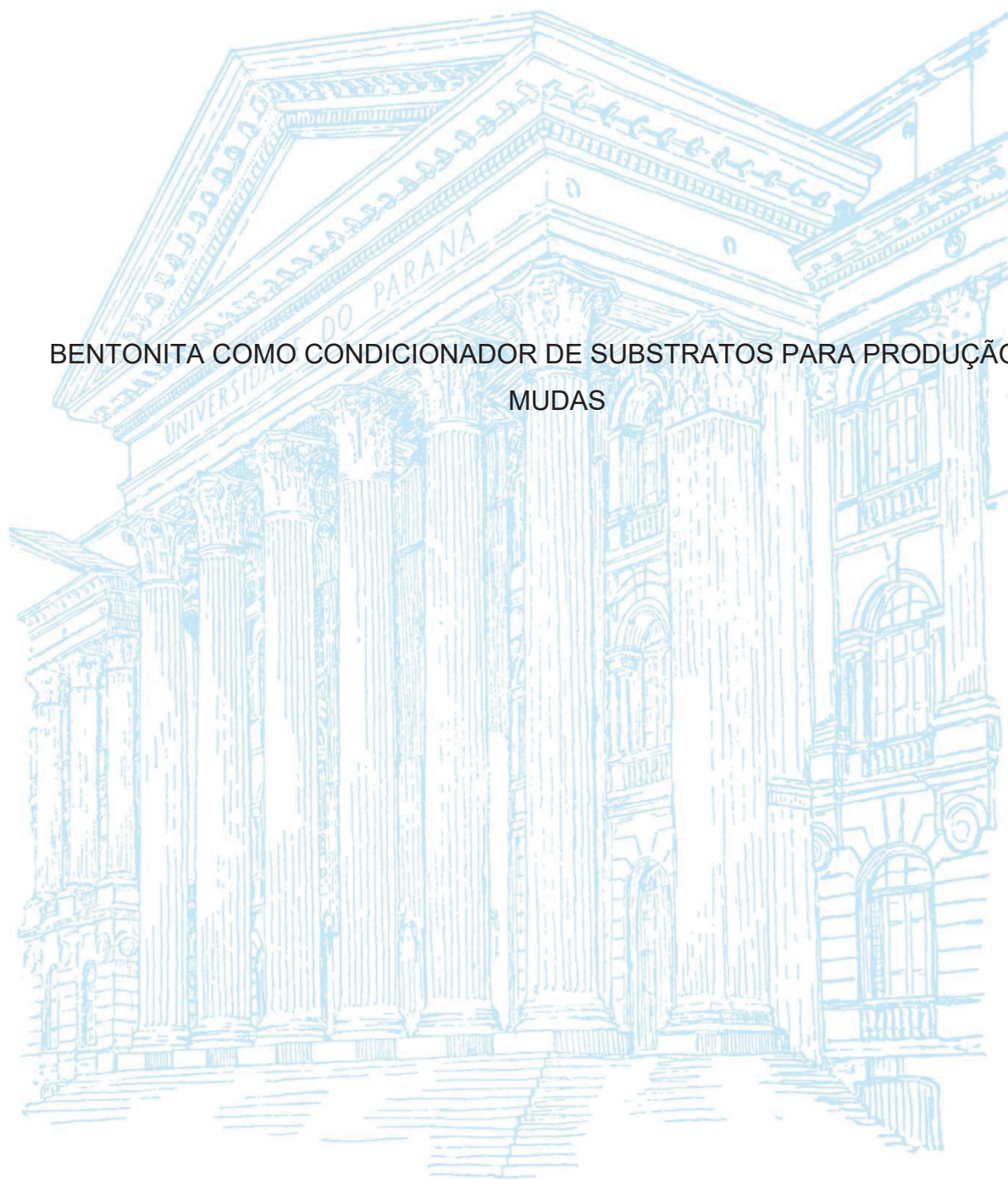


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

HORÁCIO MANFRIN MAZERO

BENTONITA COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE  
MUDAS



CURITIBA

2023

HORÁCIO MANFRIN MAZERO

BENTONITA COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE  
MUDAS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. André Carlos Auler

Coorientadora: Profa. Dra. Dagma Kratz

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Mazero, Horácio Manfrin

Bentonita como condicionador de substratos para produção  
de mudas/ Horácio Manfrin Mazero . – Curitiba, 2023.

1 recurso online: PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,  
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. André Carlos Auler

Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Dagma Kratz

1. Bentonita. 2. Mudas - Produção. 3. Substrato. I. Auler,  
André Carlos. II. Kratz, Dagma. III. Universidade Federal do  
Paraná. Programa Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

## TERMO DE APROVAÇÃO



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -  
40001016014P4

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **HORACIO MANFRIN MAZERO** intitulada: **BENTONITA COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS**, sob orientação do Prof. Dr. ANDRÉ CARLOS AULER, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 29 de Agosto de 2023.

Assinatura Eletrônica

22/09/2023 15:12:42.0

ANDRÉ CARLOS AULER

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

25/09/2023 10:37:31.0

TIAGO LUAN HACHMANN

Avaliador Externo (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

22/09/2023 00:34:08.0

CAMILA DA SILVA ROCHA

Avaliador Externo (T-MATTER - MINERAIS INDUSTRIAIS S.A.)

Dedico esse trabalho a minha avó Ana Maria Manfrin (*in memoriam*) que sempre foi um exemplo de professora para mim.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus familiares mais próximos, que me acompanharam durante toda minha jornada acadêmica. Minha mãe, Sandra Helena Manfrim, que mesmo não entendendo o que eu faço continua me apoiando incondicionalmente, oferecendo apoio e amor durante toda essa árdua jornada.

A minha irmã, Marina Manfrim Mazero, por todo o amor que sempre me ofereceu, mesmo dentro de toda a teimosia que só ela tem. A Alessandra Ferreira Neves, pelas palavras de suporte, pelos abraços e pelo amor, do jeito desajeitado que só ela sabe oferecer, por sempre se fazer parte da minha vida e me dar a oportunidade de fazer parte da dela.

Ao meu querido orientador de mestrado, André Carlos Auler, que desempenhou seu papel de forma árdua e comprometida, independente das adversidades que tenhamos passado, e foram muitas, e acima de tudo por sempre se esforçar, se preocupar e acreditar em nós, seus orientados, durante todas as dúvidas e inseguranças que surgem nesse caminho.

Aos meus amigos da vida, Andressa Leão dos Santos, Daniele Job Alves, Gabriel Figueiredo Puerta e Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira por sempre provarem que a distância não afeta o carinho, no amor e no companheirismo. Obrigado por me aguentarem, por se fazerem presentes e por todo o suporte que me ofereceram.

Aos meus amigos que a UFPR me proporcionou, Rodrigo Roani, Rafaela Tavares Dudas, Gabriela Kaine Nadolny, Heloisa da Silva Baldinotti, Lucas Kussek de Aguiar, Gabriel dos Santos da Cruz, Pedro Ruben Vieira Fariña, por se fazerem presentes em todos os momentos, sejam eles alegres, tristes ou em avaliações cansativas de experimento. Espero que possamos continuar sempre juntos.

E, também, aos amigos João Daniel Guedes de Barros, Marcos Antonio Silva e João Henrique da Graça Nogueira que conheci durante e logo após a pandemia, que a internet ajudou a conectar, e fizeram parte desse percurso todo, sem eles, provavelmente, a loucura teria chegado mais cedo.

Ao meu pai, Lupécio Mazero, meus tios, Cristina Della Roveri Rodrigues Manfrim e André Luiz Manfrim, ao meu avô, Laércio Manfrim, e as minhas primas, Ana Helena Rodrigues Manfrin, Julia Rodrigues Manfrim e Gabriela Paya Manfrim, por todo carinho suporte e bagunça, durante todo o período do mestrado.

Dedico, também, ao Gilvan Eduardo da Silva Ferreira e Lucas Almeida Silva, por todo o carinho, amor, paciência e principalmente suporte emocional que me ofereceram durante todo esse tempo juntos. Amo vocês.

Por fim, quero agradecer a todo o PPG de Ciências do Solo, aos técnicos, colegas, professores, que de alguma forma me ajudaram a crescer e aprender sobre diversas coisas.

Sou eternamente grato por cada pessoa que fez e faz parte da minha vida, estando aqui escrito ou não. Sozinho eu não sou ninguém, logo essa conquista é de cada um de vocês.

How come the more you have, the more that people want from you? The more you burn away the more the people earn from you (FKA Twigs – Home with you.)

## RESUMO

As mudanças climáticas, induzidas ou não pelo homem, levam a busca de novas e melhores formas de produção agrícola. Uma delas é a produção de mudas em ambientes protegidos (casa de vegetação ou viveiros), que vem ganhando atenção, principalmente para espécies florestais, olerícolas, ornamentais e frutíferas. Dentre os processos na produção de mudas de alta qualidade, os substratos desempenham importante papel na cadeia produtiva, pois tem como função suprir nutrientes, ar e água para as mudas, sendo essenciais para o seu desenvolvimento. Numerosos estudos abordam o uso de resíduos agrícolas e florestais na produção de mudas, como a fibra de coco, casca de amendoim, casca de pinus ou casca de arroz carbonizada. Entretanto, o substrato em sua forma pura não apresenta todas as características necessárias para o desenvolvimento das plantas, dessa forma práticas de mistura e a adição de condicionadores de substratos se tornam necessárias. Alguns componentes provenientes de minerais já são utilizados como substratos em viveiros, como a vermiculita e a perlita, porém pouco se sabe sobre as melhorias que a adição da bentonita consegue promover a esses substratos. É conhecido que a bentonita proporciona melhorias na retenção de água e nutrientes em solos arenosos. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo estudar o potencial da bentonita em melhorar as características físico-hídricas de substratos, usualmente utilizados, e avaliar o desenvolvimento de mudas de alface produzidas em substratos com adição de bentonita em condição de déficit hídrico moderado. Os experimentos foram realizados na Universidade Federal do Paraná, no Setor de Ciências Agrárias. Em laboratório, houve a quantificação de parâmetros físicos-hídricos, como diâmetro médio geométrico, densidade úmida e aparente, espaço de aeração, água disponível e água remanescente. Em casa de vegetação, houve a quantificação de variáveis morfológicas da parte aérea e radicial das mudas de alface, com ou sem déficit hídrico. Em substratos formulados a base de fibra de coco, os condicionadores bentonita granulada, em pó e vermiculita provocaram mudanças significativas positivas em proporções menores, de 12,5% a 25% de adição. Enquanto em substratos formulados a base de casca de arroz carbonizada, os condicionadores obtiveram mudanças significativas em proporções maiores de 25%. Portanto, tanto a bentonita granulada, em pó ou a vermiculita apresentam capacidades de garantir melhoria ao substrato, porém existe a necessidade em se entender todos os parâmetros que envolvem a formulação de mistura para cada tipo de substrato, condicionador de substrato ou produção agrícola.

Palavras-chave: Água Disponível. Caracterização Física. Déficit Hídrico. Misturas. Substratos Renováveis.

## ABSTRACT

Climate change, whether induced by humans or not, leads to the search for new and better forms of agricultural production. One of them is the production of seedlings in protected environments (greenhouses or nurseries), which has been gaining attention, especially for forest species, vegetables, ornamentals, and fruit-bearing plants. Among the processes in the production of high-quality seedlings, substrates play an important role in the production chain, as their function is to supply nutrients, air, and water to the seedlings, being essential for their development. Numerous studies address the use of agricultural and forestry residues in seedling production, such as coconut fiber, peanut shell, pine bark, or carbonized rice husk. However, the substrate in its pure form does not have all the necessary characteristics for plant development, so mixing practices and the addition of substrate conditioners become necessary. Some components derived from minerals are already used as substrates in nurseries, such as vermiculite and perlite, but little is known about the improvements that the addition of bentonite can bring to these substrates. It is known that bentonite improves water and nutrient retention in sandy soils. Thus, the present study aims to investigate the potential of bentonite to improve the physical-hydraulic characteristics of commonly used substrates and evaluate the development of lettuce seedlings produced in substrates with the addition of bentonite under moderate water deficit conditions. The experiments were conducted at the Federal University of Paraná, in the Agricultural Sciences Sector. In the laboratory, physical-hydraulic parameters such as geometric mean diameter, wet and bulk density, aeration space, available water, and remaining water were quantified. In the greenhouse, morphological variables of the aboveground and root parts of lettuce seedlings were quantified, with or without water deficit. In substrates formulated with coconut fiber, granulated bentonite, powdered bentonite, and vermiculite caused significant positive changes in smaller proportions, from 12.5% to 25% addition. While in substrates formulated with carbonized rice husk, conditioners obtained significant changes in larger proportions of 25% or more. Therefore, both granulated bentonite, powdered bentonite, or vermiculite could improve the substrate, but there is a need to understand all the parameters involved in formulating the mixture for each type of substrate, substrate conditioner, or agricultural production.

Keywords: Available Water. Physical Characterization. Water Deficit. Mixtures. Renewable Substrates.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – (A) DIVISÃO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS DENTRO DA BANDEJA, ONDE CADA RETÂNGULO AZUL REPRESENTA UM TRATAMENTO DISTINTO, A DIVISÃO EM VERMELHO NO MEIO SERVE PARA INFORMAR QUE METADE DA BANDEJA IRÁ PASSAR POR DÉFICIT DE IRRIGAÇÃO. ....61

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - DIÂMETRO MÉDIO GEOMÉTRICO: REGRESSÕES PARA CAC (A), REGRESSÕES PARA FC (B), DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC (C) E DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC (D)..	30
GRÁFICO 2 - DENSIDADE ÚMIDA: REGRESSÕES PARA CAC (A), REGRESSÕES PARA FC (B), DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC (C) E DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC (D) .....	32
GRÁFICO 3 - DENSIDADE APARENTE: REGRESSÕES PARA CAC (A), REGRESSÕES PARA FC (B), DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC (C) E DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC (D)..	33
GRÁFICO 4 - POROSIDADE TOTAL: REGRESSÕES PARA CAC (A), REGRESSÕES PARA FC (B), DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC (C) E DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC (D)..	35
GRÁFICO 5 - ESPAÇO DE AERAÇÃO: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	36
GRÁFICO 6 - ESPAÇO DE AERAÇÃO: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	37
GRÁFICO 7 - ÁGUA FACILMENTE DISPONÍVEL: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	38
GRÁFICO 8 - ÁGUA TAMPONANTE: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	39
GRÁFICO 9 - ÁGUA TAMPONANTE: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC .....	40
GRÁFICO 10 - ÁGUA TAMPONANTE: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	41
GRÁFICO 11 - ÁGUA TAMPONANTE: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC .....	42
GRÁFICO 12 - ÁGUA DISPONÍVEL: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	43
GRÁFICO 13 - ÁGUA DISPONÍVEL: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	43
GRÁFICO 14 - ÁGUA REMANESCENTE: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	45

GRÁFICO 15 - ÁGUA REMANESCENTE: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC .....	46
GRÁFICO 16 - ÁGUA REMANESCENTE: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	47
GRÁFICO 17 - ÁGUA REMANESCENTE: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC .....	48
GRÁFICO 18 - ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	66
GRÁFICO 19 - ALTURA DE PLANTA: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	67
GRÁFICO 20 - ALTURA DE PLANTA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC .....	68
GRÁFICO 21 - NÚMERO DE FOLHAS: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	69
GRÁFICO 22 - MASSA FRESCA DE PARTE AÉREA: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	70
GRÁFICO 23 - MASSA FRESCA DE PARTE AÉREA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC .....	71
GRÁFICO 24 - MASSA SECA DE PARTE AÉREA: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	72
GRÁFICO 25 - MASSA SECA DE PARTE AÉREA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC .....	73
GRÁFICO 26 - MASSA FRESCA DE RAIZ: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	74
GRÁFICO 27 - MASSA FRESCA DE RAIZ: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC .....	75
GRÁFICO 28 - COMPRIMENTO DE RAIZ: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	76
GRÁFICO 29 - COMPRIMENTO DE RAIZ: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC .....	77
GRÁFICO 30 - ÁREA DE SUPERFÍCIE DA RAIZ: REGRESSÃO PARA A PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	78
GRÁFICO 31 - ÁREA DE SUPERFÍCIE DE RAIZ: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC.....	79

GRÁFICO 32 - VOLUME RADICULAR: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC .....	80
GRÁFICO 33 - VOLUME RADICULAR: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC .....	81
GRÁFICO 34 - ALTURA DE PLANTA: REGRESSÃO PARA A PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	83
GRÁFICO 35 - ALTURA DE PLANTA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC .....	84
GRÁFICO 36 - NÚMERO DE FOLHAS: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	85
GRÁFICO 37 - MASSA FRESCA DE PARTE AÉREA: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	86
GRÁFICO 38 - MASSA FRESCA DE PARTE AÉREA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC.....	87
GRÁFICO 39 - MASSA SECA DE PARTE AÉREA: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	88
GRÁFICO 40 - MASSA SECA DE PARTE AÉREA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC.....	89
GRÁFICO 41 - MASSA FRESCA DE RAIZ: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	90
GRÁFICO 42 - MASSA FRESCA DE RAIZ: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC .....	91
GRÁFICO 43 - COMPRIMENTO DE RAIZ: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	92
GRÁFICO 44 - COMPRIMENTO DE RAIZ: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC .....	93
GRÁFICO 45 - ÁREA DE SUPERFÍCIE DE RAIZ: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	94
GRÁFICO 46 - ÁREA DE SUPERFÍCIE DE RAIZ: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC.....	95
GRÁFICO 47 - VOLUME RADICULAR: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC .....	96
GRÁFICO 48 - VOLUME RADICULAR: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC .....	97

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA FORNECIDA PELA EMPRESA T-MINAS BENTONITAS INDUSTRIAIS. ....	26
TABELA 2 - QUADRADOS MÉDIOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DMG PARA CAC E FB.....	29
TABELA 3 - QUADRADOS MÉDIOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DU, DA PARA CAC E FB.....	31
TABELA 4 - ÁGUA DISPONÍVEL: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS DE CONDICIONADOR PARA FC.....	44
TABELA 5 - QUADRADOS MÉDIOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA IVE, ALTP, NF, MFPA, MSPA, MFR, MSR, CR, ASR E VR PARA CAC.....	65
TABELA 6 - NÚMERO DE FOLHAS: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC .....	69
TABELA 7 - MFPA E MSPA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS COM E SEM DÉFICIT HÍDRICO PARA CAC.....	73
TABELA 8 - QUADRADOS MÉDIOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA IVE, ALTP, NF, MFPA, MSPA, MFR, MSR, CR, ASR E VR PARA FC .....	82
TABELA 9 - NÚMERO DE FOLHAS: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PRA FC ...	85

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 REFERÊNCIAS .....	18
<b>2 CAPÍTULO I: POTENCIALIDADES E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BENTONITA COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATOS</b> .....	<b>21</b>
2.1 RESUMO .....	21
2.2 ABSTRACT .....	22
2.3 INTRODUÇÃO .....	23
2.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	25
2.4.1 Localização e condução do estudo .....	25
2.4.2 Formulação das misturas de substrato+condicionador .....	25
2.4.3 Caracterização granulométrica dos substratos .....	26
2.4.4 Densidade úmida e seca .....	27
2.4.5 Porosidade, espaço de aeração e disponibilidade de água .....	27
2.4.6 Delineamento experimental e análises estatísticas .....	25
2.5 RESULTADOS .....	28
2.5.1 Diâmetro médio geométrico .....	28
2.5.2 Densidade Úmida e Densidade Aparente .....	31
2.5.3 Caracterização físico-hídrica .....	34
2.5.3.1 Porosidade total (PT) .....	34
2.5.3.2 Espaço de Aeração (EA) .....	35
2.5.3.3 Conteúdos de água facilmente disponível (AFD), tamponante (AT), disponível (AD) e remanescente (AR) .....	37
2.6 DISCUSSÃO .....	48
2.7 CONCLUSÕES .....	52
2.8 REFERÊNCIAS .....	53
<b>3 CAPÍTULO II: BENTONITA COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE</b> .....	<b>57</b>
3.1 RESUMO .....	57
3.2 ABSTRACT .....	58
3.3 INTRODUÇÃO .....	59
3.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	60
3.4.1 Localização .....	60

3.4.2 Delineamento experimental e condução do experimento.....	60
3.4.3 Avaliações e variáveis analisadas.....	62
3.4.4 Análises estatísticas.....	63
3.5 RESULTADOS.....	64
3.5.1 Casca carbonizada de arroz.....	64
3.5.2 Fibra de coco.....	81
3.6 DISCUSSÃO.....	98
3.7 CONCLUSÕES.....	102
3.8 REFERÊNCIAS.....	103
<b>4 CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>107</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>109</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>110</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, induzidas pelas ações antropogênicas, estão aumentando significativamente as temperaturas mundiais, além de modificar os regimes de precipitação. As mudanças na precipitação mundial podem ocasionar diferentes regimes e intensidades de chuva, ocasionando volumosas precipitações momentâneas e extensos períodos de seca. As mudanças climáticas podem variar de região para região, dificultando as previsões e como as mudanças irão afetar a produção alimentícia mundial (Masson-Delmotte et al., 2021).

A disponibilidade de água é um importante fator no crescimento vegetativo. Porém, o conteúdo de água presente nos solos está diminuindo devido ao aumento da temperatura global (Masson-Delmotte et al., 2021). Esse desbalanço entre necessidade e disponibilidade de água gera uma alta mortalidade de plantas, em todos os estágios de desenvolvimento (Senf et al., 2020).

Além disso, o aumento da população mundial exigirá que a produção agrícola dobre até 2050 (FAO, 2017) para compensar um aumento de 56 a 70% na demanda por alimentos ou mais com a inclusão das mudanças climáticas e da população em risco de fome (van Dijk et al., 2021).

Neste cenário, a produção de mudas de alta qualidade é uma alternativa para o adequado estabelecimento de uma cultura no campo e aumentar a segurança alimentar (Meng et al., 2018) e permitir a produção de espécies mais sensíveis e de alta qualidade nutricional em regiões áridas e semiáridas. A qualidade de mudas é definida como a capacidade da muda de sobreviver e crescer depois de ser transplantada em um ambiente específico (Duryea, 1985; Ritchie, 1984; Wilson & Jacobs, 2006).

A produção de mudas é uma técnica em que sementes ou parte de órgãos vegetativos são cultivados em substratos, para posterior transplante para o campo. Essa técnica tem ganhado bastante atenção, principalmente na produção de espécies olerícolas, frutíferas, ornamentais e florestais (Meng et al., 2022).

Dentre as etapas na produção de mudas de alta qualidade, os substratos desempenham papel importante na cadeia produtiva (Meng et al., 2019). Numerosos estudos abordam o uso de resíduos agrícolas e florestais na produção de mudas em viveiros, como casca de coco, casca de amendoim, sabugo de milho, bem como esterco de gado, palha compostada e substrato de cogumelos para hortaliças e flores (Bustamante et al., 2021; Gomah et al., 2020; Hoover, 2018; Li et al., 2021).

A preparação e padronização substrato é um problema na maioria das indústrias. Pois, muitas vezes, continuam a ser utilizados solos orgânicos ou hidromórficos e misturas com propriedades físicas e químicas insuficientes (Kholkhal & Benmahioul, 2021). Porém, a qualidade do substrato, entendido como a habilidade em suprir nutrientes, ar e água para as mudas, é essencial para o desenvolvimento da planta (Moreno et al., 2021). Então, é necessário que o substrato tenha propriedades benéficas no desenvolvimento das mudas, como a eficiência em absorção e retenção de água, boa drenagem e porosidade, além de nutrientes suficientes para o desenvolvimento das plantas. Vale lembrar que o cultivo de todo o ciclo da planta fora do solo, em algumas espécies, tornou-se uma prática comum, pois evita a disseminação de doenças de solo, principalmente após a proibição do uso de brometo de metila (defensivo usado na esterilização do solo). As culturas mais comuns são o morango e plantas ornamentais, ambas com alto valor agregado.

Quando o substrato sozinho não apresenta todas as características necessárias, a prática de misturas de componentes se torna essencial. A adição de condicionadores pode melhorar um substrato em suas falhas, principalmente quando não há a possibilidade de substituir a matéria-prima. Normalmente, os substratos são produzidos em áreas longínquas de onde os viveiros de produção de mudas estão localizados, aumentando, assim, os custos do substrato devido ao transporte (Manca et al., 2020), impossibilitando a substituição e aumentando a necessidade em se adicionar condicionadores na mistura.

A chave para a obtenção de mudas de alta qualidade é a regulação das propriedades físicas e químicas do substrato, que são resultado das diferentes proporções de matérias primas e proporções de mistura (Lin et al., 2023). Esses autores frisam que é necessário formas de padronizar a produção de substrato para garantir melhor qualidade nas mudas.

Alguns componentes provenientes de minerais já são utilizados como substratos em viveiros na produção de mudas, como a vermiculita e a perlita, e normalmente são associados a outros materiais ou a fertilizantes pela sua baixa suficiência de nutrientes (Vaughn et al., 2021). A bentonita é um argilomineral que vem sendo utilizada como condicionador de solo devido a sua alta retenção de água e nutrientes durante períodos de chuva (Mi et al., 2021), porém pouco se sabe sobre sua utilização como condicionador para substratos que apresentam pouca capacidade de retenção de água.

Alguns estudos mostram que condicionadores argilosos adicionados em solos arenosos podem melhorar a capacidade de retenção de água, diminuição da evapotranspiração e incremento da eficiência no uso de água (Zayani et al., 1996), além de melhorar a agregação do solo e diminuição da densidade do solo (Mi et al., 2021). Adicionalmente, argilominerais são relativamente abundantes e apresentam baixo custo (Palansooriya et al., 2020), o que aumenta sua possibilidade de uso e redução de custos de produção de mudas.

Assim, acredita-se que a adição da bentonita em substratos, usualmente utilizados, pode trazer mudanças na caracterização físico-hídrica da mistura e, também, incrementar a produção de mudas de alface. Desta forma, o presente estudo tem como objetivo geral: (i) analisar o potencial da bentonita em relação à vermiculita, condicionador amplamente utilizado, na melhoria das propriedades físico-hídricas de substratos hortícolas (a base de casca de arroz carbonizada e fibra de coco), por meio da sua caracterização física. (ii) mensurar a qualidade das mudas de alface produzidas nos substratos adicionados dos condicionadores.

## 1.1 REFERÊNCIAS

Bustamante, M. A., Gomis, M. P., Pérez-Murcia, M. D., Gangi, D., Ceglie, F. G., Paredes, C., Pérez-Espinosa, A., Bernal, M. P., & Moral, R. (2021). Use of livestock waste composts as nursery growing media: Effect of a washing pre-treatment. *Scientia Horticulturae*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109954>

Duryea, M. L. (1985). Evaluating seedling quality: importance to reforestation.

FAO. (2017). *The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017. In *The future of food and agriculture: trends and challenges* (Vol. 4, Número 4).

Gomah, H. H., Ahmed, M. M. M., Abdalla, R. M., Farghly, K. A., & Eissa, M. A. (2020). Utilization of some organic wastes as growing media for lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. *Journal of Plant Nutrition*, 43(14). <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1766077>

Hoover, B. K. (2018). Herbaceous perennial seed germination and seedling growth in biochar-amended propagation substrates. *HortScience*, 53(2). <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12624-17>

Kholkhal, D., & Benmahioul, B. (2021). Effects of substrate on the germination and seedling growth of *Quercus suber* L. . *Biodiversity Research and Conservation*, 64(1). <https://doi.org/10.2478/biorc-2021-0008>

Li, X., Xia, H., Wang, J., & Chen, Q. (2021). Nutrient uptake and assimilation in fragrant rosewood (*Dalbergia odorifera* TC Chen) seedlings in growing media with un-composted spent mushroom residue. *PLoS One*, 16(4), e0249534.

Lin, L., Qin, J., Zhang, Y., Yin, J., Guo, G., Khan, M. A., Liu, Y., Liu, Q., Wang, Q., Chang, K., Mašek, O., Wang, J., Hu, S., Ma, W., Li, X., Gouda, S. G., & Huang, Q. (2023). Assessing the suitability of municipal sewage sludge and coconut bran as breeding medium for *Oryza sativa* L. seedlings and developing a standardized substrate. *Journal of Environmental Management*, 344, 118644. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118644>

Manca, A., da Silva, M. R., Guerrini, I. A., Fernandes, D. M., Villas Bôas, R. L., da Silva, L. C., da Fonseca, A. C., Ruggiu, M. C., Cruz, C. V., Lozano Sivilsaca, D. C., de Moura D'Andréa Mateus, C., Murgia, I., Grilli, E., Ganga, A., & Capra, G. F. (2020). Composted sewage sludge with sugarcane bagasse as a commercial substrate for *Eucalyptus urograndis* seedling production. *Journal of Cleaner Production*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122145>

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., & Gomis, M. I. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 2.

Meng, X., Dai, J., Zhang, Y., Wang, X., Zhu, W., Yuan, X., Yuan, H., & Cui, Z. (2018). Composted biogas residue and spent mushroom substrate as a growth medium for tomato and pepper seedlings. *Journal of Environmental Management*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.056>

Meng, X., Liu, B., Zhang, H., Wu, J., Yuan, X., & Cui, Z. (2019). Co-composting of the biogas residues and spent mushroom substrate: Physicochemical properties and maturity assessment. *Bioresource Technology*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.097>

Meng, X., Wang, Q., Lv, Z., Cai, Y., Zhu, M., Li, J., Ma, X., Cui, Z., & Ren, L. (2022). Novel seedling substrate made by different types of biogas residues: Feasibility, carbon emission reduction and economic benefit potential. *Industrial Crops and Products*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115028>

Mi, J., Gregorich, E. G., Xu, S., McLaughlin, N. B., Ma, B., & Liu, J. (2021). Changes in soil biochemical properties following application of bentonite as a soil amendment. *European Journal of Soil Biology*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103251>

Moreno, G. R., Fernández, M. E., & Contreras, E. D. (2021). Balanced mixture of biochar and synthetic fertilizer increases seedling quality of *Acacia mangium*. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(6). <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.04.004>

Palansooriya, K. N., Shaheen, S. M., Chen, S. S., Tsang, D. C. W., Hashimoto, Y., Hou, D., Bolan, N. S., Rinklebe, J., & Ok, Y. S. (2020). Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review. In *Environment International* (Vol. 134). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105046>

Ritchie, G. A. (1984). Assessing seedling quality. In *Forestry nursery manual: production of bareroot seedlings* (p. 243–259). Springer.

Senf, C., Buras, A., Zang, C. S., Rammig, A., & Seidl, R. (2020). Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications*, 11(1), 6200. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1>

van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2(7). <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>

Vaughn, S. F., Byars, J. A., Jackson, M. A., Peterson, S. C., & Eller, F. J. (2021). Tomato seed germination and transplant growth in a commercial potting substrate amended with nutrient-preconditioned Eastern red cedar (*Juniperus virginiana* L.) wood biochar. *Scientia Horticulturae*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109947>

Wilson, B. C., & Jacobs, D. F. (2006). Quality assessment of temperate zone deciduous hardwood seedlings. *New Forests*, 31, 417–433.

