou ao modelo quadrático de regressão com dose estimada de 33,20 μmol de boro e valor máximo de 57,11 g planta⁻¹, enquanto o genótipo Nazaré se ajustou ao modelo linear, com acréscimo de 151% (Figura 5A).

A massa seca de raiz apresentou interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 8). Os genótipos Jamburana e Nazaré apresentaram os mesmos modelos de regressão encontrados no parâmetro de massa fresca de raiz, onde Jamburana apresentou dose estimada de 31,46 μmol de boro e valor máximo de 7,89 g planta⁻¹, enquanto o genótipo Nazaré apresentou acréscimo de 486% (Figura 5B).

Tabela 7. Massa fresca de raízes de plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	11,81a	44,19a	51,41a	46,53a
Nazaré	7,38a	53,16a	16,29b	49,57a

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 8. Massa seca de raízes de plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	1,70a	5,50a	7,71a	5,66b
Nazaré	0,88a	5,77a	1,93b	9,07a

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

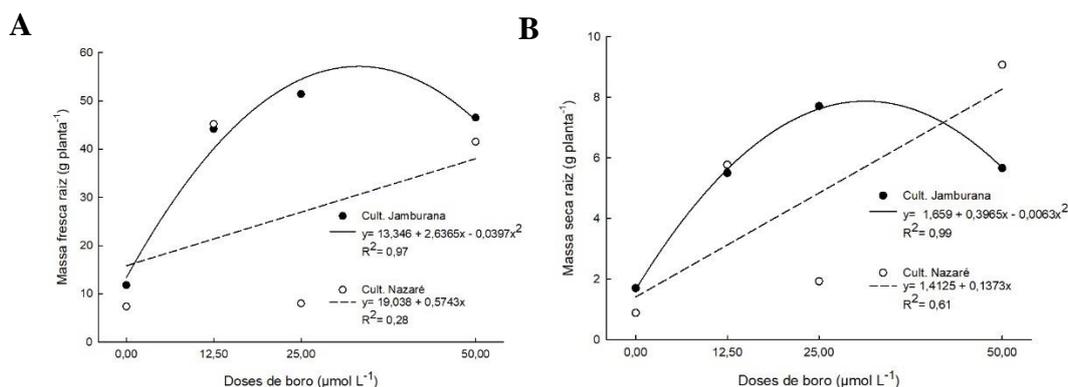


Figura 5. Massa fresca de raiz (A) e massa seca de raiz (B) de plantas de jambu em função de doses de boro e dos genótipos sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

O boro desempenha importante papel no alongamento celular, diretamente ligado ao processo de enraizamento (Taiz e Zeiger, 2004). É um cofator do enraizamento por participar do processo rizogênico juntamente com a auxina, facilitando o transporte desse hormônio através das membranas e controlando enzimas envolvidas no metabolismo de carboidratos (Hirsch e Torrey, 1980; Roth-Bejerano e Itai, 1981; Ono e Rodrigues, 1996; Santos et al., 2010). Este micronutriente também atua no desenvolvimento de raízes adventícias e, juntamente com a auxina atua na diferenciação do xilema (Lewis, 1980; Santos et al., 2010).

Trabalhando com copo-de-leite e doses de boro (0,05; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 2,00 mg L⁻¹) em solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) a 30% da força iônica, Souza et al. (2010) observaram que a massa fresca das raízes apresentaram diferenças significativas, havendo incremento até a dose estimada de 1,17 mg L⁻¹ de boro, com ganho máximo de 162,86 g. Já para a massa seca das raízes o incremento foi de 3,54 g na dose estimada de 1,18 mg L⁻¹.

5.1.4. Altura

A altura das plantas apresentou interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 9). O genótipo Jamburana apresentou ajuste quadrático de

regressão, com dose estimada de 37,56 μmol de boro e altura máxima estimada em 66,74 cm planta^{-1} . Já a Nazaré, se ajustou ao modelo linear, com incremento de 61% (Figura 6).

Tabela 9. Altura de plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	36,03a	59,98a	59,14a	64,44a
Nazaré	30,26a	62,44a	33,26b	62,61a

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

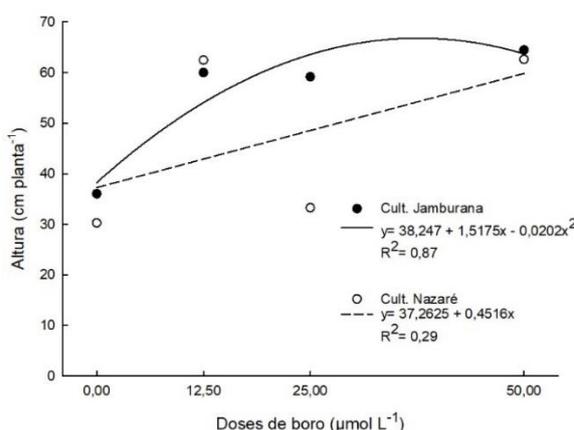


Figura 6. Altura de plantas de jambu em função de doses de boro e dos genótipos sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

Por atuar no desenvolvimento vegetal como um constituinte das paredes celulares, o boro apresenta um importante papel na estruturação vegetal, garantindo a organização de moléculas cimentantes como a celulose, hemicelulose, pectinas e os precursores da lignina (Tomicioli et al., 2021). Juntamente com a função de estruturação, o boro atua na divisão celular no meristema apical, conferindo desenvolvimento do comprimento da planta (Gupta et al., 2013; Shireen et al., 2018).

Em trabalho realizado com copo-de-leite e doses de boro (0,05; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 2,00 mg L^{-1}) em solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950)

a 30% da força iônica, Souza et al. (2010), observaram que as plantas crescidas nas doses 0,05 a 2,00 mgL⁻¹ de boro apresentaram diferenças entre si, sendo a maior altura encontrada, 71,10 cm, encontrado na dose estimada de 1,05 mg L⁻¹.

Furlani et al. (2003), trabalhando com quatro cultivares de trigo em solução nutritiva com diferentes doses de boro, não observaram diferenças significativas na altura das plantas. Entretanto, Silva et al. (2020) estudando em mudas de pinha fertirrigadas com doses de boro (0; 0,25; 0,5; 0,75 e 1,0 mg dm⁻³) observaram efeito quadrático negativo para altura, conforme as doses de boro aumentavam a altura das plantas diminuía.

5.1.5. Área foliar

A área foliar apresentou interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 10). Para o genótipo Jamburana, seguindo o modelo quadrático, a dose estimada foi de 35 μmol de boro e valor máximo de área foliar estimado em 3962,37 cm² planta⁻¹. O genótipo Nazaré apresentou incremento de 141%, se ajustando ao modelo linear (Figura 7).

Tabela 10. Área foliar de plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro (μmol L⁻¹)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	719,57a	3362,77a	3232,93a	3497,43a
Nazaré	530,47a	3668,26a	520,55b	3272,68a

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

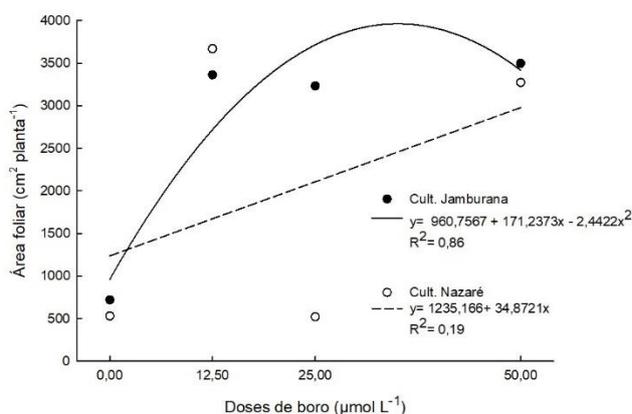


Figura 7. Área foliar de plantas de jambu em função de doses de boro e dos genótipos sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

Um dos indicativos do desenvolvimento das plantas é o aumento da área foliar, pois pode haver incremento nos pigmentos fotossintéticos, levando ao aumento da fotossíntese (Taiz e Zieger, 2017).

Estudo realizado por Benedetti et al. (2014), com erva-mate em solução nutritiva de Wendling com quatro doses de boro (0,0; 1,0; 2,5 e 5,0 mg L⁻¹), demonstraram que a área foliar foi maior na dose estimada de 3,50 mg L⁻¹ de boro. Em outro trabalho do mesmo autor com erva-mate, obteve-se significativo incremento na área foliar na dose de 1,00 mg L⁻¹ de boro, onde foi obtida área foliar de 617 cm² planta⁻¹ (Benedetti, 2012).

5.1.6. Número de folhas

O número de folhas apresentou interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 11). O genótipo Jamburana apresentou ajuste quadrático, com dose estimada de 35 µmol de boro e número máximo de folhas estimado foi de 355,4 unidades planta⁻¹. Já o genótipo Nazaré se enquadrou no ajuste linear, apresentando incremento de 102% (Figura 8).

Tabela 11. Número de folhas de plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	93,83a	283,25b	310,22a	316,02a
Nazaré	93,81a	306,04a	94,41b	300,37b

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

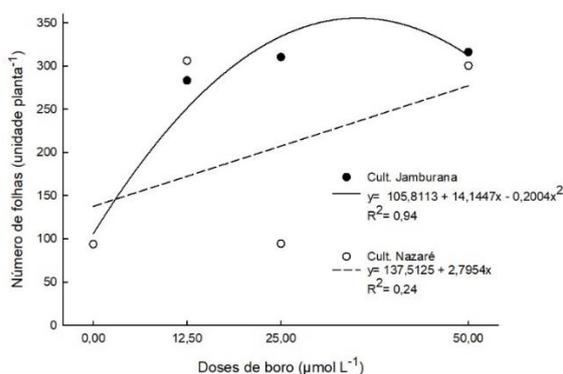


Figura 8. Número de folhas de plantas de jambu em função de doses de boro e dos genótipos sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

O número de folhas depende diretamente da nutrição, estruturação e capacidade fotossintética das plantas, uma vez que a planta bem nutrida e com plena capacidade fotossintética consegue fazer a distribuição correta de energia e fotoassimilados e assim produzir novas gemas (Moraes et al., 2002; Wimmer e Eichert, 2013).

