

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**FITOTECNIA**

**DISSERTAÇÃO**

**Resposta de Brócolis à Adubação com Composto Orgânico à Base de Cama de Aviário e Diferentes Doses de Biocarvão**

**Leandro Freitas Pereira**

**2024**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**RESPOSTA DE BRÓCOLIS À ADUBAÇÃO COM COMPOSTO  
ORGÂNICO À BASE DE CAMA DE AVIÁRIO E DIFERENTES  
DOSES DE BIOCARVÃO**

**LEANDRO FREITAS PEREIRA**

*Sob orientação da professora da UFRRJ  
Drª Margarida Goréte Ferreira do Carmo*

*E co-orientação do professor do IFPR  
Dr. Carlos Antônio dos Santos*

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Fitotecnia**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRRJ, área de concentração em Produção Vegetal.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2024

## FICHA CATALOGRÁFICA

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P436r Pereira, Leandro Freitas, --  
Resposta de Brócolis à Adubação com Composto Orgânico à  
Base de Cama de Aviário e Diferentes Doses de  
Biocarvão / Leandro Freitas Pereira. - Seropédica,  
2024.  
58 f.

Orientadora: Margarida Goréte Ferreira do Carmo.  
Coorientador: Carlos Antônio dos Santos .  
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro, Fitotecnia, 2024.

1. Brassica oleracea var. italica. 2.  
Plasmodiophora brassicae. 3. Cama de aviário. 4.  
Biocarvão. 5. Metais tóxicos. I. Carmo, Margarida  
Goréte Ferreira do, --, orient. II. Santos , Carlos  
Antônio dos, --, coorient. III Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. Fitotecnia. IV. Título.

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de  
Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



**HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 80 / 2024 - DeptFITO**  
**(12.28.01.00.00.00.32)**

**Nº do Protocolo: 23083.052128/2024-67**

**Seropédica-RJ, 24 de setembro de 2024.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**LEANDRO FREITAS PEREIRA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Fitotecnia**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRRJ, área de concentração em Produção Vegetal.

Dissertação Aprovada em: 26/02/2024

---

Dra. Margarida Goréte Ferreira do Carmo, UFRRJ/IA/DFITO

(Orientadora/Presidente)

---

Dr. Ednaldo da Silva Araújo, EMBRAPA Agrobiologia

Membro Interno

---

Dra. Mariella Camargo Rocha, PESAGRO

Membro Externo

**(Assinado digitalmente em 25/09/2024 15:49 )**  
MARGARIDA GORETE FERREIRA DO CARMO  
*PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR*  
*DeptFITO (12.28.01.00.00.32)*  
*Matrícula: 1213072*

**(Assinado digitalmente em 24/09/2024 16:45 )**  
MARIELLA CAMARGO ROCHA  
*ASSINANTE EXTERNO*  
*CPF: 267.808.998-36*

**(Assinado digitalmente em 24/09/2024 18:30 )**  
EDNALDO DA SILVA ARAÚJO  
*ASSINANTE EXTERNO*  
*CPF: 750.960.133-91*

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp>  
informando seu número: **80**, ano: **2024**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE  
MESTRADO**, data de emissão: **24/09/2024** e o código de verificação: **95f8e4800d**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que me permitiu realizar este sonho, me guiou e sustentou por todo o caminho, renovando minhas forças e concedendo sabedoria.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e ao curso de Pós-Graduação em Fitotecnia (PPGF) pelas experiências, oportunidades e capacitação.

À CAPES pela bolsa de mestrado concedida e à FAPERJ pelo financiamento dos projetos.

À minha orientadora, Dra. Margarida Goréte Ferreira do Carmo e ao meu co-orientador Dr. Carlos Antônio dos Santos, sempre dispostos, compartilhando e ensinando seus conhecimentos. Muito obrigado por toda ajuda neste processo.

Ao professor Dr. Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho, por toda atenção e contribuição neste trabalho.

À banca examinadora pelas contribuições para a melhoria deste trabalho Dr. Ednaldo da Silva Araújo (Embrapa) e a Dra. Mariella Camargo Rocha (PESAGRO-RJ).

Aos integrantes do Laboratório de Epidemiologia e Patologia de Sementes (LabEPS) pela ajuda na realização de cada atividade dos ensaios, por todos os momentos e experiências compartilhados. Marcos Paulo, Laura, Beatriz, Nicole, Juliane, Laércio, Luíza, Nathan e Lígia.

Aos funcionários do Setores de Grandes Culturas e da Horticultura do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ, pelo fornecimento de recursos e mão de obra, sempre dispostos a ajudar. Antônio, Paulinho, Manoel e Claudio.

À equipe do Laboratório de Química e Poluição do Solo e ao Laboratório de Estudos das Relações Solo-Planta da UFRRJ, pelo suporte à realização das análises. Professor Nelson Moura, Dra. Camila Barros e a Mariana e Marinete.

Aos meus pais Maria Eunice e Leonardo Pereira, que me instruíram no caminho que devo andar, e à minha tia Maria Elza, minha segunda mãe.

À minha noiva Ana Carolyne, pelo amor, companheirismo e compreensão.

Ao Alojamento Masculino da Pós-Graduação. Ambiente acolhedor, composto por pessoas incríveis, o qual sou grato pelo tempo que passei e pelas amizades que fiz.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram e me ajudaram na realização desta importante etapa de desenvolvimento pessoal e profissional.

Muito obrigado!!!

## RESUMO

**PEREIRA, L. F. Resposta de Brócolis à Adubação com Composto Orgânico à Base de Cama de Aviário e Diferentes Doses de Biocarvão.** 2024. 58 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

O brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*), é uma das principais hortaliças produzidas na Região Serrana do Rio de Janeiro e uma das mais procuradas pelo mercado. Seu cultivo e produção é limitado pelas restrições climáticas da cultura, contornado com uso de cultivares mais tolerantes ao calor; exigências nutricionais, atendida com grande aporte de adubos e; ocorrência de doenças, especialmente a hérnia das crucíferas, causada por *Plasmodiophora brassicae*. A cama de aviário (CA), apesar de ser o adubo mais utilizado, pode apresentar efeitos adversos devido ao aporte de metais potencialmente tóxicos e tóxicos. Uma das estratégias propostas visando o uso seguro é a sua compostagem com adição de biocarvão (BC). Como pouco se sabe sobre os efeitos da adição de BC na qualidade dos compostos orgânicos, desenvolveu-se o presente trabalho com o objetivo de: a) avaliar a adição de diferentes doses de BC na produção de compostos à base de CA e seus efeitos no desenvolvimento das plantas de brócolis, da hérnia das crucíferas e na qualidade das inflorescências, incluindo teores de metais tóxicos; b) avaliar o efeito da adubação com CA compostada com diferentes doses de BC sobre o desenvolvimento e produção de duas cultivares de brócolis. Para tanto, realizaram-se dois tipos de ensaios em casa de vegetação e vasos adubados com composto orgânico obtido pela compostagem de cama de aviário acrescida de diferentes proporções de BC - 0, 5, 10 e 15%: CA, CA+BC5%, CA+BC10% e CA+BC15%. No Ensaio 1, utilizou-se a cultivar Coliseu®, adubação com os quatro compostos (175 g por vaso) e inoculação ou não com esporos de *P. brassicae* ( $5 \times 10^3$  esporos  $g^{-1}$  de solo). No Ensaio 2, realizaram-se dois experimentos distintos com as cultivares Coliseu® e Legacy®, respectivamente, e adubação com 300 g por vaso dos compostos CA, CA+BC5%, CA+BC10% e CA+BC15%, mais testemunha sem cama de aviário. No Ensaio 1, registrou-se elevada severidade da doença e nenhum efeito dos compostos ou da interação inoculação x composto sobre o desenvolvimento e produção de brócolis, mas com efeito positivo da adição de biocarvão na redução da biodisponibilidade de Pb nas inflorescências. No Ensaio 2, registrou-se efeito positivo dos compostos sobre o desenvolvimento e acúmulo de biomassa nas plantas de Coliseu® e Legacy®, com resposta máxima nas doses de 7,7 e 12,7% de biocarvão para as duas respectivas cultivares, incluindo produção de inflorescências com bom valor de mercado.

**Palavras-chave:** *Brassica oleracea* var. *italica*; *Plasmodiophora brassicae*; cama de aviário; biocarvão; metais tóxicos; Pb.

## ABSTRACT

**PEREIRA, L. F. Response of Broccoli to Fertilization with Organic Compost Based on Poultry Litter and Different Doses of Biochar.** 2024. 58 p. Dissertation (Master's Degree in Plant Science). Institute of Agronomy, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) is one of the main vegetables produced in the mountainous region of Rio de Janeiro and one of the most sought after by the market. Its cultivation and production are limited by the crop's climatic restrictions, which are overcome by the use of cultivars that are more tolerant to heat; nutritional requirements, which are met with a large amount of fertilizer; and occurrence of diseases, especially clubroot, caused by *Plasmodiophora brassicae*. Poultry litter (PC), despite being the most widely used fertilizer, can have adverse effects due to the contribution of potentially toxic and toxic metals. One of the strategies proposed for its safe use is its composting with the addition of biochar (BC). Since little is known about the effects of BC addition on the quality of organic compounds, this study was developed with the objective of: a) evaluating the addition of different BC doses in the production of CA-based compounds and their effects on the development of broccoli plants, clubroot and inflorescence quality, including toxic metal levels; b) evaluating the effect of fertilization with CA composted with different BC doses on the development and production of two broccoli cultivars. For this purpose, two types of tests were carried out in a greenhouse and pots fertilized with organic compost obtained by composting poultry litter added with different proportions of BC - 0, 5, 10 and 15%: CA, CA+BC5%, CA+BC10% and CA+BC15%. In Trial 1, the cultivar Coliseu® was used, fertilized with the four compounds (175 g per pot) and inoculated or not with *P. brassicae* spores (5x10<sup>3</sup> spores g<sup>-1</sup> of soil). In Trial 2, two different experiments were carried out with the cultivars Coliseu® and Legacy®, respectively, and fertilized with 300 g per pot of the compounds CA, CA+BC5%, CA+BC10% and CA+BC15%, plus a control without poultry litter. In Trial 1, high disease severity was recorded and no effect of the compounds or the inoculation x compound interaction on the development and production of broccoli, but with a positive effect of the addition of biochar in reducing the bioavailability of Pb in the inflorescences. In Trial 2, a positive effect of the compounds on the development and accumulation of biomass in Coliseu® and Legacy® plants was recorded, with maximum response at doses of 7.7 and 12.7% of biochar for the two respective cultivars, including production of inflorescences with good market value.

**Keywords:** *Brassica oleracea* var. *italica*; *Plasmodiophora brassicae*; poultry litter; biochar; toxic metals; Pb.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Variação da temperatura nas pilhas dos compostos orgânicos produzidos pela mistura de cama de aviário (CA), coletada em granjas de produção de frangos de corte localizadas na Região Serrana do Rio de Janeiro e enriquecida com diferentes porcentagens de biocarvão (BC), (0, 5, 10 e 15%), ao longo de 90 dias durante o processo de compostagem, realizado no período de setembro a novembro de 2022 (A), e ao longo de 60 dias durante o processo de compostagem, realizado no período de abril a maio de 2023 (B). Seropédica, UFRRJ, 2023. Fonte figura A: adaptado de Ferreira (2023) .....15
- Figura 2.** Parâmetros fotossintéticos de plantas de brócolis adubadas com cama de aviário compostada com biocarvão por 90 dias, deduzidas pela análise do teste JIP de transientes de fluorescência normalizados usando o controle (CA – BC0%) como referência.....25
- Figura 3.** Fluorescência transiente da clorofila a de folhas adaptadas ao escuro de plantas de brócolis adubadas com composto à base de cama de aviário compostada por 90 dias e enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, inoculadas com *Plasmidiophora brassicae* (A, B, C, D, E, F) e não inoculadas (G, H, I, J, L). Fluorescência variável relativa entre as etapas O e P (Wt) em escala de tempo logarítmica (A, D, G, J); Fluorescência variável relativa entre as etapas O e I (WOI; em escala de tempo logarítmica) (B, E, H, K); fluorescência variável relativa entre as etapas I e P (WIP) e WOI na inserção (C, F, I, L) .....26
- Figura 4.** Fluorescência transiente da clorofila *a* de folhas adaptadas ao escuro de plantas de brócolis adubadas com composto à base de CA compostada por 90 dias e enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, inoculadas com *Plasmidiophora brassicae* (A, B, C, D) e não inoculadas (E, F, G, H). Fluorescência variável relativa entre as etapas O e J (WOJ; eixo vertical esquerdo e gráfico com símbolos) e cinética média (eixo vertical direito e gráfico sem símbolos) representada entre as etapas O e J ( $\Delta W_{OJ}$ ), revelando a banda K (A , C, E, G); Fluorescência variável relativa entre as etapas O e K (WOK; eixo vertical esquerdo e gráfico com símbolos) e cinética média (eixo vertical direito e gráfico sem símbolos) representada entre as etapas O e K ( $\Delta W_{OK}$ ), revelando a banda L (B , D, F, H).....27
- Figura 5.** Efeito da porcentagem de biocarvão adicionado à cama de aviário, seguido de compostagem por 60 dias, comparado a tratamento sem adição de composto, sobre a massa fresca das inflorescências (A) e massa seca (B) da planta de brócolis, cultivar Coliseu, em ensaio realizado em condições de casa de vegetação no período de junho a agosto de 2023. Seropédica, UFRRJ, 2023.....38
- Figura 6.** Efeito da porcentagem de biocarvão adicionado à cama de aviário, seguido de compostagem por 60 dias, comparado a tratamento sem adição de composto, sobre a massa fresca das inflorescências (A) e massa seca (B) das plantas de brócolis, cultivar Legacy, em ensaio realizado em condições de casa de vegetação no período de junho a agosto de 2023. Seropédica, UFRRJ, 2023.....38

