



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

GILBENES BEZERRA ROSAL

DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO BOLDO BRASILEIRO
SUBMETIDO A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

FORTALEZA

2021

GILBENES BEZERRA ROSAL

DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO BOLDO BRASILEIRO SUBMETIDO A
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana

Coorientadora: Prof^a. Dra. Albanise Barbosa Marinho

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R698d Rosal, Gilbenes Bezerra.
Desenvolvimento e produtividade do boldo brasileiro submetido a lâminas de irrigação / Gilbenes Bezerra
Rosal. – 2021.
59 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana.
Coorientação: Profa. Dra. Albanise Barbosa Marinho.

1. *Plectranthus barbatus* Andrews. 2. Manejo da irrigação. 3. Fertilidade do solo. I. Título.

CDD 630

GILBENES BEZERRA ROSAL

DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO BOLDO BRASILEIRO
SUBMETIDO A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em 21/05/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Dra. Albanise Barbosa Marinho (Coorientadora)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Profª. Dra. Francisca Robevania Medeiros Borges
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Newdmar Vieira Fernandes
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE Campus Iguatu

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo.

À FUNCAP pela concessão da bolsa de estudos, me atendendo em um momento de escassez de bolsas no cenário nacional. Também agradeço pelo financiamento de outros bolsistas no projeto, que foi essencial para a pesquisa.

À UFC que possibilita a tantos estudantes de baixa renda ingressarem na graduação e na pós graduação.

À UNILAB que praticamente me acolheu, onde fui muito bem recebido e respeitado por todos.

Aos funcionários da Fazenda Experimental Piroás e demais funcionários da UNILAB que nos deram suporte.

Ao professor Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana pela dedicação, atenção e suporte, sempre de bom humor.

À professora Dra. Albanise Barbosa Marinho pela sua dedicação e atenção com cada um de seus alunos, sempre incentivando e buscando o máximo de seus alunos.

À professora Dra. Francisca Robevania Medeiros Borges pela imensa dedicação e contribuição neste trabalho, do início ao fim.

Ao professor Dr. Carlos Newdmar Vieira Fernandes por estar sempre pronto a ajudar e dar suas contribuições com muita coerência.

Ao professor Dr. Aluísio Marques da Fonseca pelo suporte nas extrações e no encaminhamento para as análises.

À Jhenifer Santos de Sousa pelo trabalho em parceria e por ter atuado juntamente com as professoras Dra. Albanise Barbosa Marinho e Dra. Francisca Robevania Medeiros Borges desde o início na proposta do projeto. Esse trabalho é do GPBIO que considero como uma família e motivo de união e trabalho em grupo.

A todos os integrantes do grupo de pesquisa em biofertilização GPBIO pela parceria e trabalho em equipe.

À minha namorada Bianca Rodrigues Bezerra pelo suporte na língua inglesa e pela leitura e interação nos artigos em inglês.

Aos meus pais Humberto de Castro Rosal e Maria do Carmo Bezerra Rosal por terem me educado em um ambiente simples e humilde sem nada faltar.

Ao meu irmão Gilberto Bezerra Rosal, companheiro de luta com quem tive contato com a agricultura e a irrigação desde a infância, juntamente com nossos pais.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram nesta pesquisa.

RESUMO

O boldo brasileiro (*Plectranthus barbatus Andrews*) além de muito cultivado como uma planta ornamental, apresenta importantes propriedades medicinais, que geram interesse comercial pelo mesmo. A irrigação no nordeste do Brasil é uma prática utilizada para a sobrevivência das plantas e o aumento da produtividade das culturas, entretanto, o boldo brasileiro ainda é uma cultura pouco pesquisada no país, principalmente, quanto as suas necessidades hídricas. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de lâminas de irrigação no desenvolvimento, na produtividade do boldo brasileiro e na fertilidade do substrato. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Piroás (FEP) da Universidade Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), localizada em Redenção-CE, na região do Maciço de Baturité. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com cinco tratamentos, quatro blocos e três plantas úteis. Os tratamentos consistiram na aplicação de lâminas de irrigação calculadas em função da evapotranspiração da cultura - ETc (equivalentes a 33; 66; 100; 133 e 166% da ETc). Altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, massa fresca e seca das folhas, do caule, da raiz e da parte aérea, comprimento da raiz, relação raiz/parte aérea, produtividade de folhas frescas e secas, comprimento e largura das folhas, eficiência do uso da água e fertilidade do substrato foram analisadas. Pelos resultados obtidos observou-se que o maior crescimento da cultura foi alcançado com a lâmina de irrigação correspondente a 166% da ETc (1.379 mm), enquanto que a lâmina de irrigação correspondente a 132% da ETc (1.111 mm) proporcionou a maior produtividade em massa fresca do boldo brasileiro. A lâmina equivalente a 33% da ETc (331 mm) proporcionou a maior eficiência do uso da água, ao passo que a fertilidade do substrato não sofreu influência dos tratamentos, com exceção do pH, que foi menos alcalino para a menor lâmina de irrigação. Considerando os resultados obtidos recomenda-se a lâmina de irrigação correspondente a 132% da ETc (1.111 mm) para o cultivo do boldo brasileiro.

Palavras-chave: *Plectranthus barbatus Andrews*. Manejo da irrigação. Fertilidade do solo.

ABSTRACT

The Brazilian boldo (*Plectranthus barbatus Andrews*), in addition to being widely cultivated as an ornamental plant, has important medicinal properties, which generate commercial interest for it. Irrigation in northeastern Brazil is a practice used for plant survival and increased crop productivity, however, the Brazilian Boldo is still a poorly researched crop in the country, mainly regarding its water needs. Thus, the objective was to evaluate the effects of the application of irrigation depths on the development, productivity of Brazilian boldo and substrate fertility. The experiment was conducted at the Fazenda Experimental Piroás (FEP) of the Universidade Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), located in the Barra Nova district in Redenção-CE, in the Maciço de Baturité region. The experimental design was randomized blocks with five treatments, four blocks and three useful plants. The treatments consisted of applying irrigation depths calculated as a function of crop evapotranspiration - ET_c (equivalent to 33; 66; 100; 133 and 166% of ET_c). Plant height, stem diameter, number of leaves, fresh and dry mass of leaves, stem, root and shoot, length of the root, root / shoot ratio, fresh and dry leaf yield, length and width of leaves, water use efficiency and substrate fertility were analyzed. From the results obtained, it was observed that the greatest crop growth was achieved with the irrigation depth corresponding to 166% of the ET_c (1,379 mm), while the irrigation depth corresponding to 132% of the ET_c (1,111 mm) provided the highest productivity in fresh mass of Brazilian boldo. The depth equivalent to 33% of the ET_c (331 mm) provided the highest water use efficiency, while the substrate fertility was not influenced by the treatments, except for the pH, which was less alkaline for the lowest irrigation depth. Considering the results obtained, the irrigation depth corresponding to 132% of the ET_c (1,111 mm) is recommended for the cultivation of Brazilian boldo.

Keywords: *Plectranthus barbatus Andrews*. Irrigation management. Soil fertility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Plantio do boldo brasileiro. Redenção - CE, 2019.....	21
Figura 2 - Perfuração e retirada do solo (A), aplicação do biofertilizante (B) e realocação do solo retirado ao local de origem (C) na cultura do boldo brasileiro. Redenção - CE, 2019.....	22
Figura 3 - Croqui da área experimental. Redenção - CE, 2019.....	24
Figura 4 - Avaliação da uniformidade do sistema de irrigação. Redenção - CE, 2019.....	25
Figura 5 - Pluviômetro (A) e tanque classe A (B) localizados na área experimental. Redenção - CE, 2019	26
Figura 6 - Boldo brasileiro aos 126 dias após o transplântio. Redenção - CE, 2019	28
Figura 7 - Material vegetal do boldo brasileiro sendo pesado (A), secagem à sombra (B) e secagem em estufa (C). Redenção - CE, 2019	29
Figura 8 - Raiz do boldo brasileiro colhida aos 126 DAT. Redenção - CE, 2019	30
Figura 9 - Comprimento da folha (A) e largura da folha (B) do boldo brasileiro. Redenção - CE, 2019	31
Figura 10 - Amostras de substrato para análise química, secando ao ar à sombra. Redenção - CE, 2019	32
Figura 11 - Temperatura e umidade relativa do ar na área experimental. Redenção - CE, 2019	34
Figura 12 - Altura da planta - ALT (A), diâmetro do caule - DC (B) e número de folhas - NF (C) do boldo brasileiro em função das épocas de avaliação (DAT) e das lâminas de irrigação, em função da ETc	37
Figura 13 - Massa fresca das folhas - MFF (A) e massa seca das folhas - MSF (B) do boldo brasileiro em função de lâminas de irrigação.....	41
Figura 14 - Massa fresca do caule - MFC (A) e massa seca do caule - MSC (B) do boldo brasileiro em função das lâminas de irrigação	43
Figura 15 - Massa fresca da raiz - MFR (A) e massa seca da raiz - MSR (B) do boldo brasileiro em função das lâminas de irrigação	44
Figura 16 - Massa fresca da parte aérea - MFPA (A) e massa seca da parte aérea - MSPA (B) do boldo brasileiro em função das lâminas de irrigação.....	45
Figura 17 - Produtividade de folhas frescas - PFF (A) e produtividade de folhas secas - PFS (B) do boldo brasileiro em função das lâminas de irrigação.....	46

Figura 18 - Eficiência do uso da água - EUA do boldo brasileiro em função das lâminas de irrigação47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química do substrato utilizado no cultivo do boldo brasileiro. Redenção - CE, 2019	21
Tabela 2 - Precipitação e evaporação medida no tanque classe A durante o período experimental. Redenção - CE, 2019	35
Tabela 3 - Lâminas aplicadas mais precipitações durante o ciclo da cultura, nos diferentes tratamentos utilizados. Redenção - CE, 2019	35
Tabela 4 - Resumo da análise de variância para os dados de crescimento do boldo brasileiro em função das épocas de avaliação e das lâminas de irrigação	36
Tabela 5 - Resumo da análise de variância para produtividade e pós-colheita do boldo brasileiro	40
Tabela 6 - Resumo da análise de variância para parâmetros de fertilidade do substrato aos 126 dias após transplântio.....	48
Tabela 7 - Médias para os parâmetros de fertilidade do substrato aos 126 dias após transplântio	49
Tabela 8 - Análise final do pH do substrato em função das lâminas de irrigação aplicadas....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	Origem e botânica do boldo brasileiro	14
3.2	Exigências climáticas e propagação	15
3.3	Importância econômica	16
3.4	O manejo da irrigação	16
3.4.1	<i>Lâminas de irrigação</i>	18
3.4.2	<i>Fertilidade do solo sob lâminas de irrigação</i>	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1	Caracterização da área experimental	20
4.2	Preparação das mudas, transplântio e condução do experimento	20
4.3	Delineamento experimental e tratamentos	23
4.4	Descrição do manejo da irrigação	24
4.5	Variáveis analisadas	27
4.5.1	<i>Altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas</i>	27
4.5.2	<i>Massas fresca e seca das folhas, do caule, da raiz e da parte aérea</i>	28
4.5.3	<i>Comprimento médio das raízes</i>	29
4.5.4	<i>Relação raiz/parte aérea</i>	30
4.5.5	<i>Produtividade de folhas frescas e secas e eficiência do uso da água</i>	30
4.5.6	<i>Comprimento e largura das folhas</i>	30
4.5.7	<i>Análises químicas do substrato</i>	31
4.6	Análises estatísticas	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	Dados meteorológicos	34
5.2	Crescimento das plantas	36
5.3	Produtividade e pós-colheita	39
5.3.1	<i>Massas fresca e seca das folhas, do caule e da raiz</i>	41
5.3.2	<i>Massas fresca e seca da parte aérea, produtividades fresca e seca das folhas e eficiência do uso da água</i>	45
5.4	Fertilidade e salinidade do substrato	48

6	CONCLUSÕES.....	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O boldo brasileiro *Plectranthus barbatus* é uma planta nativa da Índia, onde cresce espontaneamente, sendo encontrada em campos agrícolas, colinas áridas e terrenos baldios e secos, a cultura se desenvolve melhor em solos porosos e bem drenados e não requer solos muito férteis (LOKESH; DEEPA; DIVYA, 2018), no entanto a adubação orgânica e inorgânica pode maximizar o crescimento da planta (RAVIKUMAR *et al.*, 2013).

É utilizada na medicina popular para o tratamento de doenças gastrointestinais e hepáticas (PERANDIN *et al.*, 2015). Na medicina ayurvédica, as espécies de *Plectranthus* têm sido usadas para tratar doenças cardíacas, convulsões, dor espasmódica e dor ao urinar, além de ser uma alternativa no controle de mosquitos vetores da malária, da encefalite japonesa e da dengue (GOVINDARAJAN *et al.*, 2016). Já Obiero *et al.* (2020) utilizaram com sucesso todas as partes da planta como material vegetal de curtimento de couros.

Mesmo diante de tantas utilidades ornamentais e medicinais da planta, o cultivo do boldo brasileiro no Brasil ainda não ultrapassou as barreiras da exportação, o que pode ser incentivado com estudos que evidenciem o potencial produtivo da cultura e orientem as melhores formas de cultivo. Existem aumentos na oferta e na demanda de plantas medicinais, o que também ocorre com o boldo brasileiro na Índia, devido aos seus usos terapêuticos, que aumentou a procura pelas raízes secas nos últimos tempos, levando alguns agricultores a cultivar a planta e indústrias usuárias a promover o cultivo organizado (SAKHUBAI *et al.*, 2020). Contudo, no Brasil o sistema produtivo é deficiente e despreparado para atender a esse mercado (ALEMAN; MARQUES, 2016).

Nesse sentido, experimentos agrônômicos e o estabelecimento de práticas de manejo são necessários para que as espécies possam ser cultivadas em escala comercial, podendo-se destacar a seleção de matrizes e a irrigação como práticas que têm sido aplicadas com sucesso no Nordeste do país para a produção de plantas medicinais visando a confecção de óleos essenciais (BIZZO *et al.*, 2009).

Ressalta-se que, estando a produção de biomassa e a síntese dos princípios ativos das plantas medicinais dependentes de vários fatores, dentre eles o fator genético, o clima, as condições edáficas e os manejos culturais, necessita-se, portanto, de maiores estudos sobre o cultivo das mesmas (ROSAL *et al.*, 2011).

De maneira geral, a investigação do desenvolvimento e da produção do boldo sob cultivo irrigado pode fornecer informações relevantes que auxiliem no plantio para fins comerciais. Estudos com lâminas de irrigação são de grande importância para definição da

condição hídrica que proporcione maiores desenvolvimento e produtividade das partes de interesse comercial da planta. Além disso, podem fornecer dados de produção que potencializam a eficiência do uso da água, relacionando a produtividade da planta e o uso da água (HATFIELD; DOLD, 2019).