Zayani, K., Bousnina, H., Mhiri, A., Hartmann, R., & Cherif, H. (1996). Evaporation in layered soils under different rates of clay amendment. *Agricultural Water Management*, 30(2). [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(95\)01217-6](https://doi.org/10.1016/0378-3774(95)01217-6)

## 2 CAPÍTULO I: POTENCIALIDADES E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BENTONITA COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATOS

### 2.1 RESUMO

O substrato é o meio de crescimento de mudas de plantas ornamentais, olerícolas, florestais e frutíferas. É desejável que o substrato apresente todas as características físico-hídricas necessárias para o desenvolvimento de uma planta, além do fornecimento de nutrientes. A utilização de substratos provenientes do descarte ou rejeitos da produção agrícola e municipal vem aumentando, porém nem todo componente está apto a se tornar substrato. Os substratos podem ser definidos como meio para o desenvolvimento de mudas, porém quando eles não atendem a todas as necessidades para um bom desenvolvimento a adição de condicionadores se torna necessária. Assim, este trabalho tem como objetivo estudar as mudanças físico-hídricas da adição da bentonita, um argilomineral com alta capacidade de retenção de água, em diferentes proporções na casca de arroz carbonizada e fibra de coco. O experimento foi realizado em laboratório, na Universidade Federal do Paraná, por meio do delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial (3x5), sendo três condicionadores (bentonita granulada, bentonita em pó e vermiculita) e cinco proporções do condicionador (0; 12,5; 25; 37,5; 50% v:v), totalizando 15 tratamentos, para cada substrato. As misturas foram avaliadas quanto ao diâmetro médio geométrico (DMG), densidade úmida (Da), densidade aparente (Da), porosidade total (PT), espaço de aeração (EA), água facilmente disponível (AFD), água tamponante (AT), água disponível (AD) e água remanescente (AR). A adição de bentonita, em substrato, alterou a distribuição do tamanho de partículas, densidade e a caracterização físico-hídrica. Para CAC, a adição de Bg, Bp e Ve aumentou a DMG, Du, Da, PT, AT e AR, em determinada faixa de proporção, enquanto o EA foi reduzido. Enquanto para FC, a Bg, Bp e Ve provocaram decréscimos na Da, PT, EA, AT e AD, para adições acima de 25% de proporção. A Bp, Bg e Ve modificaram a caracterização física dos substratos, promovendo aumento da porosidade total e diminuição do espaço de aeração de CAC, enquanto proporções menores são indicadas para FC, que já apresenta alta porosidade total de água.

Palavras-chave: Água disponível. Fibra de coco. Meio de crescimento. Casca de Arroz. Porosidade Total

## 2.2 ABSTRACT

The substrate serves as the growth medium for seedlings of ornamental, vegetable, forest, and fruit plants. It is desirable for the substrate to possess all the necessary physical-hydraulic characteristics for plant development, in addition to providing nutrients. The use of substrates derived from agricultural and municipal waste or by-products has been increasing; however, not every component is suitable to become a substrate. Substrates can be defined as a medium for seedling development, but when they do not meet all the requirements for proper development, the addition of conditioners becomes necessary. Thus, this study aims to investigate the physico-hydraulic changes resulting from the addition of bentonite, a clay mineral with high water retention capacity, in different proportions to carbonized rice husk and coconut fiber. The experiment was conducted in the laboratory at the Federal University of Paraná, using a completely randomized design in a factorial arrangement (3x5), with three conditioners (granulated bentonite, powdered bentonite, and vermiculite) and five conditioner proportions (0; 12.5; 25; 37.5; 50% v:v), totaling 15 treatments for each substrate. The mixtures were evaluated for geometric mean diameter (GMD), wet density (Wd), dry density (Dd), total porosity (TP), air space (AS), easily available water (EAW), buffering capacity (BC), available water (AW), and remaining water (RW). The addition of bentonite to the substrate altered particle size distribution, density, and physico-hydraulic characterization. For carbonized rice husk, the addition of granulated bentonite (Bg), powdered bentonite (Bp), and vermiculite (Ve) increased GMD, Wd, Dd, TP, BC, and RW within a certain proportion range, while AS was reduced. For coconut fiber, Bg, Bp, and Ve caused decreases in Dd, TP, AS, BC, and AW for additions above 25% proportion. Bp, Bg, and Ve modified the physical characteristics of the substrates, promoting an increase in total porosity and a decrease in air space for carbonized rice husk, while lower proportions are indicated for coconut fiber, which already exhibits high total porosity.

Keywords: Available water. Coconut fiber. Growth medium. Rice husk. Total porosity.

### 2.3 INTRODUÇÃO

Um substrato é o meio de crescimento de mudas, de olerícolas, ornamentais, frutíferas e florestais, e de cultivo de plantas em vasos, principalmente as ornamentais (Kholkhal & Benmahioul, 2021; Pascual et al., 2018). Neste contexto, um substrato deve ser um material econômico, de baixa densidade, boa aeração e retenção de água e com adequado fornecimento de nutrientes e que seja capaz de garantir um bom desenvolvimento do sistema radicular das plântulas (Antunes et al., 2021).

Muitas vezes, a matéria-prima principal dos substratos de plantas são resíduos orgânicos ou minerais, de origem agrícola, florestais ou sanitária (Siriprom et al., 2022). Por esta razão, a composição desses materiais pode variar amplamente.

O aumento na produção de mudas em substratos levou a busca por materiais alternativos e sustentáveis, sendo necessário que esses sejam de alta qualidade e de custo competitivo (Siriprom et al., 2022), e, principalmente, sejam física e quimicamente caracterizados. Existem inúmeros substratos comerciais no mercado, porém muitos não apresentam eficiência comprovada ou detalhamento de suas propriedades, principalmente quanto a retenção de água, e a proporção das misturas de sua composição.

Por conta das suas propriedades favoráveis, a turfa é o substrato mais comum usado na produção de mudas, porém esforços são realizados para a substituição do mesmo por outros componentes, principalmente por esta matéria-prima ser um recurso natural não renovável e sua extração gerar um grande impacto ambiental (Błońska et al., 2022; Pascual et al., 2018). Entre os substratos mais utilizados, podemos citar o uso da casca carbonizada de arroz (da Silva et al., 2020), a casca de pinus (Paradelo et al., 2019) e a fibra de coco (Lin et al., 2023), porém eles não podem suprir todas as propriedades necessárias para o adequado desenvolvimento de mudas.

Dessa forma, a adição de condicionadores no substrato se torna essencial. Um condicionador é um material que tem por finalidade melhorar as propriedades deficitárias de um substrato. Alguns exemplos de condicionadores de substrato que são utilizados são: a vermiculita (da Silva et al., 2020) e a perlita (Meng et al., 2018), para elevar a retenção de água; o húmus de minhoca (Antunes et al., 2021), para elevar a disponibilidade de nutrientes e a retenção de água; o biocarvão (Moreno et al., 2021), para elevar a aeração. Também, existem condicionadores de origem sintética, como a poliacrilamida, popularmente conhecida como hidrogel, que apresenta custo elevado (Ma et al., 2023).

A bentonita é uma argila constituída, principalmente, de montmorilonita, independente de sua forma de origem (Grim & Guven, 2011). Este argilomineral faz parte do grupo das esmectitas, uma família de argilas com propriedades semelhantes (Pandey, 2017). Ela pode ser classificada como cálcica ou sódica (ou policatiônica) e possui uma capacidade física muito particular: a expansão do seu volume por várias vezes, quando em contato com a água (A. B. da Luz & Oliveira, 2008). A bentonita é amplamente utilizada em diversos itens e procedimentos modernos, como indústria farmacêutica, de cosméticos (Pandey, 2017), indústrias de fundição, agente ligante na metalurgia, produção de pelotas de minério de ferro, como adsorvente e em óleos lubrificantes (Starý et al., 2021).

A grande variedade de utilizações da bentonita pode ser creditada por conta de suas características físico-químicas, pequeno tamanho de partículas, alta porosidade, alta superfície de área e alta capacidade de troca de cátions (Ahmaruzzaman, 2008; Doulia et al., 2009). Internacionalmente, a bentonita está sendo usada para melhorar as propriedades físicas dos solos (Mi et al., 2020), e devido às suas características tem potencial de uso como um condicionador de substrato.

Dentre as características já conhecidas da bentonita como condicionador em solos áridos, pode-se citar a melhoria na capacidade de troca de cátions (Czaban & Siebielec, 2013), na manutenção dos macro e micro nutrientes (Semalulu et al., 2017), na diminuição de perdas de água por percolação e aumento da retenção e disponibilidade de água (Abd El-Hady & Eldardiry, 2016). Entretanto, informações sobre o uso de bentonita como um condicionador de substratos é escassa, sendo encontrado apenas o estudo de Paradelo et al., (2019).

Face ao exposto, a hipótese deste estudo é que a bentonita é capaz de melhorar as propriedades físicas de substratos, principalmente com baixa retenção de água, podendo ser um condicionador alternativo à vermiculita. Deste modo, o objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade da adição de bentonita, de duas naturezas físicas (em pó ou granulada) em matérias primas de substratos comerciais (casca de arroz carbonizada e fibra de coco), em comparação com a vermiculita. Nossa proposta é desenvolver uma tecnologia para aplicação da bentonita na formulação de substratos comerciais.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.4.1 Localização e condução do estudo

As análises foram realizadas no Laboratório de Irrigação, Saneamento e Hidráulica Agrícola (LISHA), do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, no Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizado no município de Curitiba, Paraná.

### 2.4.2 Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com os tratamentos em arranjo fatorial (3 x 5), com três repetições, para cada matéria prima individual. Assim, os tratamentos foram três condicionadores de substrato (bentonita granulada, bentonita em pó e vermiculita), associados as cinco proporções do condicionador (0; 12,5; 25; 37,5; 50), totalizando 15 unidades experimentais, com três repetições. Os testes de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) e Bartlett (Bartlett, 1937) foram utilizados para a verificação das pressuposições de normalidade dos resíduos e homoscedasticidade, respectivamente.

Em casos de interações significativas, foram utilizadas análises de desdobramento. O teste Tukey (Tukey, 1959) foi aplicado para comparações múltiplas, entre os condicionadores, e a regressão polinomial, para as concentrações dos condicionadores. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R, versão 4.2.2 (R Core Team, 2022).

### 2.4.3 Formulação das misturas de substrato+condicionador

Localmente, foram adquiridas matérias-primas puras de substratos comerciais: casca de arroz carbonizada (CAC) e fibra de coco (FC) conjuntamente, foi feita a aquisição de vermiculita expandida (Ve), um produto comercial devidamente registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, como condicionador de substrato de plantas. Se optou pelo uso de materiais puros para entender melhor suas características, visto que substratos comerciais normalmente são compostos de uma mistura de materiais diversos.

A bentonita utilizada nas naturezas físicas em pó (Bp) ou granulada (Bg), foi cedida pela empresa T-Minas Bentonitas Industriais, que se localiza na cidade de Quatro Barras - PR, com consentimento de que seria objeto de estudo. Recentemente, o produto foi registrado no MAPA como condicionador de solo.

Conforme fabricante, algumas características do produto que merecem destaque quanto seu aspecto são: coloração bege e ausência de cheiro. As propriedades químicas do produto são apresentadas na tabela 1.

TABELA 1 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA FORNECIDA PELA EMPRESA T-MINAS BENTONITAS INDUSTRIAIS.

Parâmetro	Unidade	Medida
Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	mmol/kg	430
pH	-	6,5
SiO <sub>2</sub>	%	64,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	17,00
CaO	%	0,69
MgO	%	1,93
Na <sub>2</sub> O	%	0,83
K <sub>2</sub> O	%	2,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	5,30
TiO <sub>3</sub>	%	0,83

A partir desses materiais, foram formulados 30 substratos, isto é, os tratamentos avaliados considerando: as duas matérias primas principais (CAC ou FC) × os três condicionadores (Ve, Bp ou Bg) em cinco concentrações (0; 12,5; 25; 37,5 e 50% da mistura). Todas as misturas foram feitas considerando a relação volume:volume de matéria prima e substrato.

#### 2.4.4 Caracterização granulométrica dos substratos

A distribuição das partículas nas misturas, em diferentes classes de tamanho foram avaliadas submetendo-se as amostras à vibração vertical em um agitador mecânico de bancada, com potência máxima, adaptando-se a metodologia de separação de agregados de solo a seco (Kemper & Rosenau, 2018). O processo durou 15 minutos, para cada amostra, com posterior pesagem da massa retida em cada peneira, considerando as aberturas de malha de 8; 4; 2; 1; 0,5 mm.

Considerando as massas secas retidas em cada peneira e o diâmetro médio do intervalo entre as aberturas de malha, calculou-se o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) (Equação 1) das amostras, conforme realizados para agregados do solo (Kemper & Rosenau, 2018).

$$DMG = \exp \left[ \frac{\sum_{i=1}^n w_i \log x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] \quad (1)$$

Em que:  $w_i$  = peso de agregados (g) dentro de uma classe de agregados de diâmetro médio  $x_i$ .

#### 2.4.5 Densidade úmida e seca

A determinação da densidade úmida ( $D_u$ ), pelo método da autocompactação, foi realizada conforme a metodologia descrita na Instrução Normativa nº 17/2007 (MAPA, 2007). Para essa determinação, uma proveta plástica de 500 mL, foi preenchida com o substrato na umidade atual, até a marca de 300 mL. Em seguida, a proveta foi deixada cair, sob a ação de sua própria massa, de uma altura de 10cm, por dez vezes consecutivas. Com o auxílio de uma espátula nivelou-se a superfície e leu-se o volume final (mL) após autocompactação. Em seguida, aferiu-se a massa de substrato adicionado na proveta e foi calculada a  $D_u$  aplicando a equação (2):

$$Densidade \text{ úmida } (kg \ m^{-3}) = \frac{massa \text{ úmida } (g)}{volume \text{ (mL)}} \times 100 \quad (2)$$

A determinação da densidade aparente ( $D_a$ ), ou densidade seca, foi obtida aplicando-se a equação 3:

$$Densidade \text{ aparente } (kg \ m^{-3}) = Densidade \text{ úmida } (kg \ m^{-3}) \times \left( \frac{Umidade \text{ (\%)}}{100} \right) \quad (3)$$

#### 2.4.6 Porosidade, espaço de aeração e disponibilidade de água

A porosidade total, espaço de aeração, capacidade de retenção e água disponível foram realizadas através de curvas de retenção de água nas tensões de 0, -10, -50 e -100 hPa, de acordo com Instrução Normativa nº 17/2007 (MAPA, 2007). Para isso, anéis volumétricos de PVC, de aproximadamente 100 cm<sup>3</sup> foram preenchidos com as misturas, considerando a umidade atual dos substratos e sua densidade aparente.

Após o adequado preenchimento, as amostras foram saturadas pelo processo de ascensão capilar (Klute & Dirksen, 1986), pesadas e submetidas a tensão inicial de -10 hPa. Após a estabilização da amostra na mesa de tensão, foi realizada outra pesagem e a troca do potencial mátrico. Este processo foi realizado para todos os

potenciais mátricos e, ao final, a amostra foi seca em estufa com circulação forçada a 65°C e novamente pesada.

A porosidade total (PT), correspondeu à umidade volumétrica nas amostras saturadas (0 hPa) (Equação 4).

$$PT (\%) = \left( \frac{Massa\ úmida^{(tensão\ 0hpa)} - Massa\ seca}{Volume\ do\ anel} \right) \times 100 \quad (4)$$

O espaço de aeração (EA), foi obtido pela diferença entre a porosidade total e a umidade volumétrica na tensão de -10 hpa (Equação 5):

$$EA (\%) = \left( \frac{Massa\ úmida^{(tensão\ 0hpa)} - Massa\ úmida^{(tensão\ -10hpa)}}{Volume\ do\ anel} \right) \times 100 \quad (5)$$

A água facilmente disponível (AFD), representa o volume de água liberado nas tensões de -10 e -50 hPa (Equação 6):

$$AFD (\%) = \left( \frac{Massa\ úmida^{(tensão\ -10hpa)} - Massa\ úmida^{(tensão\ -50hpa)}}{Volume\ do\ anel} \right) \times 100 \quad (6)$$

Assim, a água tamponante (AT), será o conteúdo de água encontrado nas tensões entre -50 e -100 hPa (Equação 7):

$$AT (\%) = \left( \frac{Massa\ úmida^{(tensão\ -50hpa)} - Massa\ úmida^{(tensão\ -100hpa)}}{Volume\ do\ anel} \right) \times 100 \quad (7)$$

A água disponível (AD), corresponde ao volume de água entre as tensões de -10 e -100 hPa (Equação 8):

$$AD (\%) = \left( \frac{Massa\ úmida^{(tensão\ -10hpa)} - Massa\ úmida^{(tensão\ -100hpa)}}{Volume\ do\ anel} \right) \times 100 \quad (8)$$

Por fim, a água remanescente a 100cm (AR) é o volume de água que permanece na amostra após ser submetida a pressão de sucção de -100hpa (Equação 9):

$$AR (\%) = \left( \frac{Massa\ úmida^{(tensão\ -100hpa)} - Massa\ seca}{Volume\ do\ anel} \right) \times 100 \quad (9)$$

## 2.5 RESULTADOS

### 2.5.1 Diâmetro médio geométrico

A análise de variância revelou efeito significativo dos fatores isolados e da interação entre o tipo de condicionador e sua proporção, para ambas as matérias-

primas principais (CAC e FC, TABELA 2). Dessa forma, analisou-se o efeito dos desdobramentos da interação.

TABELA 2 - QUADRADOS MÉDIOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DMG PARA CAC E FB

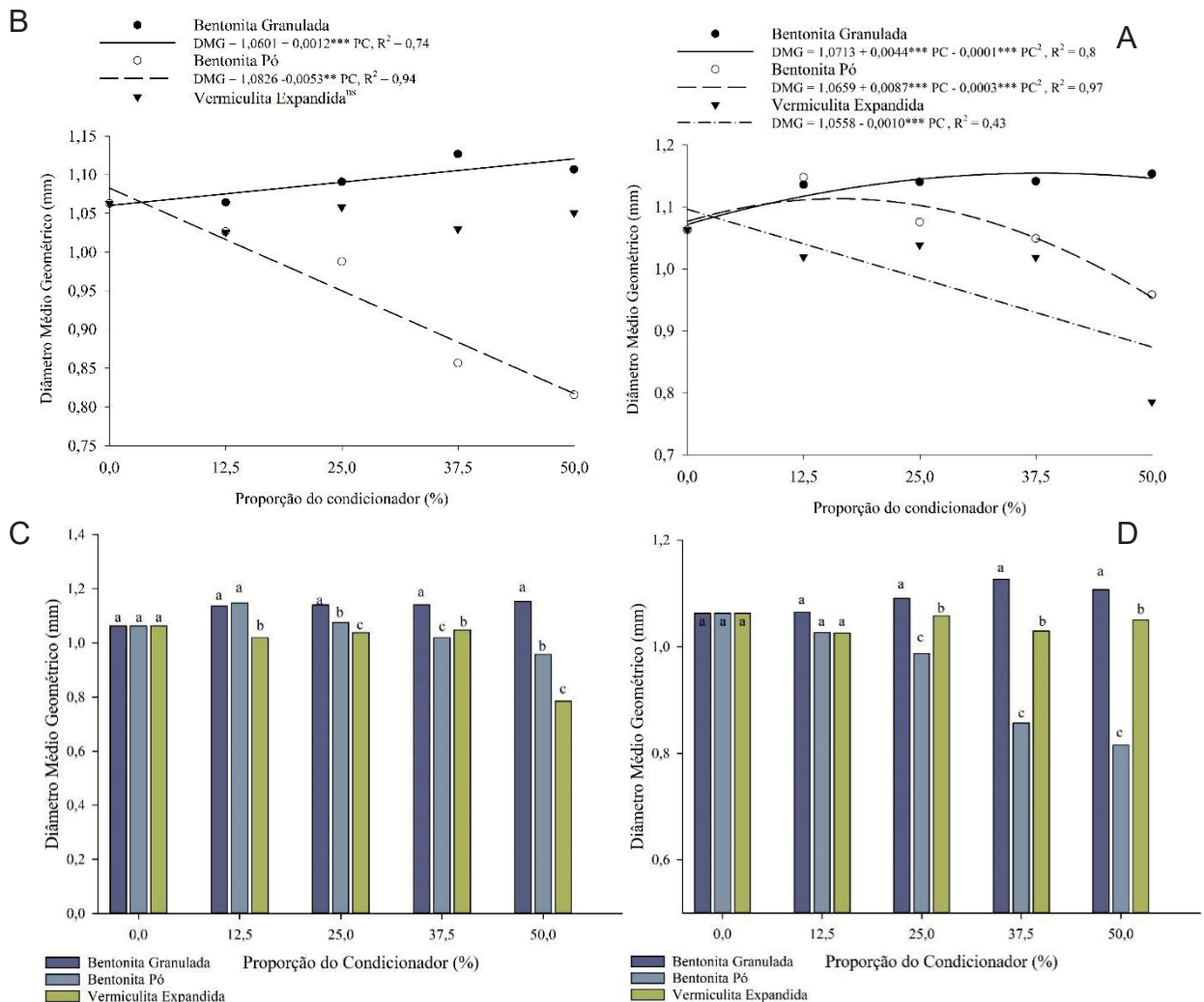
Fontes de variação	GL	Quadrados Médios	
		Casca de Arroz Carbonizada	Fibra de Coco
		DMG	DMG
Condicionador (Cond)	2	0,053005***	0,0077235***
Proporção (Conc)	4	0,0217875***	0,0080275***
Cond x Conc	8	0,02113***	0,01511625***
Resíduo	30	0,000196	0,0004086
CV (%)		1,32	1,97

FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: GL = Graus de liberdade; DMG = Diâmetro médio geométrico; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; FC = Fibra de Coco; CV = Coeficiente de variação; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Para a CAC, a adição de Ve reduziu linearmente o DMG, enquanto ambas as bentonitas apresentaram comportamento quadrático, em que os pontos de máxima foram obtidos nas concentrações de 22 % para Bg e 14,5 % para Bp, ambas com DMG de 1,12 mm (GRÁFICO 1A). Entre as bentonitas, o DMG do substrato altera-se apenas a partir da adição de 25 % do condicionador. A tendência em todas as concentrações iguais ou superiores a 25 % foi redução do DMG com o uso de Bp em relação a Bg. Ainda, exceto na proporção de 37,5 % a adição de Ve não condicionou menor DMG em relação as bentonitas (GRÁFICO 1C).

GRÁFICO 1 - DIÂMETRO MÉDIO GEOMÉTRICO: REGRESSÕES PARA CAC (A), REGRESSÕES PARA FC (B), DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC (C) E DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC (D)



FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: DMG = Diâmetro médio geométrico; PC = Proporção do condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; FC = Fibra de Coco; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Para a FC (GRÁFICO 1B), a mistura com Bp reduziu o DMG em aproximadamente 0,0053 mm para cada litro de condicionador adicionado. Porém, a mistura com Bg resultou no aumento do DMG em 0,0012 mm para cada litro do condicionador adicionado a essa matéria-prima. Já a Ve, não afetou o DMG do substrato quando misturada a FC. Nas concentrações de 25; 37,5 e 50 %, a adição dos condicionadores afetou o DMG do substrato formulado da seguinte maneira: Bg > Ve > Bp. Enquanto, na proporção de 12,5 % a adição dos condicionadores não afetou o DMG do substrato (GRÁFICO 1D).

### 2.5.2 Densidade Úmida e Densidade Aparente

A análise de variância foi significativa para densidade úmida (Du) e densidade aparente (Da) na CAC e FC (TABELA 3), apresentando efeitos isolados e interação entre os fatores de variação. Dessa forma, analisou-se os desdobramentos da interação.

TABELA 3 - QUADRADOS MÉDIOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DU, DA PARA CAC E FB

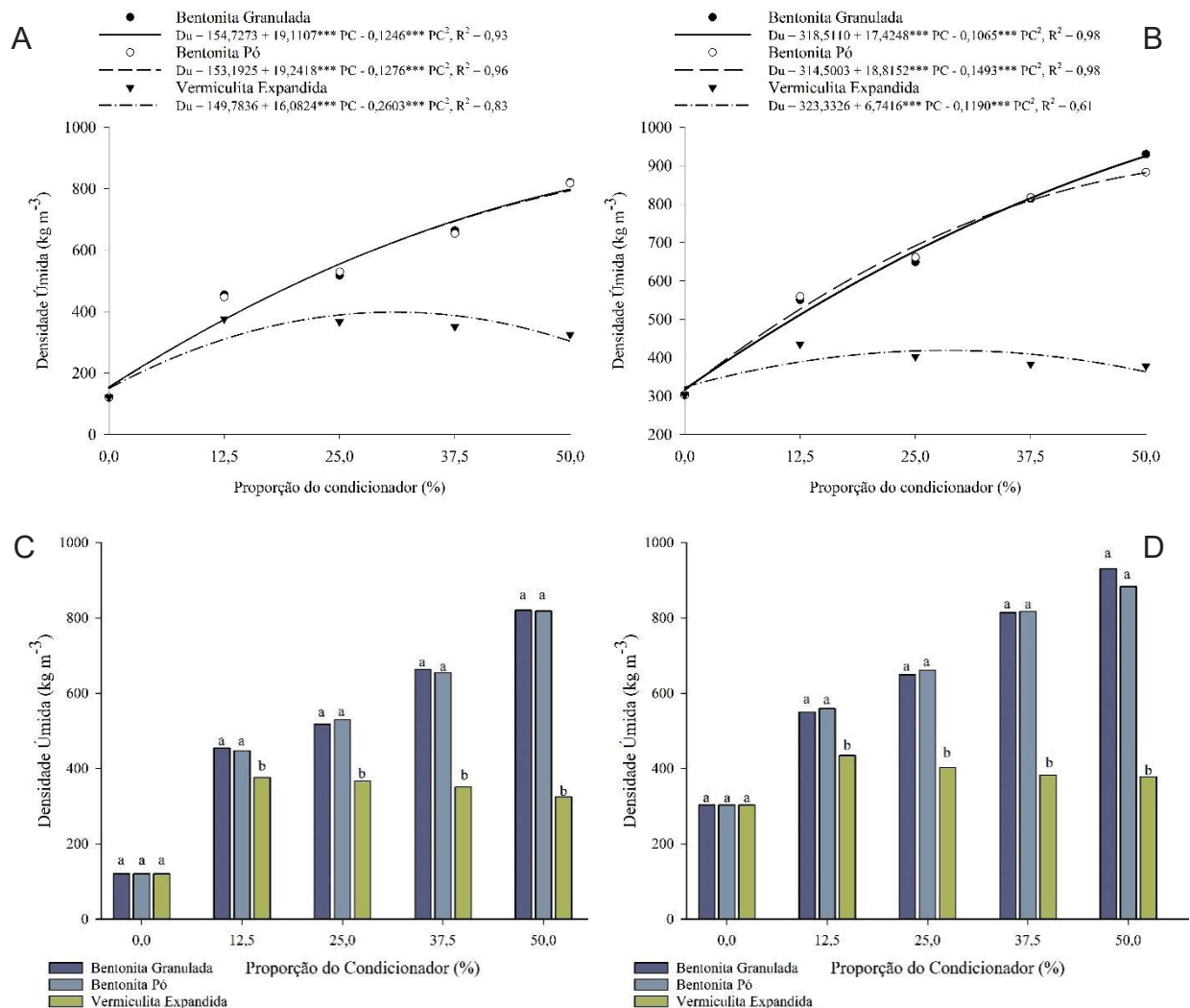
Fontes de variação	GL	Quadrados Médios			
		Casca de Arroz Carbonizada		Fibra de Coco	
		Du	Da	Du	Da
Condicionador (Cond)	2	214864,5***	26991***	362876,5***	33081***
Proporção (Conc)	4	366992,5***	13924,75***	494475***	326944***
Cond x Conc	8	39172***	2443,625***	47315,125***	10343,25***
Resíduo	30	118,3	1	48,06	1,06
CV (%)		2,44	1,36	1,24	0,45

FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: GL = graus de liberdade; Du = densidade úmida; Da = densidade aparente; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; FC = Fibra de Coco; CV = Coeficiente de variação; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

A Bg e a Bg apresentaram efeitos similares para Du independente do substrato utilizado, ajustando-se ao modelo de regressão polinomial quadrático (GRÁFICO 2A E 2B). Em ambos os casos, os pontos de máxima estão localizados na proporção máxima do condicionador (50%). A Ve também se adequou ao modelo quadrático para a Du, tendo seu ponto de máxima na proporção de 30,89% para 398,19 kg m<sup>-3</sup> quando misturada a CAC (GRÁFICO 2A), e 28,326% para 418,81 kg m<sup>-3</sup> junto a FC (GRÁFICO 2B).

GRÁFICO 2 - DENSIDADE ÚMIDA: REGRESSÕES PARA CAC (A), REGRESSÕES PARA FC (B), DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC (C) E DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC (D)



FONTE: O autor (2023).