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Valores médios dos teores de nutrientes (em base seca) e pH de composto orgânico produzido com cama de aviário (CA) coletada em granjas de produção de frangos de corte localizadas na Região Serrana do Rio de Janeiro e enriquecida com diferentes porcentagens de biocarvão (BC), (0, 5, 10 e 15%), seguido de compostagem por 90 dias no lote 1 e de 60 dias no lote 2. Seropédica, UFRRJ, 2022 e 2023.....	14
<b>Tabela 2.</b> Dados da análise de fertilidade do solo sem adubação e adubado com composto à base de cama de aviário (CA) enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão (BC). Amostra coletada antes do plantio do brócolis. Seropédica, UFRRJ, 2022.....	16
<b>Tabela 3.</b> Dados da análise de fertilidade do solo sem adubação (testemunha), adubado com composto à base de cama de aviário (CA) pura ou enriquecida com 5, 10 e 15% de biocarvão (BC). Amostra coletada antes do plantio do brócolis. Seropédica, UFRRJ, 2023.....	18
<b>Tabela 4.</b> Efeito da inoculação com esporos resistentes de <i>P. brassicae</i> sobre a severidade da hérnia das crucíferas, massa fresca de raiz sadia e com galhas, porcentagem de raízes com galhas com base na massa fresca (PMFRH), volume de raízes sadias e das galhas e porcentagem de raízes com galhas com base no volume (PVRH) e massa seca total de raiz em plantas de brócolis cv. Coliseu®, em ensaio realizado em condições de casa de vegetação no período de agosto a outubro de 2022. Seropédica, UFRRJ, 2022.....	21
<b>Tabela 5.</b> Efeito da inoculação com esporos resistentes de <i>Plasmodiophora brassicae</i> ( <i>Pb</i> ) sobre altura e número de folhas, massa fresca da folha, caule, inflorescência e da parte aérea, diâmetro da inflorescência, massa seca da folha, caule, inflorescência, parte aérea e da planta inteira, em plantas de brócolis cv. Coliseu®, em ensaio realizado em condições de casa de vegetação de agosto a outubro de 2022. Seropédica, UFRRJ, 2022.....	22
<b>Tabela 6.</b> Quantidade de composto orgânico (CO), cama de aviário (CA), biocarvão (BC), superfosfato simples (SS), e formulação mineral NK (NK) em gramas aportados por vaso e total estimado de N, P, K, Ca e Mg fornecido para as plantas. Seropédica, UFRRJ, 2022.....	23
<b>Tabela 7.</b> Teores de Ca e Mg na raiz, caule, folha e inflorescência de plantas de brócolis, cultivar Coliseu, adubadas com composto orgânico à base de cama de aviário enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, compostada por 90 dias. Seropédica, UFRRJ, 2022.....	24
<b>Tabela 8.</b> Teores de metais em solo adubado com composto orgânico à base de cama de aviário (CA) coletada em granjas de produção de frangos de corte localizadas na Região Serrana do Rio de Janeiro e enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão (BC) e compostado por 90 dias. Amostras de solo coletadas após aplicação dos respectivos compostos e ao final do ciclo das plantas de brócolis, cultivar Coliseu. Seropédica, UFRRJ, 2022.....	29
<b>Tabela 9.</b> Teores de Cd, Pb, Ni, Cr, Al, Mn, Cu, Zn e Fe nas raízes, caules, folhas e inflorescências de plantas de brócolis, cultivar Coliseu, adubadas com composto orgânico à base de cama de aviário (CA) enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão (BC), compostado por 90 dias. Seropédica, UFRRJ, 2022.....	32

**Tabela 10.** Efeito da aplicação de composto orgânico à base de cama de aviário (CA) enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão (BC) compostado por 60 dias, sobre a massa fresca e seca de raiz, e volume de raiz, em plantas de brócolis, cultivares Coliseu e Legacy. Ensaios simultâneos realizados em condições de casa de vegetação de junho a agosto de 2023. Seropédica, UFRRJ, 2023.....34

**Tabela 11.** Quantidade de composto orgânico (CO), cama de aviário (CA), biocarvão (BC), superfosfato simples (SS), e formulação mineral NK (NK) em gramas aportados por vaso e total estimado de N, P, K, Ca e Mg fornecido para as plantas. Seropédica, UFRRJ, 2023.....35

**Tabela 12.** Efeito da aplicação de composto orgânico à base de cama de aviário enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, compostado por 60 dias, sobre altura, número de folhas (NF), massa fresca da folha (MFF), caule (MFC), inflorescência (MFI), parte aérea (MFPA) e diâmetro da inflorescência (DLI), massa seca da folha (MSF), caule (MSC), inflorescência (MSI), parte aérea (MSPA) e da planta (MSP), em plantas de brócolis de duas cultivares, Coliseu e Legacy. Ensaios simultâneos realizados em condições de casa de vegetação de junho a agosto de 2023. Seropédica, UFRRJ, 2023.....37

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1.	Aspectos Gerais das Brássicas .....	3
2.2.	A Cultura de Brócolis.....	4
2.2.1.	Características gerais da planta .....	5
2.2.2.	Crescimento, nutrição e fisiologia de brócolis .....	5
2.2.3.	A hérnia das crucíferas em brócolis .....	6
2.4.	Cama de Aviário e Compostos Orgânicos na Produção de Brássicas e Controle de Doenças .....	9
2.5.	Biocarvão.....	11
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
3.1.	Obtenção e caracterização de cama de aviário compostada com doses de biocarvão	13
3.2.	Ensaio 1: Efeito de Composto de Cama de Aviário e Doses de Biocarvão sobre o Desenvolvimento das Plantas, Intensidade da Hérnia das Crucíferas e Teores de Metais	16
3.3.	Ensaio 2: Efeito de Composto de Cama de Aviário e Diferentes Doses de Biocarvão sobre Duas Cultivares de Brócolis .....	18
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
4.1.	Ensaio 1: Composto à Base de Cama de Aviário e Biocarvão e Inoculação com <i>Plasmodiophora brassicae</i> .....	20
4.1.1.	Efeitos sobre a Hérnia das Crucíferas e Produção de Brócolis .....	20
4.1.2	Efeitos sobre parâmetros fotossintéticos .....	24
4.1.3.	Efeitos sobre teores totais de metais tóxicos no solo e nos órgãos da planta.....	28
4.2.	Ensaio 2: Efeito de Composto de Cama de Aviário e Diferentes Doses de Biocarvão sobre Duas Cultivares de Brócolis.....	33
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>40</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>41</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A família botânica Brassicaceae compreende várias espécies de interesse agronômico, incluindo várias hortaliças e oleaginosas. Dentre as hortaliças mais cultivadas no mundo estão espécies desta família, com destaque para *Brassica oleracea* que inclui quatro variedades botânicas principais: brócolis (*B. oleracea* var. *italica*), couve-flor (*B. oleracea* var. *botrytis*), repolho (*B. oleracea* var. *capitata*) e couve de folhas (*B. oleracea* var. *acephala*). O cultivo de brássicas requer condições climáticas adequadas como temperaturas amenas a frias, de 15 a 22°C, solos com boa fertilidade e sem restrição hídrica. Em geral, exibem rápido crescimento, alta eficiência na extração de nutrientes e elevada produção de biomassa.

No Brasil, a produção de brássicas concentra-se nas regiões Sudeste e Sul (IBGE, 2017). O Estado do Rio de Janeiro apresenta papel de destaque na produção nacional de brássicas (IBGE, 2017). No ano de 2020, foram produzidos, aproximadamente, 22.386 Mg de brócolis (EMATER-RJ, 2020), principalmente em Nova Friburgo, Teresópolis e Sumidouro e em outros municípios da Região Serrana do Estado (EMATER-RJ, 2020). A produção de brássicas na Região Serrana do Estado é obtida em sistemas intensivos de cultivo e com grande aporte de agroquímicos e de resíduos orgânicos. Dentre os insumos mais utilizados está a cama de aviário, com aplicações regulares de altas doses do resíduo ainda fresco, ou seja, sem compostagem ou tratamento prévio. Estas aplicações são justificadas pela composição química deste resíduo, com altas concentrações de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Zn, Cu e Fe), e pela facilidade e custo em virtude da proximidade das áreas de cultivo às granjas de criação de aves na Região Serrana.

A cama de aviário é o resíduo da produção avícola e tem composição química variável em função de diferentes aspectos inerentes ao manejo das granjas como material utilizado na forração das granjas, dieta, medicação e manejo das aves, número de ciclos de criação em uma mesma cama e método de sanitização utilizado ao final de cada ciclo. Pela abundância, facilidade de aquisição e preços, constitui hoje o principal adubo usado na produção de hortaliças na região Serrana do Estado Rio de Janeiro. Pela conveniência e falta de regulamentação é, na grande maioria das vezes, utilizada na forma fresca. Sabe-se, no entanto, que para maior segurança do ponto de vista fitotécnico, de saúde humana e proteção do meio ambiente, a aplicação de técnicas de compostagem é importante para se garantir a obtenção de compostos estáveis e seguros, tanto sob o ponto de vista sanitário como ambiental e agronômico. Outro aspecto relevante é a presença, em níveis variáveis, de metais tóxicos como o Cd e Pb e à sua maior ou menor solubilidade.

Diferentes tratamentos da cama de aviário têm sido propostos visando a sua melhoria como fertilizante e a redução dos riscos de sua aplicação, principalmente em hortaliças frescas. Dentre estas propostas, a mais conhecida e preconizada é a compostagem. No processo de compostagem, podem ser utilizados diferentes tipos de resíduos, dependendo de sua composição, relação C:N e disponibilidade de material. Dentre os materiais passíveis de adição à cama de aviário durante o processo de compostagem está o biocarvão ou “biochar”. Biocarvão, produto resultante da pirólise de resíduos orgânicos e preconizado na agricultura como condicionador do solo, tem como características importantes a alta capacidade de retenção de água e de nutrientes e o aumento da CTC do solo. Desta forma, a sua adição na produção de compostos à base de cama de aviário pode ser uma alternativa para otimização do processo e melhoria da qualidade do adubo produzido. Estes benefícios devem-se ao seu potencial em reduzir as perdas de N por volatilização de amônia e de formar complexos estáveis com metais tóxicos e potencialmente tóxicos. Inexistem, porém, informações sobre a combinação de cama de aviário e biocarvão e sobre seus potenciais benefícios para a qualidade dos compostos. Dentre as questões a serem investigadas estão proporção adequada entre os dois componentes, cama de aviário e biocarvão, e efeitos dos compostos obtidos sobre a qualidade

e produtividade de hortaliças. Dentre os aspectos que precisam ser elucidados estão: efeito nutricional e qualidade do adubo orgânico produzido; efeitos sobre o desenvolvimento de doenças e efeitos sobre a contaminação dos solos e dos alimentos produzidos com metais tóxicos e potencialmente tóxicos.

Para este estudo, foi escolhida a cultura de brócolis pela sua importância, pelo seu histórico de cultivo relacionado à adubação com cama de aviário e pelos relatos de problemas com contaminação com metais tóxicos, especialmente o Pb. Além destes aspectos, pode-se destacar ainda outras características do brócolis, como: hortaliça nutricionalmente exigente e pertencente a uma família Brassicaceae, conhecida como extratora e tolerante a metais tóxicos e potencialmente tóxicos. Para avaliar o efeito sobre o desenvolvimento de doenças, foi escolhida a hérnia das crucíferas causada por *Plasmodiophora brassicae* Woronin. Sua escolha baseia-se no fato de ser uma das doenças mais importantes da cultura e por ser uma doença que tem seu desenvolvimento diretamente afetado pelas características físicas e químicas do solo e com a nutrição das plantas. A hérnia das crucíferas resulta na formação de galhas radiculares que afetam a absorção de água e de nutrientes e, consequentemente, o desenvolvimento e produtividade das plantas.

A presente proposta partiu da premissa de que “adição de biocarvão à cama de aviário durante o processo de compostagem melhora a qualidade do composto quanto à estabilidade e, consequentemente, favorece o desenvolvimento de plantas de brócolis com ganhos de produtividade e qualidade; reduz as perdas causadas pela hérnia das crucíferas e; reduz a contaminação das inflorescências por metais tóxicos e potencialmente tóxicos”.