Com relação a condição hídrica do cultivo, é de conhecimento que o déficit hídrico pode afetar diferentemente as plantas durante os crescimentos vegetativo e reprodutivo podendo ocasionar a redução da expansão celular e foliar, fechamento estomático e abscisão foliar. Por outro lado, o excesso hídrico pode suprimir a respiração nas raízes, podendo reduzir a absorção de água, provocar o esgotamento de energia, acidificação do citosol e toxicidade pela acumulação de etanol, assim, o estresse por déficit ou excesso hídrico podem afetar o desenvolvimento das culturas (TAIZ *et al.*, 2017).

De acordo com o observado em Freitas *et al.* (2014), ainda há lacunas no desenvolvimento de plantas do gênero *Plectranthus* em diferentes condições ambientais, embora o gênero contemple importantes espécies de uso medicinal no Nordeste brasileiro. No caso do boldo brasileiro mesmo sendo uma das mais importantes espécies do gênero, há poucos estudos sobre o desenvolvimento da cultura sob lâminas de irrigação e, além de serem limitados, não são conclusivos a quanto irrigar e a qual produção pode ser obtida.

Outra lacuna importante a ser sanada quanto as aplicações de lâminas de irrigação é o teor nutricional do solo, que pode sofrer alterações pelo efeito da lixiviação dos nutrientes. Isso foi observado por Mendes *et al.* (2015) e Albuquerque *et al.* (2011) com os teores de nitrogênio e potássio, respectivamente. O efeito das lâminas de irrigação na fertilidade do solo pode fornecer informações relevantes para o cultivo das plantas em geral, incluindo o boldo brasileiro.

Diante do exposto, o estudo do desenvolvimento e produção do boldo brasileiro sob lâminas de irrigação, visando gerar informações que possam promover o seu cultivo, principalmente no que se refere ao manejo da irrigação em cultivos irrigados na região Nordeste do país, é de grande valia em um panorama de carência de informações que subsidiem e incentivem o manejo por parte dos produtores.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos de lâminas de irrigação no desenvolvimento e produtividade do boldo brasileiro e na fertilidade do substrato pós cultivo.

2.2 Objetivos específicos

Quantificar a lâmina de irrigação que proporciona o maior desenvolvimento do boldo brasileiro;

Quantificar a lâmina de irrigação que proporciona a maior produtividade do boldo brasileiro;

Quantificar a lâmina de irrigação que proporciona a maior eficiência do uso de água pelo boldo brasileiro;

Avaliar o efeito das lâminas de irrigação na fertilidade do substrato pós cultivo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Origem e botânica do boldo brasileiro

O gênero *Plectranthus* é encontrado principalmente na Ásia, na África Tropical e na Austrália, a palavra *Plectranthus* vem do grego *plektron* (esporão) e *anthos* (flor), devido às flores possuírem esporos em sua base (WALDIA *et al.*, 2011). Salientam os autores que por causa do odor característico algumas espécies de *Plectranthus* também são chamadas de rei das mariposas.

O gênero pertence à na família *Lamiaceae* e é rico em óleos essenciais (BANDEIRA *et al.*, 2011). Ainda assim, a quantidade extraída de uma planta é baixa, (SABRA *et al.*, 2018) obtiveram maior quantidade de óleo essencial de *Plectranthus amboinicus* de 0,925 mL planta⁻¹. Os óleos essenciais são misturas complexas voláteis de metabólitos secundários responsáveis pela fragrância e pelo sabor, assim como pela importância medicinal da planta (WALDIA *et al.*, 2011).

Dentre as espécies do gênero *Plectranthus*, quatro espécies são conhecidas popularmente pelo nome “boldo” por possuírem propriedades medicinais semelhantes, são elas *Plectranthus grandis*, *Plectranthus barbatus*, *Plectranthus neochilus* e *Plectranthus amboinicus* (BANDEIRA *et al.*, 2011). No Nordeste do Brasil, as espécies *Plectranthus barbatus*, *Plectranthus neochilus* e *Plectranthus amboinicus* estão entre as plantas medicinais mais conhecidas e cultivadas (ABREU *et al.*, 2015). Entre essas plantas destaca-se o *Plectranthus barbatus* por ser uma planta de maior porte e pelas utilidades das folhas, do caule e das raízes.

Espécies do gênero *Plectranthus* em especial *Plectranthus barbatus* representam um recurso importante para novos compostos terapêuticos no combate ao câncer e as doenças infecciosas (MOTHANA *et al.*, 2019). Segundo Waldia *et al.* (2011), a espécie é uma das mais importantes do gênero na Índia, com uma grande variedade de usos tradicionais na medicina tradicional Hindu e Ayurveda.

É uma planta nativa da Índia (LOKESH; DEEPA; DIVYA, 2018; SHARMA; VASUNDHARA, 2017), onde cresce de forma selvagem nas regiões áridas e semiáridas (PRANEETH *et al.*, 2016). O nome *Coleus forskalaei* ou *forskohlii* tem sido frequentemente usado incorretamente para esta espécie (PATON *et al.*, 2019). Conforme os autores, a planta é reconhecida cientificamente apenas por *Plectranthus barbatus* ou *Coleus barbatus*. No Brasil,

a planta é conhecida popularmente por boldo brasileiro (SOARES *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2016).

O *Plectranthus barbatus Andrews* foi descrito e ilustrado à mão por Henry Charles Andrews (ANDREWS *et al.*, 1810). Conforme a descrição, a planta tem didinamia gimnosperma, possui sementes nuas, quatro estames não iguais, as flores são caídas para trás e abertas, as folhas são caídas, enrugadas e ovais, distribuídas ao longo dos ramos. Acrescentam ainda que cada parte da planta tem uma poderosa fragrância.

3.2 Exigências climáticas e propagação

A cultura é perene, herbácea e aromática (MWITARI *et al.*, 2013) e produtora de metabólitos secundários (LESSA *et al.*, 2017). Tem folhas opostas, ovaladas de bordos denteados e sabor característico amargo, e as flores têm cor azul (LORENZI; MATOS, 2008). Cresce cerca de 45 a 60 cm de altura, possui hastes angulares e ramificadas, nós peludos, as folhas têm 7,5 a 12,5 cm de comprimento e 3 a 5 cm de largura, geralmente pubescente, a inflorescência é racemosa de 15 a 30 cm de comprimento, as flores são robustas, de 2 a 2,5 cm de tamanho e o cálice é peludo por dentro (LOKESH; DEEPA; DIVYA, 2018). Conforme os autores, é uma cultura dos trópicos e cresce bem em colinas áridas a uma altitude de cerca de 2400 m, prefere clima úmido com umidade relativa do ar variando de 60% a 85% e temperaturas entre 10 e 25 °C para seu crescimento bem sucedido.

O boldo brasileiro é uma planta semi-suculenta e tem mecanismo fotossintético do tipo C₃, tem teor de água da folha de 14,5 kg H₂O kg de peso seco⁻¹ (percentual de peso seco 6,9%), peso específico foliar em base seca de 0,023 kg m⁻², área foliar da planta de 600 cm² e espessura das folhas de 0,9 mm (HERPPICH; HERPPICH, 1996). De acordo com os autores, o aumento das temperaturas diurnas a partir de 30 °C pode reduzir o ganho líquido de carbono diário, levando a perdas de CO₂, no entanto, mesmo em temperaturas de 35°C a planta apresenta altas taxas de captação de CO₂ se comparada a outras espécies do gênero como *P. purpuratus*, *P. zatarhendi* e *P. zatarhendi*.

A propagação da cultura pode ser feita por sementes e estacas, no entanto, a propagação através de sementes é difícil e lenta, devendo ser usada apenas para o melhoramento de novas variedades, enquanto a propagação por corte é muito fácil e econômica, o que pode possibilitar trabalhar com produção em grande escala (LOKESH; DEEPA; DIVYA, 2018). O plantio pode ser realizado diretamente no local desejado ou em

viveiros, no último caso, torna-se necessário fazer o transplante quando as mudas estiverem estabelecidas, e a colheita pode ser realizada aos 6 meses (MARTINS *et al.*, 1994).

3.3 Importância econômica

A planta está ganhando destaque na medicina moderna com o isolamento do composto diterpeno forskolina de seu tubérculo (PRANEETH *et al.*, 2016; RAVIKUMAR *et al.*, 2013). O composto foi encontrado por Shah *et al.* (1980) e a forskolina pode ser detectada em níveis abaixo de 0,0001% do material vegetal seco, sendo que a planta foi a única do gênero a conter forskolina. A forskolina presente nos tubérculos do boldo brasileiro é valorizada por sua eficácia no tratamento de glaucoma, cardiomiopatia congestiva, asma e alguns tipos de câncer, o que gerou um surto repentino na exigência de forskolina da Europa, América e Japão para uso em cosméticos criando uma demanda amplamente difundida na Índia por seus tubérculos (RAVIKUMAR *et al.*, 2013).

As partes da planta são utilizadas para diversas finalidades como ressaca, enxaqueca, malária e anemia (OLIVEIRA *et al.*, 2015; KIRAITHE *et al.*, 2015). Fernandes *et al.* (2012) também relatam a importância para o tratamento de epilepsia e de convulsões. Também é conhecida por ter efeito abortivo (LIMA *et al.*, 2017; SANTANA *et al.*, 2016).

Os compostos da planta exibem forte atividade antioxidante, anti-inflamatória, antifúngica e antibacteriana e o óleo essencial da planta tem se mostrado promissor no tratamento do HIV (KAPEWANGOLO; MEYER, 2018) com o uso da casca do caule, das folhas e da raiz da planta (NYAMUKURU *et al.*, 2017). Isso evidencia o interesse econômico de todas as partes da planta, principalmente as raízes e as folhas (LOKESH; DEEPA; DIVYA, 2018). A importância medicinal da planta tem gerado grande demanda no mercado nacional da Índia e no mercado internacional, sendo cultivado em uma área de mais de 2500 hectares para comercialização das raízes em *Gujarat, Maharashtra, Rajasthan, Karnataka e Tamil Nadu* (PRANEETH *et al.*, 2016).

3.4 O manejo da irrigação

O manejo da irrigação auxilia na tomada de decisão de quando e quanto irrigar e diante do aumento da área irrigada e a escassez hídrica é fundamental na otimização da produção agrícola, contribuindo para a sustentabilidade do meio produtivo (CRUZ, 2019). Possibilita o uso racional da água e em decorrência disso pode também levar ao uso racional

de energia elétrica (ROSAL *et al.*, 2019). Assim, pode promover maior economia destes recursos e otimizar os gastos com mão de obra, sendo benéfico ao meio ambiente e aos produtores.

A irrigação tem por finalidade proporcionar água de modo que atenda as exigências hídricas das culturas, possibilitando a obtenção de altas produtividades e produtos de qualidade (BERNARDO *et al.*, 2019). Desta maneira, torna-se necessário o adequado manejo da irrigação.

O estresse hídrico pode ser definido como qualquer condição ambiental que impeça a planta de alcançar seu potencial genético pleno. Uma maneira da planta compensar o decréscimo na disponibilidade hídrica é pelo fechamento dos estômatos, que possibilita reduzir a perda de água por transpiração, no entanto, o fechamento estomático também diminui a absorção de CO₂ pela folha, reduzindo assim, a fotossíntese e reprimindo o crescimento, por outro lado, o estresse por inundação ou excesso de água também pode causar transtornos fisiológicos às plantas, como o fechamento estomático e a redução da respiração (TAIZ *et al.*, 2017).

O desenvolvimento das plantas é significativamente afetado pela disponibilidade de água, assim, práticas de irrigação são necessárias para a produção de plantas, em especial no Nordeste brasileiro (BORGES *et al.*, 2019). As condições ideais de crescimento para determinada planta podem ser definidas como as que permitem que ela alcance o crescimento máximo e o potencial reprodutivo, medidos pela massa, pela altura e pelo número de sementes, que, em conjunto, constituem a biomassa total da planta (TAIZ *et al.*, 2017).

O cultivo irrigado de plantas aromáticas em áreas afetadas pela seca é uma estratégia para se fornecer produtos de qualidade e atender à crescente demanda desses vegetais e compostos como óleos essenciais em diferentes indústrias de cosméticos, de aditivos alimentares e de produtos farmacêuticos (SABRA *et al.*, 2018).

O boldo brasileiro se desenvolve bem em lugares com precipitações anuais de 1.000 a 1.600 mm (LOKESH; DEEPA; DIVYA, 2018). Totais precipitados dessa magnitude não costumam ocorrer no sertão nordestino, principalmente durante o segundo semestre do ano, o que evidencia a necessidade do uso da irrigação nas condições em que ocorreram o experimento.

3.4.1 Lâminas de irrigação

A irrigação e a nutrição estão entre os fatores de gestão mais importantes para o crescimento, o desenvolvimento, a produção das plantas e a qualidade dos produtos (PRANEETH *et al.*, 2016).

A estimativa da lâmina de irrigação pode ser feita através de dados meteorológicos, obtendo-se a determinação da quantidade de água a ser aplicada a uma dada cultura. O manejo de irrigação pode ser facilmente trabalhado com a medição da evaporação via tanque classe “A”, que possibilita também trabalhar com a evapotranspiração da cultura utilizando o KC. E, com o estudo de diferentes lâminas de irrigação, analisando-se as respostas agronômicas das plantas, pode-se estimar uma lâmina que atenda às necessidades hídricas das plantas, buscando-se a aplicação da lâmina de irrigação que promove a maior produtividade e o maior rendimento da cultura (SILVA *et al.*, 2011).

No experimento realizado por Meira *et al.* (2011), as lâminas e o tempo de irrigação apresentaram influência significativa no crescimento vegetativo e no desenvolvimento da melissa (*Melissa officinalis* L.). As variáveis quantitativas de crescimento, como a altura da planta, o número de folhas e o diâmetro do caule, desenvolveram-se à medida que se aumentaram as lâminas de irrigação, já para o teor de óleo, o maior rendimento percentual foi na menor lâmina.

Pravuschi *et al.* (2010), com a cultura do manjericão (*Ocimum basilicum* L.) submetida a cinco lâminas de irrigação baseadas na evaporação medida no tanque classe A (0; 50; 75; 100 e 150% da ECA), observaram que a lâmina correspondente a 100% da ECA proporcionou a maior produtividade em massa seca, assim como a máxima produtividade em óleo essencial.

Pesquisas com o *Plectranthus amboinicus* (Lour.) têm mostrado que o estresse hídrico e a frequência de colheita podem influenciar na produção de óleo essencial e na produção de biomassa da planta (SABRA *et al.*, 2018). No estudo, o peso fresco e a produção de óleo essencial diminuíram com o aumento do intervalo de irrigação, enquanto o teor de óleo essencial foi estimulado pelo estresse hídrico e aumentou com o aumento do intervalo de irrigação.