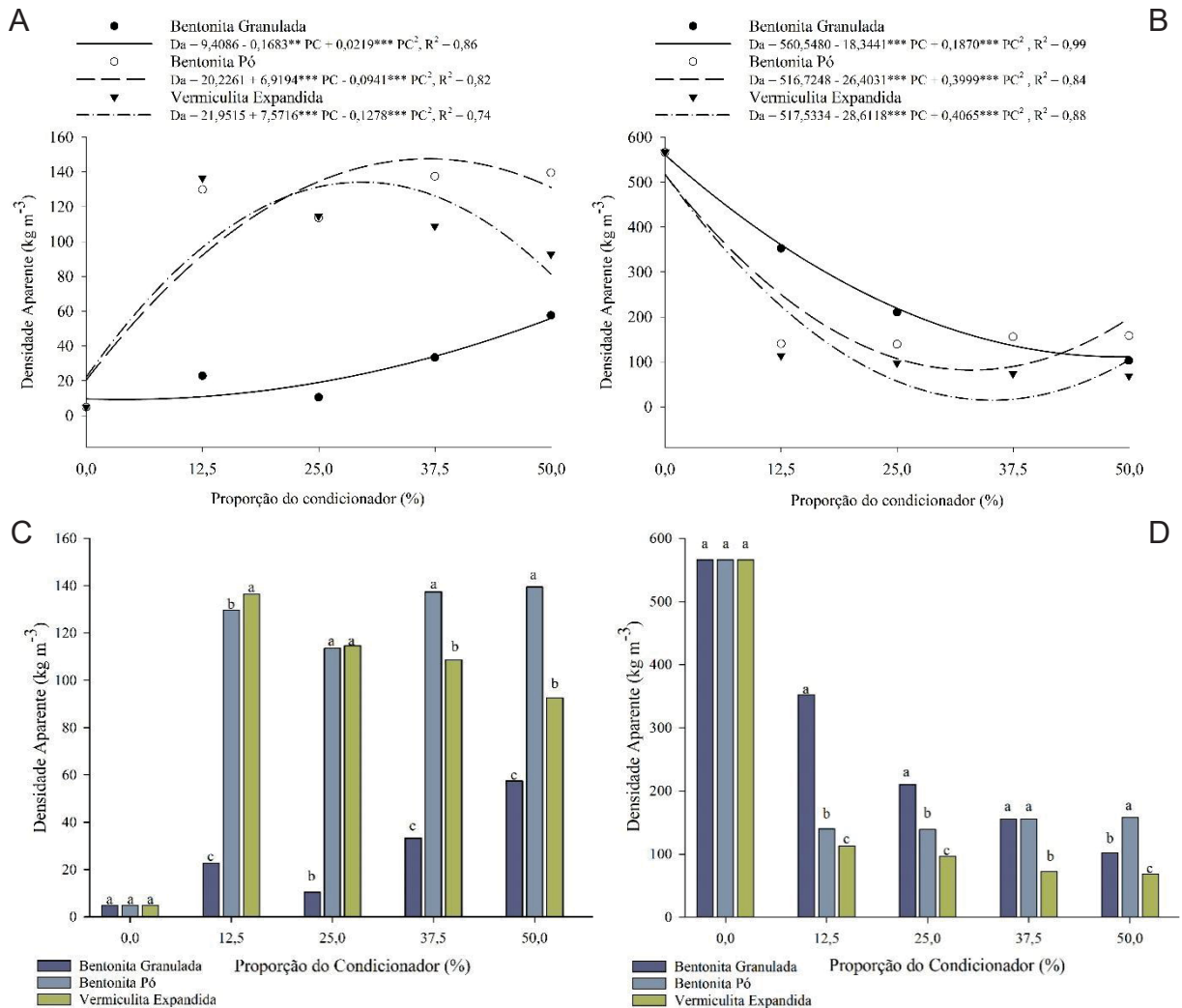
LEGENDA: Du = Densidade úmida; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; FC = Fibra de Coco; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

A Du dos substratos com adição de Ve foi menor em todas as concentrações adicionadas, independente do substrato utilizado, em comparação às bentonitas (GRÁFICO 2C E 2D). Entre as bentonitas, não houve distinção da Du em todas as concentrações adicionadas, em ambos os substratos (GRÁFICO 2C E 2B).

Para a Da, a Bg adequou-se ao modelo de regressão polinomial quadrática em ambos os substratos, sendo seus pontos de mínima nas proporções 3,84 % com 9,08 kg m<sup>-3</sup> para CAC (GRÁFICO 3A), e 49,04% com 110,67 kg m<sup>-3</sup> para FC (GRÁFICO 3B). Os pontos de máxima no substrato CAC foram de 36,76% e 147,43

kg m<sup>-3</sup>, para a Bp, e 29,62% e 134,10 kg m<sup>-3</sup>, para a vermiculita (GRÁFICO 3A). Contudo, o comportamento da Bp e da Ve inverteu-se quando misturadas à FC, resultando em menores Da nas concentrações entre 25 e 37,5% (GRÁFICO 3B).

GRÁFICO 3 - DENSIDADE APARENTE: REGRESSÕES PARA CAC (A), REGRESSÕES PARA FC (B), DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC (C) E DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC (D)



FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: Da = Densidade aparente; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; FC = Fibra de Coco; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

As médias, para Da, da Bg foram inferiores às demais em todas as proporções na CAC e superiores na FC, exceto na Proporção de 50% (GRÁFICO 3C E 3D). A Ve teve maiores valores de densidade aparente nas proporções de 12,5% e 25% para CAC, e menores valores, quando comparado aos outros, em todas as proporções na

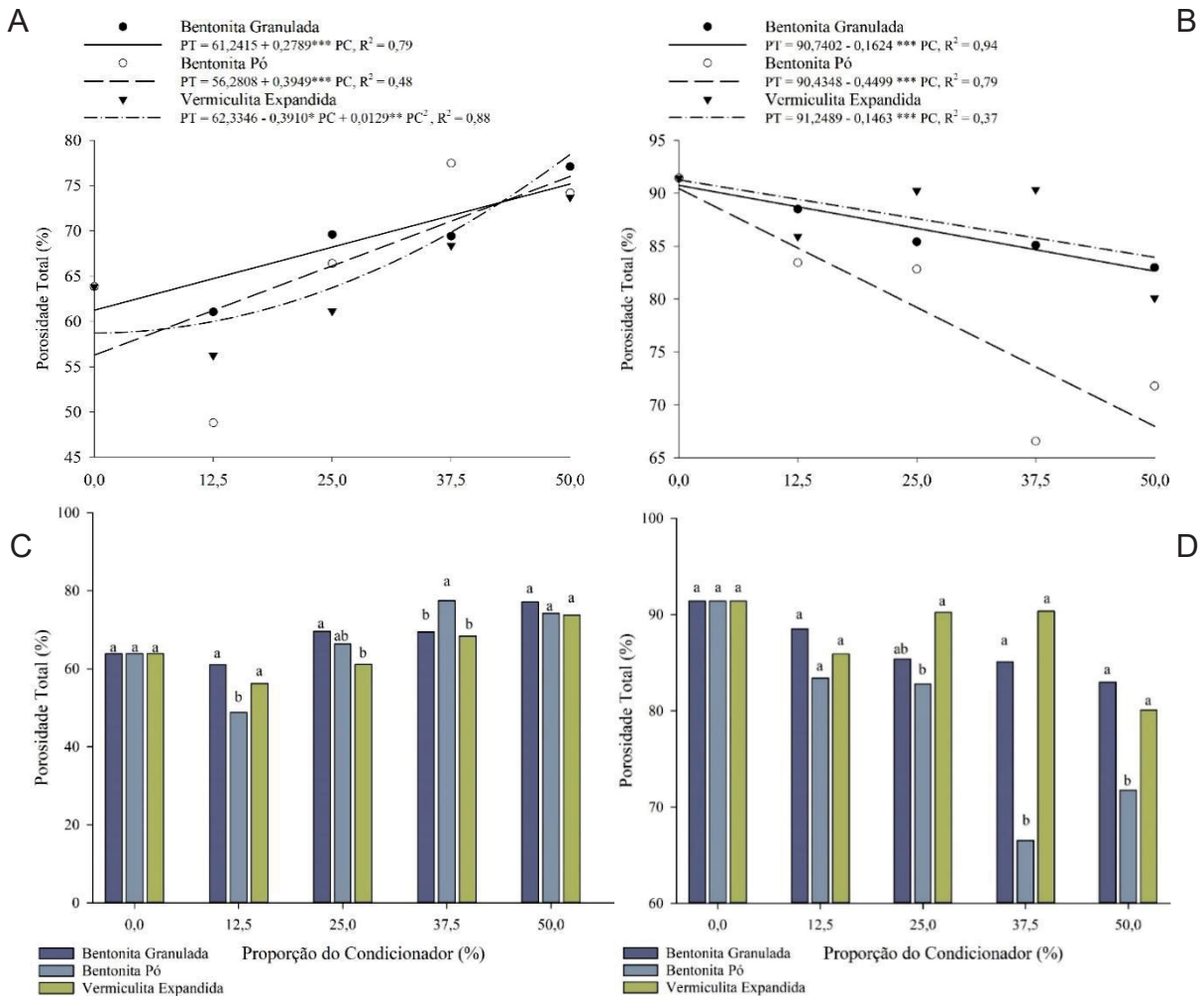
FC. A Bp obteve maiores médias nas proporções de 37,5 e 50% para CAC e FC, quando comparado aos demais.

### 2.5.3 Caracterização físico-hídrica

#### 2.5.3.1 Porosidade total (PT)

A PT dos substratos foi afetada pela adição dos condicionadores, de modos distintos para CAC e FC. A adição dos condicionadores elevou a PT do substrato formulado com CAC como matéria-prima, de modo linear para Bp e Bg, e de modo quadrático para Ve (GRÁFICO 4A). Já, para as formulações tendo como base a FC, a adição dos condicionadores reduziu linearmente a PT, sendo a redução mais expressiva com a mistura de Bp, cerca de  $0,45 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  de PT para cada litro de condicionador adicionado (GRÁFICO 4B). Enquanto o comportamento da PT dos substratos formulados com Bg ou Ve foi similar em todas as concentrações (GRÁFICO 4D).

GRÁFICO 4 - POROSIDADE TOTAL: REGRESSÕES PARA CAC (A), REGRESSÕES PARA FC (B), DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC (C) E DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC (D)



FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: PT = Porosidade total; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; FC = Fibra de Coco; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

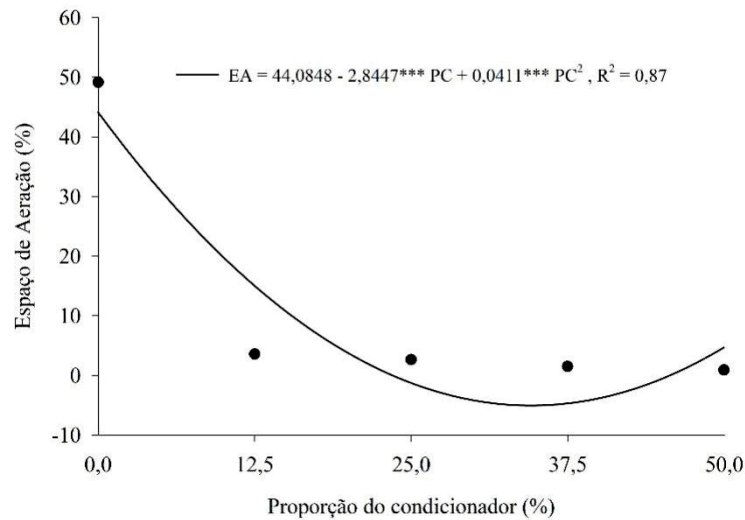
Entre os condicionadores, para CAC a Bg apresentou as maiores médias, exceto na Proporção de 37,5% (GRÁFICO 4C), enquanto na FC a Bg e a Ve obtiveram as maiores médias (GRÁFICO 4D). Na CAC, a Bp só obteve desempenho inferior na proporção de 12,5% (GRÁFICO 4C), entretanto na FC seu desempenho foi inferior em todas as proporções exceto a de 12,5% (GRÁFICO 4D).

### 2.5.3.2 Espaço de Aeração (EA)

O EA foi afetado pela proporção do condicionador de substrato, mas não influenciado pelo tipo de condicionador ou pela interação desses, nas formulações a

base de CAC. Assim, considerando o ajuste polinomial quadrático da regressão (GRÁFICO 5), consegue-se perceber que em sua forma pura, a CAC, tem quase todo seu espaço dedicado ao EA, enquanto as adições de condicionadores de substratos promovem a redução do EA.

GRÁFICO 5 - ESPAÇO DE AERAÇÃO: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC

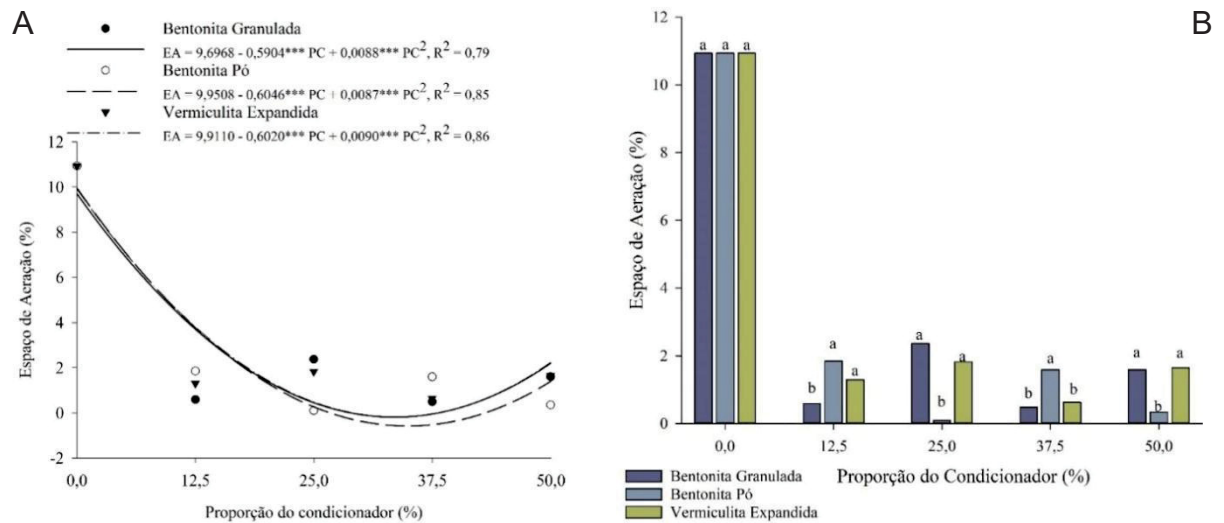


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: EA = Espaço de aeração; PC = Proporção do condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

Para a FC, o EA foi afetado pela interação entre condicionadores e sua proporção na mistura. Todos os condicionadores tiveram comportamento similar, ajustando-se ao modelo quadrático, em que seus pontos de mínima estão entre as concentrações de 25% e 37,5% (GRÁFICO 6A). As diferenças entre as médias (GRÁFICO 6B) reafirmam o alto EA inicial da FC, sendo as médias de Bp maiores nas proporções de 12,5% e 37,5%, Bg nas proporções de 25,5% e 50% e Ve nas proporções de 12,5%, 25% e 50%.

GRÁFICO 6 - ESPAÇO DE AERAÇÃO: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC



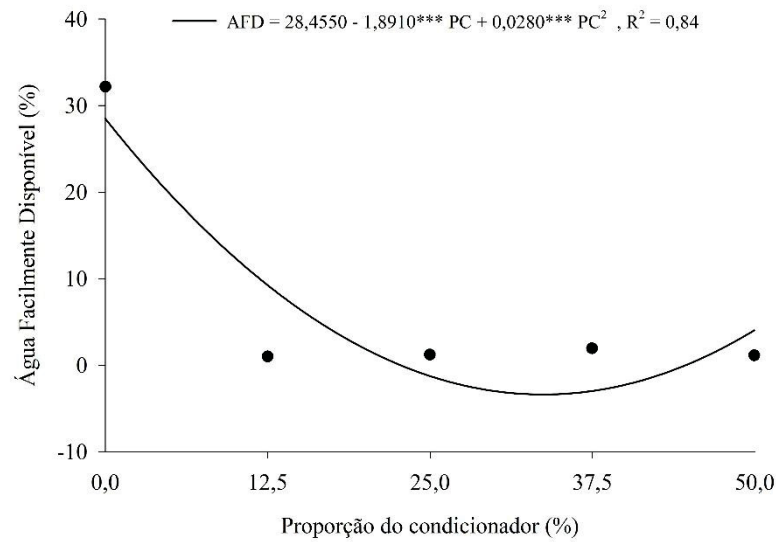
FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: EA = Espaço de aeração; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

### 2.5.3.3 Conteúdos de água facilmente disponível (AFD), tamponante (AT), disponível (AD) e remanescente (AR)

O conteúdo de AFD dos substratos formulados alterou-se apenas para aqueles a base de FC (GRÁFICO 7), devido ao aumento na proporção dos condicionadores, mas independe do tipo de condicionador. A AFD da FC pura, isto é, sem adição de qualquer substrato, foi de aproximadamente 28,5%. Todavia, o efeito reportado foi a redução completa AFD, com a proporção de 22,65%. E, a partir de 45% da adição de condicionadores, a AFD elevou-se de zero até aproximadamente 4%, valores que podem ser considerados desprezíveis para o adequado fornecimento de água às plantas.

GRÁFICO 7 - ÁGUA FACILMENTE DISPONÍVEL: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC

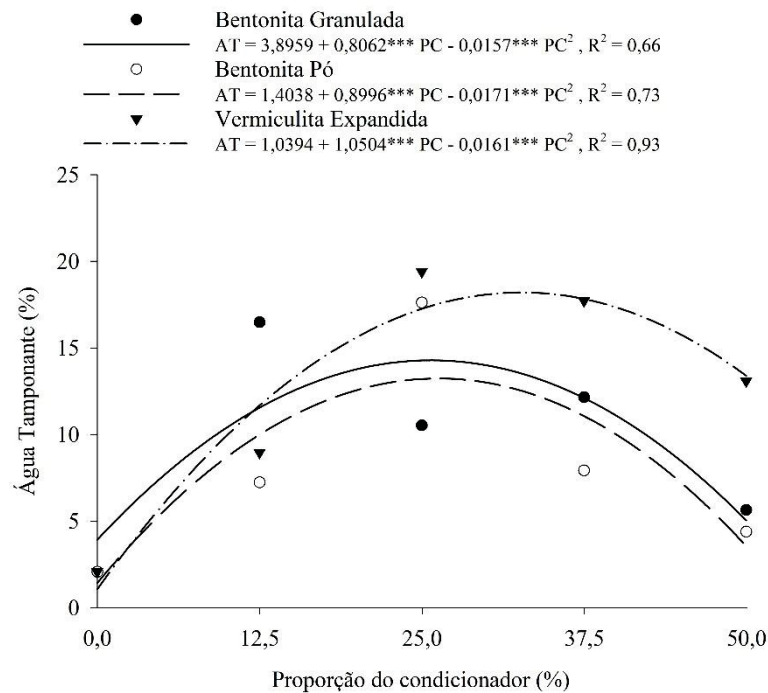


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AFD = Água facilmente disponível; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

Os condicionadores de substrato adequaram-se ao modelo polinomial quadrático de regressão para AT na CAC (GRÁFICO 8), sendo seus pontos de máxima nas proporções 25,67% (14,24% AT), 26,30% (13,23% AT) e 32,62% (18,17% AT), para Bg, Bp e Ve, respectivamente.

GRÁFICO 8 - ÁGUA TAMPONANTE: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC

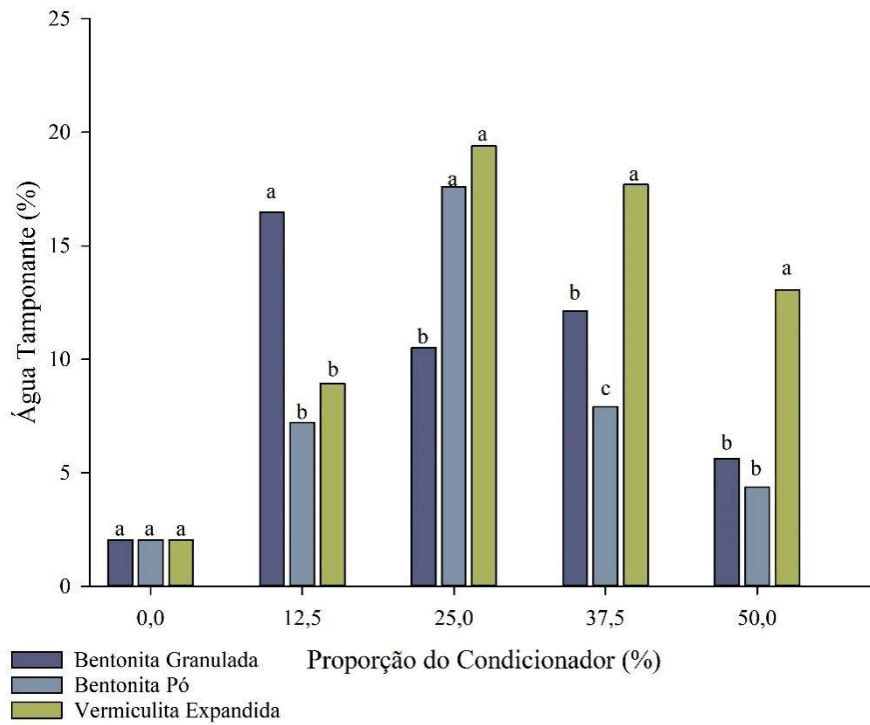


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AT = Água tamponante; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As médias de AT diferiram estatisticamente entre si, para cada proporção de condicionador, exceto o controle (GRÁFICO 9). A Bg demonstrou média superior somente na proporção de 12,5%, enquanto a vermiculita obteve maiores médias nas demais proporções. A Bp obteve os menores resultados de AT, quando comparado aos demais, exceto na proporção de 25%, o que acorda com o ponto de máxima obtido em sua regressão.

GRÁFICO 9 - ÁGUA TAMPONANTE: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC

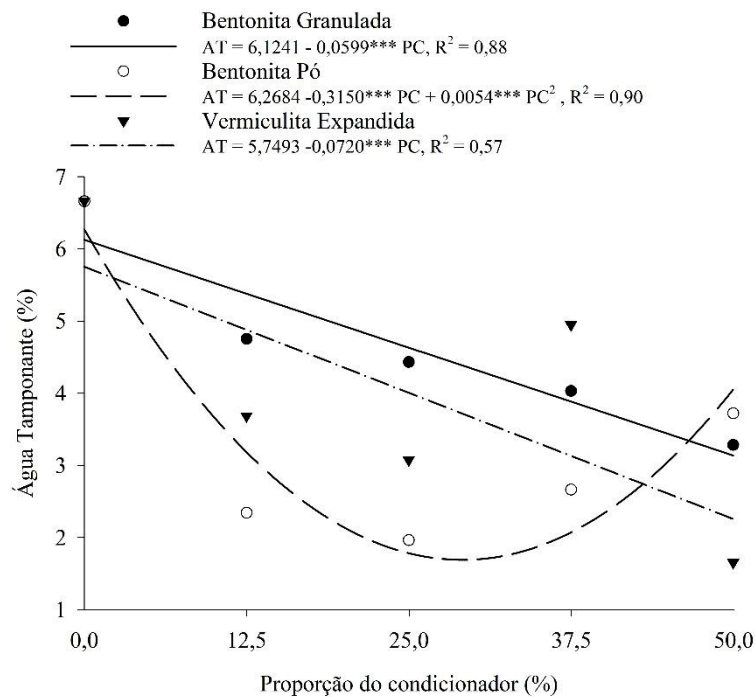


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AT = Água tampicante; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Diferentemente da CAC, a Bg e a Ve adequaram-se ao modelo linear decrescente de regressão para a FC (GRÁFICO 10), dessa forma o aumento dos aditivos gera uma redução na AT. A Bg teve seu ponto de mínima na proporção de 26,16%, o que resulta em uma AT de 1,6%, em que o acréscimo ou decréscimo a partir dessa proporção gera maiores percentuais de AT.

GRÁFICO 10 - ÁGUA TAMPONANTE: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC

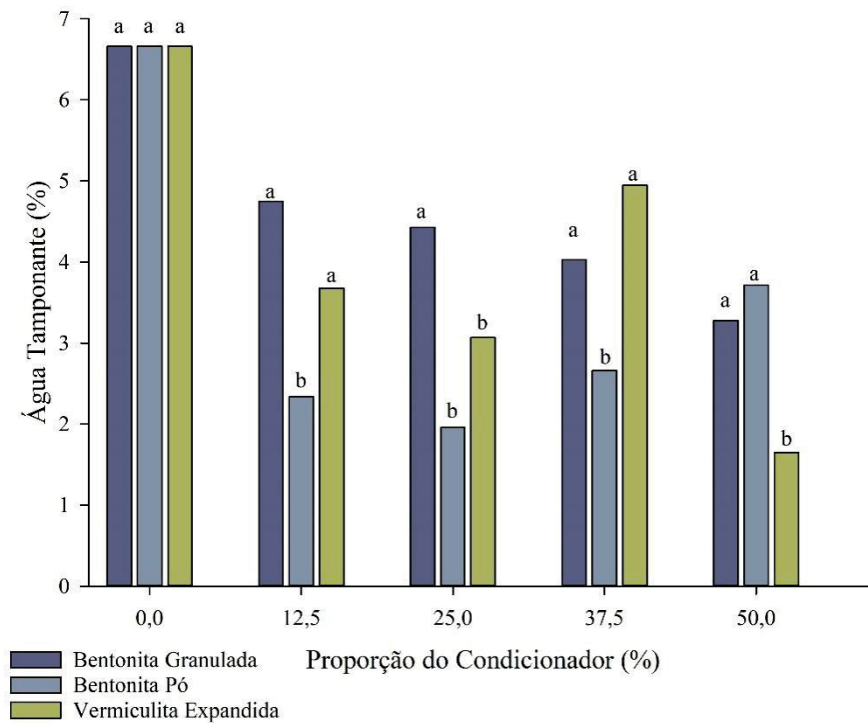


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AT = Água tamponante; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

A Bp foi superior a vermiculita apenas na proporção de 50% (GRÁFICO 11), equiparando-se a bentonita granulada, sendo suas médias inferiores nas demais proporções. A Bg apresentou maiores médias em todas as proporções de condicionador para a FC e a Ve apenas nas proporções de 12,5% e 37,5%.

GRÁFICO 11 - ÁGUA TAMPONANTE: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC

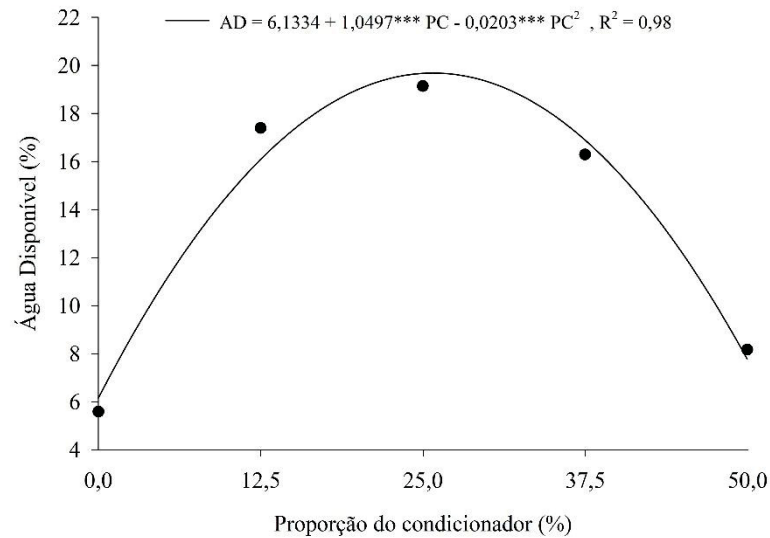


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AT = Água tamponante; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de coco; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Efeitos isolados dos condicionadores e suas proporções foram verificados nos substratos formulados a partir de CAC e FC para a AD. Para as misturas com CAC, a AD seguiu um modelo polinomial quadrático (GRÁFICO 12), independente do condicionador utilizado, sendo seu ponto de máxima na proporção de 25,85%, disponibilizando um total de 19,70% de AD. Este resultado reitera a baixa capacidade de retenção e disponibilidade de água dos substratos a base de CAC, visto que isoladamente, a FC tem um conteúdo de AD de aproximadamente 33,7%.

GRÁFICO 12 - ÁGUA DISPONÍVEL: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC

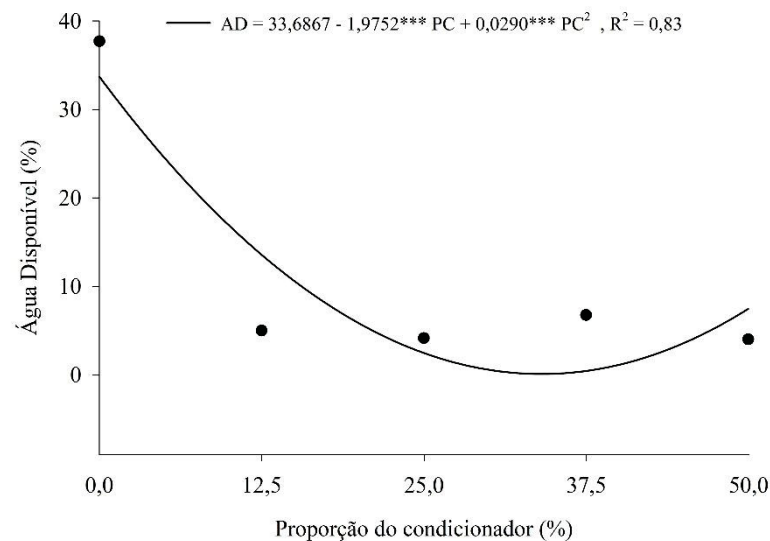


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AD = Água disponível; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

De forma oposta, as proporções de condicionadores de substrato ajustaram-se ao modelo polinomial quadrático de regressão para a AD na FC (GRÁFICO 13), assumindo um valor de mínima para a função na proporção de 34,05%, com percentual de 0,05% de AD para as misturas.

GRÁFICO 13 - ÁGUA DISPONÍVEL: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC



FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AD = Água disponível; PC = proporção do Condicionador; FC = Fibra de coco; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As médias diferiram estatisticamente entre si somente para a FC, onde a Bg apresentou média superior a Bp para AD, enquanto a Ve não diferiu estatisticamente entre os tratamentos (TABELA 4).

TABELA 4 - ÁGUA DISPONÍVEL: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS DE CONDICIONADOR PARA FC

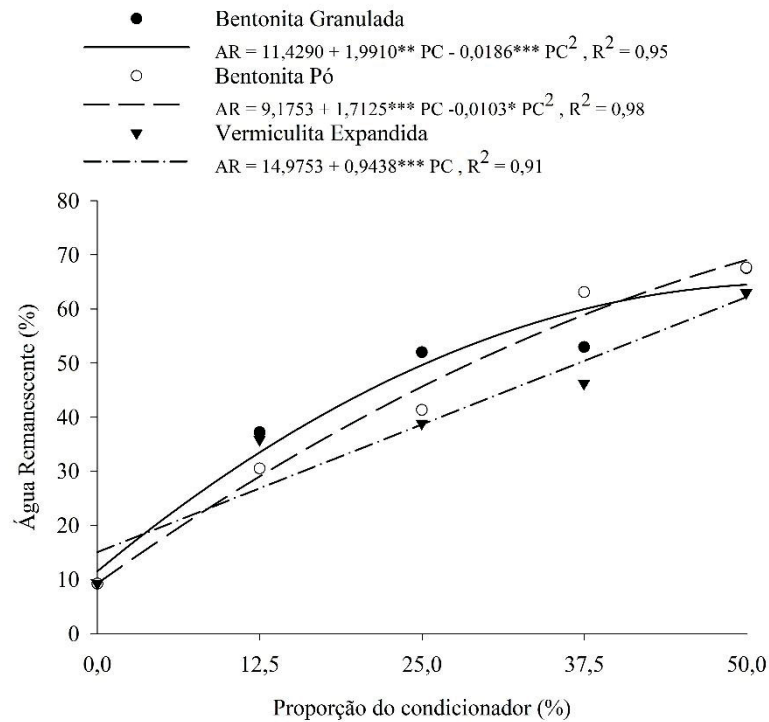
<b>Grupo</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Média</b>
<b>a</b>	Bentonita Granulada	12,89%
<b>ab</b>	Vermiculita	11,18%
<b>b</b>	Bentonita Pó	10,37%

FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: FC = Fibra de Coco; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

A água remanescente (AR), para a CAC, ajustou-se ao modelo polinomial quadrático de regressão para Bg e Bp (GRÁFICO 14), sendo seus pontos de máximo representados pela proporção máxima de 50%, pois a derivação das regressões resultaria em números superiores a 50%, dessa forma, o material deixaria de ser condicionador e passaria a se tornar substrato. A Ve apresentou comportamento linear crescente para as proporções analisadas, aumentando o valor de AR com a adição de mais condicionador de substrato.