Para testar esta hipótese a dissertação foi elaborada como os seguintes objetivos:

- a) Avaliar o efeito de compostos orgânicos, obtidos com adição de biocarvão em diferentes proporções durante a compostagem de cama de aviário, sobre o desenvolvimento de plantas de brócolis e controle da hérnia das crucíferas.
- b) Avaliar o efeito de compostos orgânicos, obtidos com adição de biocarvão em diferentes proporções durante a compostagem de cama de aviário, sobre o teor de nutrientes e de metais tóxicos nos diferentes órgãos da planta de brócolis.
- c) Avaliar a qualidade dos compostos à base de cama de aviário mais biocarvão como adubo orgânico para a cultura de brócolis, em duas cultivares distintas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Aspectos Gerais das Brássicas

A família botânica Brassicaceae (= Cruciferae) abrange grande número de espécies de interesse agronômico no Brasil e em todo o mundo (MAY et al., 2007; FILGUEIRA, 2008). Esta família apresenta grande variabilidade genética e diversidade botânica, englobando cerca de 338 gêneros e mais de 3700 espécies distribuídas pelo mundo (THEISEN, 2008; CARLOS et al., 2022). Dentre estas espécies está a *Brassica oleracea* e suas variedades botânicas como brócolis (*B. oleracea* var. *italica*), couve-flor (*B. oleracea* var. *botrytis*), repolho (*B. oleracea* var. *capitata*), couve-manteiga (*B. oleracea* var. *acephala*), couve-tronchuda (*B. oleracea* var. *tronchuda*), couve-de-bruxelas (*B. oleracea* var. *gemmifera*) e couve-rábano (*B. oleracea* var. *gongylodes*). A espécie *B. oleracea* tem a região da Costa do Mediterrâneo como centro de origem. Nesta região, iniciaram-se os primeiros processos de cultivo e seleção que, após séculos, deram origem às atuais plantas de “brássicas” cultivadas. A partir da Europa, foram difundidas para todo o mundo de tal forma a tornarem-se hoje cosmopolitas e de grande importância econômica, social e nutricional (MAY et al., 2007; FILGUEIRA, 2008; MELO & VENDRAME, 2014; MELO, 2015). Dentre outras espécies de importância econômica pertencentes à família Brassicaceae estão hortaliças como agrião (*Nasturtium officinale*), mostarda (*B. juncea*), nabo (*B. rapa*), rabanete (*Raphanus sativus*), rúcula (*Eruca sativa*) e a couve-chinesa (*B. rapa* ssp. *pekinensis*) (MELO et al., 2017), além da oleaginosa canola ou colza (*B. napus* L. var. *oleifera*), cujo cultivo destina-se à produção de óleos comestíveis, biodiesel e ração animal.

As hortaliças da família Brassicaceae são ricas em nutrientes, contém teores consideráveis de vitaminas (A, C, E e K), carotenóides (zeaxantina, caroteno e luteína), minerais (cálcio, fósforo e ferro) e fibras e baixo teor calórico (NEPA–UNICAMP, 2011; DOMÍNGUEZ-PERLES et al., 2014; FAVELA GONZÁLES et al., 2020). Muitas destas hortaliças são também citadas como ricas em compostos antioxidantes e em outros compostos, como os glucosinolatos e o indol-3-carbinol, que auxiliam na prevenção ou controle de doenças (PAULINO, 2008; FAVELA GONZÁLES et al., 2020; MIEKUS et al., 2020). Os carotenóides e glucosinolatos também funcionam como moléculas de defesa da planta contra agentes patogênicos (JI et al., 2023) e insetos (MIEKUS et al., 2020).

As brássicas são hortaliças oriundas de região de clima temperado. Em geral, requerem temperaturas amenas para um bom desenvolvimento e produção (MELO, 2015). As faixas de temperatura frequentemente citadas como adequadas para estas hortaliças são: 20°C para couve de folha; 15 a 21°C para repolho (cultivares de outono/inverno), 15 a 22°C para couve-flor e 15 a 18°C para brócolis. No entanto, em decorrência de diversos trabalhos de melhoramento genético, têm-se hoje cultivares tolerantes a temperaturas mais altas (SANTOS et al., 2020). As cultivares mais modernas apresentam também outras características importantes como boa produtividade e características das inflorescências como cor, forma, tamanho, peso e firmeza (MELLO, 2022). As plantas de *B. oleracea* em geral são sensíveis tanto ao déficit hídrico devido ao seu sistema radicular superficial, quanto ao excesso de umidade que reduz a aeração do solo e a respiração das raízes (MELO, 2015; MARQUELLI et al., 2017).

As brássicas são plantas com elevada capacidade de extração de nutrientes (MELO, 2015) e requerem solos férteis com valores de pH próximos a 6,5 e saturação por bases (V%) próximo ou superior a 80% (MAY et al., 2007; MELO, 2015; TRANI et al., 2015). Geralmente, exibem rápido crescimento e elevada produção de biomassa (SANTOS, 2020).

As brássicas estão sujeitas ao ataque de diferentes pragas e fitopatógenos que podem provocar perdas significativas de produtividade em todo o mundo (SHAW et al., 2022). Com relação às pragas, o grupo dos lepidópteros, hemípteros e coleópteros destacam-se como os

principais causadores de danos nestas culturas (FERNANDES et al., 2022). Entre as principais pragas que causam danos em brássicas estão a traça das crucíferas (*Plutella xylostella*), pulgões (*Brevicoryne brassicae*, *Myzus persicae* e *Lipaphis erysimi*), mosca branca (*Bemisia tabaci*), tripes (*Thrips tabaci*), curuquerê da couve (*Ascia monuste orseis*), lagarta mede palmo (*Trichoplusia ni*), lagarta rosca (*Agrotis ipsilon*), broca da couve (*Hellula phidilealis*), lagarta das folhas (*Spodoptera eridania*), mosca minadora (*Liriomyza spp.*) e a lagarta helicoverpa (*Helicoverpa spp.*) (HOLTZ et al., 2015; FERNANDES et al., 2022).

Entre as principais doenças causadas por fungos, oomicetos e protozoário que acometem as brássicas estão o tombamento ou *damping-off* (*Pythium spp.*, *Rhizoctonia solani* e *Sclerotium rolfsii*), a hérnia das crucíferas (*Plasmodiophora brassicae*), murcha de fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* e *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*), mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), podridão do colo e radicular (*Rhizoctonia solani*), ferrugem branca (*Albugo candida*), mancha de alternária (*Alternaria brassicicola*, *A. brassicae* e *A. japonica* (Sin. *A. raphani*), míldio (*Peronospora parasitica*), oídio (*Erysiphe polygoni* e *E. cruciferarum*) (REIS et al., 2021). Quanto às doenças causadas por bactérias, as principais são a podridão-negra (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*) e a podridão-mole (*Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*) (LOPES et al., 2022).

## 2.2. A Cultura de Brócolis

O brócolis (*B. oleracea* var. *italica*) é cultivado em mais de 90 países e tem mantido tendência de aumento de produção nos últimos 10 anos. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), no ano de 2021, a área mundial plantada com brócolis e com couve-flor foi de 1.381.236 ha com uma produção de cerca de 25.913.133 Mg e produtividade média estimada de 18,76 Mg por ha<sup>-1</sup>. Dentre os países com maior volume de produção, destacam-se China, Índia e Estados Unidos que detém cerca de 37,07%, 35,60% e 3,85% da produção mundial, respectivamente (FAOSTAT, 2021).

Dados do último Censo Agropecuário do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) mostram que há no Brasil cerca de 23.574 unidades produtoras de brócolis, 10.123 a mais do que no penúltimo censo realizado em 2006. A produção brasileira de brócolis é de 150.017 Mg e apresenta-se de forma mais acentuada nas regiões Sudeste e Sul, destacando os Estados de São Paulo (30.045 Mg), Minas Gerais (27.659 Mg), Rio de Janeiro (21.244 Mg), Rio Grande do Sul (26.986 Mg) e Paraná (18.726 Mg) como os maiores produtores do país. Os dados também mostram que, nos últimos anos, a cultura ganhou espaço nas Regiões Centro-Oeste e Nordeste (IBGE, 2017). Esta tendência tem sido estimulada e favorecida pelo desenvolvimento de novos cultivares, em geral híbridos, tolerantes a temperaturas mais elevadas o que tem possibilitado a ampliação das épocas e locais de cultivo (SANTOS et al., 2020).

O Estado do Rio de Janeiro, apresenta papel de destaque na produção nacional de brócolis (IBGE, 2017). De acordo com dados da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro (EMATER-RJ), foram produzidos no Rio de Janeiro aproximadamente 22.386 Mg de brócolis em área colhida de 1.187 ha com produtividade média de 18,85 Mg ha<sup>-1</sup> e faturamento bruto de R\$ 47.636.074,50. A Região Serrana destaca-se como a maior região produtora de brócolis do Estado com destaque para os municípios de Nova Friburgo, Teresópolis e Sumidouro (EMATER-RJ, 2020; PEREIRA et al., 2022).

Muitas das cultivares de brócolis cultivados no Brasil são oriundas de regiões de clima temperado como Ásia, Europa e América do Norte, e requerem clima mais ameno para um desenvolvimento adequado (MELO, 2015). A escolha correta das cultivares de brócolis é fator fundamental para boa produtividade da lavoura, devido à sua sensibilidade às condições ambientais, especialmente à temperatura (FILHO & MACIEL, 2022). Algumas cultivares de

brócolis ramoso ou de cabeça única podem ser cultivadas mesmo em condições de clima um pouco mais quente e úmido, mas com perdas de produtividade e qualidade (SANTOS et al., 2020). Em função do maior rendimento e uniformidade, tem-se observado o predomínio de cultivares híbridas. Estas representam hoje cerca de 80% das cultivares utilizadas em cultivos de brócolis no Brasil (FILHO & MACIEL, 2022).

### **2.2.1. Características gerais da planta**

Os brócolis comercializados no Brasil podem ser divididos em dois Grupos: brócolis americano e brócolis ramoso. O brócolis americano ou de inflorescência única ou ninja apresenta uma inflorescência terminal “cabeça” de maior diâmetro e botões florais menores com uma única colheita, similar à couve-flor. O brócolis ramoso possui diversas inflorescências pequenas e colheitas múltiplas; caule com menor diâmetro e ramificações laterais e comercializados em maços (MELO, 2015; FILGUEIRA, 2008). O ciclo das cultivares tradicionais de brócolis americano pode variar de 90 a 130 dias. A dinâmica da colheita do brócolis ramoso é diferente: inicia-se, em média, aos 90 dias após a semeadura e perdura por até 4 meses, com colheitas semanais (MELO, 2015).

As folhas das plantas de brócolis são沿ongadas e elípticas. O sistema radicular é do tipo pivotante, com concentração das raízes na profundidade de 20-30 cm (FILGUEIRA, 2008). O desenvolvimento da planta de brócolis compreende três fases. A primeira, é denominada fase juvenil e refere-se ao desenvolvimento vegetativo, porém não há indução reprodutiva. A segunda, é referente à indução da inflorescência. A terceira, corresponde à de crescimento da inflorescência. A indução floral e sua permanência na planta exigem temperaturas amenas. Este processo fisiológico pode ser comprometido, caso a temperatura exceda 30°C (MELLO, 2022). Períodos prolongados com temperatura média acima de 25°C durante o desenvolvimento das inflorescências pode limitar o crescimento das “cabeças” e favorecer o desenvolvimento de brácteas entre os floretes (TREVISAN et al., 2003), além de provocar distribuição irregular dos floretes, favorecendo a desuniformidade da parte comercial (MELLO, 2022).

### **2.2.2. Crescimento, nutrição e fisiologia de brócolis**

A planta de brócolis apresenta crescimento rápido e alta demanda por nutrientes (DINIZ et al., 2008). Desenvolve-se melhor em solos argilosos e férteis, com pH na faixa 6,5 e 7,0, saturação por bases de 80% e teor de magnésio mínimo de 0,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (MELO, 2015). Como os solos da maioria das regiões do Brasil são ácidos e com teores elevados de Al<sup>+3</sup> e baixo de Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>, é fundamental a correção da acidez com a calagem ou aplicação de outros corretivos de acidez (CAMPOS et al., 2013). A calagem deve ser realizada, preferencialmente, 60 dias antes do plantio. São escassos os trabalhos que mostram as curvas de absorção e exportação de nutrientes em brócolis. No entanto, dentre os nutrientes mais absorvidos e exportados pela couve-flor, cultura bastante similar ao brócolis, estão em ordem decrescente o N, K, Ca, S, P e Mg (DUARTE, et al., 2022).

Para adubação visando a produção de brócolis, preconiza-se a aplicação de adubos fosfatados no plantio; de potássio, 1/3 no plantio e, 1/3 em cobertura aos 20 e 40 dias após o transplante; de nitrogênio, a cada 30 dias após o transplante (GUERRA et al., 2013). O boro e o molibdênio são nutrientes importantes para a cultura e devem ser aplicados na adubação de plantio e/ou via foliar ao longo do ciclo (MELO, 2015).

As plantas de brássicas apresentam boa resposta à adubação orgânica, que pode substituir integralmente ou ser combinada com adubação mineral (GUERRA et al., 2013). Entre os principais benefícios da adubação orgânica estão o enriquecimento do solo com macro e

micronutrientes, aumento do teor de matéria orgânica, da capacidade de troca de cátions (CTC) e da atividade microbiana. Na adubação orgânica podem ser utilizados diferentes adubos, conforme a disponibilidade. Os mais citados são torta de mamona pré-fermentada, compostos do tipo bokashi, adubos verdes e estercos em geral como os de bovinos, suínos, equinos, caprinos ou de aves, desde que tenham passado pelo processo de compostagem (TRANI et al., 2013). Na Região Serrana do Rio de Janeiro, por exemplo, o mais utilizado é a cama de aviário (BHERING et al., 2017; SANTOS, 2020). Trani et al. (2013) recomendam que a aplicação seja feita cerca de 30 dias antes do transplante para evitar danos às mudas ou sementes e a distribuição na área total ou nas covas de plantio. Cruz (2023), no entanto, constatou que a aplicação de cama de aviário compostada por 60 dias pode ser incorporada ao solo no dia anterior ao transplante sem prejuízos ao desenvolvimento das plantas de brócolis.

O espaçamento recomendado para cultivo de brócolis é de 1,0 m x 0,5 m (GUERRA et al., 2013). No entanto, os espaçamentos podem variar conforme o porte e ciclo da cultivar (JUNIOR et al., 2015; MACEDO et al., 2022). No cultivo de brócolis, diferentes sistemas de irrigação podem ser adotados, sendo mais comum a irrigação por aspersão seguido da irrigação por gotejamento (MARQUELLI et al., 2017). O controle de plantas daninhas no cultivo de brássicas deve ser realizado no início do ciclo, ou até o período crítico de prevenção à interferência (PCPI), que no caso da cultura do brócolis equivale a 3 a 17 dias após o transplante das mudas (GONÇALVES et al., 2022).