Souza et al. (2010), trabalhando com copo-de-leite em solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) com doses de boro, observaram que não houve diferenças no número de folhas em função das doses de boro. Silva et al. (2020), analisando o crescimento de mudas de pinha fertirrigadas com diferentes doses de boro (0; 0,25; 0,5; 0,75 e 1,0 mg dm^{-3}), observaram efeito negativo conforme as doses de boro aumentavam o número de folhas diminuía, iniciando com folhas queimadas que caíam, conseqüentemente.

5.1.7. Número de inflorescências

O número de inflorescências apresentou interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 12). O genótipo Jamburana apresentou ajuste quadrático, com número máximo de inflorescências estimado em 42,65 unidade planta⁻¹ na dose estimada de 38 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de boro. O genótipo Nazaré apresentou incremento 425% (Figura 9).

Tabela 12. Número de inflorescências de plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	3,31a	22,25b	39,69a	38,50a
Nazaré	2,12a	31,11a	2,48b	38,56a

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

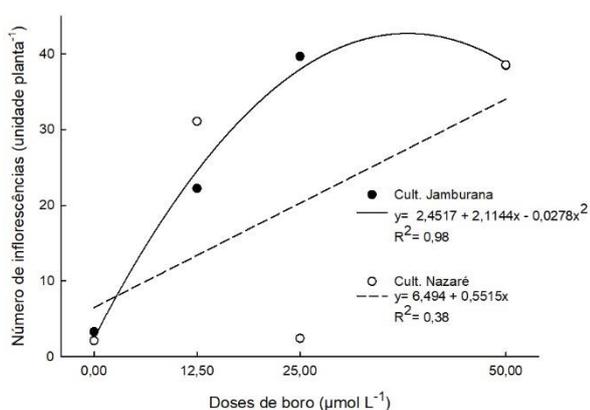


Figura 9. Número de inflorescências de plantas de jambu em função de doses de boro e dos genótipos sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

Por estar diretamente relacionado ao período reprodutivo das plantas, a deficiência de boro causa danos e déficits às plantas, como redução da microesporogênese levando ao encurtamento do tubo polínico e conseqüente problema na germinação do pólen, decorrente da diminuição da fertilidade das

estruturas masculinas da planta, causando alteração na floração e no modo de frutificação (Dell e Huang, 1997; Match, 1997; Rerkasem et al., 2019; Brdar-lokanović, 2020). Por ser um cofator na síntese de clorofila, durante o período reprodutivo as plantas requerem uma demanda maior de boro. Por conta disso, a deficiência desse nutriente pode acarretar inflorescências com deformidades, redução no número de inflorescências e, conseqüentemente, redução na frutificação e formação de sementes (Brown et al., 2002; Marschner's, 2012 (Shireen et al., 2018; Araújo et al., 2021).

Em trabalho realizado por Araújo et al. (2021), foi observada alta demanda de boro pelo jambu, em sua fase reprodutiva, com maior exigência nutricional por volta do 44º após a germinação. No mesmo estudo foi observado que a baixa suplementação de boro atrasa o período de floração, podendo haver menores inflorescências, ocasionando aumento do tempo de espera para colheita das flores.

5.1.8. Número de ramificações

A massa seca de raiz apresentou interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 13). O número de ramificações, para a cultivar Jamburana, se apresentou em uma regressão quadrática, apresentando valor máximo estimado de 12,84 unidade planta⁻¹, na dose estimada de 36 µmol L⁻¹ de boro. Para a cultivar Nazaré ocorreu uma regressão linear, havendo incremento de 22% (Figura 10).

Tabela 13. Número de ramificações de plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro (µmol L⁻¹)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	36,03a	59,98a	59,14a	64,44a
Nazaré	30,26a	62,44a	33,26b	62,61a

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

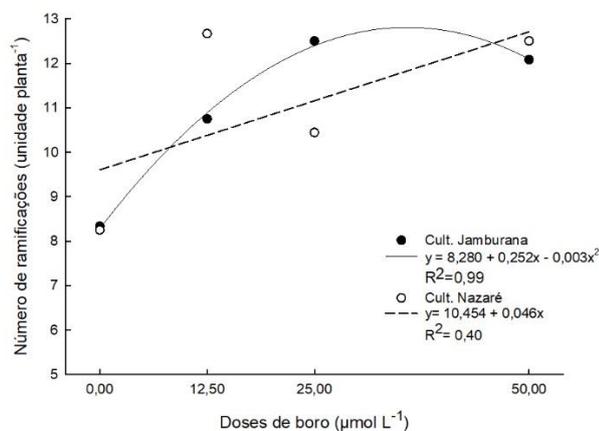


Figura 10. Número de ramificações de plantas de jambu em função de doses de boro e dos genótipos sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

5.1.9. Volume e comprimento de raiz

O volume de raiz apresentou interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 14). O volume de raiz para o genótipo Jamburana se ajustou ao modelo quadrático de regressão, com dose estimada de 30 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de boro, e volume máximo estimado em 56,39 $\text{cm}^3 \text{ planta}^{-1}$. Para o genótipo Nazaré o ajuste foi linear, com incremento de 117% (Figura 11). Já o comprimento de raiz não apresentou valores significativos, ficando com média de 26,8 cm para o genótipo Jamburana e média de 20,4 cm para o genótipo Nazaré.

Tabela 14. Volume das raízes de plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	17,37a	49,66b	50,83a	41,66b
Nazaré	12,91a	56,75a	12,91b	53,00a

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

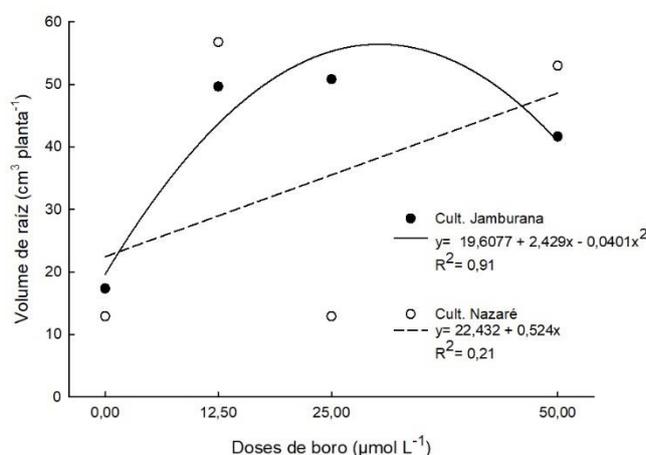


Figura 11. Volume de raiz de plantas de jambu em função de doses de boro sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

O desenvolvimento das raízes ocorre por conta do alongamento celular, onde o boro desempenha um importante papel como cofator do processo de rizogênese, facilitando o transporte da auxina. Esse hormônio atua de forma efetiva no crescimento das raízes, através da expansão celular. A concentração de auxina determina o crescimento ideal dos meristemas das plantas. Concentrações acima do ideal inibem o crescimento, enquanto concentrações abaixo do ideal ocasionam a desintegração de constituintes da parede celular, como filamentos de celulose, o que leva ao enfraquecimento das estruturas. Com isso há o aumento da absorção de íons pela membrana celular, aumentando o turgor celular, levando ao alongamento das células (Sozzani e Iyer-Pascuzzi, 2014; Lúcio, 2019).

Souza et al. (2010), trabalhando com copo-de-leite e doses de boro (0,05; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 2,00 mg L⁻¹) em solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) a 30% da força iônica, observaram que o sistema radicular das plantas cultivadas na dose de 0,05 mg L⁻¹ de boro tiveram o crescimento reduzido, comparadas com as plantas crescidas nas outras doses estudadas. O comprimento das raízes de duas cultivares de arroz foram menores com o incremento na concentração de boro na solução nutritiva (Pavinato et al., 2009).

5.2. Teores de óleos essenciais

Os teores de óleos essenciais apresentaram interação significativa entre as doses e os genótipos (Tabela 15). O genótipo Jamburana apresentou a dose estimada de 36 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de boro e ponto de máxima estimado foi de 974, mg kg^{-1} de matéria seca. A cultivar Nazaré apresentou a dose estimada de 34 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de boro e ponto de máxima estimado foi de 1054 mg kg^{-1} de matéria seca (Figura 12).

Tabela 15. Teores de óleos essenciais de plantas de jambu em função dos genótipos e das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

Cultivar/ Dose	0	12,5	25	50
Jamburana	420a	640b	982a	875a
Nazaré	385a	985a	877a	950a

Letras minúsculas comparam médias dos genótipos dentro de cada dose de boro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

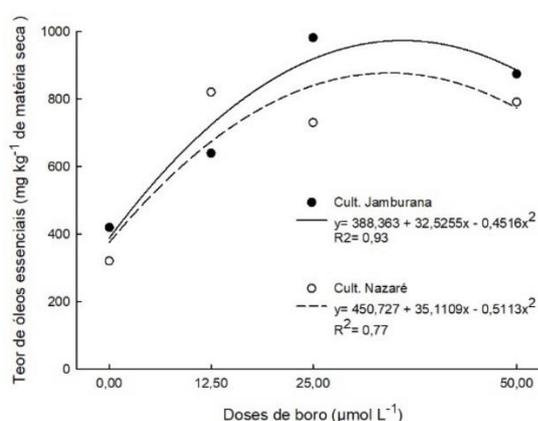


Figura 12. Teores de óleos essenciais de plantas de jambu em função de doses de boro sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

A taxa de crescimento das plantas tende a ser inversa a concentração de metabólitos secundários, havendo desvios de metabólitos primários, como açúcares, lipídeos e proteínas, para que haja produção desses metabólitos, como os terpenos, principais constituintes dos óleos essenciais (Carvalho et al., 2016).