GRÁFICO 14 - ÁGUA REMANESCENTE: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC

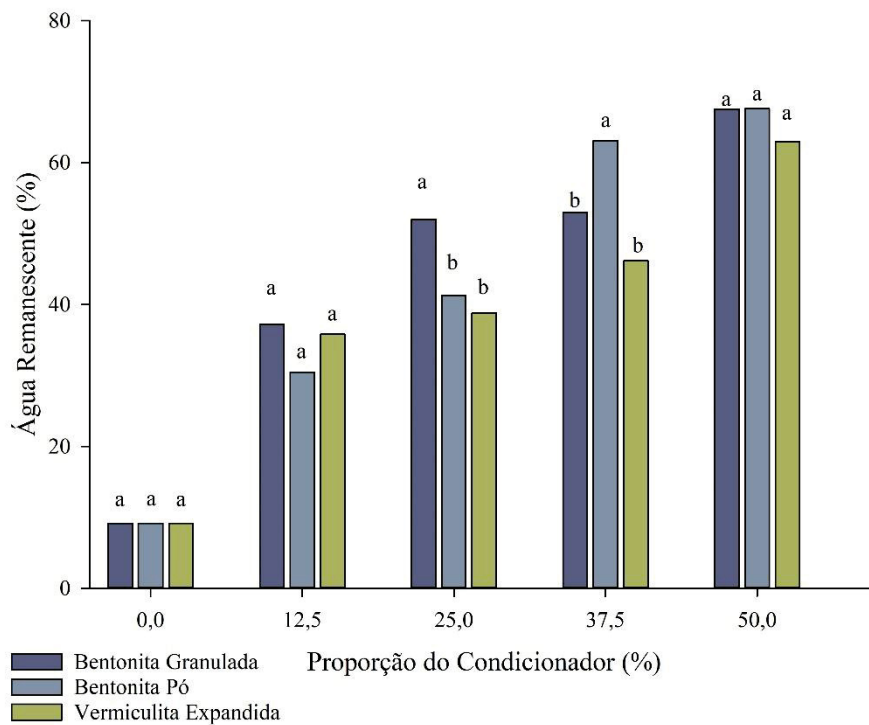


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AR = Água remanescente; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As médias de AR diferiram-se somente nas proporções de 25% e 37,5%, sendo os resultados iguais nas outras proporções (GRÁFICO 15). A bentonita granulada obteve maior AR na proporção de 25%, quando comparada aos demais, enquanto na proporção de 37,5% a bentonita pó obteve resultado superior.

GRÁFICO 15 - ÁGUA REMANESCENTE: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC

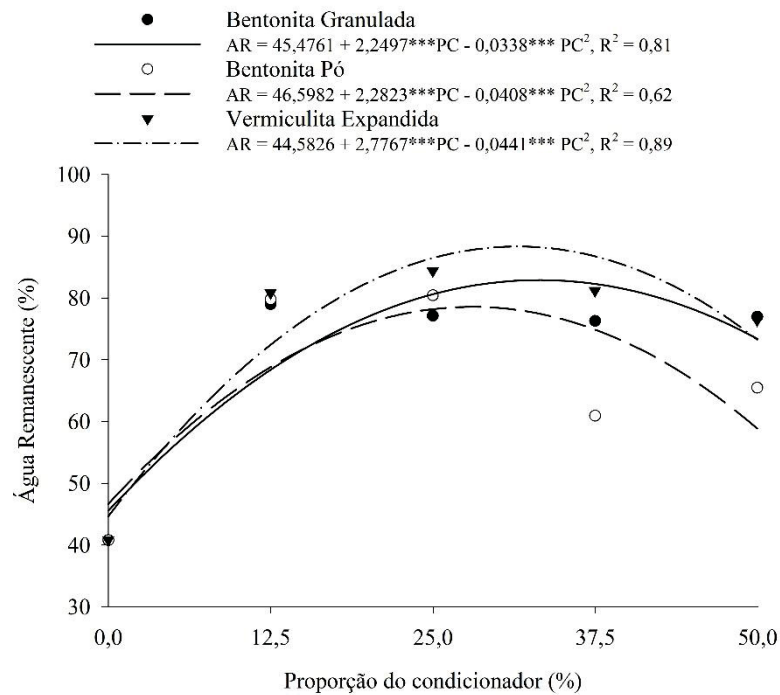


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AR = Água Remanescente; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

O ajuste polinomial quadrático de regressão foi significativo para os três condicionadores de substrato utilizados, para AR em FC (GRÁFICO 16). Os pontos de máxima obtidos pela regressão foram: 82,91% de AR para 33,28% de Bg, 77,15% de AR para 27,96% de Bp e 88,29% de AR para 31,48% de Ve.

GRÁFICO 16 - ÁGUA REMANESCENTE: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC

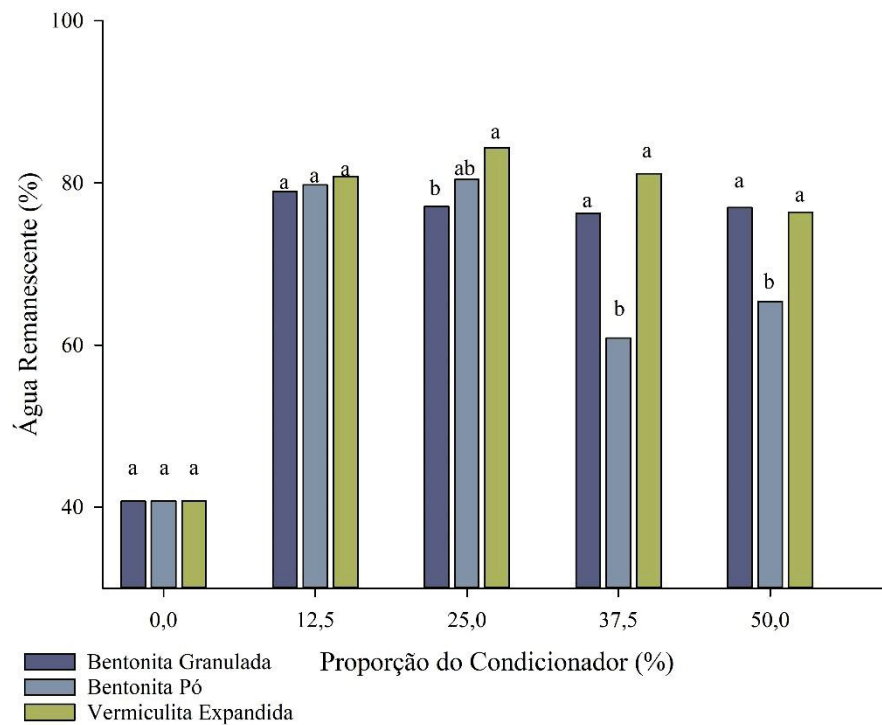


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AR = Água remanescente; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As médias diferiram-se estatisticamente nas doses superiores a 25%, sendo média da Ve diferente da bentonita granulada somente na proporção de 25% e diferente da Bp nas adições de 37,5% e 50% (GRÁFICO 17).

GRÁFICO 17 - ÁGUA REMANESCENTE: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC



FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AR = Água remanescente; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de coco; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

## 2.6 DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que a adição de condicionadores em substratos alterou a distribuição do tamanho de partículas, a densidade úmida e seca e a caracterização físico-hídrica das misturas. A distribuição do tamanho das partículas é uma propriedade física fundamental no entendimento da dinâmica dos substratos, pois ajuda a identificar a porosidade total, as relações físico-hídricas e a textura do material utilizado na produção de mudas (Wallach, 2019).

As misturas de CAC com Bg ou Bp aumentaram o DMG até certa proporção de adição (entre 14,5 % e 22 %), enquanto a adição de Ve diminuiu o DMG para todas as concentrações. Os substratos formulados a partir da FC, por outro lado, aumentaram seu DMG apenas com a adição de Bg, tendo um decréscimo de DMG na adição de Bp e nenhum efeito significativo para a vermiculita expandida.

Essas mudanças acontecem devido a alteração entre a proporção de volume de cada componente, fazendo com que a representatividade geométrica de uma mistura se altere de acordo com as adições realizadas, dentro do mesmo espaço. Em

estudos utilizando lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada e vermiculita, de Silva et al., (2020) constataram que a granulometria dos materiais utilizados se relacionaram com as respostas obtidas na porosidade total, espaço de aeração e água disponível, principalmente por conta do rearranjo das partículas em cada proporção de mistura dentro do mesmo volume.

A densidade é outra característica física relevante na escolha de substratos, pois valores baixos de densidade indicam que o substrato é muito leve e o aumento dessa característica sugere compactação do material com o tempo de cultivo, sendo ela uma razão entre a massa e o volume ocupado. Segundo Wallach (2019), as características de cada componente em uma mistura irão afetar a densidade média final do substrato.

Os acréscimos de bentonita granulada, em pó e vermiculita aos substratos CAC e FC aumentaram a densidade úmida da mistura, sendo maior para ambas as bentonitas do que para a vermiculita. Devido à alta umidade inicial da FC pura, cerca de 150%, a densidade aparente diminuiu de acordo com a adição dos condicionadores aos substratos, que apresentavam menor umidade inicial, se aproximando dos valores encontrados para a CAC que, em sua forma pura, apresentava, também, baixa umidade inicial.

Segundo Gonçalves & Poggiani (1996), a densidade aparente adequada de um substrato deve variar entre 450 a 550 kg m<sup>3</sup> na produção de mudas, dessa forma, somente proporções inferiores a 12,5% de condicionador nas misturas com FC satisfizeram esse parâmetro. A CAC encontra-se na classificação de nível “baixa” para densidade aparente em todas as proporções. Em contrapartida, Siriprom et al. (2022) reportaram que a mistura de 30/70% v:v de casca de arroz e quitosana proporcionou uma densidade de 378 kg m<sup>3</sup>, a qual lhe rendeu seus melhores resultados morfológicos para densidade e absorção de água.

A porosidade total das misturas com CAC aumentou com a adição das argilas, devido a sua alta superfície específica, capaz de ocupar espaços vazios e promover uma melhor agregação das matérias-primas. A utilização de argilas em substratos comerciais confere propriedades que muitas vezes são ausentes, além de possuírem ampla disponibilidade global e baixo custo. Entretanto, o aumento das proporções dos condicionadores diminuiu a porosidade total da FC, principalmente para a adição de bentonita em pó.

Segundo de Boodt & Verdonck, (1972), o valor ideal de porosidade total de substratos de plantas deve ser de 85%, valor alcançado por todos os substratos, independente do condicionador, exceto nas concentrações de 37,5 % e 50 % de bentonita pó, quando misturada a FC. Vale ressaltar que a porosidade total é uma medida que relaciona a massa saturada da amostra (0 hPa) com sua massa seca, e existe uma divergência entre as temperaturas de secagem entre cálculos de porosidade total para solos (105°C) e para substratos (65°C). Dessa forma, os valores de porosidade total podem estar subestimados em proporções com maior dosagem de componentes minerais.

O espaço de aeração (EA) apresentou decréscimo em seus percentuais com o acréscimo dos condicionadores. O EA indica o percentual de água presente entre os potenciais matriciais de 0 e 10 hPa, dessa forma, a adição de Bentonita nos substratos formulados a partir de CAC e FC ocasionaram uma maior retenção de água nas misturas. A maior retenção de água é percebida ao se analisar os conteúdos de água em menores potenciais matriciais (AD, AFD, AT, AR).

O potencial matricial determina a “facilidade” para as raízes das plantas extraírem água dos substratos em que estão semeadas (Or et al., 2005). Práticas de irrigação que tentam evitar o estresse hídrico em produções sem solo, ou seja, em substratos, tentam garantir a manutenção da água em uma faixa de potencial matricial de 0 a -80 hPa (Gohardoust et al., 2020). Gohardoust et al. (2020) ainda afirmam que dependendo do material utilizado na formulação do substrato, essa faixa pode ser reduzida para 0 a 50 hPa.

O acréscimo de bentonita granulada, em pó e vermiculita expandida ocasionou um incremento nos percentuais de água tamponante (AT) para CAC até as concentrações de 25,67%, 26,30 e 32,62%, respectivamente. O mesmo comportamento foi notado para a AD, que denota todo o conteúdo de água presente entre os potenciais matriciais de -10 hPa e -100 hPa, reafirmando a redução do EA.

Dessa forma, a movimentação de água presente nas misturas formuladas com CAC, se confirma ao analisar a AR, que aumenta de acordo com o aumento na adição dos condicionadores. Assim, é possível afirmar que existe, sim, uma alta capacidade de retenção nas combinações de CAC e os condicionadores, porém nem toda a água presente estará disponível para as plantas.

A FC, em sua forma pura apresenta alta porosidade e boas relações na absorção de água entre os potenciais matriciais de 0 a -100 hPa, principalmente por

sua alta capacidade de absorção de água. Ortiz-Delvasto et al. (2023), estudando a produção de mudas de mirtilo em diferentes misturas constataram, também, uma alta capacidade de absorção de água na FC pura, proporcionando melhores resultados quando comparado a mistura de FC com turfa. Porém, vale ressaltar que o alto EA, em sua forma pura, pode ocasionar perdas de água por conta de condições atmosféricas momentâneas ou pelas aberturas presentes nas bandejas de produção de mudas.

Wallach, (2019) afirma que, a umidade do meio só está disponível para a planta quando há um equilíbrio entre o fluxo de água do substrato ao redor da raiz e a taxa de extração de água pela própria planta. Ainda, quando a absorção de água se torna dependente do suprimento de substrato, a água ainda está disponível, mas não totalmente.

A CAC é uma matéria prima de baixo custo e alta disponibilidade da região sul do Brasil, visto que a região produz cerca de 8,93 milhões de tonelada de arroz (Coelho, 2021), com capacidade de incrementar a porosidade dos substratos formulados. Por sua vez, a FC, com capacidade de retenção de nove vezes o seu peso em água, e a vermiculita, com baixa densidade e alta porosidade para retenção de água, tem seu uso reconhecido na produção de mudas hortícolas, florestais ou ornamentais (Pascual et al., 2018). Ainda assim, a bentonita vem sendo estudada quanto as suas características e possibilidades dentro da produção agrícola, para promover melhorias nas características físicas de substratos (Czaban & Siebielec, 2013; Mi et al., 2020, 2021; Paradelo et al., 2019; Semalulu et al., 2017).

Dessa forma, é possível associar grande parte das mudanças que ocorreram entre as misturas não somente devido às características já conhecidas da CAC e da FC, mas também a interação deles com a bentonita (granulada ou em pó) e sua melhoria em relação a vermiculita expandida.

Assim, o estudo e caracterização física de substratos na produção de mudas não só pode ser aplicada para a determinação de proporções de misturas entre materiais orgânicos e inorgânicos, para atender demandas fisiológicas específicas de cada cultura, como também pode ser usado para parametrização de modelos numéricos que simulem a dinâmica de água e nutrientes no crescimento de mudas em bandejas, para auxiliar, principalmente, o planejamento e gerenciamento de projetos. Além de fornecer dados consistentes para futuros trabalhos e ensaios em casa de vegetação, evitando experimentos dispendiosos de tentativa e erro.

## 2.7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir das análises das misturas de substratos com diferentes condicionadores destacam a influência crucial desses elementos na distribuição do tamanho de partículas, na densidade úmida e seca, bem como nas propriedades físico-hídricas das misturas. A interação complexa entre os componentes resulta em mudanças significativas nas características físicas dos substratos, afetando diretamente a porosidade, a retenção de água e o espaço de aeração.

A granulometria das partículas e as proporções de cada componente desempenham um papel fundamental na variação das características físicas das misturas. As adições de condicionadores, como a bentonita e a vermiculita, influenciam a densidade e a capacidade de retenção de água, sendo essenciais para a adequada disponibilidade hídrica para as plantas.

Além disso, a pesquisa demonstra a importância de se encontrar equilíbrio entre a capacidade de retenção de água e a aeração do substrato, considerando as necessidades específicas de cada cultura. O uso de modelos numéricos baseados nas características físicas do substrato pode proporcionar uma abordagem eficiente para a otimização do crescimento de mudas em condições controladas, evitando desperdícios e experimentos dispendiosos.

Em suma, a compreensão detalhada das propriedades físicas dos substratos é vital para aprimorar as práticas de cultivo de mudas em condições de casa de vegetação, permitindo maior eficácia na germinação, crescimento e desenvolvimento das plantas.

## 2.8 REFERÊNCIAS

Abd El-Hady, M., & Eldardiry, E. I. (2016). Effect of different soil conditioners application on some soil characteristics and plant growth.II-soil evaporation and dry-wet cycles. *International Journal of ChemTech Research*, 9(10), 45–49.

Ahmaruzzaman, M. (2008). Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 143(1–2), 48–67. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.07.002>

Antunes, L. F. de S., de Sousa Vaz, A. F., Santos Reis de Andrade da Silva, M., Fernandes Correia, M. E., Ferreira Cruvinel, F., & Peres Martelleto, L. A. (2021). Millicompost: Sustainable substrate for the production of dragon fruit seedlings (*Selenicereus undatus*). *Cleaner Engineering and Technology*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100107>

Bartlett, M. S. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A - Mathematical and Physical Sciences*, 160(901), 268–282. <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>

Błońska, E., Kempf, M., & Lasota, J. (2022). Woody debris as a substrate for the growth of a new generation of forest trees. In *Forest Ecology and Management* (Vol. 525). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120566>

Coêlho, J. D. (2021). Arroz: produção e mercado. *Fotaleza: Banco do Nordeste*, 6.

Czaban, J., & Siebielec, G. (2013). Effects of bentonite on sandy soil chemistry in a long-term plot experiment (II); effect on pH, CEC, and macro- and micronutrients. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(6).

da Silva, M. T., Martinazzo, R., Silva, S. D. A., Bamberg, A. L., Stumpf, L., Fermino, M. H., Kohler, T. W., Matoso, E. S., & Valgas, R. A. (2020). Innovative substrates for sugarcane seedling production: Sewage sludges and rice husk ash in a waste-to-product strategy. *Industrial Crops and Products*, 157, 112812. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112812>

de Boodt, M., & Verdonck, O. (1972). THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE SUBSTRATES IN HORTICULTURE. *Acta Horticulturae*, 26. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1972.26.5>

Douliá, D., Leodopoulos, C., Gimouhopoulos, K., & Rigas, F. (2009). Adsorption of humic acid on acid-activated Greek bentonite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 340(2), 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.07.028>

Gohardoust, M. R., Bar-Tal, A., Effati, M., & Tuller, M. (2020). Characterization of physicochemical and hydraulic properties of organic and mineral soilless culture substrates and mixtures. *Agronomy*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy10091403>

Gonçalves, J. L. de M., & Poggiani, F. (1996). Substratos para produção de mudas florestais. *Congresso latino americano de ciência do solo*, 13, 1996.

Grim, R. E., & Guven, N. (2011). *Bentonites: geology, mineralogy, properties and uses*. Elsevier.

Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (2018). Aggregate stability and size distribution. In *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17>

Kholkhal, D., & Benmahioul, B. (2021). Effects of substrate on the germination and seedling growth of *Quercus suber* L. . *Biodiversity Research and Conservation*, 64(1). <https://doi.org/10.2478/biorc-2021-0008>

Klute, A., & Dirksen, C. (1986). Water retention. Laboratory methods. In *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods, Agronomy Monograph vol. 9 ASA–SSSA*.

Lin, L., Qin, J., Zhang, Y., Yin, J., Guo, G., Khan, M. A., Liu, Y., Liu, Q., Wang, Q., Chang, K., Mašek, O., Wang, J., Hu, S., Ma, W., Li, X., Gouda, S. G., & Huang, Q. (2023). Assessing the suitability of municipal sewage sludge and coconut bran as breeding medium for *Oryza sativa* L. seedlings and developing a standardized substrate. *Journal of Environmental Management*, 344, 118644. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118644>

Luz, A. B. da, & Oliveira, C. H. de. (2008). *Argila-bentonita*. CETEM.

Ma, L., Chai, C., Wu, W., Qi, P., Liu, X., & Hao, J. (2023). Hydrogels as the plant culture substrates: A review. *Carbohydrate Polymers*, 305, 120544. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120544>

MAPA, M. da A. P. e A. (2007). Métodos analíticos oficiais para análise de substratos para plantas e condicionadores de solo. *Instrução Normativa SDA Nº 17.*, 1(99).

Meng, X., Dai, J., Zhang, Y., Wang, X., Zhu, W., Yuan, X., Yuan, H., & Cui, Z. (2018). Composted biogas residue and spent mushroom substrate as a growth medium for tomato and pepper seedlings. *Journal of Environmental Management*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.056>

Mi, J., Gregorich, E. G., Xu, S., McLaughlin, N. B., & Liu, J. (2020). Effect of bentonite as a soil amendment on field water-holding capacity, and millet photosynthesis and grain quality. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75350-9>

Mi, J., Gregorich, E. G., Xu, S., McLaughlin, N. B., Ma, B., & Liu, J. (2021). Changes in soil biochemical properties following application of bentonite as a soil amendment. *European Journal of Soil Biology*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103251>

Moreno, G. R., Fernández, M. E., & Contreras, E. D. (2021). Balanced mixture of biochar and synthetic fertilizer increases seedling quality of *Acacia mangium*. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(6). <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.04.004>

Or, D., Tuller, M., & Wraith, J. M. (2005). Soil water potential. *Encyclopedia of soils in the environment*, 3, 270–277.

Ortiz-Delvasto, N., Garcia-Ibañez, P., Olmos-Ruiz, R., Bárzana, G., & Carvajal, M. (2023). Substrate composition affects growth and physiological parameters of blueberry. *Scientia Horticulturae*, 308, 111528. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111528>

Pandey, S. (2017). A comprehensive review on recent developments in bentonite-based materials used as adsorbents for wastewater treatment. *Journal of Molecular Liquids*, 241, 1091–1113. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.06.115>

Paradelo, R., Basanta, R., & Barral, M. T. (2019). Water-holding capacity and plant growth in compost-based substrates modified with polyacrylamide, guar gum or bentonite. *Scientia Horticulturae*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.046>

Pascual, J. A., Ceglie, F., Tuzel, Y., Koller, M., Koren, A., Hitchings, R., & Tittarelli, F. (2018). Organic substrate for transplant production in organic nurseries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(3), 35. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0508-4>

R Core Team. (2022). R Core Team 2021 R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. <https://www.R-project.org/>. *R Foundation for Statistical Computing*, 2.

Semalulu, O., Elobu, P., Namazzi, S., Kyebugola, S., & Mubiru, D. N. (2017). Higher Cereal and Legume Yields Using Ca-bentonite on Sandy Soils in the Dry Eastern Uganda: Increased Productivity versus Profitability. *Universal Journal of Agricultural Research*, 5(2). <https://doi.org/10.13189/ujar.2017.050209>

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4). <https://doi.org/10.2307/2333709>

Siriprom, W., Teanchai, K., & Chamchoi, N. (2022). The physical properties of substrate cultures: A preliminary characterization. *Materials Today: Proceedings*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.310>

Starý, J., Jirásek, J., Ptíčen, F., Zahradník, J., & Sivek, M. (2021). Review of production, reserves, and processing of clays (including bentonite) in the Czech Republic. *Applied Clay Science*, 205, 106049. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clay.2021.106049>

Tukey, J. W. (1959). A Quick Compact Two Sample Test To Duckworth's Specifications. *Technometrics*, 1(1). <https://doi.org/10.1080/00401706.1959.10489847>

Wallach, R. (2019). Chapter 3 - Physical Characteristics of Soilless Media. In M. Raviv, J. H. Lieth, & A. Bar-Tal (Orgs.), *Soilless Culture (Second Edition)* (Second Edi, p. 33–112). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00003-7>

### 3 CAPÍTULO II: BENTONITA COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE

#### 3.1 RESUMO

O crescimento de plantas é afetado diretamente por fatores abióticos, como falta ou excesso de água, salinidade, variação de temperatura, entre outras. A falta de água é um dos fatores mais limitantes na produção agrícola, principalmente em regiões que apresentam escassez no abastecimento de água. Uma das alternativas nesse caso, é a produção de mudas em espaços protegidos e devidamente irrigados. A produção de mudas vem como forma de contornar as adversidades que as plantas nos estágios iniciais de desenvolvimento, assim a taxa de sobrevivência das mudas em campo aumenta. Uma das formas de contornar a falta de água, é o desenvolvimento de substratos que promovam o aumento da capacidade de retenção de água, porém esse deve apresentar custo reduzido, para não inviabilizar a produção. Mudas produzidas em substratos como CAC e FC são amplamente estudados, porém pouco se sabe sobre a adição do argilomineral bentonita em suas composições. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo estudar a bentonita, que apresenta elevada capacidade de retenção de água, em comparação com a vermiculita, argilomineral usualmente utilizado, na produção de mudas de alface com aplicação de déficit hídrico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial (2x3x5), sendo dois regimes de irrigação (com e sem déficit hídrico), três tipos de condicionadores (vermiculita expandida, bentonita em pó e bentonita granulada) e cinco proporções do condicionador (0; 12,5; 25; 37,5; 50% v:v), totalizando 30 tratamentos, para cada substrato. As mudas foram avaliadas ao trigésimo dia após o plantio, sendo mensurado o índice de velocidade de emergência, altura de plantas, número de folhas, massa fresca e seca de parte aérea, massa fresca e seca de raiz, comprimento radicular, área de superfície radicular e volume radicular. O déficit hídrico foi significativo isoladamente somente para CAC, ocasionando médias menores nas variáveis medidas. A bentonita granulada promoveu os melhores indicadores para a CAC em proporções maiores de 37,5%. A FC apresentou decréscimo em seus índices com o aumento dos condicionadores, sendo ideal valores inferiores a 25% de adição. Portanto, a bentonita tem capacidade de auxiliar o desenvolvimento de mudas de alface, para FC e CAC, porém as proporções de adição devem ser calculadas para obtenção dos melhores parâmetros.

Palavras-chave: Argilomineral. Déficit Hídrico. Retenção de Água. Viveiros. Vermiculita.

### 3.2 ABSTRACT

Plant growth is directly affected by abiotic factors such as water deficiency or excess, salinity, temperature variation, among others. Water scarcity stands out as one of the most limiting factors in agricultural production, particularly in regions with water supply shortages. In such cases, an alternative approach involves cultivating seedlings in protected and adequately irrigated spaces. Seedling production serves to overcome adversities faced by plants in their early developmental stages, thereby enhancing the survival rate of seedlings in the field. Addressing water scarcity involves developing substrates that promote increased water retention capacity, while maintaining cost-effectiveness to avoid rendering production unfeasible. Although substrates like CAC and FC have been extensively studied, little is known about the incorporation of the clay mineral bentonite into their compositions. Therefore, this study aimed to investigate bentonite, known for its high-water retention capacity compared to vermiculite, a commonly used clay mineral, in lettuce seedling production under water deficit conditions. The experimental design employed randomized blocks in a factorial arrangement (2x3x5), comprising two irrigation regimes (with and without water deficit), three types of conditioners (expanded vermiculite, powdered bentonite, and granulated bentonite), and five conditioner proportions (0; 12.5; 25; 37.5; 50% v:v), totaling 30 treatments for each substrate. Seedlings were evaluated on the thirtieth day after planting, measuring emergence speed index, plant height, leaf number, fresh and dry mass of aboveground parts, fresh and dry root mass, root length, root surface area, and root volume. Water deficit significantly affected only the CAC substrate, resulting in lower averages for the measured variables. Granulated bentonite showed the best indicators for CAC at proportions exceeding 37.5%. FC exhibited a decline in its indices with increasing conditioner proportions, with ideal values below 25% addition. Therefore, bentonite has the potential to aid lettuce seedling development for both FC and CAC, but the addition proportions must be calculated to achieve optimal parameters.

Keywords: Clay mineral. Water deficit. Water retention. Nurseries. Vermiculite.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O crescimento de plantas é negativamente afetado por fatores abióticos, como salinidade, estresses hídricos, por déficit ou excesso de água, ou variação de temperatura. A severidade e duração dos estresses abióticos podem ter grande variação (Teklić et al., 2021). Devido aos efeitos gerados pelo aquecimento global, estima-se que o estresse abiótico pode reduzir a produção em campo em até 50% das áreas agricultáveis (Sachdev et al., 2021).

A falta de água é um dos fatores mais limitantes na produção agrícola, principalmente em áreas com escassez (Yavuz et al., 2020), ou para culturas com alta demanda hídrica, como as olerícolas. Embora as secas de baixa intensidade afetem levemente o crescimento das plantas, as secas de intensidade moderada e alta diminuem a taxa de fotossíntese, inibem o crescimento das plantas causando danos morfológicos e fisiológicos e diminuem consideravelmente o rendimento das culturas (Sun et al., 2021). Além disso, a falta de água na zona radicular da planta impede a absorção de nutrientes do solo, o que, por sua vez, causa deficiência na planta (Hosseini et al., 2021).

A produção de mudas e seu transplante para campo traz vantagens na compensação das adversidades meteorológicas, por garantir uma maturidade inicial à planta e potencializar a produção agrícola (Wang et al., 2018). Segundo Wang et al. (2016), sessenta por cento da variedade de vegetais produzidos no mundo são plantadas por meio de transplante de mudas. Assim, a qualidade da muda determina o sucesso do cultivo, pois afeta diretamente a performance em campo e sua produtividade (Yan et al., 2019). Dessa forma, a muda deve ser produzida em substratos que forneçam todas as características necessárias para o seu completo desenvolvimento.

Uma forma de contornar problemas como a falta de água é o desenvolvimento e uso de produtos e materiais com grande capacidade de retenção, seja de água ou de nutrientes (Tomadoni et al., 2020). Outro fator importante que pode limitar a produção de mudas está ligado a aquisição de substratos de alta qualidade a custos que deixam a produção viável (Bugni et al., 2019).

Uma forma de contornar as deficiências presentes em um substrato se dá pela adição de condicionadores de substratos, garantindo assim aumento nas propriedades físicas e químicas do meio em que será produzida a muda, quando o substrato puro não fornece todas as características necessárias.

A bentonita é um argilomineral que já é utilizada como um condicionador do solo, por melhorar propriedades físicas como a retenção de água (Mi et al., 2020). Bentonitas ocorrem na maioria dos lugares no mundo, tendo grandes depósitos localizados na América (Norte, Central e do Sul) (Shwan et al., 2023), viabilizando, assim, seu uso como condicionador de substratos na produção de mudas.

Assim, a hipótese desse trabalho é de que a bentonita, granulada ou em pó, tem capacidade de se tornar um condicionador de substratos na produção de mudas de alface. O objetivo deste trabalho foi avaliar as misturas de substratos com adição de bentonita na produção de mudas de alface e verificar parâmetros fitométricos de desenvolvimento da cultura da alface.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Localização

Os experimentos foram realizados na casa de vegetação do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizado no município de Curitiba, Paraná. O clima da região, de acordo com o Sistema Internacional Koppen (Alvares et al., 2013), é do tipo Cfb (Subtropical úmido) com temperatura média de 17,2 °C.