A colheita deve necessariamente ser feita no período correto para garantir boa qualidade comercial e boa conservação pós-colheita das inflorescências. O número de dias desde o semeio até a colheita varia de acordo com a cultivar selecionada, podendo chegar até a 130 dias em cultivares tradicionais. No entanto, o mais importante é observar as características das inflorescências estando atento ao ponto ideal de colheita. Em brócolis de cabeça única, a colheita deve ser feita quando as inflorescências apresentam coloração uniforme, firmeza, compacidade, granulometria fina e botões florais fechados, sem pontos amarelados. É realizada por meio de corte rente no colo da planta, na altura da primeira folha (LUENGO & MELO, 2022).

O crescimento e desenvolvimento vegetal estão diretamente associados à atividade fotossintética das plantas e consequente produção e acúmulo de biomassa pelas plantas (TAIZ et al., 2017; GOVINDJEE, 2004). Como umas das medidas da atividade fotossintética tem-se a análise transiente da clorofila *a*, que é uma importante ferramenta nos estudos relacionados aos efeitos bióticos e abióticos sobre os processos fisiológicos das plantas (CAMPOSTRINI, 2001). A técnica permite avaliar o desempenho fotossintético, fornecendo informações detalhadas sobre a estrutura e funcionamento do aparato fotossintético, principalmente do fotossistema II (STRASSER et al., 2004), possibilitando uma avaliação fisiológica do estado geral da planta, sendo a fluorescência da clorofila *a* uma das técnicas mais utilizadas nas pesquisas relacionadas à fotossíntese (GOVINDJEE, 2004). De modo geral, avalia-se a fluorescência transiente da clorofila *a* utilizando um fluorômetro portátil com auxílio de clipe aderidos ao terço médio da folha mais jovem e totalmente expandida, e aguarda-se cerca de 30 minutos para adaptação da folha ao escuro, e em seguida realiza-se a leitura.

### **2.2.3. A hérnia das crucíferas em brócolis**

A hérnia das crucíferas pode provocar perdas severas na produtividade e na qualidade em diferentes brássicas em várias regiões do mundo (DIXON, 2009a,b; BHERING et al., 2017; JAVED et al., 2022). É causada por *Plasmodiophora brassicae* Woronin (DIXON, 2009a; ZAMANI-MOOR et al., 2022), protozoário habitante do solo, biotrófico e específico de plantas da família Brassicaceae. O patógeno sobrevive no solo como esporos resistentes por longos

períodos: tem tempo de meia-vida em torno de 3,6 anos, mas podem permanecer viáveis no solo por até 18 anos (DIXON, 2009b; SHAW et al., 2022).

O agente causal da doença foi identificado em 1873 pelo biólogo russo Michael Stepanovitch Woronin em São Petersburgo, na Rússia (DIXON, 2009a; DIXON, 2014). Atualmente, *P. brassicae* é classificado como pertencente à classe *Phytomyxea*; ordem: *Plasmodiophorales*; família: *Plasmodiophoraceae* e gênero: *Plasmodiophora* (JAVED et al., 2022).

Os registros iniciais da doença ocorreram a partir do século XVIII na Europa, que na época eram atribuídos a solos de baixa fertilidade (DIXON, 2009a; DIXON, 2014). Atualmente, a doença está disseminada em todo o mundo, com registro em todos os continentes e em mais de 80 países (JAVED et al., 2022). Na América do Sul, a hérnia das crucíferas já foi relatada na Argentina, Brasil, Chile, Guiana, Venezuela (DIXON, 2009a), Costa Rica, Guatemala, Bolívia, Equador, Peru, México e Colômbia (BOTERO et al., 2019). Sua ocorrência é registrada em regiões com clima favorável ao cultivo de brássicas, desde regiões de clima temperado a regiões tropicais com elevada altitude (DIXON, 2009a). No Brasil, a hérnia das crucíferas provoca as maiores perdas na região Sul e Sudeste, principalmente (BHERING et al., 2017).

Embora o ciclo de vida do patógeno seja complexo (ZAMANI-NOOR et al., 2022), é possível dividi-lo em três estágios: sobrevivência no solo na forma de esporos resistentes; infecção de pelos radiculares (infecção primária) e, infecção do tecido do córtex das raízes (infecção secundária) (KAGEYAMA & ASANO, 2009; SHAW et al., 2022). A primeira fase, inicia-se com a morte da planta hospedeira e liberação dos esporos resistentes e vai até a germinação destes esporos, que ocorre em resposta à exsudatos radiculares, e penetração nas raízes das plantas hospedeiras (KAGEYAMA & ASANO, 2009). A germinação consiste em liberação de um esporo biflagelado e móvel, zoósporo primário, que se movimentam pelo filme de água no solo até alcançarem os pelos radiculares (DIXON, 2014; BOTERO et al., 2019) ou células epidérmicas na zona de alongamento da raiz. A infecção inicia-se após a penetração dos pelos ou células epidérmicas (LIU et al., 2020). Esta etapa, entre liberação do zoósporo até a penetração no pelo radicular, é curta e a de maior vulnerabilidade do patógeno a fatores adversos (DIXON, 2009a,b; DIXON, 2014). A penetração do patógeno ocorre pela injeção do conteúdo do zoósporo na célula da planta seguido de crescimento e formação do plasmódio primário, que após seguidas divisões nucleares e clivagem levam à formação do zoosporângio. Cada zoosporângio libera cerca de 4 a 16 zoósporos secundários (KAGEYAMA & ASANO, 2009; LIU et al., 2020). O segundo estágio decorre da infecção do córtex radicular pelos zoósporos secundários, processo este que é iniciado cerca de sete dias após a inoculação (LIU et al., 2020). Os zoósporos secundários penetram nos tecidos corticais das raízes (infecção secundária) onde formam os plasmódios secundários. A infecção do córtex resulta em alterações no metabolismo e ao crescimento desorganizado e indiferenciado com consequente hipertrofia (divisão celular) e hiperplasia celular (alongamento celular) que resultam na formação das galhas radiculares e obstrução de vasos condutores (KAGEYAMA & ASANO, 2009; SHAW et al., 2022). Em estágios iniciais da infecção secundária estão presentes altas concentrações de plasmódios secundários uninucleados e binucleados nas células corticais infectadas, que evoluem para plasmódios secundários multinucleados e esporulados que, em fase seguinte, darão origem aos esporos de resistência (LIU et al., 2020). Estes esporos resistentes, formados no interior das galhas, são liberados no solo durante o processo de apodrecimento das raízes e permitem a longa sobrevivência do patógeno no solo. Novo ciclo de infecção e colonização somente ocorre quando da presença de novas plantas hospedeiras (DIXON, 2009b).

O sintoma característico da hérnia das crucíferas são as galhas no sistema radicular e no hipocótilo que levam ao desenvolvimento de sintomas secundários decorrentes da obstrução ao fluxo normal de água e nutrientes como atrofia das plantas, clorose, necrose e abscisão foliar,

murchas e, em casos severos, morte prematura das plantas (JAVED et al., 2022; SHAW et al., 2022; ZAMANI-NOOR et al., 2022). Plantas infectadas, dependendo da intensidade da doença, podem apresentar desenvolvimento reduzido quando comparadas às não infectadas por *P. brassicae* (BOTERO et al., 2019; JAVED et al., 2022).

O desenvolvimento da doença é diretamente afetado por fatores físicos e químicos do solo. Dentre os fatores físicos constam umidade e temperatura. A alta umidade do solo favorece a movimentação dos zoósporos até as raízes (DIXON, 2014; SHAW et al., 2022). Temperaturas na faixa de 9 a 30° C são suficientes para a ocorrência de infecções, com ótimo na faixa de 21 a 25°C (DIXON, 2009b; STRUCK et al., 2022; JAVED et al., 2022). Dentre os fatores químicos, destacam-se a acidez e o teor de cálcio. Struck et al. (2022) relatam que as condições mais propícias para o desenvolvimento da hérnia das crucíferas incluem altas temperaturas aliadas a solos levemente ácidos e com boa umidade durante as primeiras semanas após a semeadura. A severidade da doença é maior em solos com pH < 6,8 (DIXON, 2009b) e reduzida em solos com pH maior que 7,2 (STRUCK et al., 2022). O cálcio também tem efeito na doença por interferir na integridade da parede celular da planta hospedeira e assim na penetração dos zoósporos nos pêlos radiculares (DONALD & PORTER, 2009).

A principal estratégia de controle da hérnia das crucíferas é a prevenção, impedindo que o patógeno seja introduzido em novas áreas (SANTOS, 2020; SHAW et al., 2022); a rotação de culturas com espécies não hospedeiras, com intervalos do cultivo de brássicas superior a dois anos (SHAW et al., 2022); remoção e destruição de galhas remanescentes no solo após a colheita, o que reduz a liberação de esporos resistentes no solo e, consequentemente, aumento da densidade de inóculo (ZAMANI-NOOR et al., 2022). A utilização de mudas mais vigorosas e de maior porte é outra alternativa interessante por ser de baixo custo e de fácil emprego e poder auxiliar na redução da severidade da doença e reduzir perdas de produtividade (SANTOS, 2020; SANTOS et al., 2023b).

De forma geral, o controle da hérnia das crucíferas é complexo e requer a adoção de várias estratégias (SANTOS, 2020; SHAW et al.; 2022). O uso de variedades resistentes ainda é restrito. O patógeno, além de possuir alta variabilidade genética, também contém genes potencialmente envolvidos na manipulação de hormônios do hospedeiro, a fim de suprimir respostas fisiológicas de defesas e modificar o metabolismo da planta a seu favor, favorecendo seu desenvolvimento e sobrevivência (SAHARAN et al., 2021).

O controle químico da hérnia das crucíferas está restrito a um único princípio ativo registrado no Ministério da Agricultura (MAPA), a ciazofamida (AGROFIT, 2023). Trata-se de um fungicida de contato que atua na inibição da germinação dos esporos de resistência presentes no solo (MITANI et al., 2003), e por isso de ação preventiva, mas com alto custo e nem sempre efetivo (SHAW et al., 2022). Face às dificuldades expostas, investimentos têm sido feitos visando o desenvolvimento de técnicas de controle biológico. Agentes de biocontrole como *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. têm sido utilizados na Ásia, América do Norte e América Latina (SANTOS, 2017; JAVED et al., 2022).

A correção da acidez do solo e adequada nutrição da planta são estratégias básicas. O calcário é o corretivo mais utilizado por ser fonte de Ca<sup>+2</sup> e/ou Mg<sup>+2</sup> e eficiente corretivo da acidez (SOUSA et al., 2007; SANTOS et al., 2017). Santos et al. (2017) e Santos (2020), verificaram que a calagem proporciona aumento no volume e massa de raízes sadias, redução do volume de raízes com galhas, aumento no acúmulo de massa fresca e no diâmetro das inflorescências em plantas de couve-flor, tanto em seus ensaios em áreas com histórico da doença, quanto em casa de vegetação. O micronutriente B tem efeito semelhante ao do cálcio e tem sido relacionado à redução das infecções por *P. brassicae* (DIXON, 2014). Outro nutriente importante no manejo das crucíferas visando o controle da hérnia das crucíferas é o nitrogênio (DIXON, 2009b; DONALD & PORTER, 2009; RUARO et al., 2009). Ruaro et al. (2009) ao avaliarem a influência de diferentes fontes de nitrogênio (nitrato de cálcio, ureia e sulfato de

amônio) no controle da doença verificaram que a severidade da doença foi menor quando usado nitrato de cálcio e ureia, comparado ao sulfato de amônio. Para os autores este resultado está ligado ao poder acidificante do sulfato de amônio.

A utilização de adubos orgânicos no cultivo de brássicas é altamente benéfico por contribuir para o enriquecimento do solo, melhoria de sua estrutura, aeração e por fomentar a atividade microbiana o que poderia contribuir para a supressão de doenças e aumento de produtividade (MURAKAMI et al., 2000; PENALBER, 2009; MELO, 2015; TRANI et al., 2015).

O uso de compostos orgânicos pode apresentar efeito supressor de doenças, por promover um ambiente favorável ao desenvolvimento vegetal e menos favorável aos patógenos, sendo adição de composto orgânico ao solo uma das estratégias mais eficientes para promoção de solo supressivo (CASTRO et al., 2022). Quanto à hérnia das crucíferas, o emprego de compostos orgânicos pode ser adicionado como uma das estratégias complementares em busca de redução das perdas provocadas pela doença (SANTOS et al., 2023a).

## **2.4. Cama de Aviário e Compostos Orgânicos na Produção de Brássicas e Controle de Doenças**

A produção de frangos no Brasil destaca-se como uma importante atividade econômica. De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), no ano de 2021 o valor bruto da produção de frangos foi de 108,926 bilhões de reais. Nos últimos 10 anos, a produção brasileira de carne de frango aumentou 17,8%, alcançando em 2022 o valor de 14,5 milhões de toneladas, com consumo *per capita* de 45,5 kg (ABPA, 2023).