Os óleos essenciais, por serem metabólitos secundários, sofrem influência direta da nutrição e estresse sofrido pelas plantas. Condições adequadas de crescimento atuam diretamente no teor e na composição dos óleos essenciais, pois atuam na fotossíntese e utilizam fotoassimilados que podem estar envolvidos no armazenamento, síntese e catabolismo de terpenos, estas condições também estão diretamente relacionadas com a produção de folhas e flores, regiões das plantas onde comumente são extraídos os óleos essenciais. Na deficiência de boro, a um decréscimo do número de folhas e flores devido à diminuição na síntese de lignina e pectina, ocasionando em paredes do xilema mais finas, dificultando a passagem de água e sais minerais (Farooqi, Ah Abad, Misra, 1983; Moraes et al., 2002; Fávaro, 2011; Choudhary, 2020).

Estudos realizados por Choudhary et al. (2020), com *Mentha arvensis* e *Cymbopogon flexuosus*, utilizando cinco doses de boro (2,5; 5; 10; 20 e 30 mg/kg), demonstram a diminuição do comprimento e da massa fresca e seca da parte aérea. Ambas as espécies apresentaram incremento no teor de óleos essenciais na menor dose de boro, 2,5 mg kg e, conforme o aumento das doses de boro os teores de óleos essenciais diminuiriam, demonstrando que um leve estresse de boro pode aumentar a concentração de óleos essenciais para essas culturas.

5.3. Teores de macronutrientes e boro na parte aérea

Os teores nutricionais da parte aérea sofreram influência significativa pelas doses de boro (Tabela 16). Os nutrientes se ajustaram ao modelo linear de regressão. O aumento das doses de boro em solução nutritiva ocasionam efeito linear decrescente na absorção dos macronutrientes (Figura 14, 15, 16, 17, 18, 19). O boro, por sua vez, apresentou efeito linear crescente, com incremento de 641% (Figura 13).

Tabela 16. Análise de regressão dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e boro (B), na parte aérea de plantas de jambu em função de doses de boro sob cultivo hidropônico em substrato

Variável	Equação	R ²	Pr>F	CV (%)
N	$y = 38,665 - 0,29x$	0,49	0,00000	9,48
P	$y = 4,072 - 0,072x$	0,70	0,00000	18,07
K	$y = 41,11 - 0,518x$	0,72	0,00000	8,75
Ca	$y = 12,537 - 0,147x$	0,78	0,00000	9,26
Mg	$y = 4,512 - 0,038x$	0,76	0,00000	9,51
S	$y = 3,459 - 0,020x$	0,86	0,00000	9,08
B	$y = 51,368 + 6,585x$	0,99	0,00000	12,13

5.3.1. Teores de Boro na parte aérea

Os teores de boro na parte aérea de jambu foram incrementados com o aumento das doses de boro até a $50 \mu\text{mol L}^{-1}$, independente dos genótipos. Houve um incremento de 641% de boro na parte aérea de plantas de jambu (Figura 13).

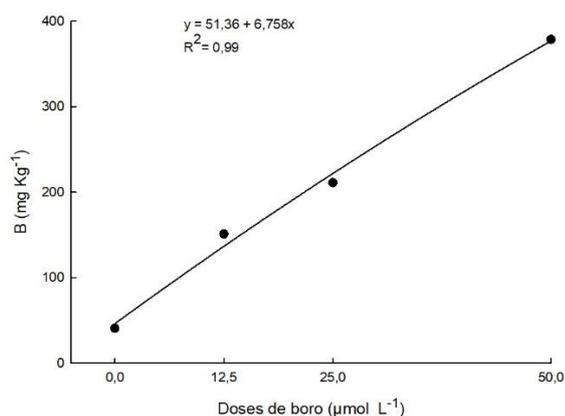


Figura 13. Teor de Boro na parte aérea de plantas de jambu em função das doses de boro sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

Apesar de haver incremento do teor de boro na parte aérea, os parâmetros biométricos responderam de forma quadrática, onde para cada variável houve uma dose estimada com pontos de máxima e também de forma linear. Os teores de

macronutrientes sofreram influência negativa de acordo com o aumento das doses de boro, respondendo de forma linear decrescente (Figura 14, 15, 16, 17, 18, 19), demonstrando que as maiores doses de Boro começam causar redução na absorção dos macronutrientes e conseqüentemente redução na produção.

Os sintomas de toxicidade do boro variam entre diferentes genótipos, assim como a concentração do boro, que varia conforme a espécie da planta, a capacidade de mobilidade de boro e estágio de desenvolvimento da planta (Nable et al., 1990; Furlani et al., 2003; Torun et al., 2006; Turan et al., 2018; Brdar-lokanović, 2020).

Estudos realizados com curva de absorção de boro em jambu demonstraram a importância desse nutriente a partir do 44^o dia após a semeadura, principalmente durante o período reprodutivo, o que justifica a grande demanda deste nutriente por essa cultura. No mesmo estudo obteve-se resultados para o acúmulo de boro no jambu hidropônico, apresentando valor de 2.066,36 µg planta⁻¹, 54 dias após a semeadura (Araújo et al., 2021).

Em trabalho realizado por Jesus et al. (2018), com marcha de absorção de micronutrientes em jambu cultivados em solução nutritiva em sete épocas de colheita (4, 8, 12, 20, 24, 28 dias após o transplante), obteve que a maior absorção de boro se deu aos 28 dias após o transplante. Aos 12 dias após o transplante as plantas de jambu apresentaram baixo acúmulo de boro. O incremento de boro se deu a partir dos 16 dias após o transplante, havendo aumento gradual deste nutriente ocorrido ao longo do período de cultivo. Aos 28 dias após o transplante, foi observado acúmulo de 2,692 mg/planta.

Peçanha et al. (2019), trabalhando com omissão de boro em jambu observaram o aparecimento de sintomas de deficiência aos 28 dias após o início da aplicação do tratamento. Os sintomas encontrados foram, baixa resistência mecânica nas extremidades, principalmente nas inflorescências, que facilmente se rompiam, além de plantas quebradiças, sendo danificadas até mesmo pelo vento. Brotações crescidas logo após o início dos sintomas de deficiência, apresentaram murcha mais facilmente, além de não retornarem a sua turgidez total.

5.3.2. Teores de Nitrogênio na parte aérea

Os teores de nitrogênio na parte aérea de jambu foram reduzidos com o aumento das doses de boro até a $50 \mu\text{mol L}^{-1}$, independente dos genótipos (Figura 14). Houve um decréscimo de 38% de N na parte aérea de plantas jambu.

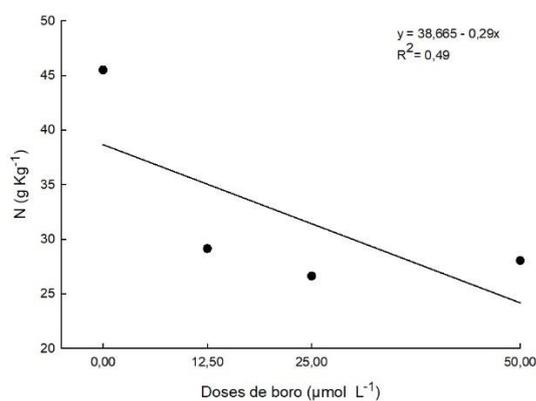


Figura 14. Teor de Nitrogênio na parte aérea de plantas de jambu em função das doses de boro sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

O fornecimento correto de nitrogênio para hortaliças folhosas propicia o crescimento vegetativo, favorecendo a fotossíntese através da expansão da área foliar, levando ao ganho de produtividade (Filgueira, 2003; Peçanha et al., 2019).

Segundo Borges et al. (2013), dentre os nutrientes, o nitrogênio é o mais requerido e encontrado em maiores concentrações na parte aérea do jambu. Sendo sua deficiência um fator desfavorável para a produção de folhas e inflorescências, partes normalmente comercializadas desta planta. Em trabalho sobre curva de absorção de nutrientes em jambu, cultivado em sistema hidropônico, Araújo et al. (2021), observaram acúmulo crescente de nitrogênio durante o ciclo do jambu, tendo o teor de nitrogênio mais que dobrado, demonstrando uma maior exigência desse nutriente a partir dos 44 dias após a semeadura.

Rodrigues et al. (2014), avaliaram plantas de jambu que obtiveram incremento na massa fresca de acordo com o aumento do nitrogênio na adubação. Sampaio et al. (2019), trabalhando com omissão de nitrogênio, observaram que a

omissão fez com que houvesse diminuição no crescimento do jambu, causando limitações na fase reprodutiva das plantas. Trabalho realizado com hortelã em sistema hidropônico, foi verificado que o maior incremento na produção de óleos essenciais foi encontrado nas menores doses de nitrogênio, o inverso ocorreu com o ganho de biomassa, que aumentou nas maiores doses de nitrogênio, porém houve diminuição no rendimento de óleos essenciais (Souza et al., 2007).