Durante o período de condução do experimento foram realizadas aferições de temperaturas mínimas, máximas e médias diárias entre o período de déficit hídrico, a fim de identificar a condição da temperatura interior da casa de vegetação, a qual o experimento estava submetido.

#### 3.4.2 Delineamento experimental e condução do experimento

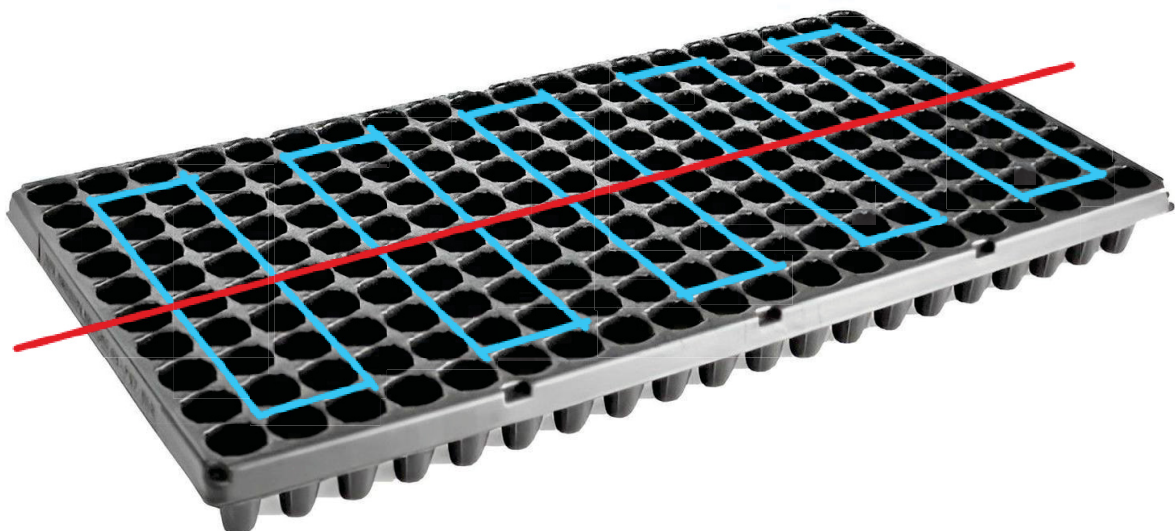
O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com os tratamentos em arranjo fatorial (3 x 5 x 2), com três repetições; Foram testados três condicionadores de substrato (bentonita granulada, bentonita em pó e vermiculita), cinco proporções de condicionador de substrato (0; 12,5; 25; 37,5; 50 % considerando a proporção volume:volume) e a presença ou não de déficit hídrico (3 dias sem irrigação), para duas matérias-primas de substratos, a casca de arroz carbonizada (CAC) e a fibra de coco (FC). Totalizando dois experimentos com 30 unidades experimentais cada. Ressalta-se que a blocagem foi necessária visando minimizar o gradiente de temperatura registrado dentro da casa de vegetação, devido à proximidade da porta

de acesso. E, o detalhamento das propriedades dos materiais são apresentadas no Capítulo 2.

Instalou-se o experimento em bandejas de polietileno de 200 células (em que cada célula tinha volume de  $12,5 \text{ cm}^3$ ). A semeadura foi feita peletizadas de Alface (*Lactuca sativa L.*) do tipo crespa, da marca Sakata, nomeada como Alface Crespa Vanda. Segundo o fabricante, a alface apresenta porte grande, folhas compridas, sistema radicular vigoroso e um ciclo médio total de 55 dias, sendo considerada do tipo precoce.

A bandeja foi dividida em dez partes, de forma que não houvesse contaminação da mistura substrato+condicionador adjacente. Assim, cada unidade experimental foi composta por 20 células e a área útil foram as 8 células centrais. Toda a bandeja foi preenchida com a mistura substrato+condicionador, sendo cinco misturas por bandeja e um total de seis bandejas por bloco (Figura 1).

FIGURA 1 – (A) DIVISÃO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS DENTRO DA BANDEJA, ONDE CADA RETÂNGULO AZUL REPRESENTA UM TRATAMENTO DISTINTO, A DIVISÃO EM VERMELHO NO MEIO SERVE PARA INFORMAR QUE METADE DA BANDEJA IRÁ PASSAR POR DÉFICIT DE IRRIGAÇÃO.



Previamente ao preenchimento das bandejas, os substratos formulados foram adubados com fertilizante NPK de liberação controlada Basacote Plus 3m<sup>®</sup> com formulação 16-8-12+2, sendo o +2 correspondendo a 2,0% de MgO e 5,0% S. A

dosagem do fertilizante foi equivalente a 5 kg de produto comercial para cada 100 L de substrato formulado.

O manejo de irrigação utilizado adequou-se ao descrito por Marouelli & Braga (2016), para irrigações de bandejas. Foram requeridas uma média de duas irrigações diárias, em que a água adicionada era o suficiente apenas para dar início ao escoamento de água na parte inferior das bandejas, sendo essa drenagem inferior a 10% do volume aplicado. As irrigações foram realizadas por meio de um pulverizador manual de 2 L, simulando um sistema de irrigação por microaspersão.

Aos 27 dias após sementeira, cessou-se a irrigação em metade do experimento, conferindo estresse hídrico às plantas, sendo elas avaliadas em sequência aos 30 dias após sementeira. A temperatura média da casa de vegetação, durante o período sem irrigação, variou entre 40°C e 11°C, durante o período mais quente e mais frio, respectivamente. A umidade média registrada variou de 26% a 80%. As leituras foram realizadas por meio de um termo-higrômetro digital, posicionado na bancada onde encontravam-se as bandejas.

### 3.4.3 Avaliações e variáveis analisadas

As avaliações ocorreram em duas fases, sendo a primeira após emergência da primeira plântula e a segunda 30 dias após a sementeira. Na primeira avaliação foram avaliados a velocidade de emergência (VE) (Equação 10) e o índice de velocidade de emergência (IVE) (Equação 11), segundo Maguire (1962):

$$VE = \frac{N_1G_1 + N_2G_2 + (\dots) + N_nG_n}{G_1 + G_2 + (\dots) + G_n} \quad (10)$$

Em que: VE = velocidade de emergência; N = número de dias da sementeira a cada contagem; G = número de plântulas emergidas observadas em cada contagem;

$$IVE = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + (\dots) + \frac{G_n}{N_n} \quad (11)$$

Em que: IVE = índice de velocidade de emergência; N = número de dias da sementeira à 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> ... enésima avaliação; G = número de plântulas normais computadas nas contagens;

Na segunda avaliação, foram mensurados a altura de parte aérea, por meio de medição com régua, e número de folhas, por meio da contagem manual. Em quatro plantas da área útil, foram feitas análises destrutivas de biomassa fresca de parte aérea e radicial e biomassa seca de parte aérea e radicial (48 horas em estufa de ventilação forçada a 65 °C), pesadas em balança analítica de precisão de 0,001g.

As raízes foram avaliadas por meio de scanner e o Software WinRHIZO (Arsenault et al., 1995), antes do processo de secagem em estufa, sendo resultado as variáveis de: comprimento de raiz, superfície aparente, diâmetro médio de raiz e volume de raiz.

#### 3.4.4 Análises estatísticas

Aplicou-se aos dados da avaliação fitométrica e radicial o modelo estatístico de análise de variância de experimentos em blocos aleatorizados, com tratamentos em arranjo fatorial (3 x 5 x 2), com três repetições. As pressuposições de normalidade de resíduos e homoscedasticidade foram verificadas por meio dos testes de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) e Bartlett (Bartlett, 1937), respectivamente.

Em casos de interações significativas, foram utilizadas análises de desdobramento. O teste Tukey (Tukey, 1959) foi aplicado para comparações múltiplas entre os condicionadores e o teste de regressão polinomial, para as concentrações dos condicionadores. O teste F foi suficiente para distinguir os efeitos da presença ou ausência de déficit hídrico. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R, versão 4.2.2 (R Core Team, 2022).

### 3.5 RESULTADOS

#### 3.5.1 Casca carbonizada de arroz

O condicionador bem como a interação desta com as proporções do condicionador afetaram significativamente o índice de velocidade de emergência (IVE), altura de planta (AltP), massa fresca de parte aérea (MFPA), massa seca de parte aérea (MSPA), massa fresca de raízes (MFR), comprimento radicular (CR), área de superfície radicular (ASR) e o volume radicular (VR) (TABELA 5). Entretanto, houve efeitos isolados do estresse hídrico em todas as variáveis, exceto na massa seca de seca de raízes (MSR). Neste caso, para todas as variáveis, o déficit hídrico reduziu o desenvolvimento das mudas, reduzindo sua qualidade.

TABELA 5 - QUADRADOS MÉDIOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA IVE, ALTP, NF, MFPA, MSPA, MFR, MSR, CR, ASR E VR PARA CAC

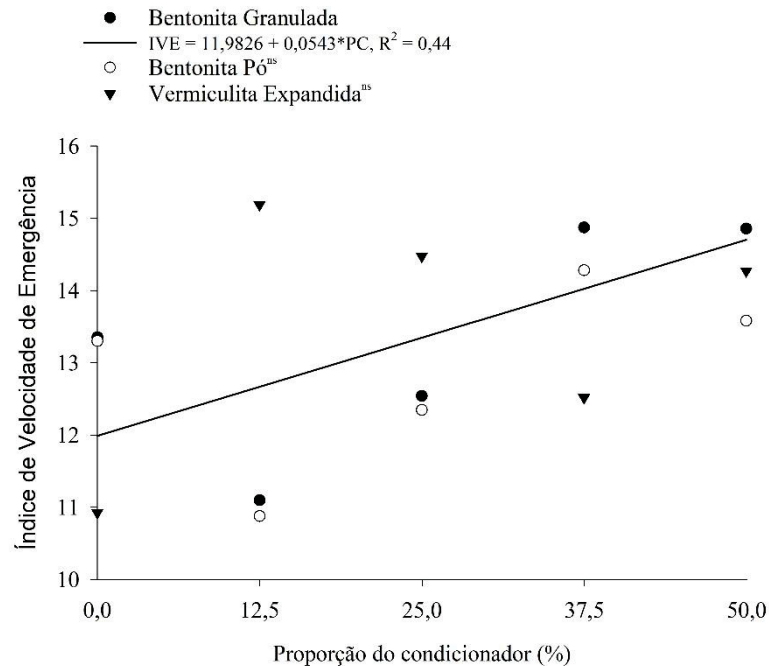
FONTE: O autor (2023).

Fontes de variação	GL	Quadrados médios										
		IVE	AlTP	NF	MFPA	MSPA	MFR	MSR	CR	ASR	VR	
Bloco	2	3,2044 <sup>ns</sup>	4,18255 <sup>ns</sup>	0,04141 <sup>ns</sup>	0,02015 <sup>ns</sup>	0,00049 <sup>ns</sup>	0,00445 <sup>ns</sup>	0,00003 <sup>ns</sup>	388,82497 <sup>ns</sup>	5,01258 <sup>ns</sup>	0,00062 <sup>ns</sup>	
Condicionador	2	1,4803 <sup>ns</sup>	104,48566 <sup>***</sup>	3,93376 <sup>***</sup>	1,61292 <sup>***</sup>	0,00633 <sup>***</sup>	0,21243 <sup>***</sup>	0,00008 <sup>ns</sup>	30958,19238 <sup>***</sup>	531,72159 <sup>***</sup>	0,05967 <sup>***</sup>	
Proporção	4	6,0153 <sup>ns</sup>	23,5269 <sup>***</sup>	0,98259 <sup>*</sup>	0,59652 <sup>***</sup>	0,00222 <sup>***</sup>	0,07038 <sup>***</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>	4125,74652 <sup>***</sup>	113,90968 <sup>***</sup>	0,01895 <sup>***</sup>	
Irrigação	1		25,68897 <sup>***</sup>	2,89803 <sup>**</sup>	0,41044 <sup>***</sup>	0,00189 <sup>**</sup>	0,04185 <sup>**</sup>	0 <sup>ns</sup>	6919,31148 <sup>***</sup>	111,10494 <sup>**</sup>	0,01188 <sup>**</sup>	
Cond*Conc	8	7,9789 <sup>**</sup>	10,0784 <sup>***</sup>	0,47984 <sup>ns</sup>	0,1897 <sup>***</sup>	0,00069 <sup>***</sup>	0,01984 <sup>***</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>	1795,07358 <sup>**</sup>	37,1413 <sup>**</sup>	0,00492 <sup>**</sup>	
Cond*Irrig	2		0,82776 <sup>ns</sup>	0,12234 <sup>ns</sup>	0,03398 <sup>ns</sup>	0,00017 <sup>ns</sup>	0,0072 <sup>ns</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>	637,05574 <sup>ns</sup>	12,11562 <sup>ns</sup>	0,00167 <sup>ns</sup>	
Prop*Irrig	4		1,06857 <sup>ns</sup>	0,15955 <sup>ns</sup>	0,02913 <sup>ns</sup>	0,00008 <sup>ns</sup>	0,00253 <sup>ns</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>	242,14394 <sup>ns</sup>	5,18849 <sup>ns</sup>	0,00103 <sup>ns</sup>	
Cond*Prop*Irrig	8		2,48819 <sup>ns</sup>	0,30632 <sup>ns</sup>	0,01662 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,00276 <sup>ns</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>	372,80174 <sup>ns</sup>	6,9687 <sup>ns</sup>	0,00095 <sup>ns</sup>	
Resíduos	58	2,2194	2,30526	0,28543	0,02883	0,00016	0,00418	0,00001	530,78683	10,29356	0,00146	
CV (%)		11,26	30,27	21,73	38,36	40,37	38,48%	73,54	31,4	33,6	38,23	

LEGENDA: GL = graus de liberdade; IVE = Índice de velocidade de emergência; AlTP = Altura de planta; NF = Número de folhas; MFPA = Massa fresca de parte aérea; MSPA = Massa seca de parte aérea; MFR = Massa fresca de raiz; MSR = Massa seca de raiz; CR = Comprimento radicular; ASR = Área de superfície radicular; VR = Volume radicular; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

O IVE de plântulas de alface aumentou, linearmente, com o aumento da proporção de Bg na formulação dos substratos a base de CAC. Enquanto, a Bp e a Ve não afetaram o IVE (GRÁFICO 18).

GRÁFICO 18 - ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC

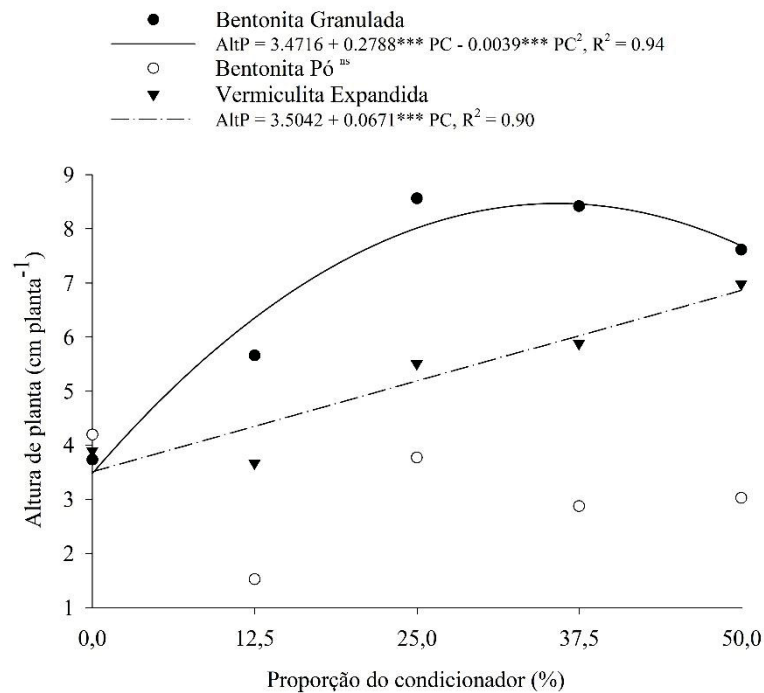


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: IVE = Índice de velocidade de emergência; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

A AltP ajustou-se aos modelos polinomiais quadráticos e lineares crescentes de regressão (GRÁFICO 19). A Bg teve seu ponto de máxima na proporção de 35,74%, com uma altura de 8,45 cm por planta, enquanto o aumento crescente de Ve proporcionou um aumento crescente da altura de planta. Não houve significância de Bp para AltP (GRÁFICO 19).

GRÁFICO 19 - ALTURA DE PLANTA: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC

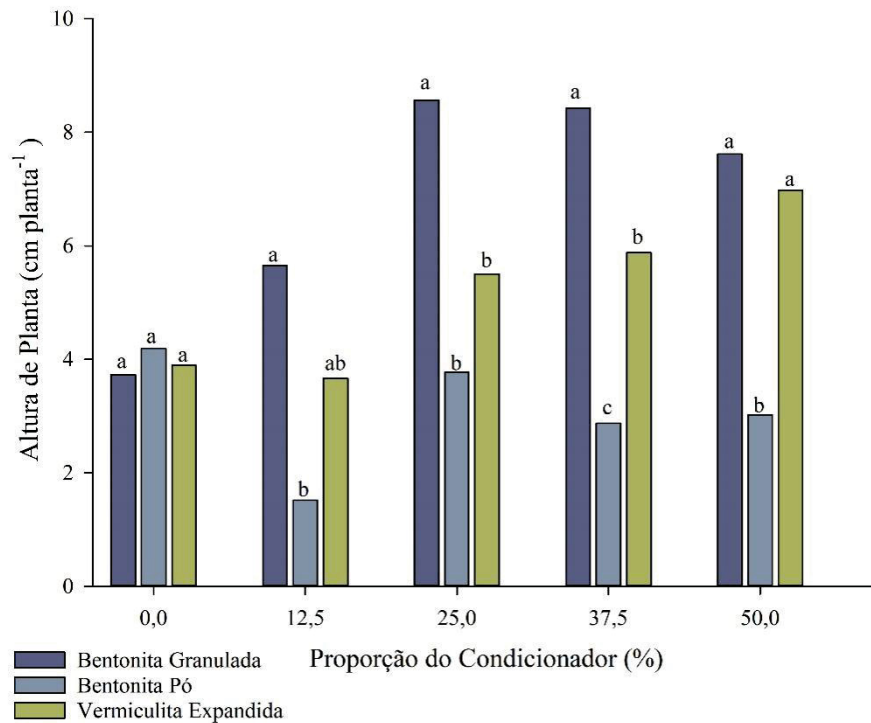


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AltP = Altura de planta; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

A Bg proporcionou as maiores médias de AltP em todas as proporções do condicionador (GRÁFICO 20). A bentonita em pó e a vermiculita apresentaram diferenças médias iguais nas proporções de 12,5 e 25%, porém nas proporções de 37,5 e 50% a vermiculita obteve desempenho superior na AltP (GRÁFICO 20).

GRÁFICO 20 - ALTURA DE PLANTA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC



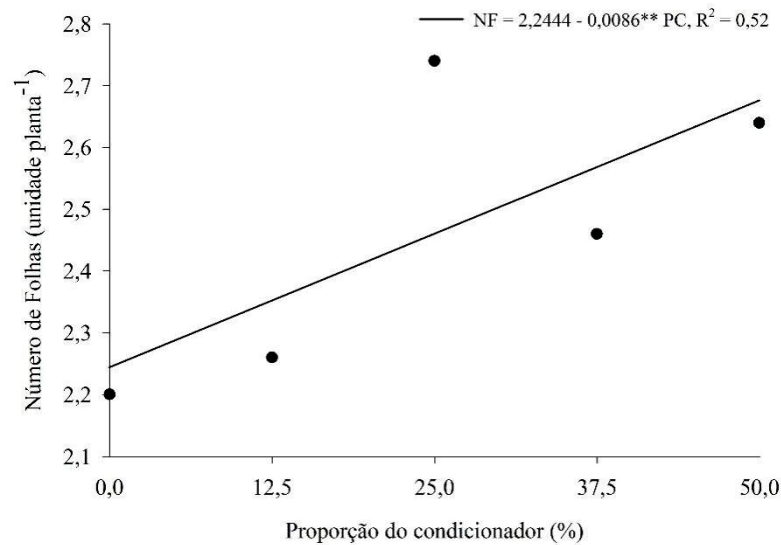
FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AltP = Altura de planta; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

O déficit hídrico apresentou efeito isolado na AltP, independentemente do tipo de condicionador ou proporção do condicionador aplicada, obtendo médias de 5,5 e 4,4 cm planta<sup>-1</sup> para com e sem déficit hídrico, respectivamente.

O NF apresentou efeito isolado para a proporção do condicionador e para as médias de cada condicionador de substrato, não havendo interações entre ambos. O modelo linear crescente de regressão ajustou-se às proporções de condicionador (GRÁFICO 21), onde o acréscimo do condicionador ocasiona um acréscimo no NF.

GRÁFICO 21 - NÚMERO DE FOLHAS: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC



FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: NF = Número de folhas; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As médias para cada condicionador diferiram-se entre si, sendo a maior média obtida pela Bg, enquanto a Ve e a Bp apresentaram desempenho semelhante (TABELA 6).

TABELA 6 - NÚMERO DE FOLHAS: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC

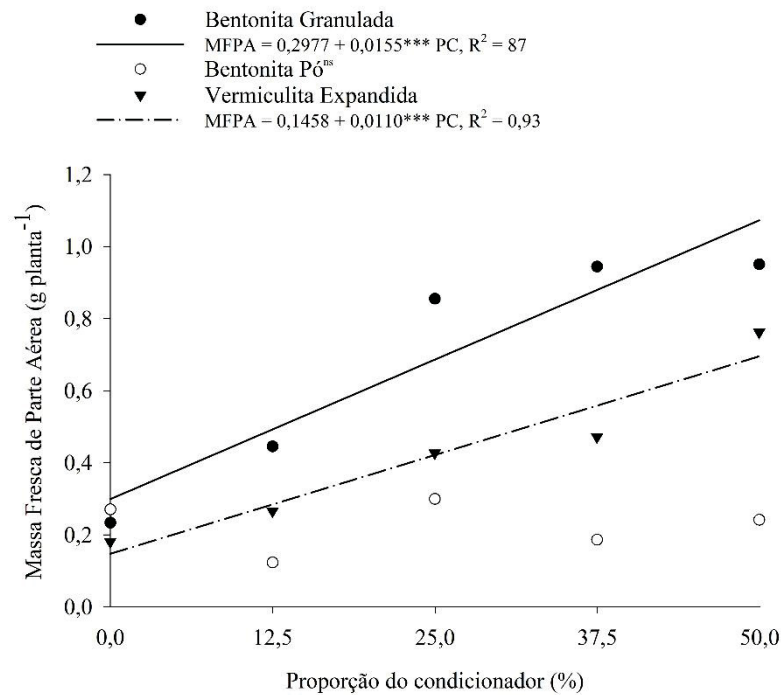
Condicionador	Médias
Bentonita Granulada	2,84 a
Vermiculita Expandida	2,41 b
Bentonita Pó	2,12 b

FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

A MFPA apresentou comportamento linear crescente de regressão para Bg e Ve, ou seja, a adição dos condicionadores provoca o aumento da MFPA (GRÁFICO 22). Os maiores valores obtidos, nas doses de 50%, foram de 0,95 e 0,76 g planta<sup>-1</sup> para Bg e Ve, respectivamente.

GRÁFICO 22 - MASSA FRESCA DE PARTE AÉREA: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC

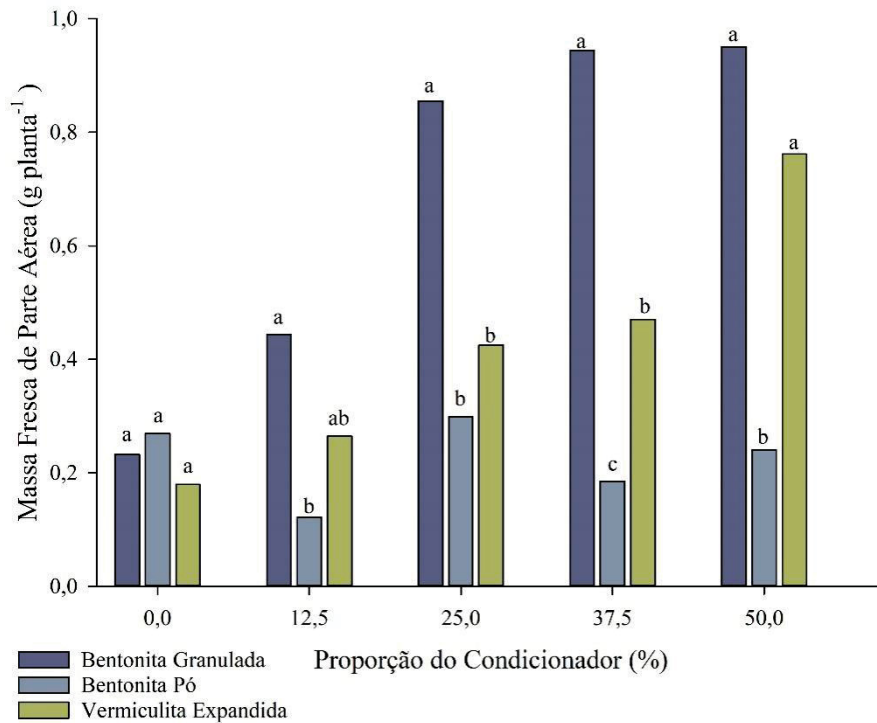


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: MFPA = Massa fresca de parte aérea; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; ns = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As médias de MFPA diferiram-se estatisticamente entre si (FIGURA 23), sendo a Bg a que apresentou maior média em todas as proporções. A Ve e a Bp apresentaram desempenho similar ao obtido na altura de planta, se diferenciando somente nas maiores proporções de condicionador (37,5% e 50%).

GRÁFICO 23 - MASSA FRESCA DE PARTE AÉREA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC

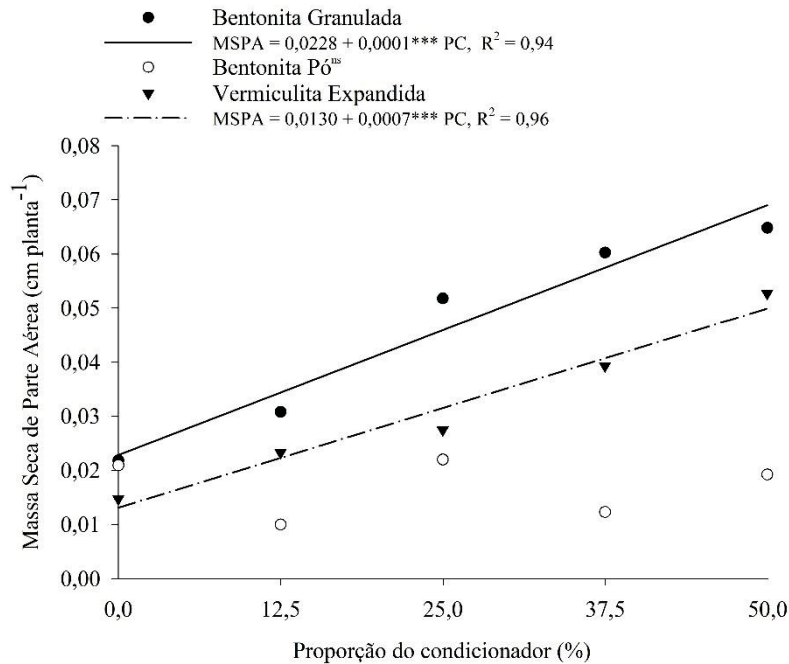


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: MFPA = Massa fresca de parte aérea; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Para a MSPA, a Bp não apresentou diferença significativa, entretanto a Bg e Ve ajustaram-se ao modelo linear crescente (GRÁFICO 24). Desse modo, o aumento na proporção do condicionador provoca o aumento na massa seca de parte aérea, sendo 0,064 e 0,052 g planta<sup>-1</sup> as maiores médias registradas nas proporções de 50% para Bg e Ve, respectivamente.

GRÁFICO 24 - MASSA SECA DE PARTE AÉREA: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC

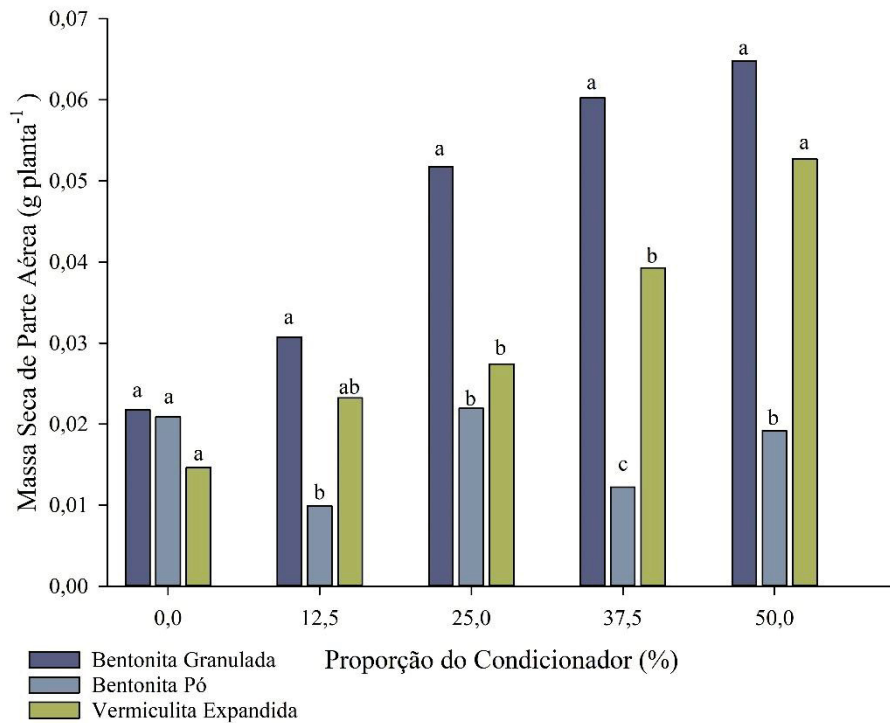


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: MSPA = Massa seca de parte aérea; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As diferenças entre as médias apresentaram o mesmo comportamento da MFPA, sendo os maiores valores de MSPA obtidos pela Bg em todas as proporções de condicionado (GRÁFICO 25). A Ve apresentou desempenho similar a Bp apenas na proporção de 50%. A Bp obteve as menores médias de MFPA, independentemente da quantidade de material presente na mistura.

GRÁFICO 25 - MASSA SECA DE PARTE AÉREA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC



FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: MSPA = Massa seca de parte aérea; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

A MFPA e MSPA tiveram efeitos significativos isolados para o déficit hídrico, sendo as maiores médias registradas no experimento regularmente irrigado (TABELA 7).