A produção intensiva de aves resulta na produção de grande quantidade de resíduos, sendo a cama de aviário o principal deles (BOLAN et al., 2010). Entende-se como cama de aviário o material usado para forração do piso das granjas durante um ou mais ciclos de criação. Neste material são continuamente depositadas as excretas das aves, as sobras de ração e penas (AVILA et al., 1992). O material mais utilizado para forração das granjas é a maravalha, fragmentos de aproximadamente 3 cm derivados do beneficiamento de madeiras como eucalipto, pinus, pinheiro e cedro (AVILA et al., 1992; AVILA et al., 2007). Dependendo da região e disponibilidade, outros materiais como serragem, sabugo de milho triturado, casca de arroz, palhada de culturas dentre outros, também são utilizados (AVILA et al., 1992; AVILA et al., 2007; SANCHUKI et al., 2011). A composição final da cama de aviário é variável e depende do material usado na forração da granja, do manejo das aves, do número de ciclos de criação, dentre outros aspectos. Em geral, a cama de aviário apresenta composição com altos teores de água, N, P e K, (ROGERI et al., 2016) além de Ca, Mg e de micronutrientes como o zinco, cobre e ferro (KELLEHER et al., 2002; ROGERI et al., 2016).

Para uso seguro de resíduos oriundos da produção animal na agricultura, como a cama de aviário, é necessário submetê-la ao processo de compostagem durante a qual ocorre a degradação de materiais orgânicos pela ação dos microrganismos e sua transformação em materiais mais estáveis e seguros para uso na agricultura (BERNAL et al., 2009; PERGOLA et al., 2018).

O processo de compostagem ocorre naturalmente na natureza, mas de forma lenta. A técnica de compostagem pode acelerar este processo de decomposição da matéria orgânica ao criar condições que possam levar à otimização da atividade de microrganismos aeróbicos como fungos, bactérias, actinomicetos, dentre outros. Ao final, pode-se obter um composto rico em nutrientes, estável e seguro do ponto de vista ambiental e sanitário, com menor disponibilidade de elementos tóxicos, livre de sementes de plantas invasoras (LEAL, 2023) e de agentes patogênicos como bactérias do gênero *Salmonella* (COSTA et al., 2006; FALABRETTI & FREITAS, 2019). Embora o processo de compostagem seja efetivo em eliminar ovos viáveis

de helmintos, bactérias do gênero *Salmonella* e promover redução significativa na população de coliformes termotolerantes, ao término do processo pode haver elevada carga microbiana presente no composto. Desse modo, é recomendado uso de pilhas com altura maior que um metro para reduzir a superfície exposta do composto e consequentemente a troca de calor com o ambiente, aumentando a eficiência do processo (FERREIRA et al., 2021).

A estabilização do composto, de modo geral, ocorre entre 30 a 60 dias após o início da compostagem, quando as substâncias de fácil degradação se esgotam, provocando drástica redução da atividade microbiana. Elevação de temperatura e posterior queda e estabilização também ocorrem durante a compostagem (LEAL, 2023). Durante o processo de compostagem, são formadas substâncias húmicas que contribuem para aumento da retenção de água e nutrientes, melhoria na estruturação no solo, supressão de doenças, entre outros benefícios (SOUZA et al., 2023).

A cama de aviário compostada e estabilizada pode ser utilizada como adubo orgânico e deve ser bem misturada ao solo ou substratos para produção de mudas (PERGOLA et al., 2018). O tempo de compostagem é um fator importante na qualidade final do adubo orgânico. Diniz et al. (2021) e Lima (2019) registraram bom desenvolvimento e acúmulo de biomassa de rúcula e couve-flor, respectivamente, com adubação com cama de aviário compostada por 30 e 60 dias. A adubação com compostos orgânicos pode, dependendo da situação, contribuir para o controle de doenças causadas por patógenos de solo por serem estes promotores da atividade microbiana do solo e assim contribuírem para a supressão de doenças. Para Lima (2019), a forte influência dos microrganismos presentes nestes compostos é um dos principais fatores que atuam suprimindo doenças em plantas provocadas por patógenos de solo.

O uso correto de compostos produzidos a partir da cama de aviário pode proporcionar benefícios químicos, físicos e microbiológicos ao solo, aumentar a CTC, a disponibilidade e ciclagem de nutrientes, levar à complexação de elementos tóxicos, redução da densidade do solo, aumento da porosidade e aumento da capacidade de armazenamento de água do solo, melhorando a rizosfera e estimulando o desenvolvimento das plantas (CORRÊA & MIELE, 2011). Neste contexto, adicionar composto orgânico ao solo no cultivo de brócolis em solo contaminado com *P. brassicae*, pode ser uma das medidas adotadas, como parte do manejo integrado da hérnia das crucíferas (SANTOS et al., 2023a).

Embora haja diversos benefícios do uso da cama de aviário na agricultura, sua utilização de forma inadequada pode provocar danos ao meio ambiente a médio e longo prazo, principalmente, os relacionados à contaminação da água, solo e hortaliças devido a presença de metais tóxicos ou potencialmente tóxicos em sua composição como: As; Cu; Zn; Cr; Pb, e Cd (PARENTE et al., 2019; SANTOS et al., 2021). A origem destes elementos pode ser derivada da combinação de diferentes insumos aplicados na produção de aves. O Zn, Cu, Fe e Mn são adicionados nas rações com objetivo de promover maior taxa de crescimento das aves (OVIEDO-RONDÓN, 2008; OYEWUMI e SCHREIBER, 2017). O Cd, Pb, Cr, Ni e Al são oriundos das impurezas presentes nos aditivos alimentares (MCBRIDE & SPIERS, 2001; FIRDEVS, 2005; SAGER, 2007). Destaca-se também o uso de produtos sanitários, vacinas e antibióticos nas granjas como fonte de contaminantes (SOUZA, 2021), como o uso de sulfato de alumínio para redução da taxa de volatilização da amônia e, consequentemente, da incidência de doenças respiratórias nas aves (OLIVEIRA et al., 2003; SHAH et al., 2006).

Matos (2016), Bhering et al. (2017) e Santos et al. (2021), observaram a relação entre contaminação do solo e de hortaliças produzidas na Região Serrana do Rio de Janeiro e o uso massivo de cama de aviário. Os riscos de contaminação de hortaliças por metais tóxicos podem ser maiores em brássicas por serem plantas com alta capacidade de extrair e acumular estes elementos em seus tecidos (BORTOLOTI & BARON, 2022).

A cama de aviário é utilizada em altas quantidades no cultivo de hortaliças (BHERING et al., 2017). Entretanto, este adubo pode conter elementos potencialmente tóxicos e tóxicos à

saúde humana. Sendo de grande relevância, a busca por tecnologias capazes de reduzir sua biodisponibilidade (LIMA et al., 2023). Como alternativa para imobilizar, e consequentemente, reduzir a biodisponibilidade destes elementos, tem-se a adição de biocarvão ao solo (WANG et al., 2022).

## 2.5. Biocarvão

O termo biocarvão ou *biochar* é atribuído aos resíduos orgânicos de origem agrícola, urbana ou industrial, transformados em carvão via pirólise sob ambiente controlado com vistas ao seu uso agrícola como condicionador do solo (LEHMANN & JOSEPH, 2009). A pirólise consiste no aquecimento de biomassas (materiais orgânicos) na ausência ou com baixos teores de oxigênio e com liberação mínima de CO<sub>2</sub> e de outros gases para a atmosfera. O uso desta técnica proporciona a eliminação do oxigênio e aumenta a retenção do carbono contido na biomassa, de 2% para mais de 50% da retenção (MANGRICH et al., 2011; PETTER et al., 2016).

A produção de biocarvão promove o reaproveitamento sustentável de subprodutos oriundos das agroindústrias e de outros resíduos como galhos de árvores, resíduos florestais de pinho e eucalipto, lodo de esgoto, restos culturais (bagaço e palha de cana-de-açúcar), resíduos da produção de papel e celulose, ossos e estercos de animais (aves, suínos, bovino e outros) e resíduos urbanos por meio de pirólise (LEHMANN & JOSEPH, 2009). Os teores de cinzas, umidade e carbono são variáveis de acordo com a matéria-prima utilizada (LEHMANN & JOSEPH, 2009; MANGRICH et al., 2011).

A adição de biocarvão pode promover mudanças significativas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo como estrutura, porosidade, densidade, distribuição granulométrica, aumento da estabilidade dos agregados, aumento do teor de carbono e da CTC, e promoção de sítios e habitats para microrganismos do solo, que contribuem para a recuperação de áreas degradadas, preservação do meio ambiente, uso eficiente da água e para o aumento da produtividade (PETTER et al., 2016; JAKOP et al., 2023). Nos últimos anos, diversos estudos tem mostrado efeitos positivos do uso de biocarvão na agricultura (YU et al., 2019). Estes efeitos devem-se às suas características. Este apresenta estrutura interna inerte e estrutura externa reativa e capaz de se ligar a elementos do solo o que pode favorecer a formação de agregados, retenção de água e nutrientes, além de ser capaz de inativar elementos tóxicos (MANGRICH et al., 2011). O biocarvão de eucalipto, por exemplo, apresenta baixa densidade (0,30 g por cm<sup>3</sup>), mas elevada área superficial (387 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) (PASTOR-VILLEGAS et al., 2006).

Pelas suas características e composição química, o biocarvão é considerado um condicionador de solo e não um fertilizante. De acordo com a Instrução Normativa de número 35 de 04 de julho de 2006, entende-se como condicionador de solo o produto que promove melhorias nas propriedades físicas, físico-químicas ou atividade biológica do solo, podendo recuperar solos degradados ou desequilibrados nutricionalmente (BRASIL, 2006). Assim, para ganhos em produtividade ou eficiência agrícola, o uso de biocarvão deve vir associado a fertilizantes, orgânicos ou minerais (JAKOP et al., 2023). Jakop et al. (2023) relatam que solos com maiores teores de areia são mais responsivos à aplicação de biochar e os que são beneficiados quando comparados a solos com maiores teores de silte e argila.

Acredita-se que a utilização de biocarvão também possa trazer benefícios no que diz respeito ao controle das doenças causadas por patógenos de solo. Sua adição ao solo pode contribuir para promoção de efeito supressor de fitopatógenos, e reduzir a severidade de doenças, além de auxiliar no crescimento e desenvolvimento de plantas (YANG et al., 2022). Hou et al. (2022), afirmam que a alta porosidade do biochar, serviria como nicho para microrganismos benéficos o que contribuiria para desenvolvimento de agentes promotores do efeito de supressão.

Yang et al. (2022) relatam que a adição de biochar ao solo na taxa de 3 a 5% são as mais indicadas para redução da severidade de doenças, e as que promovem maior desenvolvimento das plantas. Para estes autores, o biochar pode melhorar a resistência da planta à patógenos, por modificar de forma benéfica os microbiomas, fornecer nutrientes, e ainda, reduzir compostos fitotóxicos e alopáticos, estabilizando o complexo sistema rizosfera-raiz-solo-patógeno. No entanto, o uso do biochar para controle de doenças causadas por patógenos de solo pode variar de acordo com o agente patogênico e da planta hospedeira.

No tocante ao manejo da hérnia das crucíferas, Knox et al. (2015) avaliaram a influência do biochar oriundo de *Miscanthus*, no controle da hérnia das crucíferas em plantas de repolho chines (*B. rapa chinensis*) cultivadas em casa de vegetação. Os autores não observaram efeito do biochar sobre o controle da doença quando comparado a medidas usuais, mas sim aumento na sua intensidade em maiores doses de biochar, provavelmente, devido ao aumento de K<sup>+</sup> disponível e do acúmulo de água no solo. Embora a utilização do biocarvão na agricultura seja uma prática milenar, seus efeitos e potencial ainda são pouco conhecidos, principalmente a longo prazo (PETTER et al., 2016).

Outra possibilidade de uso é a combinação do biocarvão com outros resíduos durante o processo de compostagem. Chung et al. (2021) verificaram que a cama de aviário compostada com adição de biocarvão promoveu redução significativa na emissão de NH<sub>3</sub>, produzindo um composto de qualidade e rico em nutrientes e não fitotóxico. A fitotoxicidade foi comprovada em testes de germinação de sementes de agrião-do-seco (*Lepidium sativum* Linn). Os autores concluíram que o composto estava livre de ação fitotóxicos e que o aumento nas proporções de 0 a 10% de biocarvão promoveu alterações positivas nas características químicas e microbiológicas, reduzindo a atividade de agentes patogênicos do composto.

Outro efeito atribuído ao *biochar* é a redução da biodisponibilidade de metais tóxicos no solo ou composto. Esta redução ocorreria por meio dos grupos funcionais presentes em grande área de superfície e estrutura porosa do material e seu uso seria recomendado como medida auxiliar, ecológica, para redução da biodisponibilidade de diferentes metais no solo (WANG et al., 2022). Alaboudi et al. (2019) avaliaram o efeito da adição de *biochar* no desenvolvimento de plantas de milho em solo artificialmente contaminado com Pb, Cd e Cr e identificaram bom potencial para redução da biodisponibilidade de Pb. Atribuíram este efeito à interação deste com a matéria orgânica do solo. Observaram, no entanto, aumento da biodisponibilidade de Cd e a atribuíu à elevação do pH pelo uso de biochar.

Pouco se conhece, porém, sobre os efeitos da utilização de cama de aviário compostada com adição de biocarvão no desenvolvimento, produtividade e qualidade de hortaliças brassicáceas, de seu potencial como auxiliar na supressão de doenças e na mitigação de problemas relacionados à contaminação por metais tóxicos.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Os ensaios foram realizados na UFRRJ em vasos em condições de casa de vegetação por envolverem inoculação com *P. brassicae*. Para isso, foram utilizadas galhas extraídas de plantas de couve-flor coletadas na Região Serrana do Rio de Janeiro e mantidas sob congelamento (SANTOS et al., 2018a). Utilizaram-se amostras de cama de aviário fresca (CA) coletadas em granjas de aves de corte e biocarvão (BC) de madeira de eucalipto.