Peçanha et al. (2019), trabalhando com omissão de nitrogênio em jambu observaram sintomas de deficiência deste nutriente a partir de 11 dias após o início dos tratamentos, sendo encontrada coloração verde mais clara nas folhas do terço médio das plantas quando comparadas ao tratamento completo. Durante o período de florescimento, os pontos de crescimento das plantas se mostraram drenos muito fortes de nitrogênio. Conforme o agravamento dos sintomas, as plantas exibiram coloração amarelada, as hastes, que costumam apresentar coloração verde-escura, passaram a apresentar tom róseo avermelhado, isto se dá por conta da queda na produção de clorofila. No mesmo estudo ainda foi observado que a omissão do nitrogênio provocou redução nos parâmetros biométricos, como redução nos capítulos florais em 56,2%, número total de folhas em 52,7%; massa seca total em 52,5%; área foliar em 54,8% e volume de raízes em 39,8%, quando comparadas às plantas do tratamento completo. Houve ainda queda significativa nos teores de nitrogênio nas inflorescências, sendo encontrada uma redução de 35,9% em relação ao tratamento completo. Nas folhas novas houve redução de 52,6% no teor de nitrogênio quando comparado ao tratamento completo.

5.3.3. Teores de Fósforo na parte aérea

Os teores de fósforo na parte aérea de jambu foram reduzidos com o aumento das doses de boro até a $50 \mu\text{mol L}^{-1}$, independente dos genótipos (Figura 15). Houve um decréscimo de 88% de P na parte aérea de jambu.

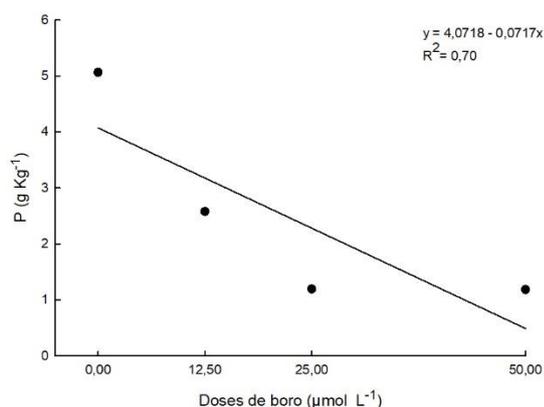


Figura 15. Teor Fósforo na parte aérea de plantas de jambu em função das doses de boro sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

O fósforo é um nutriente de grande importância para as plantas por atuar no armazenamento de energia via ATP, além constituir ácidos nucleicos, membranas e coenzimas. A atuação do fósforo na armazenagem de energia através do ATP demonstra a importância desse nutriente como componente das rotas metabólicas, levando a influência direta nos processos que originam os óleos essenciais (Taiz e Zeiger, 2004; Hawkesford et al., 2012; Peçanha et al., 2019).

Araújo et al. (2021), estudando a curva de absorção de fósforo em jambu, observaram que, a partir dos 44 dias após a semeadura houve crescente absorção de fósforo no decorrer do ciclo de crescimento, indicando uma possível estabilização na absorção deste nutriente no final do ciclo do jambu. Peçanha et al. (2019), estudando omissão de P em plantas de jambu observaram que os sintomas de deficiência, como folhas com coloração verde-escura, ocorreram 34 dias após o início da aplicação do tratamento, entretanto os parâmetros de crescimento não diferiram do tratamento com solução completa. Os autores justificam que esse resultado pode ter ocorrido pela aplicação da solução completa durante o período de aclimação das plântulas, e assim as plantas terem de armazenar fósforo suficiente capaz para suprir o período de condução do experimento, sem manifestar redução do crescimento. Em outro estudo realizado com plantas de jambu cultivadas com omissão de fósforo, também não foi verificado sintomas visuais de deficiência (Sampaio et al., 2019).

No presente trabalho a maior redução de macronutrientes foi observada na absorção de fósforo com o incremento de boro na solução. Zhao et al. (2020) relatam a importância da nutrição balanceada entre boro e fósforo, pois esses nutrientes atuam sinergicamente para modular o crescimento e a produção de formação de *Brassica napus*, tanto na deficiência quanto na suficiência nutricional.

5.3.4. Teores de Potássio na parte aérea

Os teores de potássio na parte aérea de jambu foram reduzidos com o aumento das doses de boro até a $50 \mu\text{mol L}^{-1}$, independente dos genótipos (Figura 16). Houve um decréscimo de 63% de K na parte aérea de plantas de jambu.

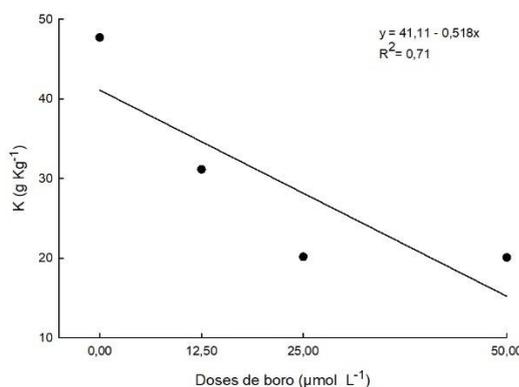


Figura 16. Teor de Potássio na parte aérea de plantas de jambu em função das doses de boro sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

O potássio, por ser um nutriente envolvido na ativação de enzimas, processo fotossintético, osmorregulação, transporte de açúcares e aminoácidos, entre outros fatores, participa do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas de forma ativa (Lester, 2005).

Araújo et al. (2021), estudando a curva de absorção de potássio em plantas de jambu, observaram que no final do ciclo, 54 dias após a semeadura, houve um aumento no acúmulo de $468,51 \text{ mg planta}^{-1}$ de potássio, demonstrando a grande

necessidade deste nutriente para o jambu hidropônico. Trabalhando com jambu em cultivo hidropônico e com solução nutritiva com omissão de potássio, Peçanha et al. (2019), observaram uma significativa redução na porcentagem de espilantol, princípio ativo do óleo essencial do jambu, que pode ter sido acarretado pela menor concentração de potássio nas partes aéreas, possivelmente levando à falta de substrato para a síntese de compostos precursores do espilantol. Estudo realizado por Sampaio et al. (2019) com plantas de jambu cultivadas com omissão de potássio demonstraram sintomas de deficiência deste nutriente, sendo eles folhas com coloração verde-escuro e folhas inferiores com clorose marginal, progredindo até o centro da folha. Também foram observadas cloroses que evoluíram para necroses nas folhas e inflorescências, o que ocasionou no tombamento das inflorescências. No presente trabalho mesmo com a redução de potássio na parte aérea não foram observados sintomas de deficiência.

5.3.5. Teores de Enxofre na parte aérea

Os teores de enxofre na parte aérea de jambu foram reduzidos com o aumento das doses de boro até a $50 \mu\text{mol L}^{-1}$, independente dos genótipos (Figura 17). Houve um decréscimo de 29% de S na parte aérea de jambu.

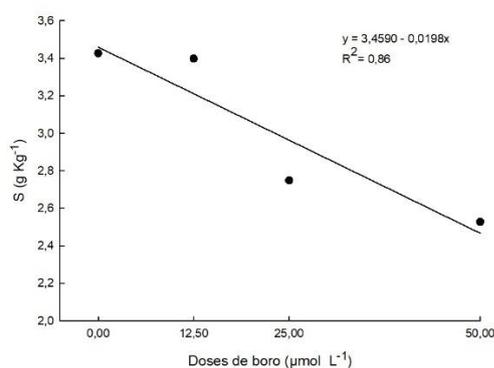


Figura 17. Teor de Enxofre na parte aérea de plantas de jambu em função das doses de boro sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

Grande parte do enxofre metabolizado pelas plantas tem utilização estrutural, compondo aminoácidos essenciais, como a cisteína, caseína e metionina, que

formação proteínas, além de atuar como ativador de complexos enzimáticos (Gigolashvili e Kopriva, 2014). Para haver a síntese de cisteína, seguida da metionina, após a absorção do enxofre pelas raízes este nutriente é incorporado a esqueletos carbônicos. A cisteína e a metionina, assim como outros aminoácidos, são utilizados como fonte de energia para o crescimento dos vegetais ou em situações de estresse. O elevado teor de espilantol encontrado no tratamento com omissão de enxofre pode se dar por conta do aumento dos compostos de formação desta molécula (Raush e Watcher, 2005; Galili et al., 2016; Peçanha et al., 2019).

Peçanha et al. (2019), trabalhando com omissão de enxofre em jambu obtiveram que as análises nutricionais indicaram queda nos teores deste nutriente em plantas cultivadas sob omissão deste elemento, havendo redução de 22% no número de folhas, quando comparado ao tratamento completo, porém, houve relativo incremento no espilantol nos óleos essenciais na omissão do enxofre em relação à solução nutritiva completa.

Trabalho realizado com curva de absorção de enxofre em jambu demonstrou acúmulo crescente deste nutriente no decorrer do ciclo e, a partir dos 39 dias após a semeadura a sua demanda aumentou significativamente, porém não atingiu um valor máximo, chegando a 31,18 mg planta⁻¹ aos 54 dias, demonstrando que a cultura poderia responder a doses mais elevadas desse nutriente (Araújo et al., 2021).

5.3.6. Teores de Cálcio na parta aérea

Os teores de cálcio na parte aérea de jambu foram reduzidos com o aumento das doses de boro até a 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$, independente dos genótipos (Figura 18). Houve um decréscimo de 59% de Ca na parte aérea de plantas de jambu.

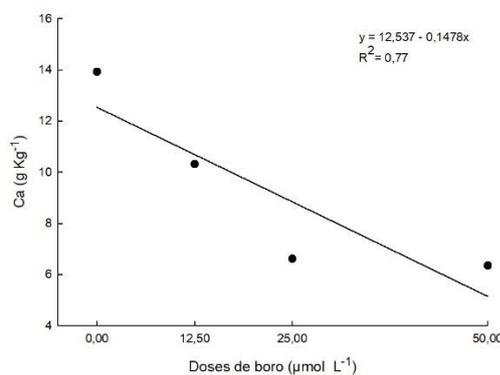


Figura 18. Teor de Cálcio na parte aérea de plantas de jambu em função das doses de boro sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

O cálcio é um elemento estrutural da parede celular, constituindo a lamela média, além de agir como regulador do metabolismo e um cofator enzimático. Também atua no período reprodutivo das plantas, auxiliando na germinação do pólen (Taiz e Zeiger, 2004; Hawkesford et al., 2012; Peçanha et al., 2019).