TABELA 7 - MFPA E MSPA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS COM E SEM DÉFICIT HÍDRICO PARA CAC

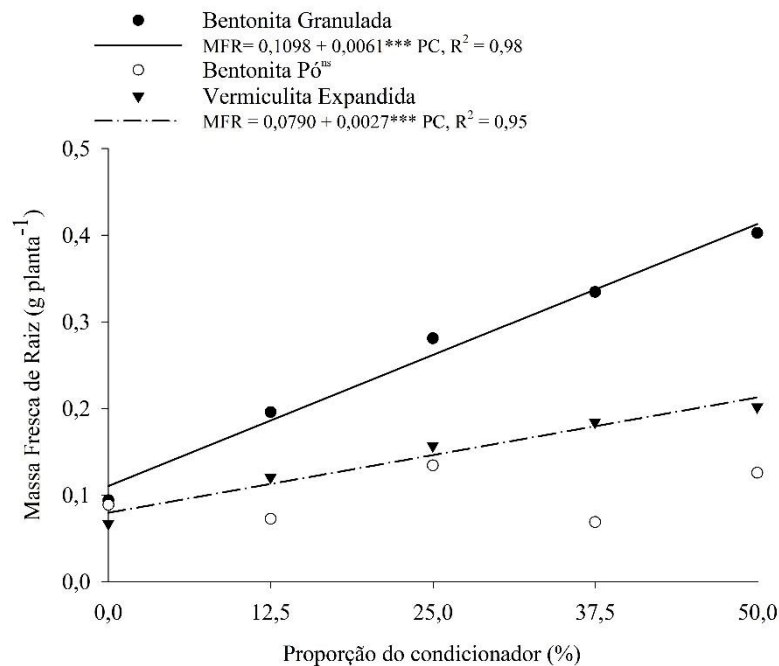
		Massa Fresca de Parte Aérea			Massa Seca de Parte Aérea
Grupo	Tratamento	Média	Grupo	Tratamento	Média
a	Sem déficit hídrico	0,5101	a	Sem déficit hídrico	0,0359
b	Com déficit hídrico	0,3750	b	Com déficit hídrico	0,0267

FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: CAC = Casca de Arroz Carbonizada; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

A Bg e a Ve ajustaram-se ao modelo linear crescente de regressão para MFR (GRÁFICO 26). Assim, o aumento da MFR está condicionado ao aumento dos condicionadores de substrato Bg e Ve. A Bp não apresentou efeitos significativos para as proporções.

GRÁFICO 26 - MASSA FRESCA DE RAIZ: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC

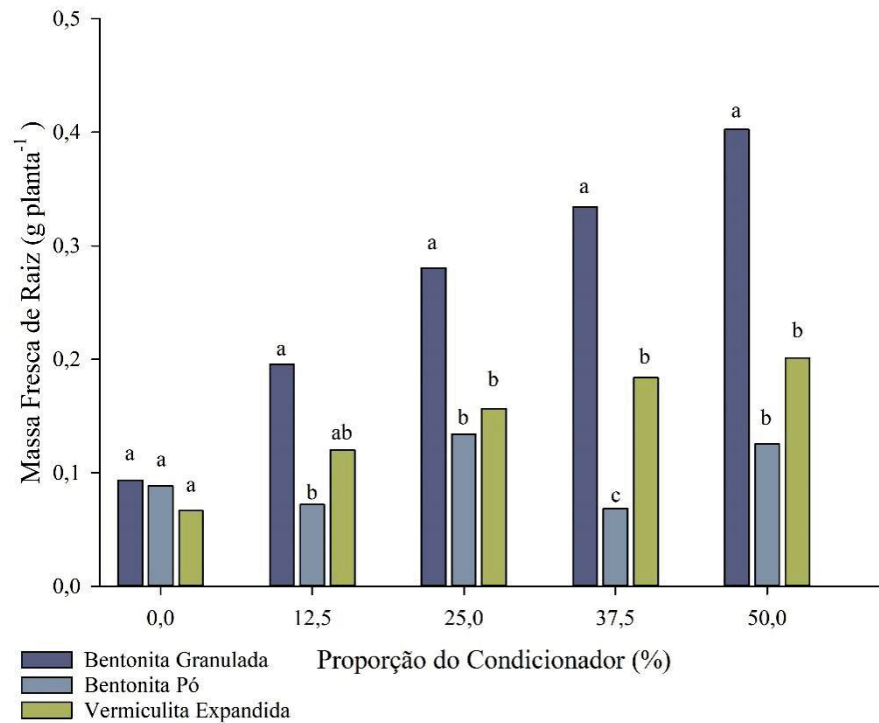


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: MFR = Massa fresca de raiz; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As diferenças entre as médias evidenciam maiores valores para Bg, na MFR, exceto na proporção de 12,5% em que a Ve apresentou igual desempenho (GRÁFICO 27). A Bp obteve as menores médias em todas as proporções de adição, exceto no tratamento controle.

GRÁFICO 27 - MASSA FRESCA DE RAIZ: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC

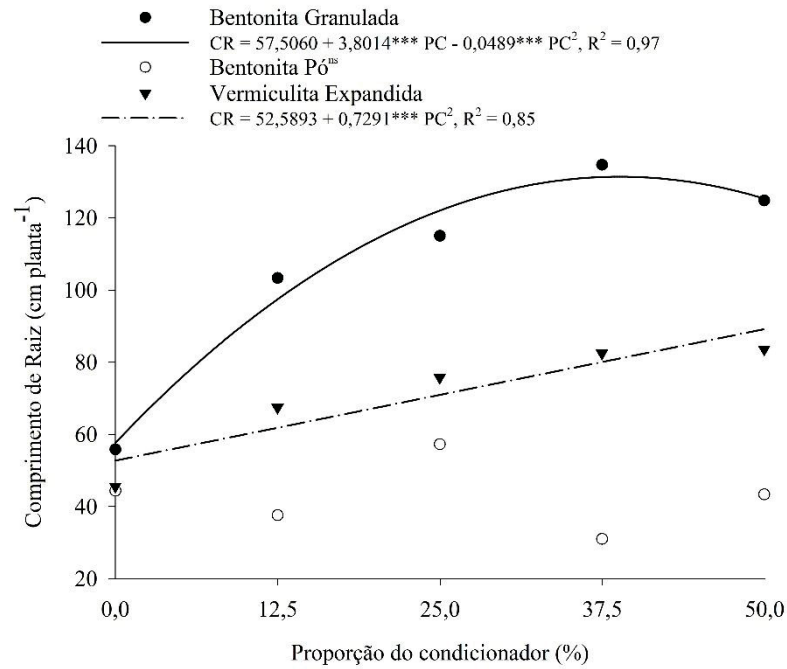


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: MFR = Massa fresca de raiz; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

O CR ajustou-se ao modelo polinomial de regressão quadrática, para as proporções de Bg, e ao modelo linear crescente, para proporções de Ve, não havendo significância para a bentonita em pó (GRÁFICO 28). O ponto de máxima para a regressão da bentonita granulada foi de 38,86%, proporcionando um total de 131,38 cm planta<sup>-1</sup> de CR, enquanto o aumento de Ve ocasiona o aumento do CR, sendo sua maior observação na proporção de 50% com 83,43 cm planta<sup>-1</sup>.

GRÁFICO 28 - COMPRIMENTO DE RAIZ: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC

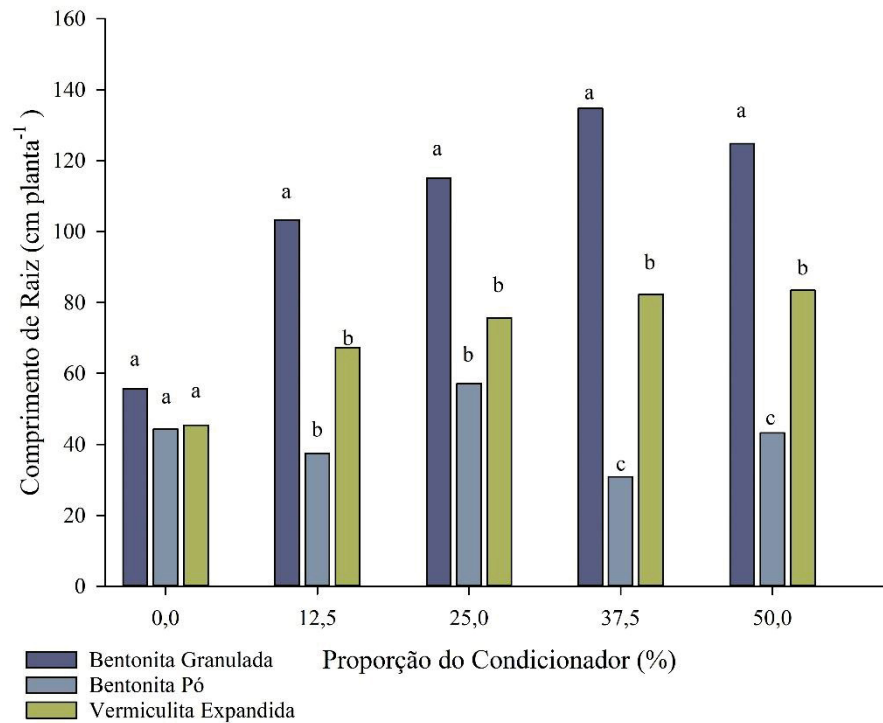


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: CR = Comprimento de raiz; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As médias do CR apresentaram comportamento similar ao MFR, sendo a Bg detentora das maiores médias, independente da proporção analisada (GRÁFICO 29). A Bp se assimilou a Ve nas concentrações de 12,5% e 25%, porém foi inferior nas doses de 37,5% e 50%.

GRÁFICO 29 - COMPRIMENTO DE RAIZ: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC

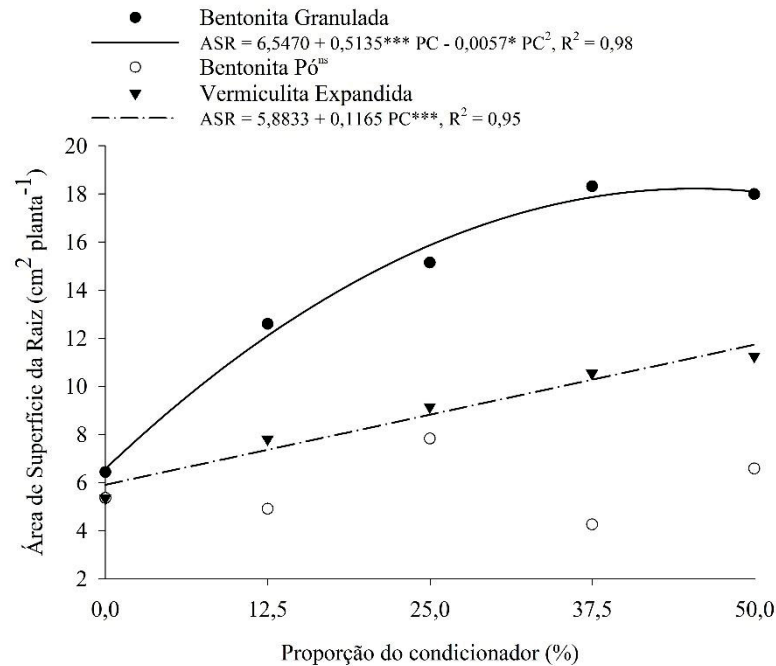


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: CR = Comprimento de raiz; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

A ASR ajustou-se ao modelo linear crescente de regressão para a Ve e o modelo polinomial quadrático para a Bg, não havendo significância para a Bp (GRÁFICO 30). Dessa forma, a maior ASR é proporcionada pela proporção de 45,04%, de Bg, por meio do ponto de máxima da equação, com 18,12 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>. A ASR aumenta pelo aumento das proporções de Ve, sendo a maior média registrada de 11,23 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, na proporção de 50%.

GRÁFICO 30 - ÁREA DE SUPERFÍCIE DA RAIZ: REGRESSÃO PARA A PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC

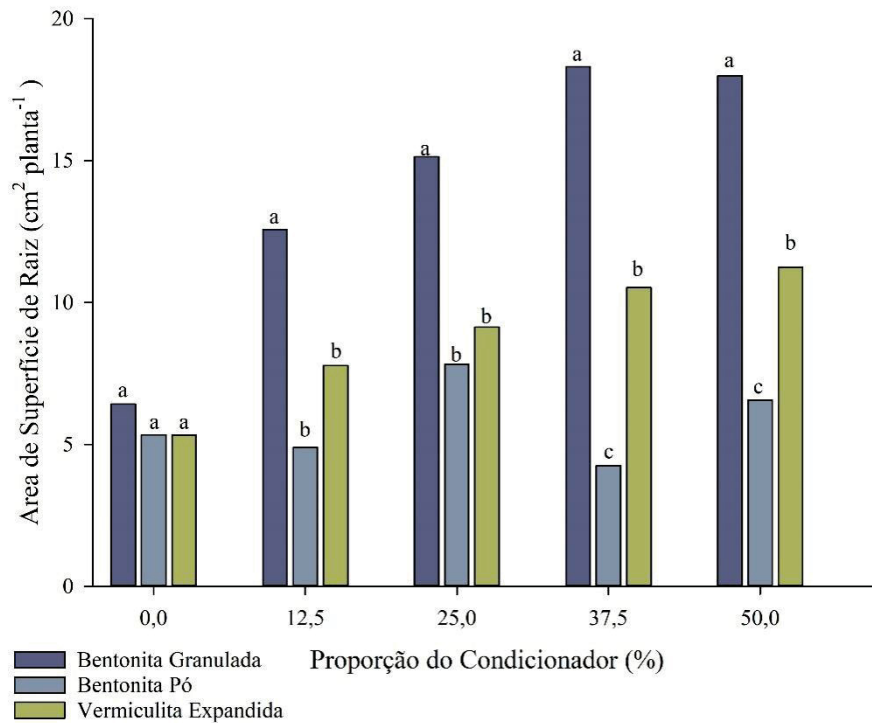


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: ASR = Área de superfície de raiz; PC = proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

A Bp obteve médias inferiores em todas as proporções analisadas para a ASR, exceto na proporção controle, de maneira igual a Ve, que só apresentou desempenho superior a Bp em 37,5% e 50% (GRÁFICO 31). Em contrapartida, a Bg obteve as maiores médias para todas as proporções.

GRÁFICO 31 - ÁREA DE SUPERFÍCIE DE RAIZ: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC

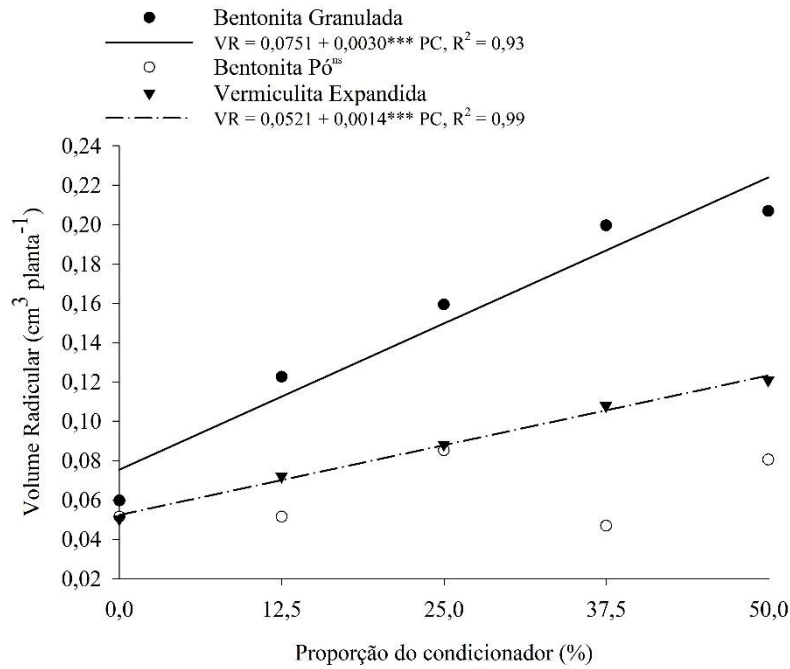


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: ASR = Área de Superfície de Raiz; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Diferente das outras variáveis radiculares, o VR da Bg ajustou-se ao modelo linear crescente de regressão, indicando que o aumento da proporção do condicionador ocasiona um aumento no VR (GRÁFICO 32). A Ve apresentou a mesma tendência das outras variáveis radiculares, adequando-se ao modelo linear crescente de regressão (GRÁFICO 32). As maiores médias foram obtidas nas proporções de 50%, sendo 0,20 e 0,12 cm<sup>3</sup> planta<sup>-1</sup> para Bg e Ve, respectivamente.

GRÁFICO 32 - VOLUME RADICULAR: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM CAC

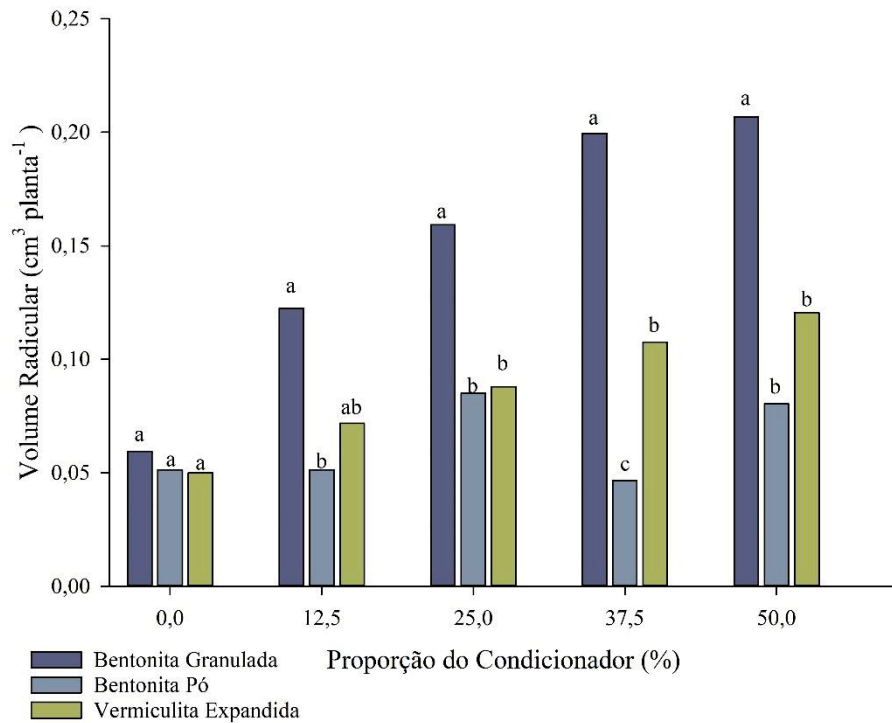


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: VR = Volume radicular; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

A Ve apresentou desempenho igual, estatisticamente, da Bg na proporção de 12,5%, entretanto nas outras proporções a Bg foi superior aos outros condicionadores (GRÁFICO 33). A Bp se diferenciou da vermiculita apenas na proporção de 37,5%, sendo igual nas outras.

GRÁFICO 33 - VOLUME RADICULAR: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA CAC



FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: VR = Volume Radicular; PC = Proporção do Condicionador; CAC = Casca de Arroz Carbonizada; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

### 3.5.2 Fibra de coco

De acordo com a análise de variância (TABELA 8) a interação entre o tipo de condicionador e sua proporção foi significativa para quase todas as variáveis analisadas, exceto o índice de velocidade de emergência (IVE), número de folhas (NF) e massa seca de parte radicular (MSRP), dessa forma análises de desdobramento foram realizadas para explicar as interações. Efeitos isolados do condicionador e proporção do condicionador foram verificados para NF. A irrigação não foi significativa isoladamente ou em interação com outros fatores para nenhuma variável analisada. A MSR não apresentou efeito significativo para nenhuma das fontes de variação.

TABELA 8 - QUADRADOS MÉDIOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA IVE, ALTP, NF, MFPA, MSPA, MFR, MSR, CR, ASR E VR PARA FC

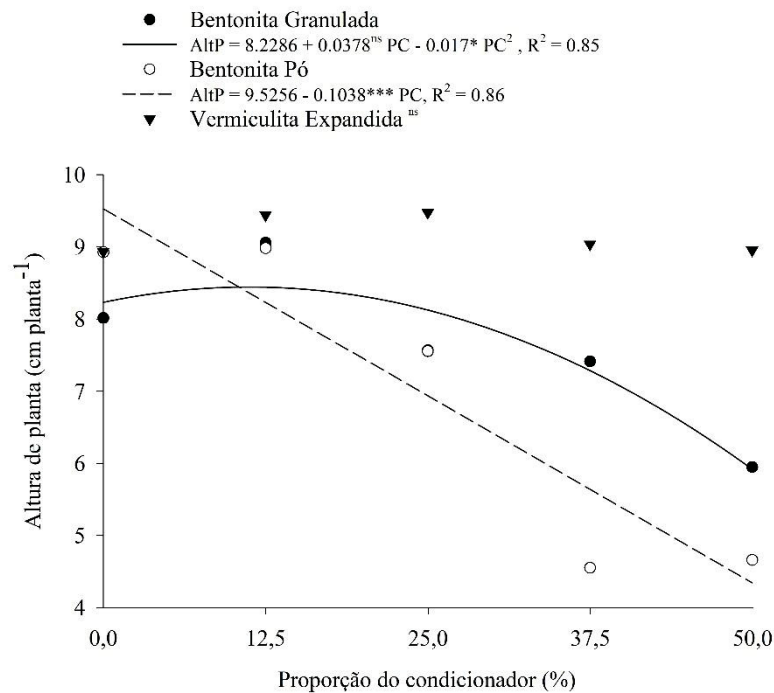
Fontes de variação		Quadrados médios										
GL	IVE	Altp	NF	MFPA	MSPA	MFR	MSR	CR	ASR	VR		
Bloco	4,9555 <sup>ns</sup>	6,52021*	0,62893*	0,00296 <sup>ns</sup>	0,00181 <sup>***</sup>	0,05924 <sup>**</sup>	0,00014 <sup>ns</sup>	2802,06615 <sup>ns</sup>	70,19527*	0,01332*		
Condicionador	3,0534 <sup>ns</sup>	39,45945 <sup>***</sup>	0,79182 <sup>**</sup>	1,39399 <sup>***</sup>	0,00626 <sup>***</sup>	0,15507 <sup>***</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>	30566,14196 <sup>***</sup>	279,63889 <sup>***</sup>	0,01037*		
Proporção	20,338 <sup>ns</sup>	22,15887 <sup>***</sup>	0,45975*	0,40059 <sup>***</sup>	0,00183 <sup>***</sup>	0,05379 <sup>**</sup>	0,00008 <sup>ns</sup>	9865,56974 <sup>***</sup>	150,23908 <sup>***</sup>	0,01553 <sup>**</sup>		
Irrigação	1	4,43704 <sup>ns</sup>	0,38679 <sup>ns</sup>	0,02209 <sup>ns</sup>	0,00026 <sup>ns</sup>	0,00014 <sup>ns</sup>	0,00011 <sup>ns</sup>	417,20903 <sup>ns</sup>	8,80469 <sup>ns</sup>	0,00138 <sup>ns</sup>		
Cond*Prop	8	31,344 <sup>ns</sup>	7,51282 <sup>***</sup>	0,11933 <sup>ns</sup>	0,16331 <sup>**</sup>	0,02685*	0,00004 <sup>ns</sup>	4732,46778 <sup>***</sup>	87,80697 <sup>***</sup>	0,0117 <sup>**</sup>		
Cond*Irrig	2	1,01069 <sup>ns</sup>	0,09936 <sup>ns</sup>	0,05283 <sup>ns</sup>	0,00013 <sup>ns</sup>	0,00813 <sup>ns</sup>	0,00005 <sup>ns</sup>	520,79116 <sup>ns</sup>	16,84204 <sup>ns</sup>	0,00353 <sup>ns</sup>		
Prop*Irrig	4	0,66044 <sup>ns</sup>	0,083909 <sup>ns</sup>	0,10393 <sup>ns</sup>	0,00031 <sup>ns</sup>	0,00929 <sup>ns</sup>	0,00003 <sup>ns</sup>	1061,81091 <sup>ns</sup>	19,64024 <sup>ns</sup>	0,00251 <sup>ns</sup>		
Cond*Conc*Irrig	8	0,90247 <sup>ns</sup>	0,06869 <sup>ns</sup>	0,03007 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,00581 <sup>ns</sup>	0,00004 <sup>ns</sup>	652,8756 <sup>ns</sup>	12,43222 <sup>ns</sup>	0,00175 <sup>ns</sup>		
Resíduos	58	78,421	0,13148	0,04422	0,00015	0,01127	0,00005	1060,30004	21,68539	0,00316		
CV (%)	11,28	13,47	11,68	21,28	18,34	29,78	83,55	25,65	27,12	30,09		

FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: GL = graus de liberdade; IVE = Índice de velocidade de emergência; Altp = Altura de planta; NF = Número de folhas; MFPA = Massa fresca de parte aérea; MSPA = Massa seca de parte aérea; MFR = Massa fresca de raiz; MSR = Comprimento radicular; ASR = Área de superfície radicular; VR = Volume radicular; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

A Ve não apresentou significância para o efeito da proporção do condicionador na AltP (GRÁFICO 34). A Bg e Bp ajustaram-se aos comportamentos polinomiais quadrado e linear decrescente de regressão, respectivamente (GRÁFICO 34). O ponto de máxima obtido foi de 11,12% de Bg para uma altura de 8,43 cm planta<sup>-1</sup>, enquanto o aumento da proporção de Bp acarreta a diminuição da altura de planta.

GRÁFICO 34 - ALTURA DE PLANTA: REGRESSÃO PARA A PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC

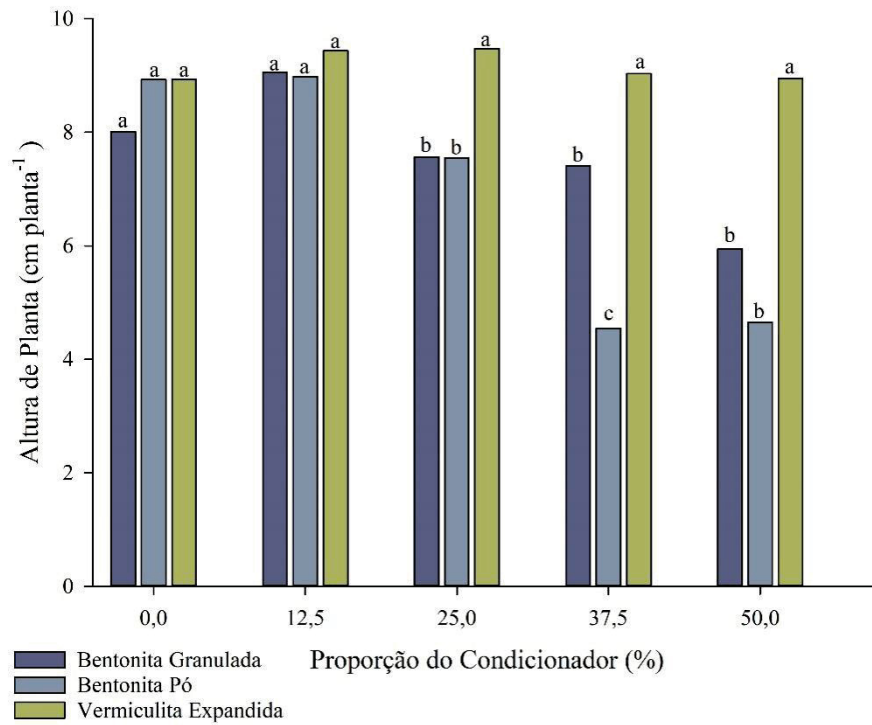


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AltP = Altura de planta; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As médias de AltP não diferiram estatisticamente entre si na proporção de 12,5%, independente do condicionador utilizado, porém proporções maiores favoreceram uma maior AltP para a Ve (GRÁFICO 35). A Bp diferiu-se das demais somente na proporção de 37,5%, com uma média de 4,4 cm planta<sup>-1</sup>.

GRÁFICO 35 - ALTURA DE PLANTA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC

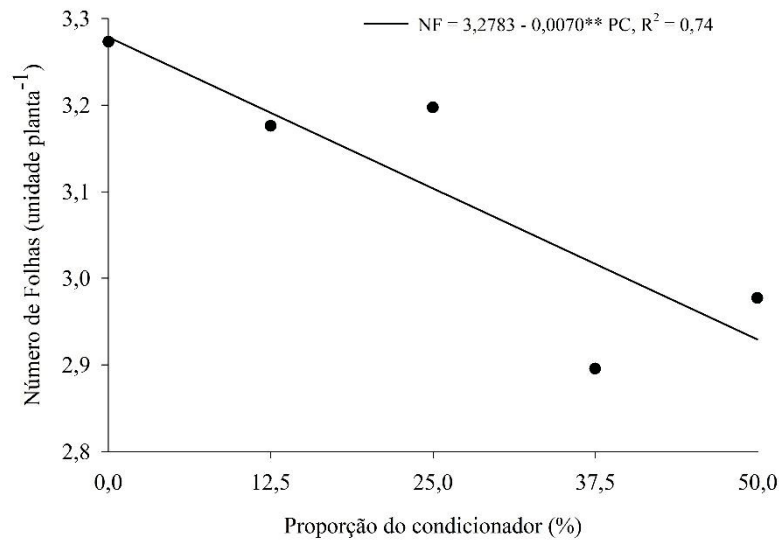


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: AltP = Altura de planta; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; Médias segundas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Efeitos isolados foram significativos para número de folhas (NF). Neste caso, o modelo linear decrescente de regressão ajustou-se as proporções de condicionador (GRÁFICO 36), onde o acréscimo do condicionador ocasiona um decréscimo no NF.

GRÁFICO 36 - NÚMERO DE FOLHAS: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC



FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: NF = Número de folhas; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

Em relação às médias obtidas para cada condicionador, a Ve diferenciou-se da Bp, tendo médias de 3,28 e 2,96 unidades planta<sup>-1</sup> de NF, respectivamente (TABELA 9). A Bg não se diferenciou estatisticamente dos demais condicionadores testados.