#### **3.1. Obtenção e caracterização de cama de aviário compostada com doses de biocarvão**

Foram realizadas dois conjuntos de compostagens visando o atendimento das demandas de compostos para os ensaios dos anos de 2022 e 2023. A cama de aviário fresca foi obtida de granjas de produção de frangos de corte localizadas na Região Serrana do Rio de Janeiro, no polo avícola de São José do Vale do Rio Preto. O material obtido foi, inicialmente, homogeneizado para obtenção de lote homogêneo. O biocarvão foi obtido a partir da Trituração e moagem de carvão vegetal de eucalipto em moinho de facas. A cama de aviário foi dividida em quatro lotes, adicionando-se, em cada um deles, o equivalente a 0% (CA), 5% (CA+BC5%), 10% (CA+BC10%) e 15% (CA+BC15%) de biocarvão, respectivamente, com base na massa seca. Os respectivos lotes foram homogeneizados e, em seguida, compostados.

Nas duas ocasiões, a compostagem foi realizada em pilhas de aproximadamente 0,5 m de altura por 1 m de largura, ocupando volume de 0,13 m<sup>3</sup> sobre lona plástica, e revolvimento a cada sete dias e concomitante ajuste de umidade para cerca de 60%. O primeiro e segundo lotes foram compostados por cerca de 90 e 60 dias, respectivamente (LIMA, 2019; LEAL, 2023). Ao longo dos processos de compostagem, foram feitas medições sistemáticas da temperatura no interior das respectivas pilhas utilizando-se termômetro digital (Vonder, TVD300). As temperaturas máximas registradas no interior das pilhas durante a compostagem dos compostos com 0%, 5%, 10% e 15% de biocarvão foi 34,1°C, 34,8°C, 34,3°C e 34,4°C no primeiro lote (A), e de 54,5°C, 53,1°C, 56,3°C e 55 °C no segundo lote (B).

A umidade da cama fresca e dos compostos obtidos foi determinada em amostras secas em estufa de circulação de ar forçado até peso constante.

Ao final da compostagem, os materiais foram ensacados para posterior uso. De cada pilha, coletaram-se amostras para posterior caracterização dos seus atributos químicos (Tabela 1). Estas amostras foram moídas e utilizadas para determinação do pH em água (1:2,5), condutividade elétrica (CE) e dos teores de nutrientes e de metais tóxicos (Pb e Cd) e potencialmente tóxicos (Cu, Zn, Cr, Ni e Mn). Os teores de Ca, Mg, P e K foram obtidos conforme Teixeira et al. (2017). Os teores de metais tóxicos foram obtidos pelo método de digestão 3050 proposto pela USEPA (2008) e a concentração dos elementos foi determinada por espectrofotometria de absorção atômica, em equipamento modelo Varian 55B com capacidade sequencial rápida e correção com lâmpada de deutério. Os teores totais de N e C foram determinados em análises via combustão seca em medidor CHN e, posteriormente, determinado a relação carbono/nitrogênio (relação C/N).

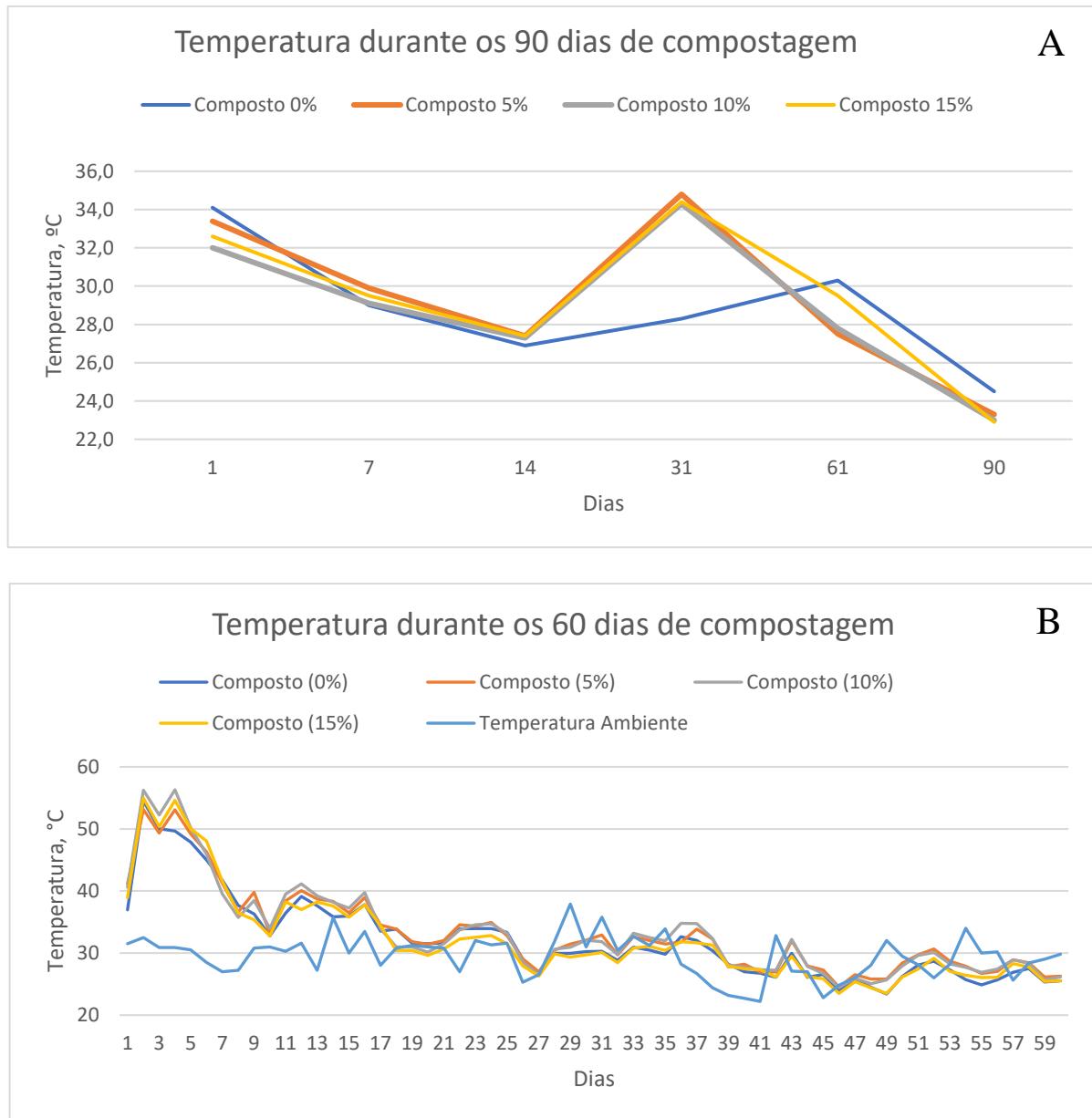
**Tabela 1.** Valores médios dos teores de nutrientes (em base seca) e pH de composto orgânico produzido com cama de aviário (CA) coletada em granjas de produção de frangos de corte localizadas na Região Serrana do Rio de Janeiro e enriquecida com diferentes porcentagens de biocarvão (BC), (0, 5, 10 e 15%), seguido de compostagem por 90 dias no lote 1 e de 60 dias no lote 2. Seropédica, UFRRJ, 2022 e 2023.

Composto	Relação C/N	N	Ca	Mg	P	K	pH	CE
		%	----- g kg <sup>-1</sup> -----				mS.cm <sup>-1</sup>	
LOTE 1								
CA + BC (0%)	-	-	11,60	2,75	11,25	12,35	7,4	-
CA + BC (5%)	-	-	11,85	2,65	11,50	10,25	7,5	-
CA + BC (10%)	-	-	11,05	3,85	10,25	10,60	7,1	-
CA + BC (15%)	-	-	12,35	2,90	9,55	10,45	7,1	-
LOTE 2								
Composto	Relação C/N	N	Ca	Mg	P	K	pH	CE
		%	----- g kg <sup>-1</sup> -----				mS.cm <sup>-1</sup>	
CA + BC (0%)	14	1,8	107,6	7,3	18,8	26,1	9,1	5,6
CA + BC (5%)	15	1,6	105,5	6,4	19,0	23,1	9,1	5,6
CA + BC (10%)	15	1,6	102,7	6,9	20,1	24,3	9,0	5,4
CA + BC (15%)	18	1,7	91,5	6,4	19,9	24,1	9,1	5,1

Fonte Lote 1: adaptado de Ferreira (2023).

Durante o processo de compostagem é necessário que o resíduo permaneça por determinado período na fase termofílica, que compreende a faixa de temperatura entre 45 e 65°C, esta etapa é mediada por microrganismos termófilos e resulta em matéria orgânica estabilizada (FERREIRA et al., 2021; LEAL et al., 2023). De acordo com a Resolução do CONAMA nº 481/2017, o processo de compostagem necessita permanecer por 14 dias à 55 °C ou por 3 dias à 65 °C, para que o composto seja considerado sanitizado (BRASIL, 2017).

Nos ensaios realizados, não foram alcançadas tais exigências para ambos os processos de compostagem (Figura 1).



**Figura 1.** Variação da temperatura nas pilhas dos compostos orgânicos produzidos pela mistura de cama de aviário (CA), coletada em granjas de produção de frangos de corte localizadas na Região Serrana do Rio de Janeiro e enriquecida com diferentes porcentagens de biocarvão (BC), (0, 5, 10 e 15%), ao longo de 90 dias durante o processo de compostagem, realizado no período de setembro a novembro de 2022 (A), e ao longo de 60 dias durante o processo de compostagem, realizado no período de abril a maio de 2023 (B). Seropédica, UFRRJ, 2023. Fonte da Figura A: adaptado de Ferreira (2023).

Os teores de metais registrados no lote compostado por 90 dias foram relativamente baixos, enquanto os de Fe, Zn, Cu e Mn foram relativamente elevados (SOUZA 2021; BOTEGA, 2019) (Anexo A).

### **3.2. Ensaio 1: Efeito de Composto de Cama de Aviário e Doses de Biocarvão sobre o Desenvolvimento das Plantas, Intensidade da Hérnia das Crucíferas e Teores de Metais**

O ensaio foi realizado em condições de casa de vegetação climatizada (Van Der Hoeven), localizada no Departamento de Solos da UFRRJ. Como tratamentos testaram-se inoculação e testemunha sem inoculação com esporos resistentes de *P. brassicae* e, adubação com CA compostada por 90 dias com diferentes doses de biocarvão (0, 5, 10 e 15%) (Lote 1) (Tabela 1). O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados com 6 repetições, em esquema fatorial 2x4, inoculação ou não com *P. brassicae* x adubação com quatro compostos, totalizando 48 parcelas. Cada parcela foi constituída por um vaso de 8 L.

Como substrato, utilizaram-se amostras de solo de textura arenosa coletadas em área sem histórico de cultivo de brássicas e sem contaminação com esporos do patógeno, e identificado como Planossolo (SANTOS et al., 2018b). O solo foi homogeneizado e, em seguida, adubado com dose padronizada dos respectivos compostos orgânicos - 175 g vaso<sup>-1</sup> em base seca. As misturas de solo mais compostos foram homogeneizadas em betoneira no dia anterior ao transplante das mudas. Amostras de solo dos respectivos tratamentos foram coletadas na ocasião do transplante para avaliação dos atributos de fertilidade (TEIXEIRA et al., 2017) (Tabela 2). Antes do transplante das mudas aplicou-se, em todos os tratamentos, 11,37 g de superfosfato simples por vaso ou o equivalente a 2,16 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

**Tabela 2.** Dados da análise de fertilidade do solo sem adubação e adubado com composto à base de cama de aviário (CA) enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão (BC). Amostra coletada antes do transplante das mudas de brócolis. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Tratamento	pH em água	mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>							%	mg.dm <sup>-3</sup>
		K	Ca	Mg	Na	Al	H + Al	S		
Testemunha	5,7	0,6	18,4	6,4	0,4	0,0	17,6	25,8	43,4	58,4
Cama de Ave (CA)	5,7	7,1	21,2	11,4	4,1	0,0	19,9	43,7	63,9	68,5
CA + BC (5%)	5,8	7,4	21,8	12,5	4,4	0,0	21,4	46,1	67,5	68,3
CA + BC 10%	5,9	7,2	23,0	15,6	5,3	0,0	19,8	51,1	85,1	60,0
CA + BC (15%)	5,8	7,2	26,1	12,7	4,3	0,0	20,4	50,3	71,0	70,8
									V	P

Testemunha = solos sem adubação com composto orgânico; CA = solos adubados com cama de aviário; e CA+BC = solo adubado com composto contendo cama de aviário acrescida de 5, 10 ou 15% de biocarvão.

As mudas de brócolis utilizadas foram produzidas em casa de vegetação climatizada, em bandejas de isopor de 128 células com volume de 35 cm<sup>3</sup>. Utilizou-se a cultivar Coliseu® (Feltrin Sementes), do Grupo Americano (inflorescência única) e caracterizada pela precocidade e tolerância a temperaturas mais elevadas. O substrato comercial utilizado para produção das mudas foi o Carolina Soil®, classe IV. A irrigação foi feita, diariamente, por aspersão. Aos 20 dias após a semeadura (DAS), as mudas foram adubadas com fertilizante foliar mineral líquido contendo NPK (Nitro 10, Fertiliza Chemical®). O transplante das mudas para os vasos foi feito aos 30 DAS.