A forma iônica livre do cálcio, o Ca^{2+} , apresenta função de modulador hormonal, fazendo a regulação do crescimento e senescência das plantas (Dechen e Nachtigall, 2007; Peçanha et al., 2021). Em deficiência, o boro reduz a atividade da enzima ATPase, o que leva a diminuição da disponibilidade de energia necessária para absorção iônica ativa, podendo acarretar a redução da absorção de cálcio. Tanto o boro quanto o cálcio desempenham função estrutural na parede celular e nas membranas, logo, a interação entre a omissão de boro e a redução na concentração de cálcio levam ao enfraquecimento das estruturas vegetativas das plantas (Malavolta, 2006; Marschner, 2012; Carvalho et al., 2016).

Peçanha et al. (2019), trabalhando com jambu em solução nutritiva com omissão de cálcio, observou redução de 27% no número de inflorescências e 34% no número de folhas, partes essas de grande interesse econômico, de onde também são extraídos os óleos essenciais. O boro, por sua vez, sofreu um significativo aumento nas partes mais novas da planta, incrementando 54,4% nas inflorescências e dobrando o teor nas folhas mais jovens, sendo 156,8%.

5.3.7. Teores de Magnésio na parte aérea

Os teores de magnésio na parte aérea de jambu foram reduzidos com o aumento das doses de boro até a $50 \mu\text{mol L}^{-1}$, independente dos genótipos (Figura 19). Houve um decréscimo de 42% de Mg na parte aérea de jambu.

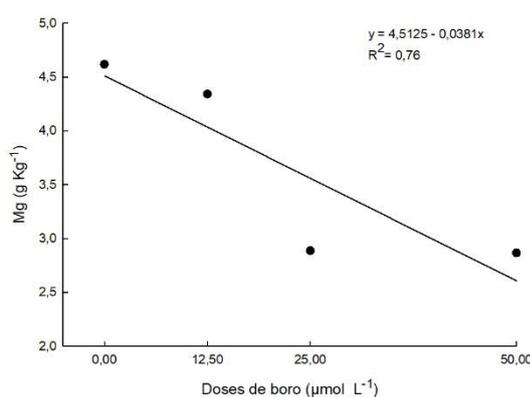


Figura 19. Teor de Magnésio na parte aérea de plantas de jambu em função das doses de boro sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes-RJ.

A importância do magnésio para as plantas pode ser evidenciada pelo fato desse nutriente ser o constituinte central da molécula de clorofila, atuando no metabolismo energético e como ativador de enzimas, além de possuir relação com o transporte de carboidratos e fósforo na planta (Taiz e Zeiger, 2004; Hawkesford et al., 2012;).

O presente estudo observou que, conforme as doses de boro aumentavam os teores de magnésio diminuía, porém, no período em que o experimento foi conduzido não houve sintomas de deficiência, caso o experimento fosse levado por mais tempo poderiam surgir os sintomas. Estudo realizado por Peçanha et al. (2019) com jambu hidropônico com omissão de magnésio obteve como resposta o aparecimento de sintomas de deficiência, sendo regiões cloróticas entre as nervuras secundárias, surgidas 22 dias após o início do tratamento. Os sintomas evoluíram para clorose em direção às bordas das folhas. Segundo Verbruggen e Hermans (2013) essa clorose se dá pela escassez de clorofila, visto que o magnésio é o principal constituinte dessa molécula. Com o passar do experimento

os pontos cloróticos evoluíram para necroses, pois além de integrar a molécula de clorofila o magnésio atua como um cofator enzimático e sua ausência pode resultar no acúmulo de formas reativas de oxigênio que desencadeiam a necrose tecidual, podendo também haver a formação de putrescina, substância que, se acumulada ocasiona em morte celular (Basso e Smith, 1974; Taiz e Zeiger, 2013; Peçanha et al., 2019). Ainda no mesmo estudo foi encontrado que a omissão de magnésio levou a uma redução de 27% na produção de inflorescências e 26,5% no número de folhas quando comparados com o tratamento completo (Peçanha et al., 2019).

6. RESUMO E CONCLUSÕES

O jambu (*Acmella oleracea*) é uma planta nativa do Norte do Brasil. Este vegetal possui grande importância cultural, sendo utilizado na culinária e na medicina popular, fazendo com que seu uso se popularizasse, gerando interesse nas indústrias farmacêutica e cosmética. A substância bioativa presente no jambu é o espilantol, que apresenta ação analgésica e de salivação, além de causar formigamento na boca, apresentando grande interesse econômico. Os nutrientes minerais, dentre eles o boro, alteram a composição e qualidade dos óleos essenciais. Embora haja estudos sobre o jambu, ainda há poucos trabalhos relacionados com a influência da nutrição mineral no teor de óleos essenciais. Objetivou-se avaliar a influência do boro na produção, no rendimento dos óleos essenciais e nos teores nutricionais em dois genótipos de jambu, Jamburana e Nazaré, no cultivo com solução nutritiva. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro em Campos dos Goytacazes/RJ, utilizando delineamento em blocos casualizados, em fatorial 2x5, sendo dois genótipos (Jamburana e Nazaré) e quatro concentrações de boro (0; 12,5; 25 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$), com 4 repetições. A coleta foi realizada aos 76 dias após a semeadura. As variáveis analisadas foram altura, número de folhas, número de inflorescências, área foliar, massa fresca e seca das folhas, inflorescências e das raízes, volume e comprimento das raízes e teores de óleos essenciais, além da determinação dos teores de macronutrientes e boro da parte

aérea. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão em nível de 5% de probabilidade no software R com auxílio do pacote ExpDes.pt.

As principais conclusões foram:

- A faixa de concentração de boro estimada entre 30 -38 $\mu\text{mol L}^{-1}$, em solução nutritiva, proporcionou incrementos para todas as variáveis nos genótipos de jambu Jamburana e Nazaré.
- As doses de boro estimadas em 36 e 34 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de boro, para os genótipos Jamburana e Nazaré, proporcionaram incremento nos teores de óleos essenciais.
- Os teores de boro na parte aérea do jambu foram incrementados em 641%, em ambos os genótipos, sem causar sintomas visuais de toxidez.
- O incremento nas doses de boro diminuiu a absorção dos macronutrientes na parte aérea do jambu, independente dos genótipos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeyasinghe, D. C., Wijerathne, S. M. N. K., Dharmadasa, R. M. (2014) Secondary metabolites contents and antioxidant capacities of *Acmella oleraceae* grown under different growing systems. *World Journal of Agricultural Research*, 2(4): 163-167.
- Almeida, S. P., Souza, J. M., Amorim, A. M., de Gusmão, S. A., Souza, R. O., Santos, A. S. (2020) In vitro culture of jambu with different growth regulators. *Horticultura Brasileira*, 38 (1): 134-138.
- Alves, L. S. (2019) *Impacto do boro na produtividade de grãos, teor e qualidade do óleo e potencial biológico de extratos de folha e capítulo de girassol*. (tese Doutorado) Seropédica- (RJ) UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. 86 p.
- Alves, L. S., Stark, E. M. L. M., Zonta, E., Fernandes, M. S., Santos, A. M. D., Souza, S. R. D. (2017) Different nitrogen and boron levels influence the grain production and oil content of a sunflower cultivar. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39 (1): 59-66.
- Araújo, J. M., da Silva Cunha, H. P., Casais, L. K. N., de Aviz, R. O., da Silva Ponce, F., Nunes, K. D. N. M., Silva Borges, L. (2021) Curva de absorção de nutrientes em jambu (*Spilanthes oleracea* L.), cultivado em sistema

hidropônico. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(5): 553-564.

Araújo, V. F., Petry, A. C., Echeverria, R. M., Fernandes, E. C., Pastore Jr, F. (2007) Plantas da Amazônia para produção Cosmética: uma abordagem química - 60 espécies do extrativismo florestal não-madeireiro da Amazônia. Brasília. 244 p.

Asad, A., Blamey, F. P. C., Edwards, D. G. (2003) Effects of boron foliar applications on vegetative and reproductive growth of sunflower. *Annals of Botany*, 92 (40): 565-570.

Barbosa, A. F., Carvalho, M. G. D., Smith, R. E., Sabaa-Srur, A. U. (2016) Spilanthal: occurrence, extraction, chemistry and biological activities. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 26, 128-133.

Baruah, R.N., Leclercq, P. A. (1993) Caracterização do óleo essencial de cabeças de flores de *Spilanthus acmella*. *Journal of Essential Oil Research*, 5 (6): 693-695.

Basso, L. C., Smith, T. A. (1974) Effect of mineral deficiency on amine formation in higher plants. *Phytochemistry*, 13(6): 875-883.

Benedetti, E. L. (2012) *Tolerância da erva-mate (Ilex paraguariensis St. Hil.) ao alumínio*. Tese (doutorado em Solo e Nutrição de plantas) – Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa- UFV, 82p.

Benedetti, E. L., Santin, D., Wendling, I., Pereira, G., Barros, N. F. (2014) Boro no crescimento de mudas de erva-mate em solução nutritiva. In *CONGRESO SUDAMERICANO DE YERBA MATE* (Vol. 6).