O boldo brasileiro em cultivo irrigado na Índia registrou maiores massa fresca das folhas (725,7 g planta⁻¹), massa seca das folhas (172,8 g planta⁻¹), peso fresco dos tubérculos (raízes) (395,89 g planta⁻¹), peso seco dos tubérculos (51,48 g planta⁻¹), rendimento dos tubérculos frescos (32,99 t ha⁻¹) e umidade dos tubérculos (6,69%), com lâmina de irrigação

correspondente a 90% da ECA (PRANEETH *et al.*, 2016). No entanto, os autores encontraram com a lâmina correspondente a 70% da ECA, maiores peso fresco do caule (1.809,5 g planta⁻¹), peso seco do caule (291,9 g planta⁻¹), rendimento do tubérculo seco (4,45 t ha⁻¹) e rendimento de forscolina (37,83 kg ha⁻¹).

3.4.2 Fertilidade do solo sob lâminas de irrigação

A necessidade líquida de irrigação em solos arenosos é maior do que em solos argilosos, devido à maior condutividade hidráulica saturada e menor capacidade de retenção de água em solos arenosos (MUSTAFA; VANUYTRECHT; HUYSMANS, 2017).

De acordo com Mendes *et al.* (2015) as lâminas de irrigação influenciam na lixiviação de NO₃, sendo que quanto maiores as lâminas de irrigação maiores serão as perdas do íon nos solos argilosos e arenosos, o que pode aumentar na presença de solos arenosos, especialmente com aplicações de 150% da lâmina calculada para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Albuquerque *et al.* (2011) observaram que a aplicação da lâmina de irrigação correspondente a 120% da evapotranspiração da cultura do pimentão com a dose de 120 kg ha⁻¹ de K₂O ocasionou maiores perdas no solo de potássio na forma de K₂O.

Mustafa; Vanuytrecht e Huysmans (2017) em um estudo com o trigo afirmam que a aplicação de fertilizantes é uma estratégia de melhoria da produtividade, porém só é relevante quando a irrigação é utilizada, atribuindo que, em solo sem restrições de fertilidade, as lavouras se desenvolvem rapidamente durante o estágio vegetativo da cultura, usando a maior parte da água disponível, e a partir da fase de floração, sem o suprimento hídrico adequado, surge o estresse hídrico.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no período de 15 de junho a 19 de outubro na Fazenda Experimental Piroás (FEP) pertencente à Universidade Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), localizada no distrito de Barra Nova em Redenção-CE, na região do Maciço de Baturité. A propriedade está localizada na latitude de 04°13' S, longitude 38°43' O e tem altitude média de 240 m.

O clima da região é classificado como Aw' (tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do verão e do outono) (KÖPPEN, 1948). As médias anuais de precipitação são de 1.356 mm e temperatura de 27,0 °C, considerando-se os dados disponíveis, referentes ao período de 2015-2019 (IDR, 2020). As chuvas são concentradas entre janeiro e abril, com distribuição irregular (BORGES, 2017).

4.2 Preparação das mudas, transplântio e condução do experimento

O experimento foi realizado com a cultura do boldo brasileiro. As mudas foram originadas de plantas matrizes cultivadas na fazenda experimental, tendo sido retiradas estacas de 5 cm de comprimento que foram plantadas em sacos plásticos (15 x 10 cm) com o substrato preparado para o cultivo nos vasos. As mudas foram irrigadas diariamente e após 28 dias foram transplantadas para os vasos plásticos com capacidade volumétrica de 39,5 litros.

No preenchimento dos vasos, inicialmente colocou-se uma camada de 5 L de brita com o objetivo de facilitar a drenagem. Em seguida, colocou-se uma mistura homogênea na proporção 1:2, de areia e do solo local da fazenda, que tem textura franco arenosa (EMBRAPA, 2013), até completar os 39,5 L (volume identificado no vaso a 2 cm da borda superior). Os vasos tinham altura de 50 cm, diâmetro inferior de 34,6 cm, diâmetro superior 43 cm e diâmetro médio de 38,8 cm. O cultivo foi conduzido a campo aberto.

Após a mistura de areia com o solo ter sido homogeneizada, foram retiradas três amostras do material, que foram enviadas para análise em laboratório, sendo o resultado da caracterização química apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química do substrato utilizado no cultivo do boldo brasileiro. Redenção - CE, 2019

Características químicas							
g kg ⁻¹	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³				
N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB
0,3	44	2	21,4	6,6	2	11	31,9
mmol _c dm ⁻³	g kg ⁻¹		(%)		dS m ⁻¹		
CTC	PH	C	MO	V	PST	CE	C/N
42,9	6,1	3,5	6	75	4,3	0,62	11,7

Fonte: Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais do IFCE – Campus Limoeiro do Norte.

Antes do transplântio, foi realizada uma irrigação até ocorrer drenagem, visando elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Após o transplântio que ocorreu em 15/06/2019 (FIGURA 1), a irrigação passou a ser diferenciada conforme os respectivos tratamentos.

Figura 1 - Plantio do boldo brasileiro. Redenção - CE, 2019



Fonte: Acervo do autor

A adubação da cultura ao longo do ciclo foi realizada com biofertilizante à base de esterco bovino, tendo o início das aplicações duas semanas após o transplântio (14 DAT). A dose aplicada foi de 600 mL por planta por semana, sendo intencionalmente inferior à dose recomendada para o girassol em vasos de mesmo volume (39,5 L) em experimento conduzido

na fazenda experimental (BORGES *et al.*, 2019). O volume escolhido foi inferior ao recomendado pelos autores devido ao boldo brasileiro ser uma cultura que se desenvolve bem sem a necessidade de alta fertilidade, além disso desejava-se apenas suplementar a nutrição da cultura.

O biofertilizante utilizado foi preparado na estação de biofertilização da FEP em caixas d'água de polietileno com capacidade volumétrica de 500 L. O preparo foi baseado na metodologia descrita em Viana *et al.* (2013), com 270 L de água, 100 L de esterco bovino, 30 L de esterco de aves e 5 L de cinza de madeira. O insumo permaneceu em condições aeróbias e foi aerado diariamente de forma manual com o auxílio de um remo de madeira. Este processo ocorreu pelo período de 30 dias para a fermentação do biofertilizante (BORGES *et al.*, 2019).

Com a finalidade de evitar entupimentos e problemas na uniformidade do sistema de irrigação o biofertilizante foi aplicado diretamente ao solo, que consistiu na perfuração do solo utilizando um tubo de PVC em que se retirou por arraste uma parte do solo na profundidade de 20 cm, logo após aplicou-se o biofertilizante e o solo foi devolvido ao local de origem (FIGURA 2).

Figura 2 - Perfuração e retirada do solo (A), aplicação do biofertilizante (B) e realocação do solo retirado ao local de origem (C) na cultura do boldo brasileiro. Redenção - CE, 2019



C



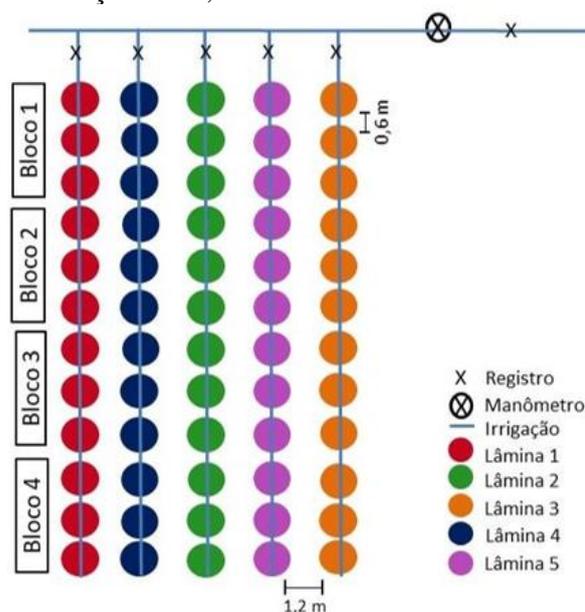
Fonte: Acervo do autor

Como prevenção ao ataque do caramujo africano, no início do experimento (26 – 31 DAT) foram realizadas pulverizações diárias com solução à base de babosa e água. A solução já havia sido utilizada anteriormente com eficiência para se repelir esta espécie. Para o preparo da solução foram trituradas cinco folhas de babosa no liquidificador, em seguida, a solução foi coada e diluída, em 4 L de água, a partir desse ponto se procedia a aplicação.

4.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com cinco tratamentos, quatro blocos e três plantas úteis (FIGURA 3). Os tratamentos constituíram-se na aplicação de cinco lâminas de irrigação que foram calculadas em função da evapotranspiração da cultura (equivalentes a 33; 66; 100; 133 e 166% da ETc).

Figura 3 - Croqui da área experimental.
Redenção - CE, 2019



Fonte: Autor

4.4 Descrição do manejo da irrigação

A água de irrigação foi obtida do açude da fazenda experimental e analisada quanto ao teor de sais, sendo medida com aparelho TDS portátil, no qual obteve-se a Condutividade Elétrica (CE) média de $0,39 \text{ dS m}^{-1}$. O valor obtido não apresenta grau de restrição quanto ao uso da água (AYERS e WESTCOT, 1985).

O método de irrigação foi localizado, do tipo gotejamento. O sistema utilizado era constituído por um filtro de disco, uma linha principal com diâmetro de 50 mm, um manômetro de glicerina e linhas laterais de mangueiras de polietileno com diâmetro de 16 mm, sendo uma para cada fileira de vasos, com gotejadores autocompensantes. Com a finalidade de se uniformizar o tempo de irrigação, foram combinados gotejadores de 2, 4 e 6 L h^{-1} para fornecer a devida vazão nos vasos a depender da lâmina de irrigação, ficando após a combinação 2; 4; 6; 8 e 10 L h^{-1} para atender respectivamente as lâminas de irrigação que corresponderam a 33; 66; 100; 133 e 166% da ETC,

Após a instalação do sistema de irrigação, realizou-se a avaliação de uniformidade do sistema, utilizando-se provetas graduadas de 500 mL, cronômetro e coletores plásticos. Todos os gotejadores foram avaliados, de modo que foi contabilizado simultaneamente o volume de água obtido em cada coletor nas suas respectivas linhas de irrigação pelo tempo de 3 minutos (FIGURA 4).

Figura 4 - Avaliação da uniformidade do sistema de irrigação. Redenção - CE, 2019



Fonte: Acervo do autor

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), estabelecido por Christiansen (1942), o coeficiente de distribuição (CUD) e a eficiência de irrigação para a vazão dos emissores foram calculados para cada lâmina de irrigação e posteriormente calculou-se a média geral para o sistema de irrigação (EQUAÇÕES 1, 2 e 3). O volume coletado em cada emissor foi transformado em vazão.

$$CUC = \left(1 - \frac{(\sum |X_i - \bar{X}|)}{n * \bar{X}} \right) * 100 \quad (1)$$

$$CUD = 100 * \frac{q_{25\%}}{\bar{X}} \quad (2)$$

$$E_i = Tr * CUC \quad (3)$$

Em que:

E_i - Eficiência de irrigação (%);

X_i - Vazão do coletor de ordem i ($L h^{-1}$);

\bar{X} - Média das vazões dos coletores ($L h^{-1}$);

n - Número de coletores;

$q_{25\%}$ - vazão média dos 25% menores valores dos gotejadores ($L h^{-1}$);

Tr - Coeficiente de transmissividade (KELLER; KARMELI, 1974); utilizou-se o valor tabelado 0,95.

Os dados de precipitação foram coletados diariamente com um pluviômetro e os dados de evaporação medidos com um tanque classe “A” ambos instalados próximos à área experimental. O tanque classe “A” era circundado por grama, com bordadura de um metro (FIGURA 5).

Figura 5 - Pluviômetro (A) e tanque classe A (B) localizados na área experimental. Redenção - CE, 2019



Fonte: Acervo do autor

A evapotranspiração da cultura, em $mm \text{ dia}^{-1}$, foi calculada a partir da evaporação medida no tanque classe A, conforme a equação 4.

$$ET_c = ECA * K_p * K_c \quad (4)$$

Em que:

ECA - Evaporação medida no tanque classe “A”, em $mm \text{ dia}^{-1}$;

K_c - Coeficiente de cultivo da cultura, adimensional;

K_p - Coeficiente do tanque classe “A”, adimensional;

Devido à ausência do Kc da cultura do boldo brasileiro foram utilizados os valores do alecrim-pimenta por ser uma planta de ciclo semelhante. Os valores de Kc foram 0,98; 1,2 e 1,52 para as fases I (inicial) até os 25 DAT, fase II (desenvolvimento) até os 79 DAT e fase III (florescimento até a colheita) até os 126 DAT (LOPES *et al.*, 2011).

O turno de rega foi diário e o tempo de irrigação foi calculado (EQUAÇÃO 5).

$$T_i = \frac{ET_c * F * A_v}{E_i * q_{gi}} \quad (5)$$

Em que:

T_i - Tempo de irrigação, em h;

ET_c – Evapotranspiração da cultura, em mm dia⁻¹;

F - Fator de ajuste correspondente à lâmina de irrigação (0,33; 0,66; 1,0; 1,33 ou 1,66);

A_v – Área do vaso (0,1182 m²);

E_i - Eficiência de irrigação média do sistema de irrigação (0,87);

q_{gi} - Vazão do(s) gotejador(es) do tratamento i (2; 4; 6; 8 ou 10 L h⁻¹).

Devido a aplicação do biofertilizante ter sido diretamente ao solo, o tempo de irrigação foi ajustado para não ser aplicada uma quantidade de água maior do que a pré-estabelecida, assim, nos dias em que era realizada a aplicação do biofertilizante o tempo de irrigação era reduzido a fim de descontar o volume do líquido correspondente ao insumo.

4.5 Variáveis analisadas

4.5.1 Altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas

As avaliações da altura da planta, do diâmetro do caule e do número de folhas foram realizadas aos 14; 28; 42; 56; 70; 84; 98 e 112 DAT. A altura da planta foi mensurada da base da planta até a última folha com uma trena, graduada em centímetros, o diâmetro do caule foi mensurado em mm com um paquímetro digital, a dois centímetros do solo, e o número de folhas foi contado manualmente.

4.5.2 Massas fresca e seca das folhas, do caule, da raiz e da parte aérea

Na ocasião da colheita, aos 126 dias após o transplantio (FIGURA 6), as plantas foram coletadas e separadas em raízes, caules e folhas.

Figura 6 - Boldo brasileiro aos 126 dias após o transplantio. Redenção - CE, 2019



Fonte: Acervo do autor

As diferentes partes das plantas foram acondicionadas em sacos de papel e pesadas (FIGURA 7A), posteriormente foram acondicionadas para secar à sombra (FIGURA 7B). Com a chegada das chuvas e o aumento da umidade relativa do ar, as amostras não atingiram massa constante, sendo necessário levá-las à estufa com circulação de ar forçada a 65° C (FIGURA 7C) e se realizar pesagens diariamente até as amostras atingirem massa constante. As massa das partes do vegetal foram verificadas em balança digital com precisão de 0,001 kg. As massas fresca e seca da parte aérea foram obtidas pela soma das respectivas massas do caule e das folhas de cada planta.