TABELA 9 - NÚMERO DE FOLHAS: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PRA FC

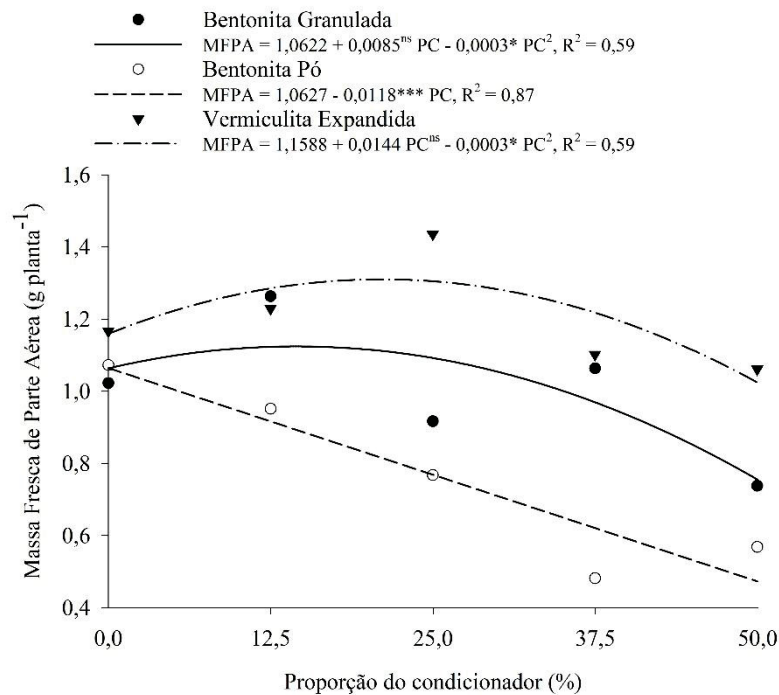
Condicionador	Médias
Vermiculita Expandida	3,28 a
Bentonita Granulada	3,07 ab
Bentonita Pó	2,96 b

FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: NF = Número de folhas; FC = Fibra de Coco; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Para MFPA, a Bg e a Ve adequaram-se ao modelo polinomial quadrático de regressão, enquanto a Bp ajustou-se ao modelo linear decrescente de regressão (GRÁFICO 37). Os pontos de máxima obtidos fora de 14,16% com 1,12 g planta<sup>-1</sup>, para a Bg, e 24% com 1,33 g planta<sup>-1</sup>, para Ve. A diminuição da MFPA está condicionada ao aumento da proporção de Bp na mistura.

GRÁFICO 37 - MASSA FRESCA DE PARTE AÉREA: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC

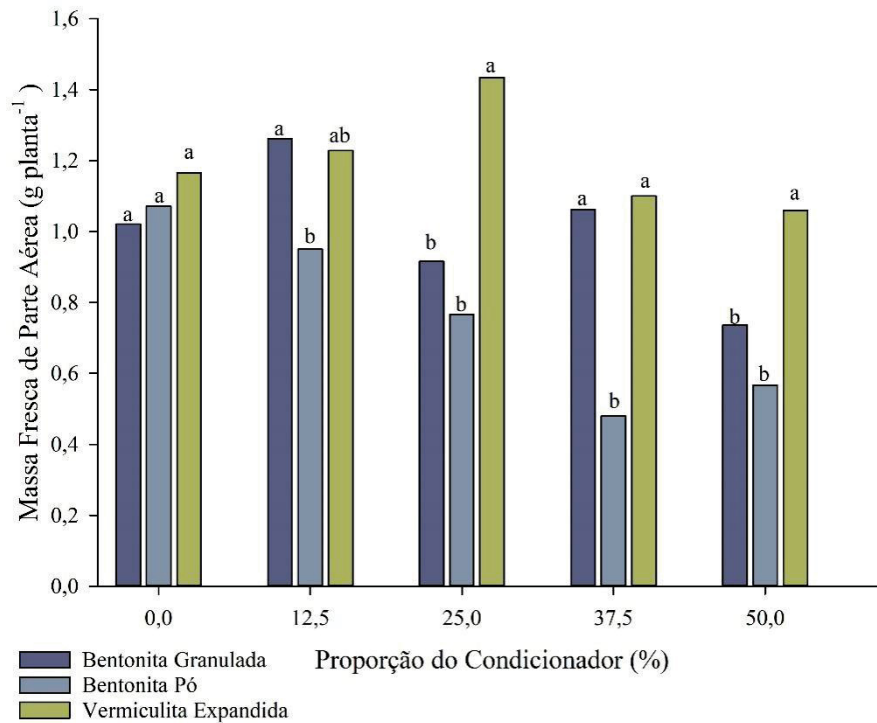


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: MFPA: Massa Fresca de Parte Aérea; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As médias de MFPA diferiram significativamente nas proporções do condicionador utilizado (GRÁFICO 38). A Ve apresentou maiores médias independente da proporção utilizada, entretanto nas proporções de 12,5% e 37,5%, a Bg apresentou resultados estatisticamente iguais. A Bp obteve menores médias, independente da proporção utilizada, exceto no tratamento controle.

GRÁFICO 38 - MASSA FRESCA DE PARTE AÉREA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC

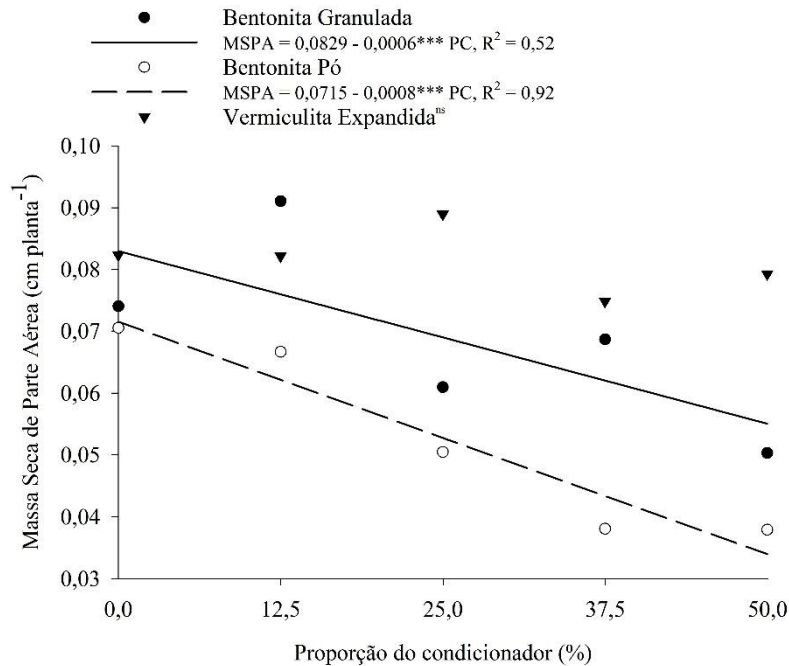


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: MFPA = Massa fresca de parte aérea; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Ao contrário da MFPA, a Bg ajustou-se ao modelo linear decrescente de regressão para MSPA, enquanto a Ve não apresentou significância para as proporções de condicionador analisadas (GRÁFICO 39). A Bp adequou-se, também, ao modelo linear decrescente (GRÁFICO 39), sendo o aumento na proporção do condicionador um fator de diminuição na MSPA de ambas as bentonitas utilizadas.

GRÁFICO 39 - MASSA SECA DE PARTE AÉREA: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC

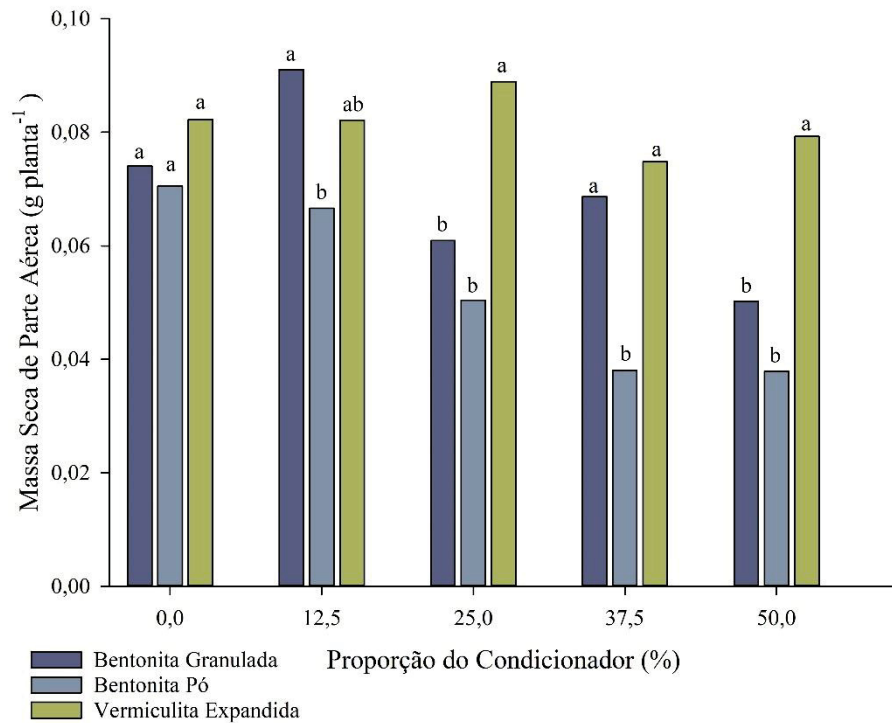


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: MSPA = Massa seca de parte aérea; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As médias de MSPA da Ve foram superiores em todas as proporções analisadas, enquanto a Bg apresentou resultado igual somente nas proporções de 12,5% e 37,5%, similar a MFPA (GRÁFICO 40). A Bp obteve as menores medias em todas as proporções para MSPA, exceto nas amostras de controle (GRÁFICO 40).

GRÁFICO 40 - MASSA SECA DE PARTE AÉREA: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC

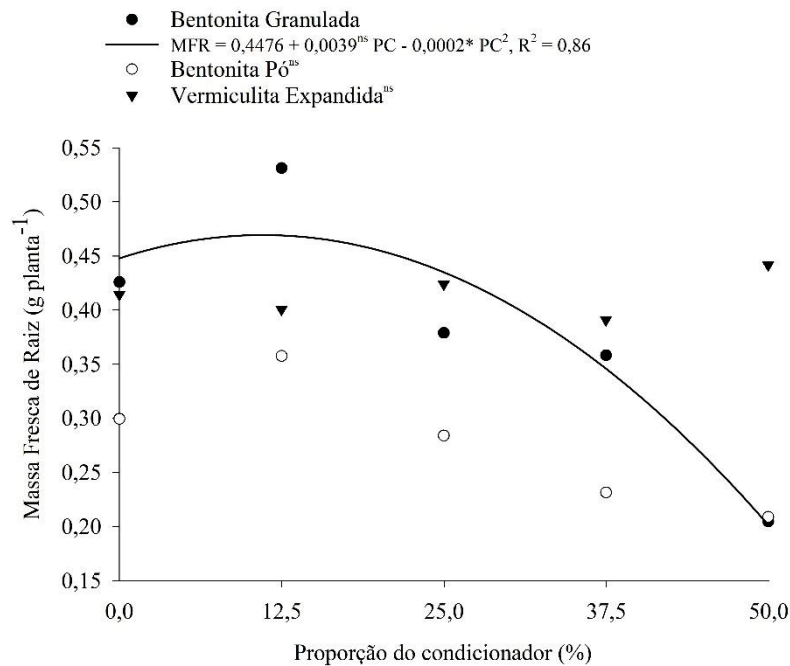


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: MSPA = Massa seca de parte aérea; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

A Bp e a Ve não apresentaram significância para a análise de regressão, entretanto a Bg ajustou-se ao modelo polinomial quadrático de regressão para MFR (GRÁFICO 41). A proporção de 9,75% de Bg proporciona uma massa fresca de parte radicular de 0,46 g planta<sup>-1</sup>.

GRÁFICO 41 - MASSA FRESCA DE RAIZ: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC

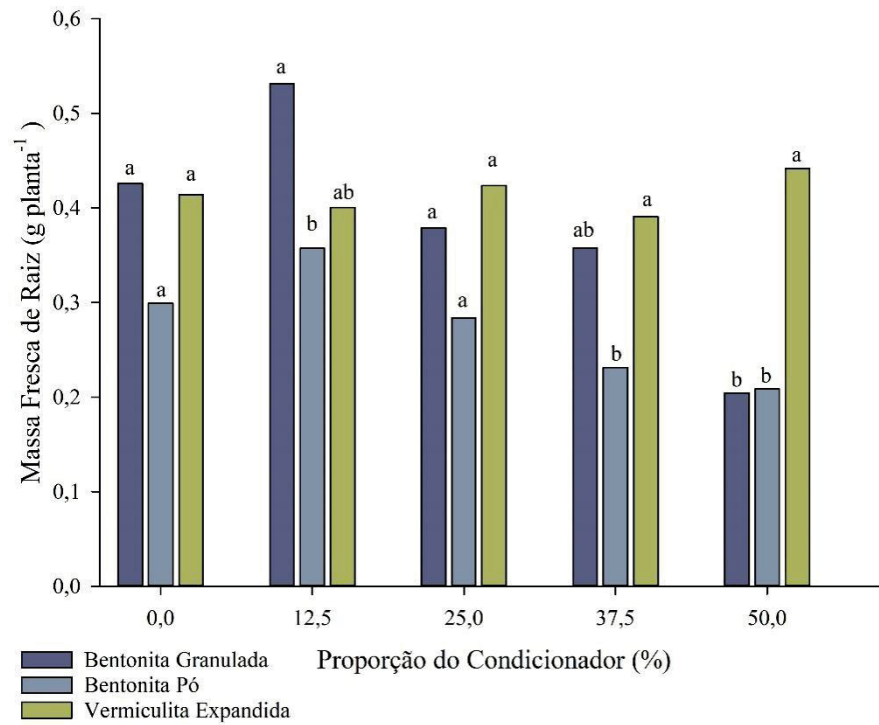


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: MFR = Massa fresca de Raiz; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

As médias diferiram entre si, para cada proporção do condicionador em relação ao condicionador utilizado na mistura (GRÁFICO 42). A Bg e a Ve apresentaram maior desempenho na MFR para todas as proporções, sendo que a Bp também garantiu resultado igual na proporção de 25%, e desempenho inferior nas outras condições (GRÁFICO 42).

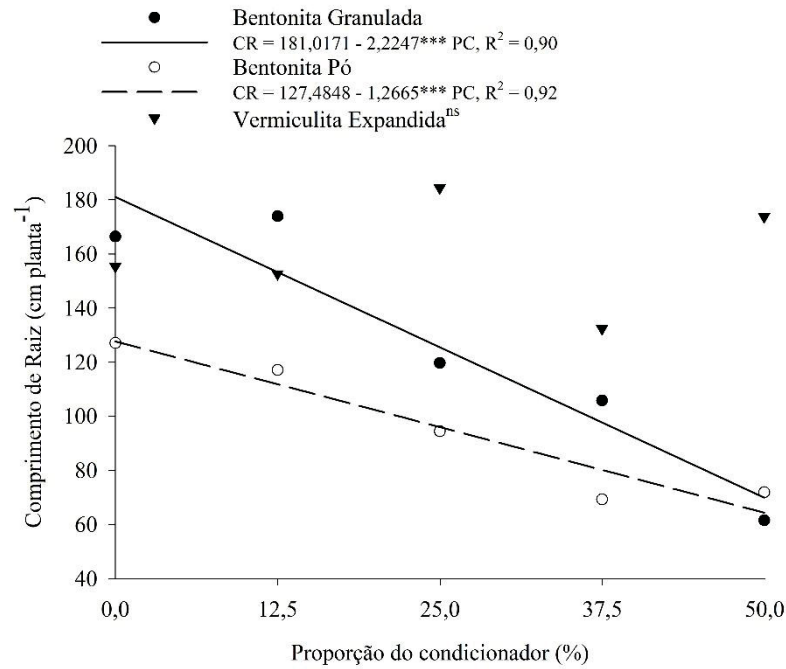
GRÁFICO 42 - MASSA FRESCA DE RAIZ: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC



LEGENDA: MFR = Massa fresca de Raiz; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

O CR apresentou efeito significativo apenas para Bg e Bp, sendo ambas ajustadas ao modelo linear decrescente de regressão (GRÁFICO 43). Dessa forma, o aumento do aditivo na mistura proporciona um decréscimo no comprimento total radicular das mudas.

GRÁFICO 43 - COMPRIMENTO DE RAIZ: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC

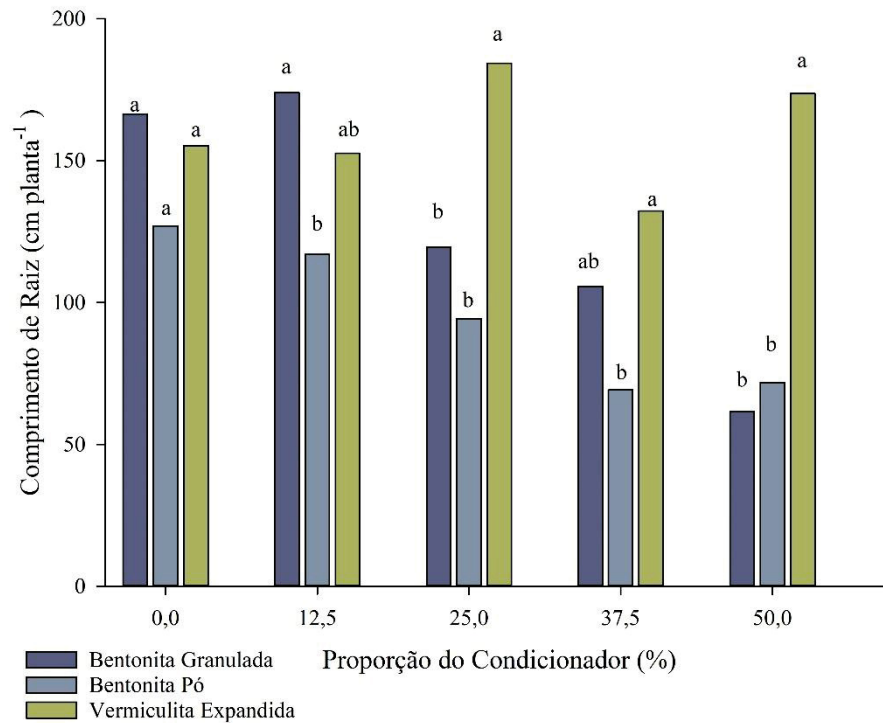


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: CR = Comprimento de Raiz; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; ns = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

Em relação às diferenças médias, para cada proporção, a Ve apresentou resultado superior em todas, exceto nas proporções de 12,5% e 37,5%, em que a Bg obteve médias significativamente iguais (GRÁFICO 44). A Bp proporcionou as menores médias em todas os percentuais de acréscimo na mistura (GRÁFICO 44).

GRÁFICO 44 - COMPRIMENTO DE RAIZ: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC

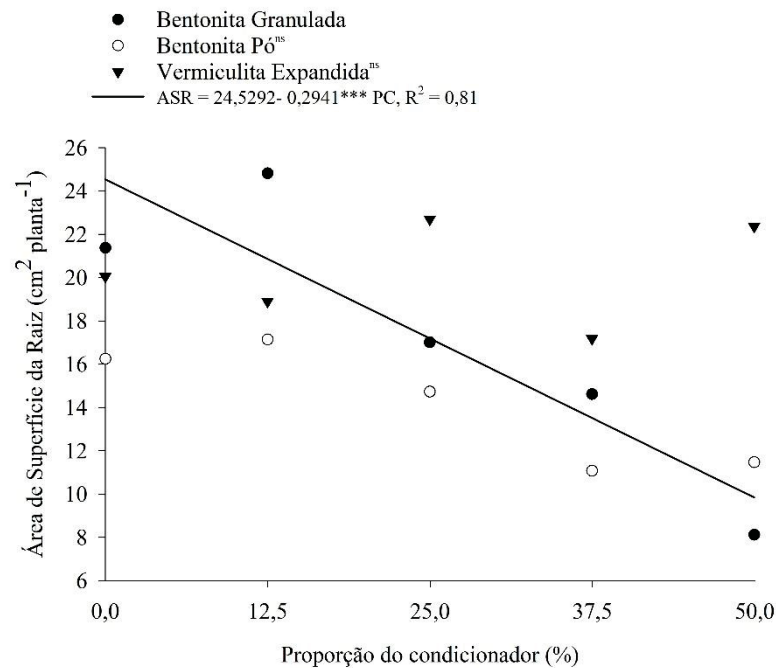


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: CR = Comprimento de Raiz; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

A ASR apresentou efeito linear decrescente de regressão para a Bg, não havendo significância para os outros condicionadores estudados (GRÁFICO 45). Dessa forma, o aumento na proporção de Bg diminui a ASR das mudas de alface, sendo sua menor média 8,09 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, na proporção de 50% de adição do condicionador na mistura.

GRÁFICO 45 - ÁREA DE SUPERFÍCIE DE RAIZ: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC

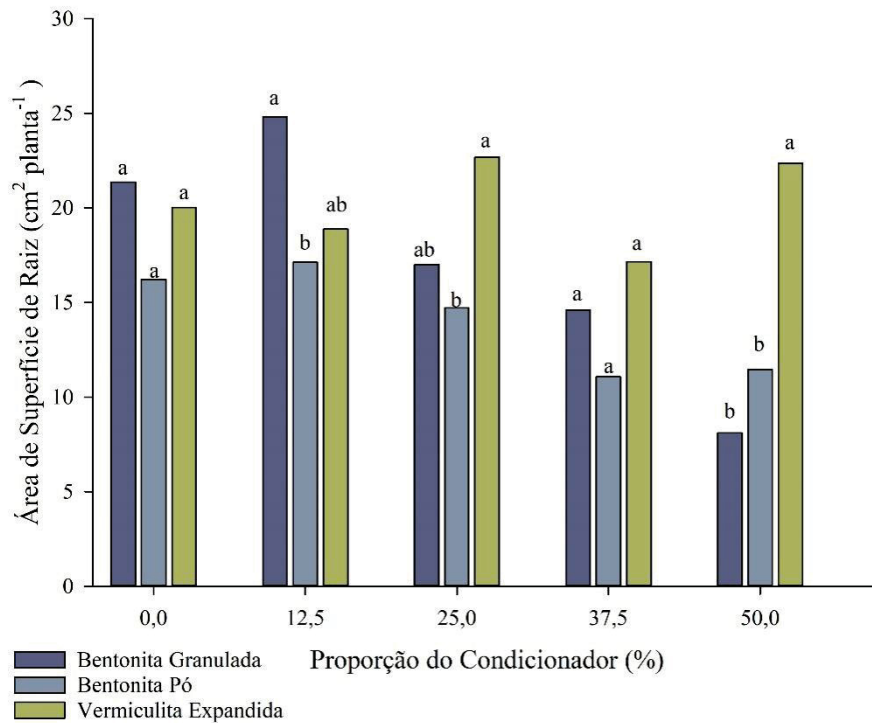


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: ASR = Área de superfície de raiz; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

Ao analisar as médias da ASR, para cada proporção de condicionador, percebe-se um desempenho superior da Ve apenas na proporção de 50% de adição, sendo estatisticamente igual a Bg em 12,5%, 25% e 37,5% (GRÁFICO 46). A Bp apresentou os menores resultados em todas as proporções, exceto em 37,5% (GRÁFICO 46).

GRÁFICO 46 - ÁREA DE SUPERFÍCIE DE RAIZ: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC

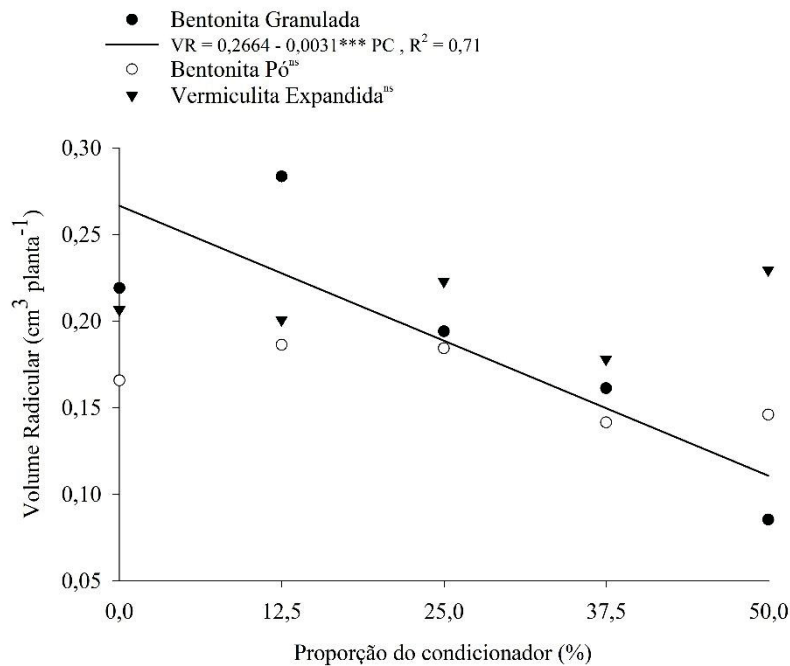


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: ASR = Área de superfície de raiz; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ );

O VR foi significativamente influenciado pelo incremento da proporção do condicionador Bg de maneira linear e decrescente (GRÁFICO 47). Dessa forma, o aumento da Bg nas misturas substrato+condicionador acarretam a diminuição do volume radicular total.

GRÁFICO 47 - VOLUME RADICULAR: REGRESSÃO PARA PROPORÇÃO DE CONDICIONADOR EM FC

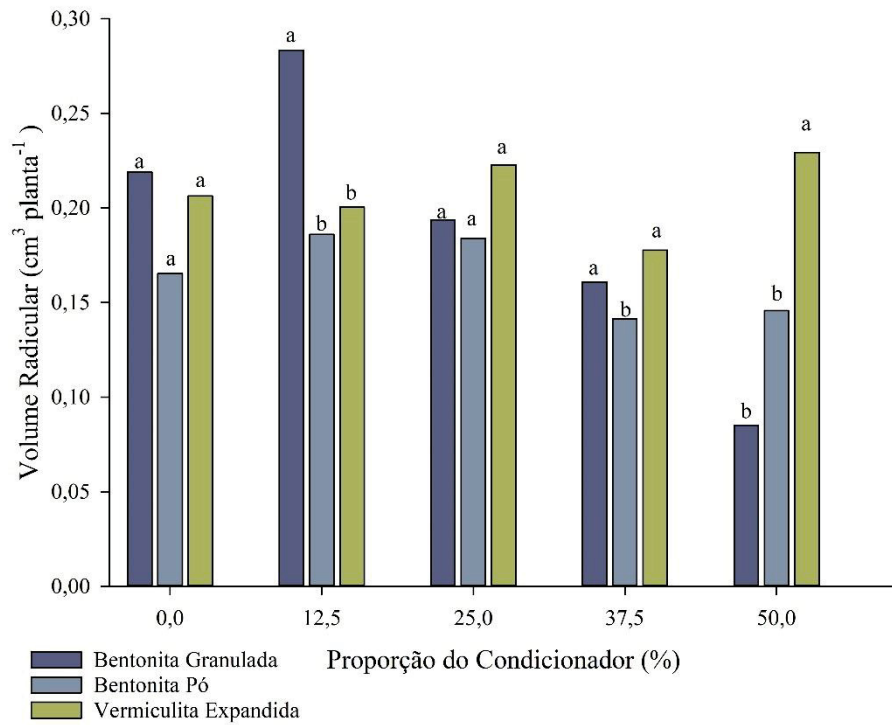


FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: VR = Volume radicular; PC = proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; <sup>ns</sup> = não significativo a 5%; \*, \*\*, \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente;

Em relação às médias, a Bg apresentou valores superiores a Bp e Ve na proporção de 12,5%, enquanto a Ve apresentou desempenho superior aos outros condicionadores na proporção de 50% (GRÁFICO 48). A Bp obteve menores médias em todas as proporções exceto na proporção de 25% (GRÁFICO 48).

GRÁFICO 48 - VOLUME RADICULAR: DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA FC



FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: VR = Volume Radicular; PC = Proporção do Condicionador; FC = Fibra de Coco; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ );

### 3.6 DISCUSSÃO

Os substratos formulados afetaram a qualidade das mudas de alface, de acordo com a proporção e o tipo do condicionador utilizado na mistura. Possivelmente, essas distinções podem ter ocorrido devido às alterações nas propriedades físicas dos substratos, como aumento na retenção de água (Capítulo I, sessão 2.5.3). Tal hipótese é respaldada ao ser analisado o IVE, visto que houve aumento do IVE nos substratos formulados com CAC quando adicionada à Bg como condicionador. Em estudos na produção de tomate cereja em substratos, Oliveira Vieira et al. (2022), percebeu que a adição de Ve não proporcionou melhorias no IVE, mesmo que o material aumente a PT de substratos formulados a base substrato pós-cultivo de cogumelos.

A AltP foi incrementada pela adição de Bg e Ve na CAC em proporções maiores, enquanto as proporções menores de Bg e Bp promoveram o aumento da AltP na FC. Essa diferença pode estar relacionada ao aumento da Da e PT provocadas pela adição dos condicionadores em cada substrato, pois os comportamentos de suas regressões foram similares.

Carmona et al. (2012) ao analisar o efeito de dois componentes, puros e em misturas, na produção de mudas de tomate, alface, pimenta e melão, não obtiveram significância na altura de planta das mudas de alface ou em outros parâmetros. Embora não observado pelo autor, a não significância para as mudas de alface pode estar associada à baixa alteração física das misturas propostas, ou seja, as misturas eram fisicamente semelhantes, situação não reportada neste estudo.

Ao observar a caracterização física de Carmona et al. (2012), a Da do substrato variou de 150 a 200 kg m<sup>-3</sup>, enquanto a PT ficou entre os percentuais de 87,4% a 91%, com alterações de AltP de 14,1 a 15,2 cm planta<sup>-1</sup>, medidos 45 DAS, para o alface. Enquanto neste estudo, as variações de 4,81 a 566 kg m<sup>-3</sup> e 48,80 a 91,4% de Da e PT, respectivamente, proporcionaram AltP de 3,72 a 9,47 cm planta<sup>-1</sup>, medidos após 30 DAS.

A MFPA para formulados a partir de CAC teve aumento com a adição de Bg e Ve, sendo as maiores médias em proporções superiores a 37,5 %, sendo a maior média obtida na proporção 50% de Bg, com 0,95 g planta<sup>-1</sup>, porém a Bp não apresentou nenhuma alteração significativa. O mesmo comportamento foi notado para a MSPA da produção de alface em formulados a base de CAC. A FC, entretanto, não foi favorecida em altas proporções de Bg e Ve, sendo proporções de 14,16 % e 24 %

as ideais para este indicador, proporcionando um total de 1,12 g planta<sup>-1</sup> e 1,33 g planta<sup>-1</sup> para Bg e Ve, respectivamente. A Bp proporcionou decréscimo em todas as proporções para a MFPA e MSPA, na FC.

Assim, podemos afirmar que os resultados de MFPA e MSPA nos substratos formulados a partir de CAC e FC foram alterados pelas adições de pelo menos um dos condicionadores. Gazola et al. (2015) estudaram misturas entre substratos comerciais, FC, CAC e Ve perceberam que a FC não deve ser utilizada na forma pura, pois a sua associação com Ve e substrato comercial promove melhores MFPA e MSPA, na cultura da alface. No mesmo estudo, a CAC proporcionou redução significativa nas massas foliares, indicando, também, a necessidade de adições de algum condicionador a CAC.

As análises de massa fresca e seca fornecem a quantidade de água presente nas mudas de alface, sendo que a melhor combinação de mistura deve ser aquela que proporciona maior retenção de água na planta, dessa forma esses indicadores auxiliam na identificação do melhor substrato e combinações a serem selecionados na produção (Luz et al., 2006). Esses autores afirmam que, em condições de estresse ambiental, as mudas com maior retenção de água em suas folhas possivelmente serão as mais resistentes.