- Blamey, F. P. C., Chapman, J. (1982) Differential response of two sunflower cultivars to boron fertilization. In Proceedings of the International Sunflower Conference (USA). 67 (2): 110-119.
- Borges, L. S., Delgado, C. H. O., Casais, L. K. N., Nunes, K. D. N. M., Jacques, R. A., Lima, G. P. P. (2021) Composição química e potencial antifúngico do óleo essencial de jambu sob adubação orgânica e convencional. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12 (1): 461-470.
- Borges, L. S., Guerrero, A. C., Goto, R., Lima, G. P. P. (2013) Produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de jambu, sob adubação orgânica e mineral. *Semina: Ciências Agrárias*, 83-94.
- Borges, L.S., Goto, R., Lima, G.P.P. (2013) Exportação de nutrientes em plantas de jambu, sob diferentes adubações. *Semina: Ciências Agrárias*, 34 (1):107-116.
- Borges, L.S., Nunes, K. N. M., Marques, E. S. B., Souza, M. E., Marques, V. V. B. (2020) MITOS E VERDADES SOBRE A PLANTA JAMBU (*SPILANTHES OLERACEA* L.) NO TRATAMENTO DA COVID - 19 E SUAS PROPRIEDADES BIOATIVAS. In: CARLOS ANTONIO DOS SANTOS. (Org.). Pesquisa e Inovação em Horticultura. 1 ed. Maringá: Uniedusul, 1 (4): 40-51.
- Brdar-Jokanović, M. (2020) Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International journal of molecular sciences*, 21 (4): p. 1424.
- Brown, P. H., Shelp, B. J. (1997) Boron mobility in plants. *Plant and soil*, 193 (1): 85-101.

- Brown, P.H., Bellaloui, N., Wimmer, M.A., Bassil, E.S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeiffer, H., Dannel, F., Romheld, V. (2002) Boron in plant biology. *Plant Biol.*, 4, 205–223.
- Camacho-Cristóbal, J. J., Rexach, J., González-Fontes, A (2008) Boron in plants: deficiency and toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50 (10): 1247-1255.
- Cardoso, M. O., Garcia, L. (1997) Hortaliças não-convencionais da Amazônia Brasília: Embrapa, Serviço de Produção de Informação. pp. 105-111.
- Carvalho, A., Bertolucci, S. K. V., Figueiredo, F. C., e Pinto, J. E. B. P. (2016) Crescimento e composição da fração volátil de *Mentha arvensis* L. cultivada em solução nutritiva com omissão de nutrientes. *Rev. Bras. Plantas Med*, 18, 677-684.
- Castro, C. D., Castiglioni, V. B. R., Balla, A., Leite, R. D. C., Karam, D., Mello, C. H., Farias, J. R. B. (1996) A cultura do girassol. Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E). 1, 1-21.
- Castro, C. D., Moreira, A., Oliveira, R. F. D., Dechen, A. R. (2006) Boro e estresse hídrico na produção do girassol. *Ciência e Agrotecnologia*, 30 (1): 214-220.
- Cheng, C., Rerkasem, B. (1993) Effects of boron on pollen viability in wheat. *Plant and soil*, 155 (1): 313-315.
- Choudhary, S. Zehra, A., Naeem, M., Khan, M. M. A., Aftab, T. (2020) Effects of boron toxicity on growth, oxidative damage, antioxidant enzymes and essential oil fingerprinting in *Mentha arvensis* and *Cymbopogon flexuosus*. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7 (1): 1-11.

- Contrucci, B. A., Silva, R., Junior, R. A., Kozusny-Andreani, D. I. et al. (2019) Efeito de óleos essenciais sobre bactérias gram-negativas isoladas de alimentos. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, 23 (3): 180-184.
- Corioletti, N. S. D., Corioletti, S., e Silva, V. L. (2021) Influência da adubação bórica na cultura do feijoeiro. *Scientific Electronic Archives*, 14(5): 89-98.
- Dechen, A. R., Nachtigall, G. R. (2007) Elementos requeridos à nutrição de plantas. In *Fertilidade do Solo*. Viçosa: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 91-132 p.
- Dell, B., Huang, L. (1997) Physiological response of plants to low boron. *Plant and soil*, 193 (1): 103-120.
- Dhassi, K., Drissi, S., Makroum, K., Er-Rezza, H., Amlal, F., Houssa, A. (2019) A soil boron migration as influenced by leaching rate and soil characteristics: A column study. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 50, 1663–1670.
- Dixit, D., Srivastava, N. K., Sharma, S. (2002) Boron deficiency induced changes in translocation of ^{14}C CO₂-photosynthate into primary metabolites in relation to essential oil and curcumin accumulation in turmeric (*Curcuma longa* L.). *Photosynthetica*, 40, 109-113.
- Dordas, C., Brown, P.H. (2000) Permeability of boric acid across lipid bilayers and factors affecting it. *J. Membr. Biol.* 175, 95–105.
- Estrella, E. (1995) Plantas Medicinales Amazónicas: Realidad y Perspectivas Tratado de Cooperación Amazónica: Secretaría Pro Tempore. Lima. 302 p.
- Farias V. D. S., Alves E. C., Moreira S. D., Castro L. N., Gomes R. F., Silva J.P., Gusmão S.A.L. (2010) Densidade de plantio: efeitos no cultivo do jambu

(*Acmella oleracea*) - variedade nazaré. *Horticultura Brasileira* 28: S1327-S1331.

Farooqi, Ah Abad, Misra, A. (1983) Effect of micronutrients on oil content and plant growth in *Mentha arvensis* L. var. piperascens Mal. *Indian journal of plant physiology*, 26, 230- 233 p.

Fávaro, É. A., Vitorino, A. C. T., Daniel, O., Novelino, J. O. (2011) Boro e magnésio na produção de óleo essencial de *Corymbia citriodora* e teor de clorofila. *Floresta*, 41 (1): 39-46.

Filgueira, F. A. R. (2003) Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 412 p.

Foloni, J. S. S., de Moraes Barbosa, A., Catuchi, T. A., Calonego, J. C., Tiritan, C. S., Dominato, J. C., e Creste, J. E. (2016). Efeitos da gessagem e da adubação boratada sobre os componentes de produção da cultura do amendoim. *Scientia Agraria Paranaensis*, 202-208.

Fontes, R. L., Medeiros, J. F., Neves, J. C., Carvalho, O. S., Medeiros, J. C. (2008) Growth of Brazilian cotton cultivars in response to soil applied boron. *Journal of Plant Nutrition*, 31(5): 902-918.

Fouad, R., Fouad, H., Youssef, D. A., Aziz, E. E., & Omer, E. A. (2023). Changes in the essential oil of *Lavandula officinalis* over boron application and harvest dates along with the response of oil to nanotechnology against *Sitotroga cerealella*. *Egyptian Journal of Chemistry*, 66(12): 87-100.

Freitas, M. S. M., Gonçalves, Y. D. S., Lima, T. C., Santos, P. C. D., Peçanha, D. A., Vieira, M. E., Vieira, I. J. C. (2020) Potassium sources and doses in coriander fruit production and essential oil content. *Horticultura Brasileira*, 38, 268-273.

- Freitas, M. S. M., Martins, M. A., Vieira, I. J. C. (2004) Produção e qualidade de óleos essenciais de *Mentha arvensis* em resposta à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39, 887-894.
- Furlani, Â. M. C. Carvalho, C.P., Freitas, J.G.D., Verdial, M.F. (2003) Wheat cultivar tolerance to boron deficiency and toxicity in nutrient solution. *Scientia Agricola*, 60 (2): 359-370.
- Galili, G., Amir, R., Fernie, A. R. (2016) The regulation of essential amino acid synthesis and accumulation in plants. *Annual review of plant biology*, 67, 153-178.
- Gao, M., Chen, Y., Wu, L., Wang, Y. (2019) Changes in the profiles of yield, yield component, oil content, and citral content in *Litsea cubeba* (Lour.) persoon following foliar fertilization with zinc and boron. *Forests*, 10(1): 47-59.
- Gigolashvili, T., Kopriva, S. (2014) Transporters in plant sulfur metabolism. *Frontiers in plant science*, 5, 426- 442.
- Gilbert, B., Favoreto, R. (2010) *Acmella oleracea* (L.) RK Jansen (Asteraceae)–Jambu. *Revista Fitos*, 5 (1): 83-91.
- Goldbach, H.E., Wimmer, M.A. (2007) Boron in plants and animals: Is there a role beyond cell wall structure? *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 170, 39–48.
- Goldbach, H.E., Yu, Q., Wingender, R., Schulz, M., Wimmer, M., Findekle, P., Baluska, F. (2001) Rapid response reactions of roots to boron deprivation. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 164, 173–181.

- Güneş, A., Alpaslan, M., Inal, A (2003) Effects of boron fertilization on the yield and some yield components of bread and durum wheat. *Turk. J. Agric. For.*, 27, 329–335.
- Gupta, U., Solanki, H. Impact of boron deficiency on plant growth (2013) *Int. J. Bioassay*, 2, 1048–1050.
- Gusmão, M. T. A., Gusmão, S. A. L. (2013) (Ed.). Jambu da Amazônia: *Acmella oleracea*, (L.) RK Jansen: características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico. UFRA, Universidade Federal Rural da Amazônia. Ed. 1, 135p.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Møller, I., White, P. (2012) Functions of macronutrients. In: Marschner P (ed) Mineral nutrition of higher plants, 3rd edn. Elsevier Ltd., pp 135–189.
- Hind, N., Biggs, N. (2003) Placa 460. *Acmella oleracea* compositae. *Revista de botânica de Curtis*, 20 (1): 31-39.
- Hirsch, A. M., e Torrey, J. G. (1980) Ultrastructural changes in sunflower root cells in relation to boron deficiency and added auxin. *Canadian Journal of Botany*, 58 (8): 856-866.
- Homma, A. K. O. (2017) A terceira natureza da Amazônia. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, 38 (132): 27-42.
- Homma, A.K.O., Sanches, R.S., Menezes A.J. E.A., Gusmão, S. A. (2011) Etnocultivo do jambu para Abastecimento da cidade de Belém. *Amazônia: Ciência e Desenvolvimento.*, 6 (12): 125- 141.