Figura 7 - Material vegetal do boldo brasileiro sendo pesado (A), secagem à sombra (B) e secagem em estufa (C). Redenção - CE, 2019



Fonte: Acervo do autor

4.5.3 Comprimento médio das raízes

As raízes foram lavadas e mensuradas com uma régua milimétrica, identificando-se o comprimento máximo das mesmas em centímetros (FIGURA 8).

Figura 8 - Raiz do boldo brasileiro colhida aos 126 DAT. Redenção - CE, 2019



Fonte: Acervo do autor

4.5.4 Relação raiz/parte aérea

A relação raiz/parte aérea (R/PA) foi determinada a partir da relação entre o comprimento médio das raízes (cm) e a altura da planta (cm).

4.5.5 Produtividade de folhas frescas e secas e eficiência do uso da água

A produtividade de folhas do boldo brasileiro foi determinada a partir dos valores da massa fresca e seca das folhas. A produtividade das folhas frescas (PFF) e secas (PFS), em megagrama por hectare (Mg ha^{-1}), foi estimada considerando-se um estande de 84.602 plantas por hectare, calculado conforme a área do vaso. Entendeu-se a área do vaso, como a área de solo ocupada pela planta (BORGES, 2017).

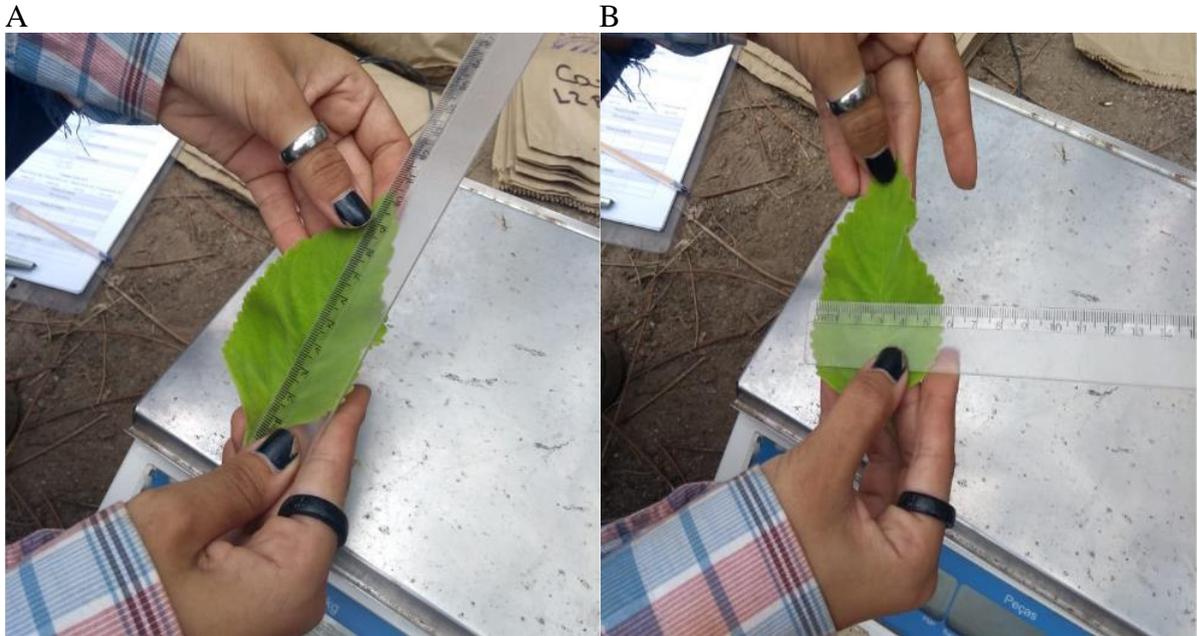
A eficiência do uso da água (EUA) foi calculada pela razão da produtividade de folhas frescas em Mg ha^{-1} e a lâmina aplicada somada à precipitação (mm) (CASTRO *et al.*, 2020).

4.5.6 Comprimento e largura das folhas

As folhas de duas plantas úteis de cada bloco foram retiradas para a análise do comprimento (CF) e da largura das folhas (LF). Para isso, após retirar todas as folhas separaram-se de maneira aleatória 10% das folhas de cada planta, procedendo-se a

mensuração das dimensões. As medidas de CF (FIGURA 9A) e LF (FIGURA 9B) foram realizadas com uma régua graduada em centímetros.

Figura 9 - Comprimento da folha (A) e largura da folha (B) do boldo brasileiro. Redenção - CE, 2019



Fonte: Acervo do autor

4.5.7 Análises químicas do substrato

Na ocasião da colheita foram retiradas amostras de solo na profundidade de 0,2 m de todos os vasos e misturadas de maneira a ficar uma amostra por bloco, contendo 1 kg de solo na amostra. Em seguida foram colocadas para secar ao ar à sombra (FIGURA 10) e, posteriormente, foram enviadas para análise química do substrato em laboratório.

Figura 10 - Amostras de substrato para análise química, secando ao ar à sombra. Redenção - CE, 2019



Fonte: Acervo do autor

Os teores de nitrogênio (N), fósforo (P); potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC), carbono (C), matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE) foram analisados. Nas análises foram usados extrator Mehlich, na determinação de Na, P e K; KCL para Ca, Mg; e água na proporção 1:2,5 para o pH. O N foi estimado pela matéria orgânica, sendo considerado 5% da MO.

4.6 Análises estatísticas

Os dados foram analisados com o software estatístico ASSISTAT versão 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016). Testes foram aplicados para se verificar a normalidade dos dados e aplicou-se o teste F ao nível de 1% e de 5% de probabilidade a fim de se avaliar a significância dos tratamentos. Quando houve diferenças significativas entre os tratamentos, os dados foram analisados por regressão. Quando houve interação significativa nas variáveis de crescimento (épocas de avaliação x lâminas de irrigação), os dados foram analisados por superfícies de resposta geradas no Table Curve 3D v. 4.0 (www.systat.com).

Os dados de altura de planta, do diâmetro do caule e do número de folhas foram analisados no delineamento em blocos ao acaso em parcelas subdivididas, em que as parcelas foram as épocas de avaliação (14; 28; 42; 56; 70; 84; 98 e 112 DAT - dias após o transplante) e as subparcelas foram as lâminas de irrigação.

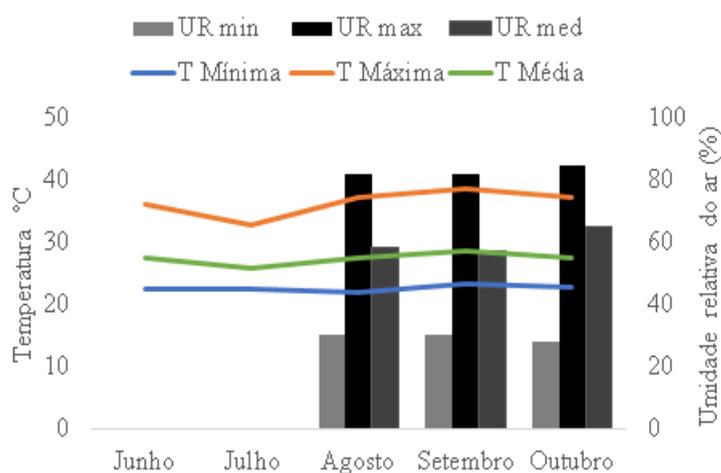
Os modelos foram escolhidos considerando-se a significância dos parâmetros das equações e os coeficientes de determinação (R^2). Quando não houve diferença significativa, apenas as médias obtidas para as variáveis analisadas foram apresentadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dados meteorológicos

A temperatura média no período experimental foi de 27,4 °C, sendo que as médias mensais de temperaturas mínima e máxima oscilaram entre 21,8 °C (agosto) e 38,5 °C (setembro). A umidade relativa média do ar entre agosto e outubro foi de 60%, com oscilações nas mínimas e máximas mensais de 28 a 85% (FIGURA 11).

Figura 11 - Temperatura e umidade relativa do ar na área experimental. Redenção - CE, 2019



Fonte: Dados obtidos do IDR (2019). Elaborado pelo autor.

O estudo foi conduzido sob condições meteorológicas caracterizadas por altas temperaturas e amplitudes significativas entre as mínimas e máximas umidades relativas do ar. Conforme Lokesh, Deepa e Divya (2018), o boldo brasileiro desenvolve-se melhor em clima úmido com umidade relativa variando de 60 a 85% e com temperatura do ar entre 10 e 25 °C, condição esta não ocorrente durante o período experimental.

A precipitação teve baixa intensidade no período experimental, sendo distribuída principalmente no mês de julho. Os meses de agosto e setembro tiveram maior média diária da evaporação medida no tanque classe A, ECA, em torno de 6 mm dia⁻¹ (TABELA 2).

Tabela 2 - Precipitação e evaporação medida no tanque classe A durante o período experimental. Redenção - CE, 2019

Mês	Nº de dias	P (mm)	ECA (mm)	ETc (mm)
Junho	15	8,3	58,7	57,5
Julho	31	42,9	137,9	156,5
Agosto	31	14,1	185,4	222,5
Setembro	30	4,3	183,1	275
Outubro	19	1,3	97	147,4
Total	126	70,9	662,1	858,9

Fonte: Dados obtidos na fazenda experimental. Elaborado pelo autor.

Na Tabela 3 são apresentadas as lâminas de irrigação aplicadas em função da ETc e a lâmina somada a precipitação, considerando a precipitação total (71 mm) que ocorreu no período de condução do experimento.

Tabela 3 - Lâminas aplicadas mais precipitações durante o ciclo da cultura, nos diferentes tratamentos utilizados. Redenção - CE, 2019

(%) da ETc	Lâmina calculada (mm)	Lâmina aplicada (Lâmina calculada + Precipitação (mm))
33	260	331
66	520	591
100	788	859
133	1048	1119
166	1308	1379

Fonte: Dados obtidos no site do IDR. Elaborado pelo autor.

Devido as precipitações incidentes no período, considerou-se o somatório da lâmina aplicada e das precipitações para contabilizar a lâmina de água total que a planta recebeu. Para se expressar os percentuais de ETc em mm aplicados no ciclo, com esses dados, pode ser utilizado: $ETc \text{ mm} = (7,88 * ETc\%) + 71 (R^2=1)$.

5.2 Crescimento das plantas

A altura da planta, o diâmetro do caule e o número de folhas do boldo brasileiro tiveram diferenças significativas quanto às épocas de avaliação, lâminas de irrigação e a interação (épocas de avaliação x lâminas de irrigação) (TABELA 4).

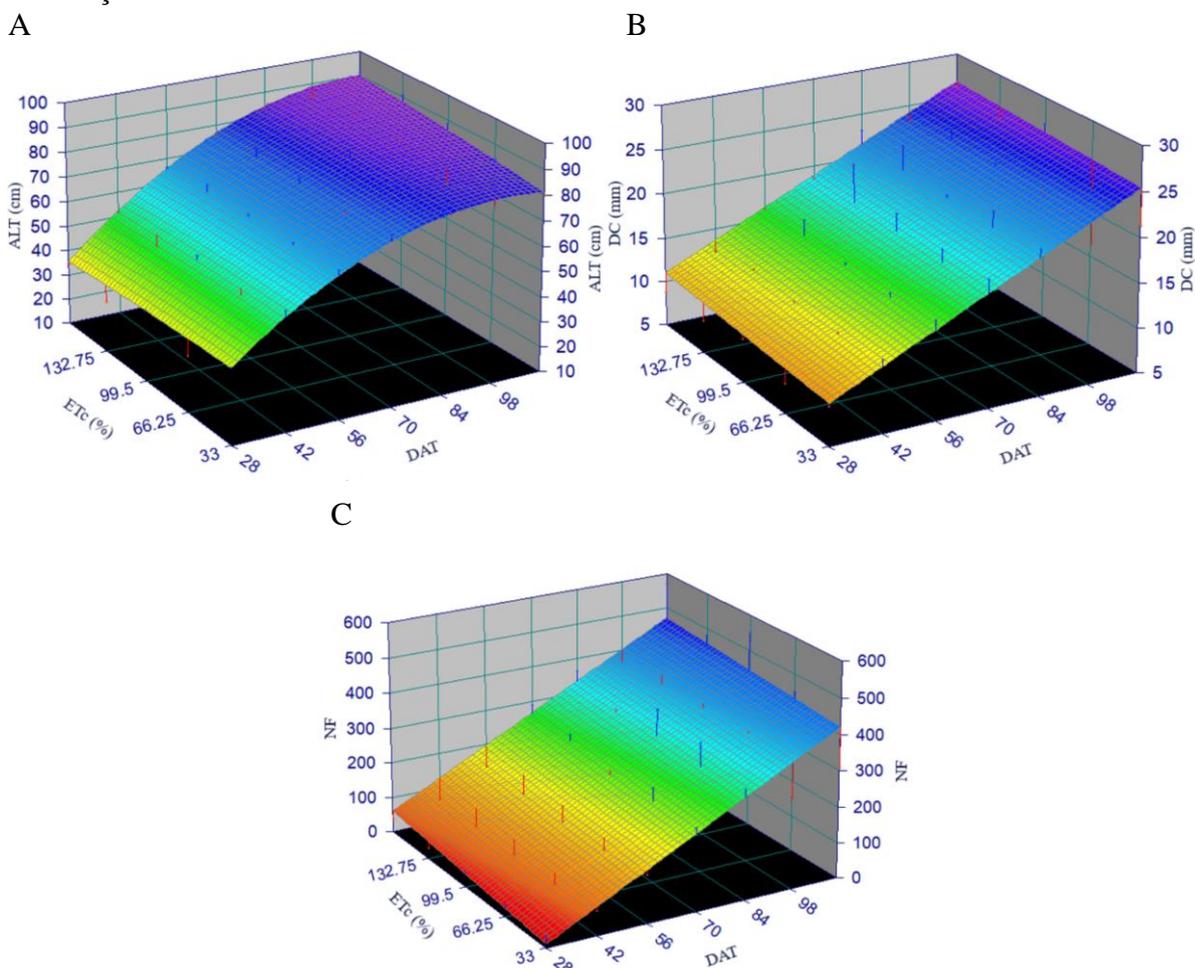
Tabela 4 - Resumo da análise de variância para os dados de crescimento do boldo brasileiro em função das épocas de avaliação e das lâminas de irrigação

FV	GL	Quadrados médios		
		ALT	DC	NF
Blocos	3	21,33313 ^{ns}	33,25682 ^{**}	20229,94738 ^{**}
Trat – a (Épocas)	7	12237,30792 ^{**}	867,38671 ^{**}	586863,78843 ^{**}
Resíduo – a	21	55,54808	2,04588	1479,49888
Trat – b (Lâminas de Irrigação)	4	69,93007 ^{**}	20,86089 ^{**}	18402,88799 ^{**}
Interação (Trat-a x Trat-b)	28	32,95803 ^{**}	5,09727 ^{**}	6078,35957 ^{**}
Resíduo – b	96	14,86836	1,54214	793,81854
Total	159	-	-	-
CV – a		11,78	8,46	18,62
CV – b		6,09	7,34	13,64

Fonte: Autor. FV - Fonte de Variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de Variação; ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; * - significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} - não significativo a 5% de probabilidade.