Após o transplante das mudas para os vasos, efetuou-se a inoculação com esporos de *P. brassicae* com adição de 50 mL por vaso de suspensão contendo 10<sup>6</sup> esporos resistentes do patógeno mL<sup>-1</sup> de água, equivalente a cerca 5x10<sup>3</sup> esporos g<sup>-1</sup> de solo. Nos tratamentos controle, sem inoculação, foi adicionado 50 mL de água destilada autoclavada. Para o preparo da suspensão de inóculo de *P. brassicae*, considerou-se metodologia descrita em Lima (2019). Foram utilizados 5,0 g de galhas obtidas de raízes de couve-flor congeladas. As galhas foram trituradas em, aproximadamente, 200 mL de água destilada com auxílio de liquidificador, seguido de filtragem em quatro camadas de tecido musseline. O volume obtido foi avolumado

para 50 mL em tubos Falcon e, em seguida, centrifugados a 2000 rpm por 10 minutos. Após a centrifugação, descartou-se o sobrenadante. O *pellet* formado foi homogeneizado com água destilada. Uma alíquota desta suspensão (130 µL) foi retirada e misturada com o corante azul de algodão (30 µL) e, em seguida, feita a contagem do número de esporos com auxílio da câmara de Neubauer e microscópio óptico (objetiva de 40X) (LIMA, 2019).

Ao longo do ciclo, as plantas foram irrigadas duas vezes ao dia, sendo a primeira irrigação pela manhã, e a segunda, ao final da tarde. O controle de plantas invasoras foi realizado manualmente.

Realizaram-se sete adubações de cobertura a partir de 15 dias após o transplante (DAT), adicionando-se semanalmente 2,5 g planta<sup>-1</sup> de formulação mineral NK (20-20), equivalente a adição total de 3,5 g de N e 3,5 g de K. Realizou-se também aos 34 e 49 dias, a aplicação de adubação foliar com micronutrientes (B e Mo), na forma de ácido bórico (1,0 g L<sup>-1</sup>) + molibdato de amônio (0,5 g L<sup>-1</sup>), respectivamente. O aporte estimado de nutrientes por vaso ao final do ciclo, considerando a soma de composto mais adubo mineral consta na Tabela 6.

Aos 30 e 45 DAT foi feita análise de fluorescência transiente da clorofila *a* utilizando fluorômetro portátil (HandyPEA, Hanstech, King's Lynn, Norfolk, UK). Nas avaliações foram consideradas folhas totalmente expandidas do terço médio da planta. Após a colocação dos cliques, aguardou-se cerca de 20 a 30 minutos para adaptação da folha ao escuro, e em seguida, procedeu-se à leitura (DABROWSKI et al., 2016).

Ao final do ciclo, por ocasião da colheita, quando as inflorescências se apresentavam bem desenvolvidas e compactas (LUENGO & MELO, 2022) aos 55 DAT, efetuou-se a remoção das plantas para avaliação detalhada. Inicialmente, removeu-se a parte aérea da planta com corte na base do caule da planta, seguido de identificação das plantas para posterior avaliação. Na parte aérea, avaliaram-se a altura das plantas (ALT); número de folhas (NF) por planta; massa fresca das folhas (MFF), do caule (MFC); das inflorescências (MFI); da parte aérea, obtida pelo somatório das demais partes (MFPA) e diâmetro longitudinal das inflorescências (DI). Em seguida, as amostras foram secas em estufa com temperatura ajustada para 60°C até o peso constante. Posteriormente, após pesagem, as amostras foram pesadas para determinação da massa seca das folhas (MSF), dos caules (MSC), das inflorescências (MSI) e das raízes (MSR) e com os respectivos somatórios, da parte aérea (MSPA).

As raízes foram retiradas dos vasos, cuidadosamente, e, em seguida, lavadas com água corrente dentro de tanques, para as posteriores avaliações. Foi avaliada a severidade da hérnia das crucíferas com base na escala de notas de Santos et al. (2017) contendo seis classes de severidade (0%, 8%, 20%, 42%, 68%, 87% e 95% de raízes com galhas). Posteriormente, cada raiz foi fragmentada em fração sadia (sem presença de galhas) e fração doente (com galhas). Em seguida, determinaram-se a massa fresca da fração sadia das raízes (MFRS) e da fração com galhas (MFH). Em seguida, foram determinados o volume da fração sadia (VRS) e das hérnias (VH) conforme Bhering et al. (2017) e Santos et al. (2017). Com base nesses fatores, calcularam-se a porcentagem de hérnias nas raízes com base na massa fresca (PMFRH) e no volume (PVRH). A determinação da massa seca total das raízes (MSRT) foi feita em balança de precisão após secagem em estufa com temperatura ajustada para 60°C até peso constante.

A determinação dos teores de Ca e Mg e de metais foi realizada na matéria seca dos diferentes órgãos da planta. Para tanto, tomaram-se alíquotas de 1,0 g das respectivas amostras que foram submetidas ao processo de digestão aberta em blocos digestores utilizando-se ácido nítrico conforme método 3050 (USEPA, 2008). Os teores de macronutrientes foram obtidos conforme Teixeira et al. (2017). Os teores de metais tóxicos e potencialmente tóxicos foram determinados por espectrofotometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). A qualidade das análises foi realizada utilizando-se amostra certificada 1573a *Tomato Leaves* (certificada pelo National Institute of Standards and Technology, NIST, 1995). Os elementos C e N foram obtidos por meio de análise via combustão seca em medidor

Elementar CHN. Com os teores de elementos contidos nos diferentes órgãos da planta e nos valores registrados de massa seca, foram obtidos os valores acumulados nos respectivos órgãos e na planta inteira.

Os dados obtidos no ensaio foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Foi utilizado o *software* estatístico “R Studio” (Versão 4.3.2, 2023).

### **3.3. Ensaio 2: Efeito de Composto de Cama de Aviário e Diferentes Doses de Biocarvão sobre Duas Cultivares de Brócolis**

Dois experimentos simultâneos foram realizados em condições de casa de vegetação climatizada (marca Van Der Hoeven), sendo uma localizada no Setor de Horticultura do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ e a outra no Departamento de Solos

Nos respectivos ensaios foram utilizadas as cultivares de inflorescência única Coliseu (Feltrin) e Legacy (Seminis). A Coliseu é identificada como precoce e tolerante a temperaturas mais elevadas; a Legacy é identificada como de ciclo mais longo e com plantas mais vigorosas.

Adotou-se, nos dois ensaios, o delineamento de blocos ao acaso com 8 repetições e 5 tratamentos representados por cinco tipos de adubação: testemunha (sem adição de composto e/ou cama de aviário), cama de aviário compostada (sem adição de biocarvão), e cama de aviário compostada após adição de 5, 10 e 15% de biocarvão (BC). Os tratamentos foram assim identificados: testemunha, cama de aviário (CA), CA + BC 5%, CA + BC 10%, CA + BC 15%. Cada ensaio foi constituído por 40 vasos de 8 L, sendo cada vaso uma parcela.

Como substrato base, utilizou-se solo de textura arenosa coletado em área sem histórico de cultivo de brássicas. O solo foi peneirado e homogeneizado e, em seguida, adubado com 300 g dos respectivos compostos orgânicos, com exceção do tratamento testemunha (solo sem adubação com composto orgânico à base de CA ou CA + BC). Após aplicação dos compostos, o solo foi novamente homogeneizado, coletada amostras para análise de fertilidade (Tabela 3) e, em sequência, adicionado em todos os tratamentos adubo fosfatado em quantidade equivalente a 2,16 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ou 11,37 g de superfosfato simples por vaso, em seguida, o solo foi distribuído nos vasos.

**Tabela 3.** Dados da análise de fertilidade do solo sem adubação (testemunha), adubado com composto à base de cama de aviário (CA) pura ou enriquecida com 5, 10 e 15% de biocarvão (BC). Amostra coletada antes do plantio do brócolis. Seropédica, UFRRJ, 2023.

Tratamento	pH em água	mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>							%	mg.dm <sup>-3</sup>
		K	Ca	Mg	Na	Al	H + Al	S		
Testemunha	6,6	0,4	30,1	5,7	0,5	0,0	11,5	36,7	48,2	76
Cama de Aviário (CA)	7,5	19,8	32,8	9,2	8,9	0,0	0,0	70,7	70,7	100
CA + BC (5%)	7,4	20,2	32,4	10,7	7,2	0,0	0,0	70,5	70,5	100
CA + BC 10%	7,6	23,5	30,5	11,0	12,8	0,0	0,0	77,8	77,8	100
CA + BC (15%)	7,5	23,8	33,5	12,4	12,5	0,0	0,0	82,2	82,8	100

Testemunha = solos sem adubação com composto orgânico à base de cama de aviário ou cama de aviário + biocarvão. CA e CA+BC = solos adubados com cama de aviário ou com composto contendo cama de aviário mais 5, 10 ou 15% de Biocarvão.

Ao longo do ciclo foram feitas 8 adubações de cobertura a partir de 15 dias após o transplante (DAT), adicionando-se semanalmente 2,5 g planta<sup>-1</sup> de formulação mineral NK (20-20) em quantidade equivalente a 0,5 g de ureia e 0,5 g de cloreto de potássio por vaso (Tabela 11). Realizou-se também aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias, a aplicação de adubação foliar com micronutrientes (B e Mo), na forma de ácido bórico (1,0 g L<sup>-1</sup>) + molibdato de amônio (0,5 g

$\text{L}^{-1}$ ), respectivamente (Tabela 11). As plantas foram irrigadas duas vezes ao dia, sendo a primeira irrigação pela manhã, e a segunda, ao final da tarde. O controle de plantas invasoras foi realizado manualmente.

As avaliações iniciais foram feitas com a medição da fluorescência transiente da clorofila *a* aos 30 e 45 DAT, conforme descrito no item 3.2. A avaliação final foi feita aos 70 e 77 DAT para as cultivares Coliseu e Legacy quando foi finalizada a colheita das inflorescências, com a determinação das seguintes variáveis: Massa Fresca de Raiz (MFR), Massa Seca de Raiz (MSR), Volume de Raiz (VR), Número de Folhas (NF), Altura, Massa Fresca de Folha (MFF), Massa Fresca de Caule (MFC), Massa fresca de Inflorescência (MFI), Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA), Diâmetro Longitudinal da Inflorescência (DLI), Massa Seca de Folha (MSF), Massa Seca de Caule (MSC), Massa Seca de Inflorescência (MSI), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e Massa Seca da Planta (MSP).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Foi utilizado o software estatístico “R” (R versão 4.2.2. R Core Team, 2023).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Ensaio 1: Composto à Base de Cama de Aviário e Biocarvão e Inoculação com *Plasmodiophora brassicae*

#### 4.1.1. Efeitos sobre a Hérnia das Crucíferas e Produção de Brócolis

Observou-se efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) da inoculação com esporos de *P. brassicae* sobre as variáveis avaliadas, sejam relacionadas ao desenvolvimento da doença como ao desenvolvimento das plantas. Por outro lado, não houve efeito dos compostos nem da interação inoculação x composto sobre nenhuma das variáveis avaliadas (Anexos B e C).

A inoculação com esporos de *P. brassicae*, apesar da concentração mediana ( $5 \times 10^3$ , esporos por g de solo) resultou em alta intensidade da doença, com 100% de plantas infectadas. Além da alta incidência, registrou-se também alta severidade em todos os tratamentos. A alta severidade pode ser identificada em todas as variáveis utilizadas, com base em escala de notas (SEV=94,79%), massa (PMFRH=96,47%) e volume (PVRH=97,35%) (Tabela 4). Embora a densidade de inóculo utilizada neste ensaio tenha sido mediana obteve-se intensidade de doença equivalente à dos ensaios de Cruz (2023) com dose 280 ( $1,4 \times 10^6$ ) e 2,8 ( $1,4 \times 10^4$ ) vezes maiores, comparada à utilizada no presente ensaio, com registro de infecção de 100% e severidade de 97,75 e 82,88 %, respectivamente. Murakami et al. (2000) registraram baixa severidade da doença em solos com densidade na faixa entre  $10^4$  a  $10^5$  esporos por g de solo, enquanto concentrações acima de  $10^6$  esporos por g de solos promoveram alta severidade da hérnia das crucíferas.

Esta alta severidade resultou em baixa quantidade de raízes sadias e, consequentemente, redução da absorção de água e nutrientes, o que afetou negativamente o desenvolvimento das plantas, em um processo bem conhecido no desenvolvimento vegetal (TAIZ et al., 2017).

A alta severidade da doença pode estar relacionada às condições favoráveis à doença: pH, textura do solo, temperatura e umidade. O pH do solo estava na faixa de 5,8, reconhecida como favorável à doença (DIXON, 2009b), sendo o pH uma das principais variáveis relacionadas ao desenvolvimento da doença (STRUCK et al., 2022). O solo utilizado era arenoso (Planossolo). Dentre os fatores que podem favorecer a infecção pelo patógeno e o desenvolvimento da doença estão a textura e estrutura do solo, sendo solos arenosos, ricos em húmus e argilosos entre aqueles citados como propensos à infecção por *P. Brassicae* (DIXON, 2009b). Outra variável favorável à doença está a temperatura. Estas variaram de média a elevada, sendo 21,6°C até 36,9°C no ambiente externo à casa de vegetação (INMET, 2023). Sabe-se que a doença é mais severa em temperaturas entre 21 e 25°C (DIXON, 2009b; STRUCK et al., 2022). A umidade do solo também é um item crucial para o sucesso das infecções por favorecer a movimentação dos zoósporos até as raízes (DIXON, 2014; SHAW et al., 2022), e, de forma geral, as irrigações foram feitas sistematicamente, uma a duas vezes por dia para compensar a baixa retenção de água pelo solo e as elevadas temperaturas do período do ano.