Hu, H., Penn, S. G., Lebrilla, C. B., Brown, P. H. (1997) Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants (The mechanism of phloem mobility of boron). *Plant Physiology*, 113 (2): 649-655.

Jackson, M. L. (1958) Soil chemical analysis prentice Hall. Inc., Englewood Cliffs, NJ, 498, 183-204.

Jacobson, M. (1957) The Structure of espilantol. *Chemistry and Industry*, London, 12 (2): 50-51.

Jesus, A. C., Freitas, M.S M., Vieira, M.E., Peçanha, D. A. (2018) Marcha de absorção de micronutrientes em jambu cultivados em solução nutritiva. XII ENCONTRO BRASILEIRO DE HIDROPONIA IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROPONIA, 26.

Jin, Z., Minyan, W., Lianghuan, W., Jiangguo, W., Chunhai, S. (2008) Impacts of combination of foliar iron and boron application on iron biofortification and nutritional quality of rice grain. *Journal of Plant Nutrition*, 31(9): 1599-1611.

Karayel, H. B. (2020) Effect of natural boron mineral use on the essential oil ratio and components of Musk Sage (*Salvia sclarea* L.). *Open Chemistry*, 18(1): 732-739.

Karayel, H. B. (2022) The Effects of Natural Boron Mineral on the Essential Oil Ratio and Components of the Spearmint (*Mentha spicata* L.). *Journal of Agricultural Sciences*, 28(1): 63-70.

Kuzey, C de A; Bastos, K. P.; Pawlowski, Â. (2019) ANÁLISE DO POTENCIAL ALELOPÁTICO DE ÓLEOS ESSENCIAIS. *Mostra Interativa da Produção Estudantil em Educação Científica e Tecnológica*.

- Landi, M., Remorini, D., Pardossi, A., Guidi, L. (2013) Boron excess affects photosynthesis and antioxidant apparatus of greenhouse *Cucurbita pepo* and *Cucumis sativus*. *Journal of plant research*, 126 (6): 775-786.
- Lester, G.E. (2005) Whole plant applied potassium: effects on cantaloupe fruit sugar content and related human wellness compounds. *Acta Horticulturae*, 682 (682):487-92.
- Lewis, D. H. (1980) Boron, lignification and the origin of vascular plants-a unified hypothesis. *New Phytologist*, 84(2), 209-229.
- Ley, J. P., Krammer, G., Looft, J., Reinders, G., Bertram, H. J. (2006) Structure-activity relationships of trigeminal effects for artificial and naturally occurring alkaloids related to spilanthol. *In: Developments in Food Science. Elsevier*. 43, 21-24.
- Li-Chen, W., Nien-Chu, F., Ming-Hui, L., Inn-Ray, C., Shu-Jung, H., Ching-Yuan, H., Shangyu, H. (2008) Anti-inflammatory Effect of Spilanthol from *Spilanthes acmella* on Murine Macrophage by Down-Regulating LPS-Induced Inflammatory Mediators. *Journal Agric. Food Chemistry*. 56, 2341–2349.
- Loomis, W. D., Durst, R. W. (1992) Chemistry and biology of boron. *BioFactors* (Oxford, England), 3 (4): 229-239.
- Lorenzi, H. M., Matos, F. (2008) Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 1, 538- 544.
- Lovatt, C. J. (1985) Evolution of xylem resulted in a requirement for boron in the apical meristems of vascular plants. *New Phytologist*, 99 (4): 509-522.

- Lúcio, J. C. B. (2019) Auxinas dependem de peróxido de hidrogênio nas respostas das raízes de tomateiro a deficiência de nitrogênio. (Dissertação de mestrado). Jatoticabal, SP. Universidade Estadual Paulista. 54p.
- Luz, S., Martins, J., Sousa, K., Rocha, E., Souza, F. (2017) Produção e qualidade da couve-flor em função de doses de boro na região amazônica. *Enciclopedia Biosfera*, 14 (26): 1-8.
- Maffeis, A. R., Silveira, R. L. V. A., Brito, J. O. (2000) Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento de plantas, produção e qualidade de óleo essencial em *Eucalyptus citriodora*. *Scientia Forestalis*, 57 (1): 87-98.
- Malavolta, E. (2006). Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres. 1, 638 p.
- Manual de hortaliças não-convencionais, M. A. P. A. (2010) MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Brasília: Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. 1- 92 p.
- Marschner, H. (1995) Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic, Great Britain, 648p.
- Marschner, H. (2012) Mineral nutrition of higher plants. 3.ed London: Elsevier, 643p.
- Matoh, T. (1997) Boron in plant cell walls. *Plant and Soil*, 193 (1): 59-70.
- McCauley, A., Jones, C., Jacobsen, J. (2009) Plant nutrient functions and deficiency and toxicity symptoms. *Nutrient management module*, 9, 1-16.

- Mengel, K., e Kirkby, E. A. (2001) Principles of plant nutrition. 5th edidtion ed. 15-58.
- Mengel, K., Kirkby, E. A. (2012) Principles of plant nutrition. *Springer Science e Business Media*. 23- 55.
- Miwa, K., Fujiwara, T. (2010) Boron transport in plants: co-ordinated regulation of transporters. *Annals of Botany*, 105(7): 1103-1108.
- Moraes, L. A. C., Moraes, V. H. D. F., Moreira, A. (2002) Relação entre a flexibilidade do caule de seringueira e a carência de boro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37, 1431-1436.
- Nable, R. O. (1988) Resistance to boron toxicity amongst several barley and wheat cultivars: a preliminary examination of the resistance mechanism. *Plant and soil*, 112 (1): 45-52.
- Nable, R. O., Bañuelos, G. S., Paull, J. G. (1997) Boron toxicity. *Plant and soil*, 193 (1): 181-198.
- Nable, R. O., Paull, J. G., Cartwright, B. (1990) Problems associated with the use of foliar analysis for diagnosing boron toxicity in barley. *Plant and Soil*, p. 225-232.
- Najafian, S., Zahedifar, M. (2015) Antioxidant activity and essential oil composition of *Satureja hortensis* L. as influenced by sulfur fertilizer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(12): 2404-2408.
- Nascimento, L. E. S. (2019) *Jambu (Acmella oleracea (L.) RK. Jansen) hidropônico e convencional: uma comparação baseada nas propriedades físico-químicas e composição fitoquímica*. (Tese mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina (SC). 1- 129.

- Oertli, J. J., Roth, J. A. (1969) Boron Nutrition of Sugar Beet, Cotton, and Soybean 1. *Agronomy Journal*, 61 (2):191-195.
- Oliveira, K. D. N. S. D., Lima, M. N. A. D. (2019) *Aplicação de boro em mudas de palma de óleo (Elaeis guineenses Jacq.)*. (Agronomia) Capitão Poço - PA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA (UFRA). 58p.
- Oliveira, P. R., Castro, K. N. C., Anholeto, L. A., Mathias, M. I. C. (2016) Cytotoxic effects of extract of *Acmella oleraceae* (Jambu) in *Rhipicephalus microplus* females ticks. *Microscopy research and technique*, 79 (8): 744-753.
- Ono, E. O., e Rodrigues, J. D. (1996) Aspectos da fisiologia do enraizamento de estacas caulinares. Jaboticabal: Funep, 83p.
- Paula, T.D.A. (2009) *Doses, fontes e formas de aplicação de boro em floresta de eucalipto*. (Dissertação doutorado) Piracicaba (SP) Universidade de São Paulo. 67p.
- Pavinato, P. S., Aguiar, A., Castro, G. S. A., Crusciol, C. A. C. (2009) Boro em arroz de terras altas cultivado em solução nutritiva. *Bragantia*, 68, 743-751.
- Peçanha, D. A. (2017) *Deficiência de nutrientes minerais em Acmella oleracea: teores minerais, sintomas visuais, espilantol e compostos fenólicos*. (Tese doutorado) Campos dos Goytacazes, RJ. Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). 80p.
- Peçanha, D. A., Freitas, M. M., Vieira, M. E., Lima, T. C., Gonçalves, Y. S. (2019) Characterization of deficiency symptoms and mineral nutrient content in *Acmella oleracea* cultivated under macronutrient and boron omissions. *Journal of Plant Nutrition*, 42(8): 879-890.

- Peçanha, D. A., Freitas, M. S. M., Vieira, M. E., Cunha, J. M., Jesus, A. C. (2021) Phosphorus fertilization affects growth, essential oil yield and quality of true lavender in Brazil. *Industrial Crops and Products*, 170, 113803.
- Pereira, C. A. M., Maia, J. F. (2007) Estudo da atividade antioxidante do extrato e do óleo essencial obtidos das folhas de alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.). *Ciência Tecnologia Alimentos*, Campinas, 27 (3): 624- 632.
- Peters, J.B. (2005) Wisconsin procedures for soil testing, plant analysis and feed e forage analysis: Plant analysis. Department of Soil Science, college of agriculture and life sciences - University of Wisconsin Extension – Madson. 117p.
- Pinheiro, M. S. S., Raiol, A., Galdino, M. (2020) Pesquisa científica, importância socioeconômica e patente: uma revisão sistemática sobre a espécie *Acmella oleracea* e seu princípio ativo (espilantol). Equipe editorial. 1, 20- 28.
- Poltronieri, M. C., Müller, N. R. M., Poltronieri, L. S. (2000) Recomendações para a produção de jambu: cultivar Nazaré. Embrapa Amazônia Oriental-Circular Técnica (INFOTECA-E). 11, 13p.
- Poltronieri, M. C., poltronieri, L. S., Muller, N.R.M. (1999) Jambu (*Spilanthes oleracea* L.) visando resistência ao carvão (*Thecaphora spilanthes*). Embrapa Amazônia Oriental-Capítulo em livro científico (ALICE). 16, 1-9.
- Power, P. P., Woods, W. G. (1997) The chemistry of boron and its speciation in plants. *Plant and soil*, 193 (1): 1-13.
- Prachayasittikul, V., Prachayasittikul, S., Ruchirawat, S., Prachayasittikul, V. (2013). High therapeutic potential of *Spilanthes acmella*: a review. *EXCLI journal*, 12, 291p.