Os maiores valores obtidos para altura de plantas, diâmetro do caule e número de folhas foram alcançados com a lâmina de irrigação correspondente a 166% da ETc (1.379 mm). A altura das plantas foi ajustada ao modelo polinomial quadrático com a maior altura (86,55 cm) encontrada aos 98 DAT (Figura 12A). O diâmetro do caule foi ajustado ao modelo linear crescente e o maior valor (26,8 mm) foi obtido aos 112 DAT (FIGURA 12B). O número de folhas se ajustou ao modelo linear crescente e o maior valor encontrado (471 folhas) foi verificado aos 112 DAT (FIGURA 12C).

Figura 12 - Altura da planta - ALT (A), diâmetro do caule - DC (B) e número de folhas - NF (C) do boldo brasileiro em função das épocas de avaliação (DAT) e das lâminas de irrigação, em função da ETc



Fonte: Autor

$$ALT = 2,023** + 1,567(DAT) - 0,035(ETc) - 0,008(DAT)^2 - 0,0001(ETc)^2 + 0,001(DAT)(ETc) \quad (R^2 = 0,987)$$

$$DC = 3,961** + 0,189(DAT) + 0,01(ETc) \quad (R^2=0,937)$$

$$NF = -138,649** + 4,887(DAT) + 0,375(ETc) \quad (R^2=0,915)$$

As maiores lâminas de irrigação proporcionaram maiores altura de plantas, diâmetro do caule e número de folhas, já sob condições de déficit hídrico foram encontrados os menores valores. Isto indica que, para o pleno desenvolvimento dessas variáveis, a planta necessita que a sua demanda de água seja atendida.

Conforme Sakhubai *et al.* (2020) o crescimento das plantas é o resultado líquido de atividades metabólicas que ocorrem nas plantas de acordo com a oferta de água, luz, temperatura e nutrientes, sendo o crescimento e o desenvolvimento das culturas relacionado ao potencial genético, o ambiente e os processos fisiológicos e bioquímicos.

As condições hídricas ideais contribuem para a pressão de turgor, permitindo às células vegetais desenvolverem enormes pressões hidrostáticas internas nas paredes celulares que é essencial para a expansão celular, por outro lado, o déficit hídrico pode levar à inibição do crescimento e da fotossíntese (TAIZ *et al.*, 2017). De acordo com os autores, devido à perda de água por transpiração para a atmosfera, as plantas raramente estão completamente hidratadas. A demanda das plantas por mais água para se obter maiores altura, diâmetro do caule e número de folhas pode ter ocorrido em virtude da perda de água intensa devido às condições meteorológicas locais, logo, mesmo com o aumento da irrigação não se observou estresse por excesso hídrico.

Sakhubai *et al.* (2020) afirmam que maiores alturas das plantas e número de folhas do boldo brasileiro podem ser obtidos na estação chuvosa, devido à melhoria nas condições climáticas, favorecendo no processo da fotossíntese e da respiração, além disso, as temperaturas na estação chuvosa ficam entre 22 e 30 °C no estado de *Karnataka* na Índia, sendo mais favorável do que no inverno que as temperaturas mínimas e máximas tem valores médios de 16 e 36 °C, respectivamente.

Os resultados obtidos evidenciam que nas condições experimentais em que ocorreu o estudo, o déficit hídrico não é uma boa alternativa para o máximo crescimento do boldo brasileiro, diferindo das práticas de manejo com irrigação deficitária que são bastante praticadas na Índia. Com cultivo à campo em *Bengaluru* no estado de *Karnataka* com estudo de 50% a 90% da ECA, as melhores lâminas de irrigação foram de 70% e 90% da ECA, para a obtenção da maior altura do boldo brasileiro (PRANEETH *et al.*, 2015).

Os valores médios de altura do boldo brasileiro (86,55 cm) com aplicação de lâmina de irrigação correspondente a 166% da ETc (1.379 mm) foram superiores aos encontrados em cultivo a campo no estado *Karnataka* na Índia por Praneeth *et al.* (2015) na cidade de *Bengaluru*, com média de 81,2 cm, e por Nadukeri, Kattimani e Kolakar (2014), com médias de 66,5 cm com o uso de vermicomposto e adubação química em *Arabhavi*. Também na Índia, Mastan *et al.* (2019) obtiveram médias de 40 a 50 cm.

O diâmetro do caule elevou-se com o aumento das lâminas de irrigação e da época de avaliação. Em muitas plantas, reduções no suprimento hídrico inibem principalmente a expansão foliar e o crescimento do caule, o que pode ser atribuído à pressão de turgor exercida nas paredes celulares das plantas quando submetidas a condições hídricas ideais (TAIZ *et al.*, 2017).

O aumento do número de folhas em função das maiores lâminas de irrigação e épocas de avaliação, indica que para o desenvolvimento pleno a cultura exige boas condições de umidade e diante dessas a planta expressa o maior número de folhas.

O número de folhas encontrado para a cultura sob irrigação (471 folhas por planta) está semelhante com os observados na literatura. Joshi e Gaikwad (2018) obtiveram com o boldo brasileiro médias de 450 folhas por planta, na cidade de *Kolhapur* na Índia. Já com o uso de triacantanol como alternativa ao estresse hídrico, os autores obtiveram número de folhas mais elevado, sendo entre 600 e 700 folhas por planta com aplicações do estimulante vegetal nas doses de 5 e 10 ppm, respectivamente.

O fato do diâmetro do caule e do número de folhas continuarem a se elevar até a última avaliação (112 DAT) indica que estas variáveis podem ter potencial para continuar se desenvolvendo, caso o ciclo da cultura se estendesse. Fato não observado na altura de plantas que aos 98 DAT atingiu a altura máxima, período em que foi observado o florescimento da maioria das plantas. O que corrobora com a afirmação de Taiz *et al.* (2017), de que o crescimento arbóreo declinante relacionado à idade tem sido visto como uma consequência inevitável da alocação crescente de recursos para a reprodução.

As altas temperaturas no período experimental contribuíram para a maior demanda de água pelas plantas. Assim, as maiores lâminas de irrigação podem ter suprido melhor a demanda hídrica imposta, aumentando a absorção de CO₂ e, conseqüentemente, ocorrendo maior desenvolvimento das mesmas em relação às plantas que receberam as menores lâminas de irrigação. Isto confirma a afirmação de Herppich e Herppich (1996) de que o boldo brasileiro consegue manter a taxa de absorção de CO₂ em condições moderadas mesmo em temperaturas de 35 °C, sob condições hídricas ideais.

5.3 Produtividade e pós-colheita

O comprimento das folhas (CF), largura das folhas (LF), relação raiz / parte aérea (R/PA) e comprimento da raiz (CR) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (TABELA 5). As médias obtidas foram de 8,36 cm; 4,68 cm; 0,318 e 28,2 cm para CF, LF, R/PA e CR, respectivamente.

O fato do CF e da LF não terem sido influenciados pelas lâminas de irrigação pode indicar que as condições em que as plantas foram submetidas não implicaram no desenvolvimento dessas variáveis, provavelmente, por serem características genéticas dominantes. Os valores obtidos para essas variáveis corroboram com os valores informados

por Lokesh, Deepa e Divya (2018) (médias de 7,5 a 12,5 cm de comprimento e de 3 a 5 cm de largura).

O CR de 28,2 cm é semelhante ao verificado por Joshi e Gaikwad (2018), com média de comprimento da raiz de 30 cm, em experimento realizado nas condições edafoclimáticas da cidade de *Kolhapur* na Índia.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para produtividade e pós-colheita do boldo brasileiro

FV	GL	Quadrados médios				
		CF	LF	R/PA	CR	MF
Blocos	3	1,55071 ^{ns}	0,42354 ^{ns}	0,00339 ^{ns}	7,8449 ^{ns}	0,00468 ^{ns}
Tratamento	4	2,25914 ^{ns}	0,47599 ^{ns}	0,00397 ^{ns}	31,7528 ^{ns}	0,00468 ^{**}
Resíduo	12	0,82150	0,26685	0,00234	9,7832	0,00328
Total	19	-	-	-	-	-
CV		10,84	11,03	15,22	11,38	10,92

FV	GL	Quadrados médios				
		MSF	MFC	MSC	MFR	MSR
Blocos	3	0,00006 ^{ns}	0,00162 ^{ns}	0,00014 ^{ns}	0,00054 ^{**}	0,00002 ^{**}
Tratamento	4	0,00053 ^{**}	0,03363 ^{**}	0,00202 ^{**}	0,00202 ^{**}	0,00013 ^{**}
Resíduo	12	0,00003	0,00189	0,00010	0,00008	0,00001
Total	19	-	-	-	-	-
CV		11,02	8,68	10,42	7,47	8,82

FV	GL	Quadrados médios				
		MFPA	MSPA	PPF	PFS	EUA
Blocos	3	0,01131 ^{ns}	0,00036 ^{ns}	5,3438 ^{ns}	0,4377 ^{ns}	22,54 ^{ns}
Tratamento	4	0,11291 ^{**}	0,00455 ^{**}	271,891 ^{**}	3,8120 ^{**}	3157,76 ^{**}
Resíduo	12	0,00694	0,00019	29,1662	0,2441	99,82
Total	19	-	-	-	-	-
CV		8,13	9,15	12,04	10,96	12,73

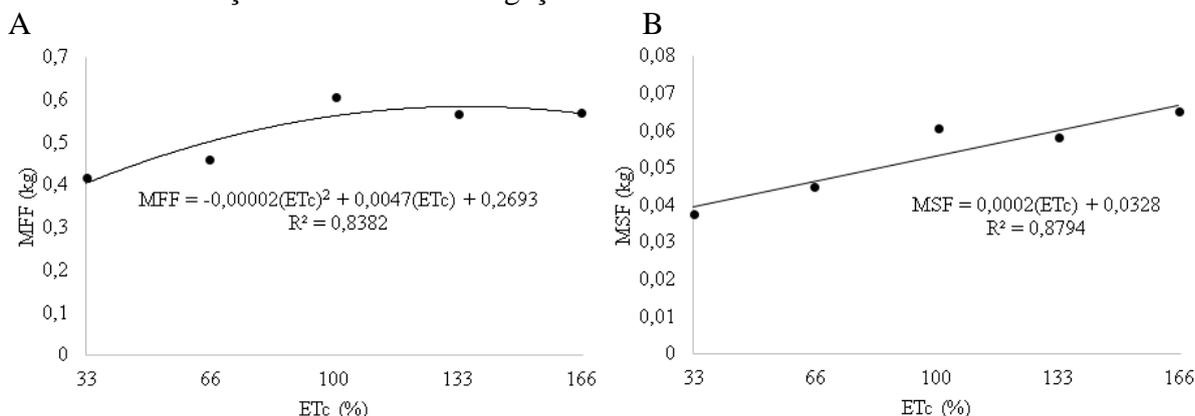
Fonte: Autor. FV - Fonte de Variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de Variação; ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; * - significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} - não significativo a 5% de probabilidade.

Diferenças significativas entre os tratamentos foram observadas em massa fresca das folhas (MFF), massa seca das folhas (MSF), massa fresca do caule (MFC), massa seca do caule (MSC), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade de folhas frescas (PFF), produtividade de folhas secas (PFS) e eficiência do uso da água (EUA) (TABELA 5).

5.3.1 Massas fresca e seca das folhas, do caule e da raiz

A massa fresca das folhas foi ajustada ao modelo polinomial quadrático e o maior valor obtido foi de 0,545 kg planta⁻¹ com a lâmina de irrigação correspondente a 117,5% da ETc (1.009 mm) (FIGURA 13A). Esses resultados podem influenciar na escolha da lâmina de irrigação a ser aplicada na cultura quando a produção de folhas frescas for a principal forma de uso ou a parte comercial mais importante.

Figura 13 - Massa fresca das folhas - MFF (A) e massa seca das folhas - MSF (B) do boldo brasileiro em função de lâminas de irrigação



Fonte: Autor.

Maiores valores de massa fresca de folhas foram obtidos por Praneeth *et al.* (2016) em *Bengaluru* no estado de *Karnataka* na Índia, país onde a planta cresce e se reproduz de maneira selvagem, com lâmina de irrigação correspondente a 90% da ECA, em que a massa obtida pelos autores foi 25% superior. Entretanto, ainda há a necessidade de estudos em outras regiões para que os dados obtidos tenham maior representatividade e possam fornecer informações relevantes para os produtores locais.

A MSF foi ajustada ao modelo linear e o maior valor obtido foi de 0,066 kg planta⁻¹ com a lâmina de irrigação correspondente a 166% da ETc (1.379 mm) (FIGURA 13B). Os valores de massa seca das folhas encontrados indicam que o aumento das lâminas de

irrigação pode favorecer na maior produção da variável. Isso sugere que, para o acúmulo de massa seca das folhas a necessidade de irrigação pode ser maior do que para a massa fresca. Os valores obtidos foram superiores ao encontrado em Fortaleza, no estado do Ceará por Freitas *et al.* (2014), em que a massa seca das folhas do boldo brasileiro foi de 0,015 kg planta⁻¹. No entanto, foram inferiores ao encontrado por Praneeth *et al.* (2016) na Índia, com massa seca das folhas de 0,178 kg planta⁻¹.

O motivo pelo qual a maior massa fresca e a maior massa seca das folhas ocorreram quando a aplicação foi superior a 117,5% da ETc, provavelmente, foi o melhor suprimento da demanda de água da planta, em relação à irrigação com déficit. Ressaltando-se que devido às condições meteorológicas adversas locais, como altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, ocasionaram perda de água significativa, o que deve ter comprometido ainda mais as atividades fisiológicas das plantas submetidas ao déficit hídrico.

Segundo Taiz *et al.* (2017), a sensibilidade de determinado processo fisiológico ao déficit hídrico é em grande parte um reflexo da estratégia da planta em lidar com a variação na disponibilidade de água que ela experimenta em seu ambiente. Sabe-se também que o boldo brasileiro pode diminuir moderadamente o ganho líquido de carbono diário, e o seu rendimento em condições de temperaturas entre 30 e 35 °C (HERPPICH; HERPPICH, 1996). Logo, associados o déficit hídrico e as altas temperaturas podem ter implicado na adaptação da cultura reduzindo os seus processos fisiológicos. Entretanto, o aumento de água aplicada pode ter possibilitado a maior abertura estomática, mesmo sob condições de altas temperaturas, e contribuído para o desenvolvimento da cultura, assim como para o acúmulo de massa fresca das folhas, do caule e das raízes.