O desenvolvimento radicular, representado pela MFR, CR, ASR e VR, apresentou resultados semelhantes aos de parte aérea de planta. A Bg, dos condicionadores testados, obteve resultados significativos para todas as variáveis, exceto MSR, independente do substrato utilizado. O desenvolvimento radicular, de acordo com as métricas de parte aérea, demonstrou que o aumento da Bg, em proporções maiores para CAC e menores para FC, garante maiores resultados de massa foliar e desenvolvimento radicial. A Bp, entretanto, não influenciou medidas radiculares.

Efeitos positivos no crescimento de planta e seu desenvolvimento estão, geralmente, relacionados com o incremento na capacidade de retenção de água pelo substrato (Young et al., 2014), sendo existente correlações que associam ambos os efeitos (Agaba et al., 2010), porém devido à complexidade dos mecanismos que envolve a produção de muda e seu crescimento, como a seleção de substratos e aditivos, não é surpresa a verificação de efeitos diversos na literatura (Paradelo et al., 2019).

Assim, os efeitos sobre a capacidade de retenção e manutenção da água no substrato em que a muda está inserida reflete em suas métricas quando submetida a déficits hídricos. O crescimento foliar e radicular não foi influenciado pelo déficit hídrico aplicado ao substrato FC e suas proporções de condicionadores. Assim, materiais com alta capacidade de retenção de água, como a FC (Pascual et al., 2018), a Ve (Vaughn et al., 2021) e a Bentonita (Mi et al., 2020) conseguiram garantir um total desenvolvimento, mesmo na ausência de irrigação.

Em contrapartida, a CAC apresentou efeito significativo isolado para o déficit hídrico. As médias de AltP, Nf, MFPA, MSPA, MFPR, CR, ASR e VR foram menores quando as mudas foram submetidas ao período de três dias sem irrigação, situação em que dependiam totalmente da disponibilidade de água presente na mistura.

Pascual et al. (2018) em sua revisão, detalham sobre os substratos orgânicos e inorgânicos utilizados na produção de mudas em casas de vegetação, fornecendo informações sobre suas características e casos de uso, além de identificar valores desejáveis e definições para parâmetros físicos.

Entretanto, até onde é desejável e possível a melhoria de um substrato, usualmente utilizado, pela adição de outros componentes na mistura? O que é perceptível é que as propriedades físicas dos substratos e condicionadores, as proporções selecionadas e o tipo de cultura cultivada influenciam diretamente nas respostas obtidas ao final de qualquer experimento ou produção em campo.

Dessa forma, a composição final da mistura deve ser cuidadosamente considerada como uma etapa prévia na tomada de decisão de qualquer produção, buscando misturas que provoquem real mudança de melhora, garantia de sobrevivência das plantas, mesmo em condições de estresse, e disponibilidade regional da matéria prima, que altera completamente o custo final de uma produção.

Existe uma lacuna de informação entre os produtores de muda, em particular os produtores de compostos comerciais, e as exigências de cada cultura em sua produção em viveiros, que deveriam ser superadas pelo fornecimento de informações comuns e confiáveis para ambos os mercados (Pascual et al., 2018). Existe, também, uma falta de pesquisa prática que demonstre e envolva toda a cadeia produtiva, desde os produtores de insumos e substratos até os produtores de mudas e hortaliças.

As etapas de pesquisa e divulgação de resultados são passos necessários para o transmitir as informações obtidas sobre os meios de cultivo em práticas agrícolas. É importante, também, realizar análises mais aprofundadas de quaisquer

compostos específicos utilizados na produção de mudas, para garantir melhor crescimento. E por fim, um envolvimento maior dos produtores de substratos e usuários finais poderiam melhorar a qualidade dos meios de cultivo, reduzindo o uso de materiais danosos e ampliando a gama de usos mais sustentáveis na produção agrícola.

### 3.7 CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a adição de condicionadores como a bentonita granulada (Bg) e vermiculita expandida (Ve) à base de casca de arroz carbonizada (CAC) levou a um aumento na altura das plantas (AltP) e na massa fresca da parte aérea (MFPA) e das raízes (MFR), especialmente em proporções mais elevadas. No entanto, a adição de bentonita em pó (Bp) não apresentou alterações significativas nessas métricas. Isso reforça a importância da seleção criteriosa de condicionadores, bem como das proporções ideais, para otimizar o crescimento e desenvolvimento das mudas.

O estudo também demonstra discrepâncias em relação a outros estudos, indicando que os efeitos da composição do substrato nas mudas são altamente dependentes das características específicas dos componentes e de suas interações. A variedade de respostas observadas em relação ao desenvolvimento radicular e foliar demonstra a complexidade das interações entre os materiais utilizados.

Substratos com maior capacidade de retenção, como FC, mostrou-se mais resiliente em situações de estresse hídrico, mantendo o desenvolvimento adequado, enquanto a CAC demonstrou ser sensível à falta de água, resultando em menor altura de planta e massa fresca.

A aplicação prática dos resultados dessa pesquisa sugere a necessidade de uma abordagem personalizada na escolha e formulação de substratos, levando em consideração as necessidades específicas de cada cultura e as condições ambientais em que as mudas serão cultivadas. Além disso, destaca-se a importância de um diálogo contínuo entre produtores de insumos, substratos e culturas, a fim de aprimorar a qualidade dos substratos utilizados na produção de mudas e, assim, contribuir para práticas agrícolas mais sustentáveis e eficazes.

### 3.8 REFERÊNCIAS

- Agaba, H., Baguma Orikiriza, L. J., Osoto Esegu, J. F., Obua, J., Kabasa, J. D., & Hüttermann, A. (2010). Effects of Hydrogel Amendment to Different Soils on Plant Available Water and Survival of Trees under Drought Conditions. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 38(4), 328–335. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/clen.200900245](https://doi.org/10.1002/clen.200900245)
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Arsenault, J.-L., Poulcur, S., Messier, C., & Guay, R. (1995). WinRHIZO™, a Root-measuring System with a Unique Overlap Correction Method. *HortScience HortSci*, 30(4), 906D – 906. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.4.906D>
- Bartlett, M. S. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A - Mathematical and Physical Sciences*, 160(901), 268–282. <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>
- Bugni, N. O. C., Antunes, L. F. de S., Marinho Guerra, J. G., & Fernandes Correia, M. E. (2019). GONGOCOMPOSTO: SUBSTRATO ORGÂNICO PROVENIENTE DE RESÍDUOS DE PODA PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 9(3). <https://doi.org/10.21206/rbas.v9i3.8107>
- Carmona, E., Moreno, M. T., Avilés, M., & Ordovás, J. (2012). Use of grape marc compost as substrate for vegetable seedlings. *Scientia Horticulturae*, 137, 69–74. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.01.023](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.01.023)
- Gazola, T., Gualberto, R., Dias, M. F., Cipola Filho, M. L., Belapart, D., & de Castro, E. B. (2015). Avaliação de substratos alternativos na produção de mudas e desenvolvimento de plantas de alface. *Revista Unimar Ciências*, 24(1–2).
- Hosseini, S. J., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Pirdashti, H., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Hazrati, S., & Nicola, S. (2021). Investigation of yield, phytochemical composition, and photosynthetic pigments in different mint ecotypes under salinity stress. *Food Science and Nutrition*, 9(5). <https://doi.org/10.1002/fsn3.2219>
- Luz, J. M. Q., Brandao, F. D., Martins, S. T., & de Melo, B. (2006). *Produtividade de cultivares de alface em função de mudas produzidas em diferentes substratos comerciais.*

Maguire, J. D. (1962). Speed of Germination—Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor 1 . *Crop Science*, 2(2). <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183x000200020033x>

Marouelli, W. A., & Braga, M. B. (2016). Irrigação na produção de mudas de hortaliças. *Uberlândia, MG: Campo & Negócios Hortifruti*.

Mi, J., Gregorich, E. G., Xu, S., McLaughlin, N. B., & Liu, J. (2020). Effect of bentonite as a soil amendment on field water-holding capacity, and millet photosynthesis and grain quality. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75350-9>

Oliveira Vieira, V., Almeida Conceição, A., Raisia Barbosa Cunha, J., Enis Virginio Machado, A., Gonzaga de Almeida, E., Souza Dias, E., Magalhães Alcantara, L., Neil Gerard Miller, R., & Gonçalves de Siqueira, F. (2022). A new circular economy approach for integrated production of tomatoes and mushrooms. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2756–2765. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.058>

Paradelo, R., Basanta, R., & Barral, M. T. (2019). Water-holding capacity and plant growth in compost-based substrates modified with polyacrylamide, guar gum or bentonite. *Scientia Horticulturae*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.046>

Pascual, J. A., Ceglie, F., Tuzel, Y., Koller, M., Koren, A., Hitchings, R., & Tittarelli, F. (2018). Organic substrate for transplant production in organic nurseries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(3), 35. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0508-4>

R Core Team. (2022). R Core Team 2021 R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. <https://www.R-project.org/>. *R Foundation for Statistical Computing*, 2.

Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. In *Antioxidants* (Vol. 10, Número 2). <https://doi.org/10.3390/antiox10020277>

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4). <https://doi.org/10.2307/2333709>

Shwan, D. M. S., Qadr, F. M., Kaufhold, S., & Ufer, K. (2023). Exploration and characterization of Local Raw Bentonite of a part of Garmiyan-Kurdistan/Iraq. *Kuwait Journal of Science*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.kjs.2023.07.006>

Sun, G., Hu, Z., Ma, Y., Xie, Z., Sun, F., Wang, J., & Yang, S. (2021). Analysis of local land atmosphere coupling characteristics over Tibetan Plateau in the dry and rainy seasons using observational data and ERA5. *Science of the Total Environment*, 774. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145138>

Teklić, T., Parađiković, N., Špoljarević, M., Zeljković, S., Lončarić, Z., & Lisjak, M. (2021). Linking abiotic stress, plant metabolites, biostimulants and functional food. In *Annals of Applied Biology* (Vol. 178, Número 2). <https://doi.org/10.1111/aab.12651>

Tomadoni, B., Salcedo, M. F., Mansilla, A. Y., Casalongué, C. A., & Alvarez, V. A. (2020). Macroporous alginate-based hydrogels to control soil substrate moisture: Effect on lettuce plants under drought stress. *European Polymer Journal*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109953>

Tukey, J. W. (1959). A Quick Compact Two Sample Test To Duckworth's Specifications. *Technometrics*, 1(1). <https://doi.org/10.1080/00401706.1959.10489847>

Vaughn, S. F., Byars, J. A., Jackson, M. A., Peterson, S. C., & Eller, F. J. (2021). Tomato seed germination and transplant growth in a commercial potting substrate amended with nutrient-preconditioned Eastern red cedar (*Juniperus virginiana* L.) wood biochar. *Scientia Horticulturae*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109947>

Wang, Y., He, Z., Wang, J., Wu, C., Yu, G., & Tang, Y. (2018). Experiment on transplanting performance of automatic vegetable pot seedling transplanter for dry land. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 34(3). <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2018.03.003>

Wang, Y., Tang, Y., Wang, J., & Cheng, S. (2016). Parameter optimization for dibble-type planting apparatus of vegetable pot seedling transplanter in high-speed condition. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 47(1). <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2016.01.013>

Yan, Z., He, D., Niu, G., & Zhai, H. (2019). Evaluation of growth and quality of hydroponic lettuce at harvest as affected by the light intensity, photoperiod and light quality at seedling stage. *Scientia Horticulturae*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.002>

Yavuz, D., Seymen, M., Süheri, S., Yavuz, N., Türkmen, Ö., & Kurtar, E. S. (2020). How do rootstocks of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) affect

the yield and quality of watermelon under deficit irrigation? *Agricultural Water Management*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106351>

Young, T., Cameron, D. D., Sorrill, J., Edwards, T., & Phoenix, G. K. (2014). Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 507–516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.04.007>

## 4 CONCLUSÃO GERAL

A análise combinada dos dois capítulos ressalta a complexidade inerente à formulação de substratos para a produção de mudas e como os condicionadores desempenham um papel fundamental nesse processo. Ao observar as propriedades físicas dos substratos e suas interações com os condicionadores, torna-se evidente que essa relação tem um impacto direto na qualidade das mudas resultantes.

O tamanho das partículas, a Du e Da, bem como a PT, emergem como fatores críticos na composição das misturas. A adição dos condicionadores – Bg, Bp e Ve - se revelou como um ponto de influência nessas características, moldando a distribuição das partículas e a geometria das misturas, o que, por sua vez, afetou a porosidade e a retenção de água. É importante notar que a porosidade total aumentou nas misturas com CAC devido à influência positiva das argilas em promover uma melhor agregação dos componentes. O EA demonstrou que a adição dos condicionadores resultou em uma maior capacidade de retenção de água nas misturas, percebido na aplicação de potenciais matriciais mais elevados.

O equilíbrio entre a retenção de água e espaço de aeração tem relevância no crescimento das plantas, principalmente quando submetidas a estresse hídrico, dessa forma a capacidade de retenção de água da bentonita se mostrou vantajosa no desenvolvimento de mudas, principalmente em CAC.

Os efeitos dos condicionadores não se restringiram às características físicas dos substratos, pois também influenciaram diretamente o desenvolvimento das mudas. Isso se manifestou através de métricas como a altura da planta (AltP) e as características foliares e radiculares. A incorporação de Bg e Ve às misturas com base em CAC se relacionaram as melhorias na AltP e no aumento da massa fresca e seca das mudas. No entanto, no caso da FC, resultados mais promissores foram alcançados com proporções menores de Bg e Bp.

Uma conclusão fundamental extraída das discussões é a importância da retenção de água nas mudas, pois isso influencia significativamente o crescimento e a capacidade das plantas de enfrentarem condições de estresse hídrico. A capacidade de um condicionador em reter água desempenha um papel crucial nesse sentido, afetando diretamente o desenvolvimento das mudas e sua resistência.

Em síntese, o trabalho reforça a necessidade de uma abordagem criteriosa na composição dos substratos, levando em consideração tanto as propriedades das matérias-primas quanto suas interações com os condicionadores. Essa escolha atenta pode potencializar o crescimento das mudas, aumentar sua capacidade de enfrentar situações de estresse hídrico e, por fim, elevar a qualidade geral da produção agrícola. Diante desses desafios, a pesquisa contínua nesse campo é vital para fornecer informações sólidas aos produtores de mudas e substratos, promovendo práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre as possibilidades de misturas e combinações de substratos deve continuar na missão de estabelecer melhores relações entre estes com cada tipo de cultura. Dessa forma, otimizando a utilização, evitando perdas e gastos desnecessários. Não adianta buscar utilizar resíduos agrícolas, industriais ou sanitários como forma de atividade sustentável, se o seu uso não é corretamente medido e quantificado, muitas vezes o uso desenfreado e sem parâmetros só irá aumentar os impactos ambientais.

Estudos futuros devem procurar abordar a dinâmica da bentonita, como condicionador de substrato, a outros substratos comerciais e, também, até mesmo a adição de um terceiro componente na mistura. As culturas que estão associadas a produção de mudas precisam ser testadas individualmente, para entender melhor suas características particulares e, assim, otimizar o uso de substratos e a produção de mudas, seja ornamentais, hortícolas ou florestais.

## 6 REFERÊNCIAS

Abd El-Hady, M., & Eldardiry, E. I. (2016). Effect of different soil conditioners application on some soil characteristics and plant growth.II-soil evaporation and dry-wet cycles. *International Journal of ChemTech Research*, 9(10), 45–49.

Agaba, H., Baguma Orikiriza, L. J., Osoto Esegu, J. F., Obua, J., Kabasa, J. D., & Hüttermann, A. (2010). Effects of Hydrogel Amendment to Different Soils on Plant Available Water and Survival of Trees under Drought Conditions. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 38(4), 328–335. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/clen.200900245>

Ahmaruzzaman, M. (2008). Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 143(1–2), 48–67. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.07.002>

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Antunes, L. F. de S., de Sousa Vaz, A. F., Santos Reis de Andrade da Silva, M., Fernandes Correia, M. E., Ferreira Cruvinel, F., & Peres Martelleto, L. A. (2021). Millicompost: Sustainable substrate for the production of dragon fruit seedlings (*Selenicereus undatus*). *Cleaner Engineering and Technology*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100107>

Arsenault, J.-L., Poulcur, S., Messier, C., & Guay, R. (1995). WinRHIZO™, a Root-measuring System with a Unique Overlap Correction Method. *HortScience HortSci*, 30(4), 906D – 906. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.4.906D>

Bartlett, M. S. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A - Mathematical and Physical Sciences*, 160(901), 268–282. <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>

Błońska, E., Kempf, M., & Lasota, J. (2022). Woody debris as a substrate for the growth of a new generation of forest trees. In *Forest Ecology and Management* (Vol. 525). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120566>

Bugni, N. O. C., Antunes, L. F. de S., Marinho Guerra, J. G., & Fernandes Correia, M. E. (2019). GONGOCOMPOSTO: SUBSTRATO ORGÂNICO PROVENIENTE DE RESÍDUOS DE PODA PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 9(3). <https://doi.org/10.21206/rbas.v9i3.8107>

Bustamante, M. A., Gomis, M. P., Pérez-Murcia, M. D., Gangi, D., Ceglie, F. G., Paredes, C., Pérez-Espinosa, A., Bernal, M. P., & Moral, R. (2021). Use of livestock waste composts as nursery growing media: Effect of a washing pre-treatment. *Scientia Horticulturae*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109954>

Carmona, E., Moreno, M. T., Avilés, M., & Ordovás, J. (2012). Use of grape marc compost as substrate for vegetable seedlings. *Scientia Horticulturae*, 137, 69–74. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.01.023>

Coêlho, J. D. (2021). Arroz: produção e mercado. *Fotaleza: Banco do Nordeste*, 6.

Czaban, J., & Siebielec, G. (2013). Effects of bentonite on sandy soil chemistry in a long-term plot experiment (II); effect on pH, CEC, and macro- and micronutrients. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(6).

da Silva, M. T., Martinazzo, R., Silva, S. D. A., Bamberg, A. L., Stumpf, L., Fermino, M. H., Kohler, T. W., Matoso, E. S., & Valgas, R. A. (2020). Innovative substrates for sugarcane seedling production: Sewage sludges and rice husk ash in a waste-to-product strategy. *Industrial Crops and Products*, 157, 112812. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112812>

de Boodt, M., & Verdonck, O. (1972). THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE SUBSTRATES IN HORTICULTURE. *Acta Horticulturae*, 26. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1972.26.5>

Douliou, D., Leodopoulos, C., Gimouhopoulos, K., & Rigas, F. (2009). Adsorption of humic acid on acid-activated Greek bentonite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 340(2), 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.07.028>

Duryea, M. L. (1985). *Evaluating seedling quality: importance to reforestation*.

FAO. (2017). The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017. In *The future of food and agriculture: trends and challenges* (Vol. 4, Número 4).

Gazola, T., Gualberto, R., Dias, M. F., Cipola Filho, M. L., Belapart, D., & de Castro, E. B. (2015). Avaliação de substratos alternativos na produção de mudas e desenvolvimento de plantas de alface. *Revista Unimar Ciências*, 24(1–2).

Gohardoust, M. R., Bar-Tal, A., Effati, M., & Tuller, M. (2020). Characterization of physicochemical and hydraulic properties of organic and mineral soilless culture substrates and mixtures. *Agronomy*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy10091403>

Gomah, H. H., Ahmed, M. M. M., Abdalla, R. M., Farghly, K. A., & Eissa, M. A. (2020). Utilization of some organic wastes as growing media for lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. *Journal of Plant Nutrition*, 43(14). <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1766077>

Gonçalves, J. L. de M., & Poggiani, F. (1996). Substratos para produção de mudas florestais. *Congresso latino americano de ciência do solo*, 13, 1996.

Grim, R. E., & Guven, N. (2011). *Bentonites: geology, mineralogy, properties and uses*. Elsevier.

Hoover, B. K. (2018). Herbaceous perennial seed germination and seedling growth in biochar-amended propagation substrates. *HortScience*, 53(2). <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12624-17>

Hosseini, S. J., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Pirdashti, H., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Hazrati, S., & Nicola, S. (2021). Investigation of yield, phytochemical composition, and photosynthetic pigments in different mint ecotypes under salinity stress. *Food Science and Nutrition*, 9(5). <https://doi.org/10.1002/fsn3.2219>

Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (2018). Aggregate stability and size distribution. In *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17>

Kholkhal, D., & Benmahioul, B. (2021). Effects of substrate on the germination and seedling growth of *Quercus suber* L. . *Biodiversity Research and Conservation*, 64(1). <https://doi.org/10.2478/biorc-2021-0008>

Klute, A., & Dirksen, C. (1986). Water retention. Laboratory methods. In *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods, Agronomy Monograph vol. 9 ASA–SSSA*.

Li, X., Xia, H., Wang, J., & Chen, Q. (2021). Nutrient uptake and assimilation in fragrant rosewood (*Dalbergia odorifera* TC Chen) seedlings in growing media with un-composted spent mushroom residue. *PLoS One*, 16(4), e0249534.

Lin, L., Qin, J., Zhang, Y., Yin, J., Guo, G., Khan, M. A., Liu, Y., Liu, Q., Wang, Q., Chang, K., Mašek, O., Wang, J., Hu, S., Ma, W., Li, X., Gouda, S. G., & Huang, Q. (2023). Assessing the suitability of municipal sewage sludge and coconut bran as breeding medium for *Oryza sativa* L. seedlings and developing a standardized substrate. *Journal of Environmental Management*, 344, 118644. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118644>

Luz, A. B. da, & Oliveira, C. H. de. (2008). *Argila-bentonita*. CETEM.

Luz, J. M. Q., Brandao, F. D., Martins, S. T., & de Melo, B. (2006). *Produtividade de cultivares de alface em função de mudas produzidas em diferentes substratos comerciais*.

Ma, L., Chai, C., Wu, W., Qi, P., Liu, X., & Hao, J. (2023). Hydrogels as the plant culture substrates: A review. *Carbohydrate Polymers*, 305, 120544. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120544>

Maguire, J. D. (1962). Speed of Germination—Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor 1 . *Crop Science*, 2(2). <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183x000200020033x>

Manca, A., da Silva, M. R., Guerrini, I. A., Fernandes, D. M., Villas Bôas, R. L., da Silva, L. C., da Fonseca, A. C., Ruggiu, M. C., Cruz, C. V., Lozano Sivilsaca, D. C., de Moura D'Andréa Mateus, C., Murgia, I., Grilli, E., Ganga, A., & Capra, G. F. (2020). Composted sewage sludge with sugarcane bagasse as a commercial substrate for *Eucalyptus urograndis* seedling production. *Journal of Cleaner Production*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122145>

MAPA, M. da A. P. e A. (2007). Métodos analíticos oficiais para análise de substratos para plantas e condicionadores de solo. *Instrução Normativa SDA Nº 17.*, 1(99).

Marouelli, W. A., & Braga, M. B. (2016). Irrigação na produção de mudas de hortaliças. *Uberlândia, MG: Campo & Negócios Hortifruti*.

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., & Gomis, M. I. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 2.

Meng, X., Dai, J., Zhang, Y., Wang, X., Zhu, W., Yuan, X., Yuan, H., & Cui, Z. (2018). Composted biogas residue and spent mushroom substrate as a growth medium for tomato and pepper seedlings. *Journal of Environmental Management*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.056>

Meng, X., Liu, B., Zhang, H., Wu, J., Yuan, X., & Cui, Z. (2019). Co-composting of the biogas residues and spent mushroom substrate: Physicochemical properties and maturity assessment. *Bioresource Technology*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.097>

Meng, X., Wang, Q., Lv, Z., Cai, Y., Zhu, M., Li, J., Ma, X., Cui, Z., & Ren, L. (2022). Novel seedling substrate made by different types of biogas residues: Feasibility, carbon emission reduction and economic benefit potential. *Industrial Crops and Products*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115028>

Mi, J., Gregorich, E. G., Xu, S., McLaughlin, N. B., & Liu, J. (2020). Effect of bentonite as a soil amendment on field water-holding capacity, and millet photosynthesis and grain quality. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75350-9>

Mi, J., Gregorich, E. G., Xu, S., McLaughlin, N. B., Ma, B., & Liu, J. (2021). Changes in soil biochemical properties following application of bentonite as a soil amendment. *European Journal of Soil Biology*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103251>

Moreno, G. R., Fernández, M. E., & Contreras, E. D. (2021). Balanced mixture of biochar and synthetic fertilizer increases seedling quality of *Acacia mangium*. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(6). <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.04.004>

Oliveira Vieira, V., Almeida Conceição, A., Raisia Barbosa Cunha, J., Enis Virginio Machado, A., Gonzaga de Almeida, E., Souza Dias, E., Magalhães Alcantara, L., Neil Gerard Miller, R., & Gonçalves de Siqueira, F. (2022). A new circular economy approach for integrated production of tomatoes and mushrooms. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2756–2765. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.058>

Or, D., Tuller, M., & Wraith, J. M. (2005). Soil water potential. *Encyclopedia of soils in the environment*, 3, 270–277.

Ortiz-Delvasto, N., Garcia-Ibañez, P., Olmos-Ruiz, R., Bárzana, G., & Carvajal, M. (2023). Substrate composition affects growth and physiological parameters of blueberry. *Scientia Horticulturae*, 308, 111528. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111528>

Palansooriya, K. N., Shaheen, S. M., Chen, S. S., Tsang, D. C. W., Hashimoto, Y., Hou, D., Bolan, N. S., Rinklebe, J., & Ok, Y. S. (2020). Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review. In *Environment International* (Vol. 134). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105046>

Pandey, S. (2017). A comprehensive review on recent developments in bentonite-based materials used as adsorbents for wastewater treatment. *Journal of*

*Molecular Liquids*, 241, 1091–1113.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.06.115>

Paradelo, R., Basanta, R., & Barral, M. T. (2019). Water-holding capacity and plant growth in compost-based substrates modified with polyacrylamide, guar gum or bentonite. *Scientia Horticulturae*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.046>

Pascual, J. A., Ceglie, F., Tuzel, Y., Koller, M., Koren, A., Hitchings, R., & Tittarelli, F. (2018). Organic substrate for transplant production in organic nurseries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(3), 35. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0508-4>

R Core Team. (2022). R Core Team 2021 R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. <https://www.R-project.org/>. *R Foundation for Statistical Computing*, 2.

Ritchie, G. A. (1984). Assessing seedling quality. In *Forestry nursery manual: production of bareroot seedlings* (p. 243–259). Springer.

Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. In *Antioxidants* (Vol. 10, Número 2). <https://doi.org/10.3390/antiox10020277>

Semalulu, O., Elobu, P., Namazzi, S., Kyebogola, S., & Mubiru, D. N. (2017). Higher Cereal and Legume Yields Using Ca-bentonite on Sandy Soils in the Dry Eastern Uganda: Increased Productivity versus Profitability. *Universal Journal of Agricultural Research*, 5(2). <https://doi.org/10.13189/ujar.2017.050209>

Senf, C., Buras, A., Zang, C. S., Rammig, A., & Seidl, R. (2020). Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications*, 11(1), 6200. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1>

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4). <https://doi.org/10.2307/2333709>

Shwan, D. M. S., Qadr, F. M., Kaufhold, S., & Ufer, K. (2023). Exploration and characterization of Local Raw Bentonite of a part of Garmiyān-Kurdistan/Iraq. *Kuwait Journal of Science*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.kjs.2023.07.006>

Siriprom, W., Teanchai, K., & Chamchoi, N. (2022). The physical properties of substrate cultures: A preliminary characterization. *Materials Today: Proceedings*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.310>

Starý, J., Jirásek, J., Ptíčen, F., Zahradník, J., & Sivek, M. (2021). Review of production, reserves, and processing of clays (including bentonite) in the Czech Republic. *Applied Clay Science*, 205, 106049. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2021.106049>

Sun, G., Hu, Z., Ma, Y., Xie, Z., Sun, F., Wang, J., & Yang, S. (2021). Analysis of local land atmosphere coupling characteristics over Tibetan Plateau in the dry and rainy seasons using observational data and ERA5. *Science of the Total Environment*, 774. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145138>

Teklić, T., Parađiković, N., Špoljarević, M., Zeljković, S., Lončarić, Z., & Lisjak, M. (2021). Linking abiotic stress, plant metabolites, biostimulants and functional food. In *Annals of Applied Biology* (Vol. 178, Número 2). <https://doi.org/10.1111/aab.12651>

Tomadoni, B., Salcedo, M. F., Mansilla, A. Y., Casalongué, C. A., & Alvarez, V. A. (2020). Macroporous alginate-based hydrogels to control soil substrate moisture: Effect on lettuce plants under drought stress. *European Polymer Journal*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109953>

Tukey, J. W. (1959). A Quick Compact Two Sample Test To Duckworth's Specifications. *Technometrics*, 1(1). <https://doi.org/10.1080/00401706.1959.10489847>

van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2(7). <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>

Vaughn, S. F., Byars, J. A., Jackson, M. A., Peterson, S. C., & Eller, F. J. (2021). Tomato seed germination and transplant growth in a commercial potting substrate amended with nutrient-preconditioned Eastern red cedar (*Juniperus virginiana* L.) wood biochar. *Scientia Horticulturae*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109947>

Wallach, R. (2019). Chapter 3 - Physical Characteristics of Soilless Media. In M. Raviv, J. H. Lieth, & A. Bar-Tal (Orgs.), *Soilless Culture (Second Edition)* (Second Edi, p. 33–112). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00003-7>

Wang, Y., He, Z., Wang, J., Wu, C., Yu, G., & Tang, Y. (2018). Experiment on transplanting performance of automatic vegetable pot seedling transplanter for dry land. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 34(3). <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2018.03.003>

Wang, Y., Tang, Y., Wang, J., & Cheng, S. (2016). Parameter optimization for dibble-type planting apparatus of vegetable pot seedling transplanter in high-speed condition. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 47(1). <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2016.01.013>

Wilson, B. C., & Jacobs, D. F. (2006). Quality assessment of temperate zone deciduous hardwood seedlings. *New Forests*, 31, 417–433.

Yan, Z., He, D., Niu, G., & Zhai, H. (2019). Evaluation of growth and quality of hydroponic lettuce at harvest as affected by the light intensity, photoperiod and light quality at seedling stage. *Scientia Horticulturae*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.002>

Yavuz, D., Seymen, M., Süheri, S., Yavuz, N., Türkmen, Ö., & Kurtar, E. S. (2020). How do rootstocks of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) affect the yield and quality of watermelon under deficit irrigation? *Agricultural Water Management*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106351>

Young, T., Cameron, D. D., Sorrill, J., Edwards, T., & Phoenix, G. K. (2014). Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 507–516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.04.007>

Zayani, K., Bousnina, H., Mhiri, A., Hartmann, R., & Cherif, H. (1996). Evaporation in layered soils under different rates of clay amendment. *Agricultural Water Management*, 30(2). [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(95\)01217-6](https://doi.org/10.1016/0378-3774(95)01217-6)