- Ramsewak, R. S., Erickson, A. J., Nair, M. G. (1999) Bioactive N-isobutylamides from the flower buds of *Spilanthes acmella*. *Phytochemistry*, 51 (6): 729-732.
- Rausch, T., Wachter, A. (2005) Sulfur metabolism: a versatile platform for launching defence operations. *Trends in plant science*, 10(10): 503-509.
- Reid, R. J., Hayes, J. E., Post, A., Stangoulis, J. C. R., Graham, R. D. (2004) A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant, Cell Environment*, 27 (11): 1405-1414.
- Rerkasem, B., Lordkaew, S., Yimyam, N., Jamjod, S. (2019) Evaluating boron efficiency in heat tolerant wheat germplasm. *International Journal of Agriculture and Biology*, 21, 385-390.
- Revilla, J. (2002) Plantas úteis da bacia amazônica. Manaus, BR: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. No. 581 R454p.
- Rios, M. Y., Olivo, H. F. (2014) Natural and synthetic alkaloids: applications in pain therapy. *Studies in natural products chemistry*, 43, 79-121.
- Rodrigues, D.S., Camargo, M.S., Nomura, E.S., Garcia, V.A., Correa, J.N., Vidal, T.C.M. (2014) Influência da adubação com nitrogênio e fósforo na produção de Jambu, *Acmella oleracea* (L) R.K. Jansen. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 16(1):71-76.
- Roessner, U., Patterson, J. H., Forbes, M. G., Fincher, G. B., Langridge, P., Bacic, A. (2006) An investigation of boron toxicity in barley using metabolomics. *Plant physiology*, 142 (3): 1087-1101.

- Roth-Bejerano, N., Itai, C. (1981) Effect of boron on stomatal opening in epidermal strips of *Commelina communis*. *Physiologia Plantarum*, 52(2): 302-304.
- Salvador, J. O., Moreira, A., Malavolta, E., Cabral, C. P. (2003) Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. *Ciência e agrotecnologia*, 27, 325-331.
- Sampaio, I.M.G., Silva Júnior, M.L., Moraes Bittencourt, R.F.P., Neto, H.D.S.L., Souza, D.L., Nunes, F.K.M., Silva, L.C. Figueiredo, S.P.R. (2019) Sintomas de deficiências nutricionais e produção de massa seca em plantas de jambu (*Acmella oleraceae*) submetidas as omissões de nutrientes. *Brazilian Journal of Development*, 5 (12): 31549-31563.
- Santos, C. M. G., Cerqueira, R. C., Fernandes, L. M. D. S., Rodrigues, J. D., Ono, E. O. (2010) Efeito de substratos e boro no enraizamento de estacas de pitaya. *Revista Ceres*, 57, 795-802.
- Shamsuzzoha, M., Kundu, P. K., Rouf, M. A., Afrose, R., Mostofa, M. (2019) Effect of combined application of nitrogen and boron on yield contributing characters and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Annual Research e Review in Biology*, 1-12.
- Sheng, O., Song, S., Peng, S., Deng, X. (2009) The effects of low boron on growth, gas exchange, boron concentration and distribution of 'Newhall' navel orange (*Citrus sinensis* Osb.) plants grafted on two rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 121(3): 278-283.
- Shireen, F., Nawaz, M. A., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., Bie, Z. (2018) Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7): 1856.

- Shorrocks, V. M. (1997). The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and soil*, 193(1): 121-148.
- Silva, A. P. S., Nascimento, T. V. S. D., Jimenez, R. R., Silva, R. L. D., Camargos, B. H. L., Nantet, A. C. T., Carvalho Junior, R. N. D. (2020) Influência da sazonalidade nos teores de compostos fenólicos e da capacidade antioxidante de flores de duas cultivares de jambu (*Acmella oleracea* (L.) r. k. jansen. *Editora Científica Digital*. V.2., cap. 18, p. 274 – 282. ISBN 978-65-87196-59-6. Disponível em: <https://www.editoracientifica.org/articles/code/201102248>. Acesso em: 3 maio 2022.
- Silva, A. R., Santos, J. U. M. (2011) *Acmella marajoensis*: uma nova espécie de Asteraceae para a Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 41, 191-194.
- Silva, F. C. S., Silva, F. S. A. (2021) Desenvolvimento e biologia floral do jambu [*Acmella oleracea* (L.) RK Jansen]. (Tese de biologia) Capitão Poço- PA. Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). 51p.
- Silva, S. L. O. (2016). Absorção e mobilidade floemática de boro (10B) em caupi. (Tese de doutorado) Jatoticabal, SP. Universidade Estadual Paulista. 75p.
- Silva, V. L., Oliveira, A. C., da Silva, W. V., Junior, L. F. C., Damasceno, N. S. (2020) Análise de crescimento destrutiva de mudas de pinha fertirrigadas com diferentes doses de boro. *Revista Campo Digital*, 15 (1): 26- 34.
- Silveira, R.L.V.A. (1996) Crescimento e estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* sob doses de boro e sua relação com a agressividade de *Brotrysphaeria ribis*. 1996. 100 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) -Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

- Souza, M.A.A., Araujo, O.J., Ferreira, M.A., Stark, E.M.L., Fernandes, M.S., Souza, S.R. (2007) Produção de biomassa e óleo essencial de hortelã em hidroponia em função de nitrogênio e fósforo. *Horticultura Brasileira*, 25:41-48.
- Souza, R. R. D., Paiva, P. D. D. O., Carvalho, J. G. D., Almeida, E. F. A., Barbosa, J. C. V. (2010) Doses de boro no desenvolvimento de copo-de-leite em solução nutritiva. *Ciência e Agrotecnologia*, 34, 1396-1403.
- Soylu, S., Sade, B., Topal, A., Akgün, N., Gezgin, S., Hakki, E.E., Babaoğlu, M. (2005) Responses of irrigated durum and bread wheat cultivars to boron application in a low boron calcareous soil. *Turk. J. Agric. For.* 29, 275–286.
- Sozzani R, Lyer-Pascuzzi A (2014) Postembryonic Control of root meristema growth and development. *Current Opinion in Plant Biology*. 17, 7-12. doi.org/10.1016/j.pbi.2013.10.005
- Stangoulis J.C.R., Reid R.J. (2002) Boron toxicity in plants and animals. In Boron in Plant and Animal Nutrition (eds. H.E. Goldbach et al.), pp. 227–240. Kluwer Academic, New York, USA.
- Steiner, F., Lana, M. D. C. (2013) Effect of pH on boron adsorption in some soils of Paraná, Brazil. *Chilean journal of agricultural research*, 73(2): 181-186.
- Sugier, D., Sugier, P., Kowalski, R., Kołodziej, B., Olesińska, K. (2017) Foliar boron fertilization as factor affecting the essential oil content and yield of oil components from flower heads of *Arnica montana* L. and *Arnica chamissonis* Less. cultivated for industry. *Industrial Crops and Products*, 109, 587-597.
- Taiz L e Zeiger E (2004) Fisiologia vegetal. 3ª ed. Porto Alegre, Artmed. 719p.

- Taiz, L. Zieger (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 719p.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2013) *Fisiologia Vegetal*. Armando Molina Diva Júnior et al. (Trads.). 5th ed. Artmed, 718p.
- Takano, J., Miwa, K., Fujiwara, T. (2008) Boron transport mechanisms: collaboration of channels and transporters. *Trends in plant science*, 13(8): 451-457.
- Tomicioli, R. M., Leal, F. T., Coelho, A. P. (2021) Limitação da produtividade pela deficiência de boro nas culturas da soja, milho, feijão e café. *South American Sciences*, 2(1), e21100-e21100.
- Torun, A. A., Yazici, A., Erdem, H., Çakmak, I. (2006) Genotypic variation in tolerance to boron toxicity in 70 durum wheat genotypes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30 (1): 49-58.
- Tripathi, P., Singh, R. P., Srivastava, S., Shivanna, B., Singh, A. K., Singh, S., Khare, P. (2021) Quantifying the boron demand of *Pelargonium graveolens* for optimum biomass yield and quality of essential oil under field conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 45(2): 218-231.
- Turan, M. A., Taban, S., Kayin, G. B., Taban, N. (2018) Effect of boron application on calcium and boron concentrations in cell wall of durum (*Triticum durum*) and bread (*Triticum aestivum*) wheat. *Journal of plant nutrition*, 41 (11): 1351-1357.
- Verbruggen, N., Hermans, C. (2013) Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants. *Plant and soil*, 368(1-2): 87-99.

- Veryser, L., Wynendaele, E., Taevernier, L., Verbeke, F., Joshib, T., Tatke, P., De Spiegeleer, B. (2014) N-alkylamides: from plant to brain. *Functional Foods in Health and Disease*, 4 (6): 264-275.
- Wang, N., Yang, C., Pan, Z., Liu, Y., Peng, S. A. (2015) Boron deficiency in woody plants: various responses and tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 6, 916.
- Wimmer, M. A., e Eichert, T. (2013) Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant science*, 203, 25-32.
- Zhao, Z., Wang, S., White, P. J., Wang, Y., Shi, L., Xu, F. (2020) Boron and phosphorus act synergistically to modulate absorption and distribution of phosphorus and growth of *Brassica napus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(30): 7830-7838.
- Zhou, G. F., Peng, S. A., Liu, Y. Z., Wei, Q. J., Han, J., & Islam, M. Z. (2014). The physiological and nutritional responses of seven different citrus rootstock seedlings to boron deficiency. *Trees*, 28, 295-307.