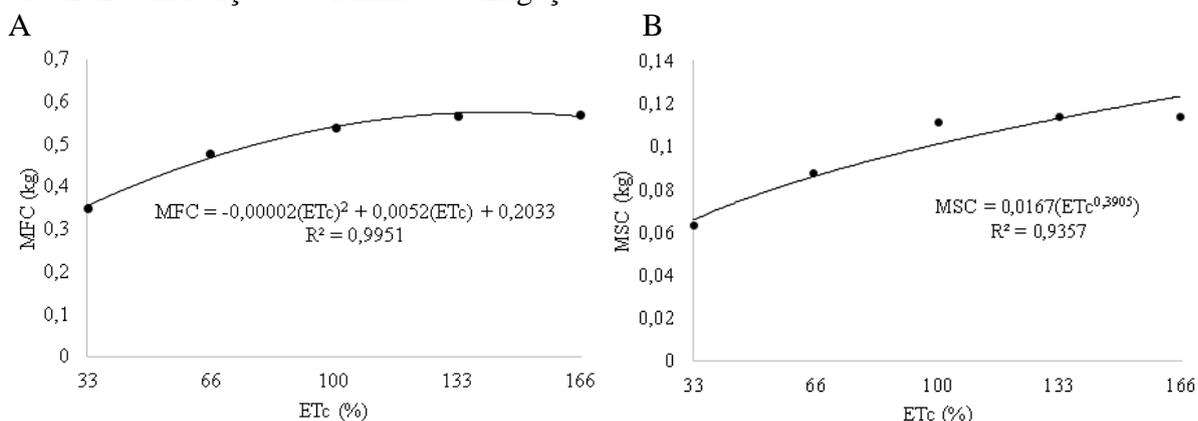
Informações disponíveis na literatura apontaram a lâmina de irrigação calculada para atender 90% da ECA como a lâmina ideal, nas condições edafoclimáticas de *Bengaluru* na Índia, com o cultivo à campo (PRANEETH *et al.*, 2016). No presente estudo, diante das condições experimentais e com o cultivo em vasos, são indicadas lâminas de irrigação acima da lâmina de irrigação requerida, para se maximizar a produção de massa fresca e seca das partes da planta.

A massa fresca do caule foi ajustada ao modelo polinomial quadrático e o máximo valor obtido foi de 0,5413 kg planta⁻¹ com a aplicação de 130% da ETc (1.095 mm) (FIGURA 14A). Já a massa seca do caule foi ajustada ao modelo potencial e o maior valor obtido foi de 0,123 kg planta⁻¹ com a lâmina de 166% da ETc (1.379 mm) (FIGURA 14B).

Para as maiores produções de massas fresca e seca do caule, a cultura demandou alta reposição hídrica. Conforme Taiz *et al.* (2017), um decréscimo na disponibilidade de

água tem um efeito deletério no crescimento. O decréscimo no crescimento, por sua vez, tende a reduzir a massa da planta.

Figura 14 - Massa fresca do caule - MFC (A) e massa seca do caule - MSC (B) do boldo brasileiro em função das lâminas de irrigação

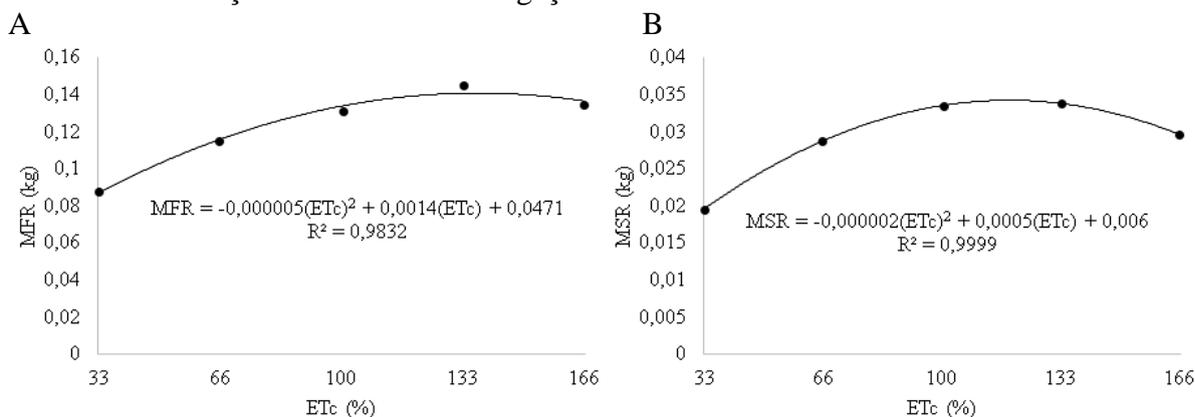


Fonte: Autor.

Os valores de massa fresca e massa seca do caule encontrados podem ser úteis para potencializar o cultivo comercial no Brasil, entretanto, ressalta-se que as variáveis expressaram valores inferiores ao encontrado por Praneeth *et al.* (2016), em *Bengaluru* na Índia, com cultivo à campo. Os autores obtiveram massa fresca do caule de $1,786 \text{ kg planta}^{-1}$, com lâmina de irrigação correspondente a 90% da ECA, e massa seca do caule de $0,288 \text{ kg planta}^{-1}$, com lâmina de irrigação correspondente a 70% da ECA.

A massa fresca da raiz e a massa seca da raiz foram ajustadas ao modelo polinomial quadrático. O maior valor de massa fresca da raiz obtido foi de $0,145 \text{ kg planta}^{-1}$ com lâmina equivalente a 140% da ETc (1.174 mm) (FIGURA 15A). O maior valor obtido em massa seca da raiz foi de $0,032 \text{ kg planta}^{-1}$ encontrado com a lâmina equivalente a 125% da ETc (1.056 mm) (FIGURA 15B).

Figura 15 - Massa fresca da raiz - MFR (A) e massa seca da raiz - MSR (B) do boldo brasileiro em função das lâminas de irrigação



Fonte: Autor.

A massa fresca e a massa seca da raiz tiveram melhor desempenho quando foram aplicadas as maiores lâminas de irrigação. Isso pode estar atribuído, principalmente, ao fato de a raiz da planta expressar melhor desenvolvimento quando está em boas condições de umidade no solo, o que geralmente acontece quando a cultura é bem irrigada no período de tuberização (PRANEETH *et al.*, 2016).

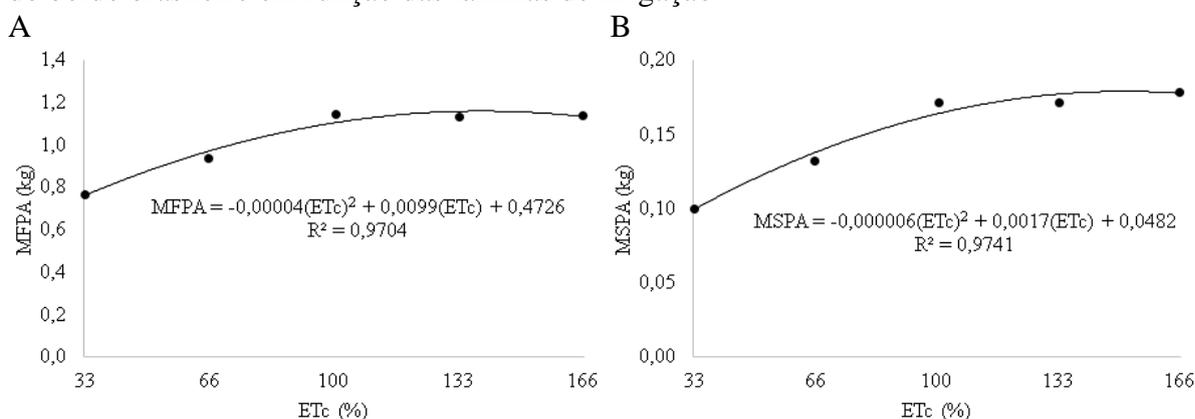
Os resultados obtidos com a massa fresca e a massa seca da raiz podem ser favoráveis ao incentivo do cultivo do boldo brasileiro no Brasil, visto que as raízes têm grande importância comercial pelo motivo de conterem o diterpeno forskolina. Na Índia, a incidência de doenças de origem no solo, “complexo de murcha” que causa a perda de rigidez nas plantas, e a ocorrência de nematóides são os principais fatores limitantes para o cultivo da cultura no solo, o que tem prejudicado a produção e o cultivo com finalidade comercial (LOKESH; DEEPA; DIVYA, 2018; SHARMA; VASUNDHARA, 2017). Diante disso, devido as raízes do boldo brasileiro serem a principal parte vegetal para a obtenção de forskolina, novos estudos devem investigar se essas doenças podem ocorrer em cultivo em solo e a campo no Brasil.

A massa fresca da raiz ($0,145 \text{ kg planta}^{-1}$) foi inferior ao valor encontrado à campo por Ravikumar *et al.* (2013) em *Arabhavi*, no estado *Karnataka* na Índia ($0,211 \text{ kg planta}^{-1}$). Os valores obtidos para a massa seca da raiz do boldo brasileiro ($0,032 \text{ kg planta}^{-1}$) encontrada com a aplicação de 125% ETc (1.056 mm) foram superiores aos obtidos por Freitas *et al.* (2014) em Fortaleza, Ceará ($0,006 \text{ kg planta}^{-1}$) e Mastan *et al.* (2019) na Índia ($0,018 \text{ kg planta}^{-1}$). Maiores valores foram obtidos por Praneeth *et al.* (2016) ($0,052 \text{ kg planta}^{-1}$), em cultivo à campo e irrigado na cidade de *Bengaluru*, no estado *Karnataka* na Índia.

5.3.2 Massas fresca e seca da parte aérea, produtividades fresca e seca das folhas e eficiência do uso da água

A massa fresca da parte aérea foi ajustada ao modelo polinomial quadrático e o maior valor foi de 1,085 kg planta⁻¹, com a aplicação de 123,75% da ETc (1.046 mm) (FIGURA 16A). A massa seca da parte aérea foi ajustada ao modelo polinomial quadrático e o maior valor obtido foi 0,169 kg planta⁻¹, com a lâmina de irrigação equivalente a 141,67% da ETc (1.188 mm) (FIGURA 16B).

Figura 16 - Massa fresca da parte aérea - MFPA (A) e massa seca da parte aérea - MSPA (B) do boldo brasileiro em função das lâminas de irrigação



Fonte: Autor.

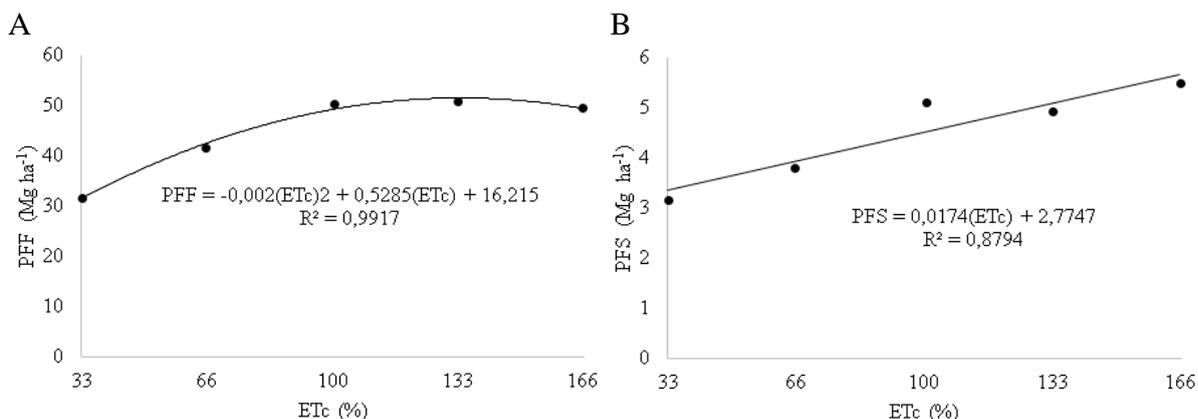
O fato de as massas frescas da parte aérea serem menores em condições de déficit hídrico corroboram com os resultados obtidos por (SABRA *et al.*, 2018) com o *Plectranthus amboinicus* que atribuem isso à redução da fotossíntese pela limitação da condutância estomática e do mesófilo.

O maior valor de massa seca da parte aérea (0,169 kg planta⁻¹) encontrado com a lâmina de irrigação correspondente a 141,67% da ETc (1.188 mm) foi inferior aos obtidos por Nadukeri, Kattimani e Kolakar (2014) em cultivo de campo em *Arabhavi*, no estado *Karnataka* na Índia, que obtiveram valor máximo de 0,370 kg planta⁻¹ aos 160 DAT. Também na Índia e em condições de campo, Mastan *et al.* (2019) obtiveram massa seca da parte aérea de 0,2 kg planta⁻¹, também superior ao obtido neste trabalho, cujo cultivo foi em vaso.

A produtividade de folhas frescas foi ajustada ao modelo polinomial quadrático e o maior valor obtido foi de 51,13 Mg ha⁻¹, com 132% da ETc (1.111 mm) (FIGURA 17A). A produtividade de folhas secas foi ajustada ao modelo linear, tendo sido o valor mais elevado

de 5,66 Mg ha⁻¹, obtido com a lâmina equivalente a 166% da ETc (1.379 mm) (FIGURA 17B).

Figura 17 - Produtividade de folhas frescas - PFF (A) e produtividade de folhas secas - PFS (B) do boldo brasileiro em função das lâminas de irrigação



Fonte: Autor.

A PFF teve maior magnitude quando submetida às maiores lâminas de irrigação, mas observou-se a máxima produtividade sem a necessidade do uso da maior lâmina de irrigação, o que sugere, nas condições experimentais, que o produtor que comercializa o produto em base fresca não precisa optar por maiores lâminas de irrigação para otimizar a produtividade de folhas em massa fresca.

De acordo com Taiz *et al.* (2017), em culturas nas quais colhemos as partes aéreas, tanto a fertilização quanto a irrigação podem promover maior alocação de recursos para o caule, as folhas e as estruturas reprodutivas, e o desvio no padrão de alocação desses recursos pode resultar em maiores produtividades.

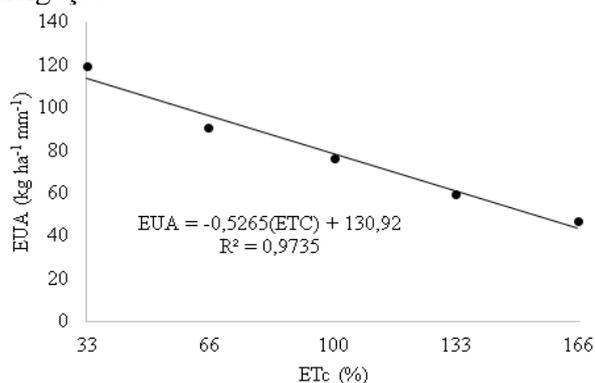
A produtividade de folhas secas foi maior quando as plantas foram submetidas às maiores lâminas de irrigação. Assim, caso, o produtor deseje obter a maior produtividade de folhas secas deve recorrer à maior lâmina de irrigação 166% da ETc (1.379 mm). Por outro lado, diante de menores lâminas de irrigação haveria um decréscimo na produtividade em consequência do estresse causado pelo déficit hídrico, que de acordo com Armoa Báez *et al.* (2020) pode influenciar os componentes do balanço hídrico, dificultando os atributos fenológicos e morfológicos da cultura.

Os valores de produtividade do boldo brasileiro obtidos no presente estudo, PFF (51,13 Mg ha⁻¹) com 132% da ETc (1.111 mm) e PFS (5,66 Mg ha⁻¹) com 166% da ETc (1.379 mm) são de elevada importância para os produtores no Brasil, pois fornecem

informações pouco abordadas em experimentos realizados no país com essa cultura. Sabendo-se o estande e de posse dos dados de massa fresca e massa seca das folhas obtidos por Praneeth *et al.* (2016), com cultivo à campo em *Bengaluru* na Índia, calculou-se a produtividade de folhas frescas e de folhas secas do referido trabalho, tendo sido a massa fresca de 60,41 Mg ha⁻¹ e a massa seca 14,39 Mg ha⁻¹, superiores aos valores encontrados no presente estudo.

A eficiência do uso da água, EUA, se ajustou ao modelo linear com valor máximo de 113,55 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (11,36 kg m⁻³), sendo alcançada com a menor lâmina de irrigação, equivalente a 33% da ETc (331 mm) (FIGURA 18).

Figura 18 - Eficiência do uso da água - EUA do boldo brasileiro em função das lâminas de irrigação



Fonte: Autor.

O aumento na EUA, em condições de estresse hídrico, indica que a diminuição na quantidade de água aplicada não causou redução da produtividade de folhas frescas na mesma proporção, podendo ser uma alternativa de produção de folhas frescas, quando há condições de escassez de água.

Uma inferência ao ocorrido dar-se em função das plantas responderem diretamente às mudanças no ambiente, alterando sua fisiologia ou morfologia para melhorar a sobrevivência e a reprodução (TAIZ *et al.*, 2017). Logo, a maior EUA, com menores lâminas de irrigação, pode estar relacionada a manutenção do equilíbrio entre as taxas de absorção e transpiração de água pelas plantas que pode elevar a eficiência do uso da água mesmo com o fornecimento de água deficitário (PEREIRA *et al.*, 2019). Tal resposta pode estar associada ao equilíbrio entre absorção e perda de água, além da adaptabilidade da planta em produzir diante de condições hídricas reduzidas visando à perpetuação da espécie.

5.4 Fertilidade e salinidade do substrato

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P); potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC), carbono (C), matéria orgânica (MO) e condutividade elétrica (CE). O pH teve diferença significativa entre tratamentos (TABELA 6).

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para parâmetros de fertilidade do substrato aos 126 dias após transplântio

FV	GL	Quadrados médios					
		N	P	K	Ca	Mg	Na
		(g Kg ⁻¹)	(mg dm ⁻³)		(mmol _c dm ⁻³)		
Blocos	3	0,05140 ^{ns}	2944,27 ^{ns}	0,85270 ^{ns}	30,402 ^{ns}	21,33533 [*]	2,71410 ^{ns}
Tratamento	4	0,02529 ^{ns}	9101,95 ^{ns}	1,60262 ^{ns}	29,928 ^{ns}	9,72675 ^{ns}	0,94993 ^{ns}
Resíduo	12	0,04386	7013,183	1,08817	15,89533	5,53908	1,46004
Total	19	-	-	-	-	-	-
CV		18,84	35,88	28,82	8,70	12,24	25,29

FV	GL	Quadrados médios					
		SB	CTC	C	MO	pH	CE
		(mmol _c dm ⁻³)					(dS m ⁻¹)
Blocos	3	135,9592 [*]	135,9592 [*]	6,89831 ^{ns}	20,562 ^{ns}	0,07667 ^{**}	0,03319 ^{ns}
Tratamento	4	45,0208 ^{ns}	45,0208 ^{ns}	3,39940 ^{ns}	10,1173 ^{ns}	0,04325 [*]	0,02561 ^{ns}
Resíduo	12	34,94375	34,94375	5,90134	17,54557	0,00958	0,02798
Total	19	-	-	-	-	-	-
CV		8,05	8,05	18,84	18,84	1,26	20,71

Fonte: Autor. FV - Fonte de Variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de Variação; ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; * - significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} - não significativo a 5% de probabilidade.

As variáveis de fertilidade e de salinidade, avaliadas não foram influenciadas pelas lâminas de irrigação, com exceção apenas do pH que apresentou diferenças significativas. Esses resultados divergem dos encontrados por Mendes *et al.* (2015) e

Albuquerque *et al.* (2011) que observaram que os teores de nitrogênio na forma NO_3 e o potássio na forma K_2O , respectivamente, reduziram no solo com o aumento das lâminas de irrigação. Já o fósforo tem pouca mobilidade no solo e a adsorção de P pelos coloides do substrato também pode ter evitado os efeitos de lixiviação mesmo com o aumento das lâminas de irrigação (ROS *et al.*, 2017).

Entretanto, observou-se um aumento considerável nos teores de fertilidade final do substrato (TABELA 7) em relação à análise inicial do substrato, o que provavelmente ocorreu devido às aplicações semanais de biofertilizante bovino, aumentando a fertilidade do substrato e também tornando-o mais alcalino.

Tabela 7 - Médias para os parâmetros de fertilidade do substrato aos 126 dias após transplantio

Características químicas					
g kg^{-1}	mg dm^{-3}	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$			
N	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
1,11	233,4	3,6	45,8	19,2	4,8
$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$			g kg^{-1}	dS m^{-1}	
SB	CTC	PH	C	MO	CE
73,5	73,5	7,8*	12,9	22,2	0,8

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos corroboram com Borges (2017), que observou aumento nos parâmetros de fertilidade do solo (P; K; Ca; Mg; Na; CTC; SB; C; MO; pH e CE) em relação às épocas inicial e final, com a aplicação de biofertilizante. De acordo com a autora, isso pode estar relacionado ao maior teor de nutrientes do biofertilizante. Assim, a aplicação do biofertilizante pode ter agregado as características químicas do biofertilizante ao substrato. Os valores de N, P e K no solo foram 55,5; 7,8 e 5,7 vezes superiores ao recomendado para a cultura, respectivamente, considerando os valores de (40 kg de N, 60 kg de P e 50 kg de K ha^{-1}) observados em Lokesh, Deepa e Divya (2018). Isso evidencia a eficiência do biofertilizante como uma alternativa à adubação orgânica para a cultura. Entretanto, há necessidade de investigações a respeito da quantidade de biofertilizante ideal para a cultura do boldo brasileiro, assim como também são necessários estudos a fim de se providenciar recomendações de adubação nas condições edafoclimáticas em regiões do território brasileiro.

Os valores de SB, CTC e cátions que a influenciam, Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , são classificados como altos (FERNANDES *et al.*, 1993). A CTC dos solos representa a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por um prolongado período e reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes, se a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions essenciais como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , pode-se dizer que esse é um solo bom para a nutrição das plantas, por outro lado, se grande parte da CTC está ocupada por cátions potencialmente tóxicos como H^+ e Al^{3+} este será um solo pobre (RONQUIN, 2020). Diante disso, nesta pesquisa, considera-se que o solo foi bem nutrido com o uso do biofertilizante.

O pH não se ajustou aos modelos de regressão e as médias estão na Tabela 8.

Tabela 8 - Análise final do pH do substrato em função das lâminas de irrigação aplicadas

ETc (%)	ETc (mm)	pH
33	331	7,65 b
66	591	7,9 a
100	859	7,9 a
133	1119	7,73 ab
166	1379	7,8 ab

Fonte: Autor. Médias seguidas pela mesma letra não diferenciam-se entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Embora tenham diferença significativa, as diferenças de 0,15 nos valores de pH encontrados entre as lâminas de irrigação são de pouca relevância se comparados aos valores da análise inicial. Santos, Fageria e Gimmermann (2002) encontraram resultados semelhantes com o cultivo do arroz sob inundação contínua e intermitente, em que houve diferença significativa, mas o pH teve pouca variação quanto ao manejo da irrigação e teve maiores diferenças quando comparado as análises inicial e final, sendo mais elevado na análise final.

A aplicação de lâminas de irrigação correspondentes a 66 e 100% da ETc (591 e 859 mm) ocasionaram diferença significativa no pH do solo, apresentando os maiores valores, quando comparados ao tratamento que recebeu a menor lâmina de irrigação (331 mm), correspondente a 33% da ETc.

Elementos alcalinos como Ca^{2+} e Mg^{2+} podem ser lixiviados e substituídos pelo íon H^+ em condições de alta precipitação pluviométrica, o que pode deixar o solo mais ácido

(RONQUIN, 2020). Embora não tenham ocorrido altas precipitações pluviométricas no período, esperava-se que com o aumento das lâminas de irrigação houvesse uma resposta no pH do solo, tornando-o mais ácido ou menos alcalino, o que não foi constatado, visto que os tratamentos com as maiores lâminas de irrigação, correspondentes a 133 e 166% da ETc (1119 e 1379 mm) apresentaram valores do mesmo grupo estatístico que os tratamentos com os maiores valores de pH.

O pH obtido no final do experimento foi superior ao valor ideal encontrado na literatura. De acordo com Lokesh, Deepa e Divya (2018), o boldo brasileiro se desenvolve melhor em solos porosos e bem drenados com um pH variando de 5,5 a 7. No entanto, ressalta-se que Nadukeri, Kattimani e Kolakar (2014) cultivaram o boldo brasileiro com êxito, em solo com pH 8,46 em *Arabhavi*, no estado *Karnataka* na Índia.

6 CONCLUSÕES

O maior crescimento do boldo brasileiro foi alcançado com a lâmina de irrigação correspondente a 166% da ETc (1.379 mm).

A lâmina de irrigação correspondente a 132% da ETc (1.111 mm) proporcionou a maior produtividade de folhas frescas do boldo brasileiro e a lâmina de irrigação correspondente a 166% da ETc (1.379 mm) maior produtividade de folhas secas.

A eficiência de uso da água reduziu com o aumento da lâmina de irrigação, tendo apresentado o maior valor de $113,55 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para a lâmina equivalente a 33% da ETc (331 mm).

A fertilidade do solo não foi influenciada pelas lâminas de irrigação, havendo diferença apenas no pH, que foi menos alcalino com a lâmina de irrigação correspondente a 33% da ETc (331 mm).

Considerando os resultados obtidos recomenda-se a lâmina de irrigação correspondente a 132% da ETc (1.111 mm) para o cultivo do boldo brasileiro.

REFERÊNCIAS

- ABREU, D. B. O.; SANTORO, F. R.; ALBUQUERQUE, U. P.; LADIO, A. H.; MEDEIROS, P. M. Medicinal plant knowledge in a context of cultural pluralism: A case study in Northeastern Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, [S.l.], v. 175, p. 124–130, Dec. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.09.019>
- ALBUQUERQUE, F. S.; SILVA, E. F. F.; SOUZA, A. E. R.; ROLIM, M. M. Lixiviação de potássio em um cultivo de pimentão sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 135-144, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1937/4748>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- ALEMAN, C. C.; MARQUES, P. A. A. Manejo e viabilidade econômica da irrigação no cultivo de *calendula officinalis* L. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Irriga & Inovagri, p. 29-37, 2016.
- ANDREWS, H. C. BENSLEY, T.; HAWORTH, A. H.; KENNEDY, J.; JACKSON, G. **The botanist's repository: for new and rare plants**, [S.l.] v. 9, 1810. 114 p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.51972>
- ARMOA BAEZ, M. S.; PETRY, M. T.; CARLESSO, R.; BASSO, L. J.; ROCHA, M. R.; RODRIGUEZ, G. J. Balanço hídrico e produtividade da soja cultivada sob diferentes níveis de déficit hídrico no Sul do Brasil. **Investigación Agraria**, San Lorenzo, v. 22, n. 1, p. 3-12, jun. 2020. <http://dx.doi.org/10.18004/investig.agrar.2020.junio.03-12>
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Water quality for agriculture. **FAO Irrigation and Drainage Paper 29**. Roma, 1985. Disponível em: <http://www.fao.org/3/t0234e/t0234e00.htm>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- BANDEIRA, J. M.; BARBOSA, F. F.; BARBOSA, L. M. P.; RODRIGUES, I. C. S.; BACARIN, M. A.; PETERS, J. A.; BRAGA, E. J. B. Composição do óleo essencial de quatro espécies do gênero *Plectranthus*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 157-164, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722011000200006>
- BERNARDO, S. MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. Viçosa: Editora UFV, 9. ed. 2019. 545 p.
- BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, São Paulo – SP, vol. 32, n. 3, p. 588-594, 2009.
- BORGES, F. R. M.; BEZERRA, F. M. L.; MARINHO, A. B.; RAMOS, E. G.; JOSÉ ADRIANO, J. N. Goat manure fertilization and irrigation on production components of sunflower. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32 n.1, 211-221, 2019. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n121rc>
- BORGES, Francisca Robevania Medeiros. **Cultivo do girassol submetido a doses de biofertilizante caprino e lâminas de irrigação na região do Maciço de Baturité, CE**. 2017.

124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Agosto de 2017.

CASTRO, I. N.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; MAIA, V. M.; SANTOS, C. C. R. Agronomic performance and water use efficiency of irrigated cactus pear cultivars. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 2, p. 529-540, abril de 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n225rc>

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124 p.

CRUZ, João Pedro Honorato da. Crescimento e eficiência no uso da água de cafeeiro submetido a estratégias de manejo da irrigação. 2019. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26078>. Acesso em: 11 jun. 2021.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

FERNANDES, L.C.B; CÂMARA, C.C; SOTO-BLANCO, B. Anticonvulsant activity of extracts of *Plectranthus barbatus* leaves in mice. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, [S.l.], v. 2012, p. 4, 2012. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/860153>

FERNANDES, V. L. B (coord.) **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Fortaleza- Ceará, 1993, 248 p.

FREITAS, M. A. C.; AMORIM, A. V.; BEZERRA, A. M. E.; PEREIRA, M. S., BESSA, M. C.; NOGUEIRA FILHO, F. P.; LACERDA, C. F. Crescimento e tolerância à salinidade em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* expostas a diferentes níveis de radiação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 16, n. 4, p. 839-849, Dec. 2014. https://doi.org/10.1590/1983-084X/12_152

GOVINDARAJAN, M.; RAJESWARY, M.; HOTI, S. L.; BHATTACHARYYA, A.; BENELLI, G. Eugenol, α -pinene and β -caryophyllene from *Plectranthus barbatus* essential oil as eco-friendly larvicides against malaria, dengue and Japanese encephalitis mosquito vectors. **Parasitology Research**, [S.l.], v. 115, n. 2, p. 807-815, Feb. 2016. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4809-0>

HATFIELD, JL; DOLD, C. Eficiência no uso da água: avanços e desafios em um clima em mudança. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne Switzerland, v. 10, n. 103, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>

HERPPICH, W. B.; HERPPICH, M. Ecophysiological investigations on plants of the genus *Plectranthus* (fam. *Lamiaceae*) native to Yemen and southern Africa. **Flora**, [S.l.], v. 191, n. 4, Oct. p. 401-408, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)33117-1](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)33117-1)

IDR. Dados de precipitação e evaporação. Fazenda experimental piroás, 2020. Disponível em: http://unilab.edu.br/wp-content/uploads/2020/08/Pluviometria-e-evapora%C3%A7%C3%A3o-07_2020.pdf. Acesso em 23 de dezembro de 2020.

JOSHI A. S.; GAIKWAD D. K. Influence of Triacanol on Growth and Yield Attributes of *Coleus forskohlii* (Willd.) syn. *Plectranthus barbatus* (Andr.). **Bioscience Discovery**, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 302-307, Apr, 2018.
Disponível em: <https://biosciencediscovery.com/Vol%209%20No%202/Joshi%20302-307.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

KAPEWANGOLO, P.; MEYER, D. *Plectranthus barbatus*; Antioxidant, and Other Inhibitory Responses Against HIV/AIDS. In: PREEDY, V. R.; WATSON, R. R. (eds). **HIV/AIDS: Oxidative Stress and Dietary Antioxidants**, [S.l.], p. 149-159, 2018.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, Rome, v. 17, p. 678-684, 1974.

KIRAITHE, M. N.; NGUTA, J. M.; MBARIA, J. M.; KIAMA, S. G. Evaluation of the use of *Ocimum suave* Willd. (Lamiaceae), *Plectranthus barbatus* Andrews (Lamiaceae) and *Zanthoxylum chalybeum* Engl. (Rutaceae) as antimalarial remedies in Kenyan folk medicine. **Journal of Ethnopharmacology**, [S.l.], v. 178, p. 266–271, Feb. 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.12.013>

KÖPPEN, W. 1948. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. 479p.

LESSA, B. F. T.; SILVA, M. L. S.; BARRETO, J. H. B.; OLIVEIRA, A. B. Efeitos alelopáticos de extratos aquosos de folhas de *Amburana cearensis* e *Plectranthus barbatus* na germinação de *Amaranthus deflexus*. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 1, p. 79-86, 2017. <https://dx.doi.org/10.19084/RCA16063>

LIMA, N. R. W. L.; SODRÉ, G. A.; LIMA, H. R. R.; PAIVA, S.R.; LOBÃO, A. Q.; COUTINHO, A. J. Plasticidade fenotípica, **Revista de Ciência Elementar**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 1-7, 2017. <http://doi.org/10.24927/rce2017.017>

LOKESH, B.; DEEPA, R.; DIVYA, K. Medicinal *Coleus* (*Coleus forskohlii* Briq): A phytochemical crop of commercial significance - Review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, [S.l.], v. 7, n. 5, p. 2856-2864, 2018.
Disponível em: <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue5/PartAV/7-5-402-401.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

LOPES, O. D.; KOBAYASHI, M. K.; OLIVEIRA, F. G.; ALVARENGA, I. C. A.; MARTINS, E. R.; CORSATO, C. E. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim-pimenta irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 548-553, 2011.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas Medicinais no Brasil: Nativas e Exóticas**. Nova Odessa (SP): Instituto Plantarum, p. 544, 2008.

MARTINS, E. R.; CASTRO, D. M.; CASTELLANI, D. C.; DIAS, J. E. **Plantas medicinais**, Viçosa: Editora UFV, 1994.

MASTAN, A.; RANE, D.; DASTAGER, S. G.; BABU, C. S. V. Development of low-cost plant probiotic formulations of functional endophytes for sustainable cultivation of *Coleus forskohlii*. **Microbiological Research**, [S.l.], v. 227, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126310>

MEIRA, M. R.; MELO, M. T. P.; MARTINS, E. R.; PINTO, M. J. S.; SANTANA, C. S. Crescimento e produção de óleo essencial de *Melissa officinalis* L. nas condições climáticas de Montes Claros – MG. **Biotemas**, Florianópolis, v. 24, n. 1, p. 1-8, 2011. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2011v24n1p1>

MENDES, W. C.; ALVES JUNIOR, J.; CUNHA, P. C. R.; SILVA, A. R.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Lixiviação de nitrato em função de lâminas de irrigação em solos argiloso e arenoso. **Irriga**, Botucatu, Edição especial, Irriga & Inovagri, p. 47-56, 2015. <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n2p47>

MOTHANA, R. A.; KHALED, J. M.; EL-GAMAL, A. A.; NOMAN, O. M.; KUMAR, A.; ALAJMI, M.F.; AL-REHAILY, A. J.; AL-SAID, M. S. Comparative evaluation of cytotoxic, antimicrobial and antioxidant activities of the crude extracts of three *Plectranthus* species grown in Saudi Arabia, **Saudi Pharmaceutical Journal**, [S.l.], v. 27, n. 2, p. 162-170, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2018.09.010>

MWITARI, P. G.; AYEKA, P.A.; ONDICHO, J.; MATU E. N.; Bii C. C. Antimicrobial Activity and Probable Mechanisms of Action of Medicinal Plants of Kenya: *Withania somnifera*, *Warbugia ugandensis*, *Prunus africana* and *Plectranthus barbatus*. **PLoS ONE**, [S.l.], v. 8, n. 6, jun. 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065619>

MUSTAFA, S. M. T.; VANUYTRECHT, E.; HUYSMANS, M. Combined deficit irrigation and soil fertility management on different soil textures to improve wheat yield in drought-prone Bangladesh. **Agricultural Water Management**, [S.l.], v. 191, p. 124-137, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.06.011>

NADUKERI, S.; KATTIMANI, K. N.; KOLAKAR, S. S. Influence of organic and inorganic fertilizers on growth and tuber yield of coleus (*Coleus forskohlii* Briq.) under Northern dry zone of Karnataka. **International Journal of Agricultural Sciences**, [S.l.], v. 10, n.1, p. 119-123, 2014.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/325127171_INM_on_growth_and_yield_of_coleus_forskohlii. Acesso em: 11 jun. 2021.

NYAMUKURU, A.; TABUTI, R. S. J.; LAMORDE, M.; KATO, B.; SEKAGYA, Y.; ADUMA, P. R. Medicinal plants and traditional treatment practices used in the management of HIV/AIDS clients in Mpigi District, Uganda. **Journal of Herbal Medicine**, [S.l.], v. 7, p. 51-58, March, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2016.10.001>

OBIERO, D. K.; OMBUI, J. N.; ONYUKA, A. S.; SASIA, A. A. Evaluation of the physical properties of leathers tanned with *Plectranthus barbatus* Andrews extracts. **African Journal**

of **Biotechnology**, [S.l.], v. 19, n. 3, p. 137-141, 2020.
<https://doi.org/10.5897/AJB2016.15406>

OLIVEIRA, D. R.; KRETTLI, A. U.; AGUIAR, A. C. C.; LEITÃO, G. G.; VIEIRA, M. N.; MARTINS, K. S.; LEITÃO, S. G. Ethnopharmacological evaluation of medicinal plants used against malaria by quilombola communities from Oriximiná, Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, [S.l.], v. 173, p. 424–434, Sep. 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.07.035>

PATON, A. J.; MWANYAMBO, M.; GOVAERTS, R. H. A.; SMITHA, K. SUDDEE, S.; PHILLIPSON, P. B.; WILSON, T. C.; FORSTER, P. I.; CULHAM, A. Nomenclatural changes in *Coleus* and *Plectranthus* (*Lamiaceae*): a tale of more than two genera. **PhytoKeys**, [S.l.], v. 129, p. 1-158, 2019. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.129.34988>

PERANDIN, D.; MAIOLI, M. A.; SANTOS, P. R. S.; PEREIRA, F.T.V.2; MINGATTO, F. E. Proteção do dano oxidativo hepático induzido por ferro pelo extrato aquoso da planta *Plectranthus barbatus*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 9-17, jan./mar. 2015. http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/12_019

PEREIRA, L. S.; SILVA, E. M.; FERREIRA, J. O. P.; SANTOS, V. L. G.; LIMA, C. J. G. S.; SILVA, J. G. B. Watermelon yield and efficiency of use of water and nitrogen. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 3, p. 769-777, 2019. <https://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n321rc>

PRANEETH, Y. S.; GOWDA, A. P .M.; THIMMEGOWDA, M. N.; UMESHA, K.; HAREESH, D. Studies on irrigation and nutrient schedules on growth, yield and quality in *Coleus* (*Plectranthus barbatus* Briq.) **Ecology Environment and Conservation**, [S.l.], v. 21, Dec. Suppl. Issue, 2015. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/328554094_Studies_on_irrigation_and_nutrient_schedules_on_growth_yield_and_quality_in_Coleus_Plectranthus_barbatus_Briq. Acesso em: 11 jun. 2021.

PRANEETH, Y. S.; GOWDA, A. P .M.; THIMMEGOWDA, M. N.; UMESHA, K.; RANJINI, T. N. Biomass production, yield and quality in *coleus* (*plectranthus barbatus briq.*) as influenced by irrigation and nutrient schedule. **Pollution Research**, Maharashtra, Índia, v. 35, n.1, p. 85-89, 2016. Disponível em:
http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=6633&iid=206&jid=4. Acesso em: 11 jun. 2021.

PRAVUSCHI, P. R.; MARQUES, P. A. A.; RIGOLIN, B. H. M.; SANTOS, A. C. P. Efeito de diferentes lâminas de irrigação na produção de óleo essencial do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 687-693, 2010.
<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.3160>

RAVIKUMAR, M.; VENKATESHA, J.; NIRANJANA, K. S.; GURUMURTHY, B. R. Effect of integrated nutrient management on yield and economics of *coleus* (*Coleus forskohlii* Briq.). **Karnataka Journal of Agricultural Sciences**, Karnataka, v. 26, n. 1, p.119-123, 2013.

<http://14.139.155.167/test5/index.php/kjas/article/viewFile/6771/6991>. Acesso em: 11 jun. 2021.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: Embrapa Territorial (INFOTECA-E), 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/882598/conceitos-de-fertilidade-do-solo-e-manejo-adequado-para-as-regioes-tropicais>. Acesso em: 11 jun. 2021.

ROS, C. O.; SILVESTRIN, T. B.; SOMAVILLA, L.; PERRANDO, E. R.; SILVA, R. F. Perdas de nutrientes por lixiviação na produção de mudas de cedro australiano. **Floresta e Ambiente**, Seropédica – RJ, v. 24, 2017.
<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.008116>

ROSAL, G. B.; MIRANDA, E. P.; FURTADO, R. M.; CUSTÓDIO, T. B. S.; SANTOS, C. F. Ajuste mensal da equação de hargreaves-samani para o município de iguatu/ce *In*: OLIVEIRA, Antonella Carvalho de, (org). **Ensaio nas ciências agrárias e ambientais 5**, 2 ed. Ponta Grossa – PR, v. 5, p. 1-9, 2019.
Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/01/E-book-Ensaio-nas-Ci%C3%AAs-Agr%C3%A1rias-e-Ambientais-5.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

ROSAL, L. F.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; BRANT, R. S.; NICULAU, E. S.; ALVES, P. B. Produção vegetal e de óleo essencial de boldo pequeno em função de fontes de adubos orgânicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 670-678, set/out. 2011.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2011000500020>

SABRA, A. S.; ASTATKIE, T.; ALATAWAY, A.; MAHMOUD, A. A.; GENDY, A. S. H.; AHL, H. A. H. S.; TKACHENKOF, K. G. Response of Biomass Development, Essential Oil, and Composition of *Plectranthus amboinicus* (LOUR.) SPRENG. to Irrigation Frequency and Harvest Time. **Chemistry & Biodiversity**, Zürich Switzerland, v. 15, n. 3, 2018.
<http://dx.doi.org/10.1002/cbdv.201800005>

SAKHUBAI, H. T.; KATTIMANI, K. N.; VISHWANATH, Y.C.; SHANKAR, M.; VEERENDRA, P. S.; JAMEEL JHALEGAR, M. D. Influence of planting techniques, type of cuttings, PGRs and seasons on yield attributes in medicinal coleus (*Plectranthus forskohlii Willd.*). **Journal of pharmacognosy and phytochemistry**, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 810-814, 2020.
Disponível em: <https://www.phytojournal.com/archives/2020/vol9issue2/PartN/9-2-164-897.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

SANTANA, B. F.; VOEKS, R. A.; FUNCH, L. S. Ethnomedicinal survey of a maroon community in Brazil's Atlantic tropical forest. **Journal of Ethnopharmacology**, [S.l.], v. 181, p. 37–49, Apr. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.01.014>

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 6, n. 1, p. 12-16, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000100003>

SHAH, V.; BHAT, S. V.; BAJWA, B. S.; DORMANER, H.; SOUZA, N. J. The occurrence of forskolin in the *Labiatae*. **Planta Medica**, [S.l.], v. 39, n. 2, p. 183-185, 1980.

SHARMA, Y.; VASUNDHARA M. Standardization of media and nutrient concentration for coleus (*Plectranthus barbatus* Andr.) under substrate culture, **Journal of Plant Nutrition**, [S.l.], v. 41, n. 4, p. 445-452, 2017. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1385806>

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; SOUSA, C. C. M.; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. S. Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curu, CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 57-64, Jan-Mar. 2011.

Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1254/509>.

Acesso em: 11 jun. 2021.

SILVA, C. F. G.; MENDES, M. P.; ALMEIDA, V. V.; MICHELS, R. N.; SAKANAKA, L. S.; TONIN, L. T. D. Parâmetros de qualidade físico-químicos e avaliação da atividade antioxidante de folhas de *Plectranthus barbatus* Andr. (*Lamiaceae*) submetidas a diferentes processos de secagem. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 48-56, 2016. http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/15_021

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, [S.l.], v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>

SOARES, H. C. P.; DAVID, J. P.; SANTANA, J. R. F.; DAVID J. M.; RODRIGUES, F. M.; MESQUITA, P. R. R.; OLIVEIRA, F. S.; BELLINTANI, M. C. Influence of growth regulators on distribution of trichomes and the production of volatiles in micropropagated plants of *Plectranthus ornatos*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S.l.], v. 27, p. 679–690, Nov-Dec. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2017.10.001>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VIANA, T. V. de A.; SANTOS, A. P. G.; SOUSA, G. G.; PINHEIRO NETO, L. G.; AZEVEDO, B. M.; AQUINO, B. F. Trocas gasosas e teores foliares de NPK em meloeiro adubado com biofertilizantes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife - Pernambuco, v. 8, n. 4, p. 595-601, 2013.

Disponível em: [http://www.agraria.pro.br/ojs-](http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v8i4a3260)

[2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v8i4a3260](http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v8i4a3260).

Acesso em: 11 jun. 2021.

WALDIA, S.; JOSHI, B. C.; PATHAK, U. M. A.; JOSHI, M. C. The Genus *Plectranthus* in India and Its Chemistry. **Chemistry & Biodiversity**, Zürich Switzerland, v. 8, n. 2, Feb. 2011. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201000048>