**Tabela 4.** Efeito da inoculação com esporos resistentes de *P. brassicae* (*Pb*) sobre a severidade da hérnia das crucíferas, massa fresca de raiz sadia e com galhas, porcentagem de raízes com galhas com base na massa fresca (PMFRH), volume de raízes sadias e das galhas e porcentagem de raízes com galhas com base no volume (PVRH) e massa seca total de raiz em plantas de brócolis cv. Coliseu®. Ensaio realizado em condições de casa de vegetação no período de agosto a outubro de 2022. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Inoculação	Severidade (%)	Massa fresca (g)		PMFRH (%)	Volume (mL)		PVRH (%)	Massa seca total de raiz (g) <sup>1</sup>
		Raiz sadia	Hérnias <sup>1</sup>		Raiz sadia	Hérnia <sup>1</sup>		
Com <i>Pb</i>	94,79 a	2,00 b	55,22 a	96,47 a	1,69 b	51,63 a	97,35 a	6,25 a
Sem <i>Pb</i>	0,00 b	36,80 a	0,00 b	0,00 b	40,00 a	0,00 b	0,00 b	5,36 a
CV (%)	1,52	29,87	27,58	5,92	26,43	25,63	5,06	17,65

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 1 -dados transformados por  $\sqrt{x+1}$ .

Em decorrência dos danos causados pela doença ao sistema radicular das plantas, houve uma correspondente redução do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo (Tabela 5). Todas as variáveis relacionadas à parte aérea das plantas e à produção das inflorescências foram significativamente afetadas pela inoculação ( $p \leq 0,05$ ) (Anexo C).

Registraram-se menor altura, número de folhas e massa fresca e seca de caule, folha e inflorescências nas plantas inoculadas comparadas às testemunhas não inoculadas (Tabela 5). Consequentemente, o acúmulo de biomassa na parte aérea das plantas, e nas plantas inteiras, foi negativamente afetado nas plantas inoculadas. As perdas chegaram a 69,84% da massa seca das folhas (MSF) + massa seca dos caules (MSC) e 84,96% da massa fresca das folhas (MFF) + massa fresca dos caules (MFC), e de 99,9% na massa fresca das inflorescências (MSI), o que atesta os expressivos danos causados pela doença às plantas e à produção de inflorescências conforme já reportado por autores como Dixon (2009a,b), Bhering et al. (2017) e Javed et al. (2022).

As inflorescências produzidas pelas plantas das parcelas testemunhas, ou seja, não inoculadas, independente da adubação, apresentaram massa fresca média igual 117,7 g e diâmetro médio igual a 9,22 cm, enquanto nas parcelas inoculadas estes valores foram de 1,66 g e 0,52 cm, respectivamente. Vale ressaltar que, das 24 parcelas inoculadas apenas 3 produziram inflorescência. Estes resultados confirmam o potencial de perdas que podem ser causadas pela hérnia das crucíferas. Mesmo nas testemunhas, o desenvolvimento das inflorescências foi inferior aos padrões de mercado que variam de 300 a 400 g e 12 a 15 cm de diâmetro (MELO, 2015). No entanto, os valores obtidos nas parcelas não inoculadas devem-se à característica da cultivar utilizada, superprecoce, e que normalmente produz inflorescências menores, variando entre 300 e 500 g. A escolha da cultivar Coliseu foi feita exatamente por ser uma cultivar de ciclo precoce, que permite colheitas a partir de 55 dias após o transplante (DAT), e tolerante a temperaturas mais elevadas. No entanto, nas condições de realização do ensaio, as temperaturas registradas podem ter extrapolado os limites adequados para a cultivar e assim prejudicado o seu desenvolvimento.

**Tabela 5.** Efeito da inoculação com esporos resistentes de *Plasmodiophora brassicae* (*Pb*) sobre altura e número de folhas, massa fresca da folha, caule, inflorescência e da parte aérea, diâmetro da inflorescência, massa seca da folha, caule, inflorescência, parte aérea e da planta inteira, em plantas de brócolis cv. Coliseu®, em ensaio realizado em condições de casa de vegetação de agosto a outubro de 2022. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Inoculação	Altura (cm)	nº de folhas	Massa fresca (g)			
			Folha	Caule	Inflorescência <sup>1</sup>	Parte aérea
Com <i>Pb</i>	10,41 b	12,29 b	55,00 b	19,16 b	1,66 b	75,83 b
Sem <i>Pb</i>	16,20 a	14,79 a	391,66 a	101,63 a	117,70 a	611,04 a
CV (%)	18,95	16,48	21,24	22	21,17	18,67

Inoculação	Diâmetro da inflorescência (cm)	Massa seca (g)				
		Folha	Caule	Inflorescência <sup>1</sup>	Parte aérea	Planta
Com <i>Pb</i>	0,52 b	8,32 b	2,21 b	0,21 b	10,78 b	17,04 b
Sem <i>Pb</i>	9,22 a	24,14 a	10,78 a	12,95 a	47,88 a	53,24 a
CV (%)	32,74	27,24	21,75	16,86	21,29	21,72

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 1 -dados transformados por  $\sqrt{x+1}$ .

Embora não tenha sido observado efeito dos compostos sobre a hérnia das crucíferas, houve efeito acentuado da inoculação com *P. brassicae* sobre todas as variáveis analisadas. Este resultado reflete a maior absorção e assimilação de nutrientes pelas plantas isentas de inoculação, fator associado ao maior desenvolvimento de raízes sadias (SANTOS et al., 2018a). Do ponto de vista nutricional, os quatro tratamentos - cama de aviário acrescida de 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, foram estatisticamente iguais entre si. Ou seja, a adição de biocarvão até a dose de 15% na cama de aviário não prejudicou nem favoreceu o desenvolvimento das plantas. Este resultado pode estar associado à reduzida quantidade de composto aportada (175 g planta<sup>-1</sup> em base seca) e, consequentemente, de biocarvão adicionado aos vasos de cada tratamento, 175, 165, 155, 145 g (CA) e 0, 10, 20 e 30 g (BC), respectivamente (Tabela 6).

Carter et al. (2013) registraram ganhos consideráveis de biomassa no cultivo de alface e repolho em vasos com solo arenoso e ácido, similar ao utilizado neste estudo, utilizando adubação mineral associada a doses de 50 a 150 g de biocarvão por quilo de solo, em comparação aos tratamentos sem biocarvão e com biocarvão sem adubação mineral. Estas doses são equivalentes a 1,7 e 5 vezes superiores à maior dose de biocarvão utilizada no presente estudo. Embora o uso de biocarvão tenha influência positiva na produtividade vegetal (JAKOP et al., 2023) e nas características químicas, físicas e biológicas do solo, cada cultura pode responder de maneira distinta às concentrações de biocarvão no solo (DALTO et al., 2020). É, portanto, necessário avaliar o efeito de diferentes doses em cada cultura. Dalto et al. (2020) verificaram melhores resultados na cultura do milho com doses de 12 a 16 Mg ha<sup>-1</sup> de biocarvão, enquanto na cultura do feijão, melhores resultados foram observados sem uso de biocarvão.

No presente estudo, a adição de nutrientes via composto orgânico também foi reduzida (Tabela 6), sendo parte desta demanda suplementada com a adição de adubo mineral, 11,37 g de superfosfato simples no transplante e aporte semanal de N e K, de 2,5 g planta<sup>-1</sup> de formulação mineral NK (20-20). O total de N aportado nos tratamentos foi de 3,5 g, o total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aportado nos tratamentos variou entre 3,83 e 4,14 g e o de K<sub>2</sub>O variou entre 5,29 e 5,66 g (Tabela 6). Embora os teores de N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> atendessem as exigências nutricionais das plantas, os teores de K<sub>2</sub>O foram inferiores ao recomendado para a cultura, 6 g planta<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (GUERRA et al., 2013), de acordo com os resultados da análise de solo (Tabela 6). Estes valores citados por Guerra et al., (2013) representam cerca de 40, 0 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O,

respectivamente, para uma densidade de 20.000 plantas por hectare e produtividade estimada de 15 t ha<sup>-1</sup> a 30 t ha<sup>-1</sup>. Deve-se mencionar também o uso de solo mais arenoso e as irrigações frequentes que podem ter favorecido as perdas de N e K<sub>2</sub>O por lixiviação.

O aporte total de Ca variou entre 2,12 e 2,61 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, equivalente a 1,9 e 2,2 g respectivamente, entre os tratamentos. O aporte total de Mg variou entre 1,14 e 1,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, equivalente a 0,5 e 0,7 g respectivamente, entre os tratamentos (Tabela 6), também abaixo do recomendado para cultura, 3,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para Ca e Mg (GUERRA et al., 2013). Devido à baixa adesão da calagem com critérios técnicos e uso de solos mais ácidos, de modo geral, pelos agricultores da Região Serrana-RJ no cultivo de brássicas (BHERING et al., 2020; LIMA et al., 2022) não se fez calagem do solo neste ensaio, a fim de verificar os efeitos do composto em solos sem correção de acidez. Assim, além da acidez, o baixo desempenho observado no desenvolvimento das plantas, independente das doses de biocarvão, podem estar associados ao baixo aporte de nutrientes durante o ciclo da cultura.

**Tabela 6.** Quantidade de composto orgânico (CO), cama de aviário (CA), biocarvão (BC), superfosfato simples (SS), e formulação mineral NK (NK), em gramas aportados por vaso, e total estimado de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca e Mg fornecido para as plantas. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Tratamento	CO	CA	BC	SS	NK	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
Adubos adicionados por vaso (g)		Quantidade de nutrientes estimado por vaso (g)								
Cama de Aviário (CA)	175	175	0	11,4	17,5	3,5	4,1	5,7	2,0	0,5
CA + BC (5%)	175	165	10	11,4	17,5	3,5	4,2	5,3	2,1	0,5
CA + BC 10%	175	155	20	11,4	17,5	3,5	4,0	5,4	1,9	0,7
CA + BC (15%)	175	145	30	11,4	17,5	3,5	3,8	5,3	2,2	0,5

Os teores destes Ca e Mg nos diferentes órgãos da planta não variaram em função dos tratamentos (Tabela 7). Os teores de Ca encontrados nas folhas de brócolis de todos os tratamentos estavam dentro da faixa de referência para a cultura, enquanto os de Mg estavam acima (Tabela 7). Estes teores, conforme Hochmuth et al. (1991) são de 12 a 25 g/kg e de 2,3 a 4 g/kg para Ca e Mg, respectivamente.

Vale ressaltar que, a planta de brócolis apresenta crescimento rápido e alta demanda por nutrientes (DINIZ et al., 2008), exigindo aporte elevado de nutrientes. As doses de 175 g planta<sup>-1</sup> em base seca de composto em conjunto com adubação de plantio com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e de cobertura com N e K<sub>2</sub>O, estão abaixo do recomendado para atender as exigências nutricionais das plantas e talvez tenha limitado o crescimento e acúmulo de biomassa das plantas.

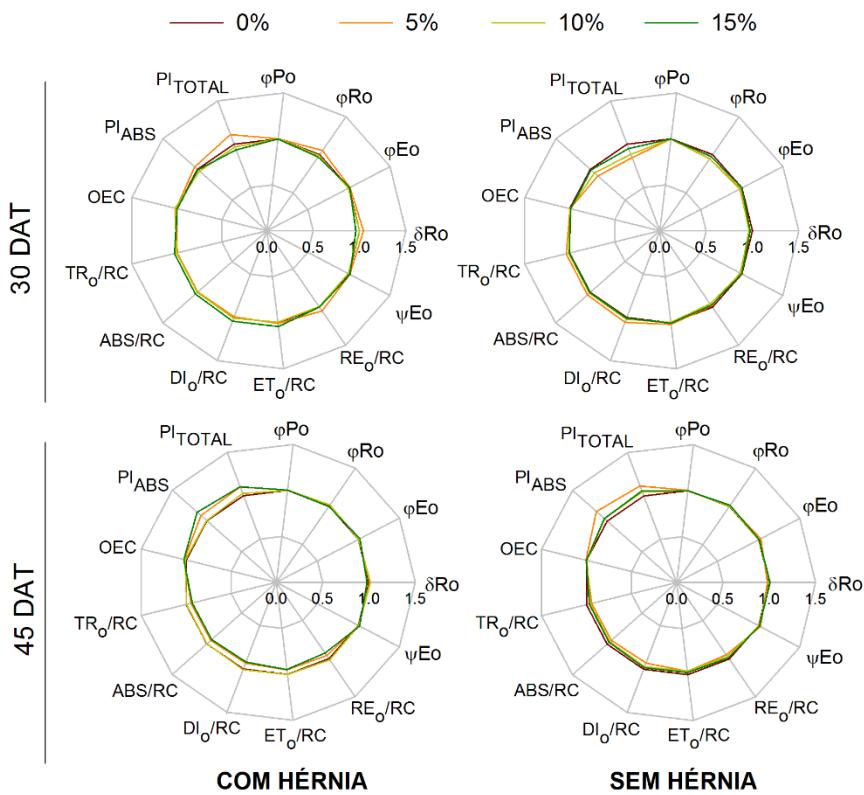
**Tabela 7.** Teores de Ca e Mg na raiz, caule, folha e inflorescência de plantas de brócolis, cultivar Coliseu, adubadas com composto orgânico à base de cama de aviário enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, compostada por 90 dias. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Nutriente	Tratamento	Teor (g/kg massa seca)			
		Raiz	Caule	Folha	Inflorescência
<b>CA + BC (15%)</b>					
Ca	CA + BC (0%)	20,36 a	10,95 a	20,92 a	11,83 a
	CA + BC (5%)	13,87 a	16,60 a	24,41 a	11,32 a
	CA + BC (10%)	19,40 a	10,53 a	24,22 a	11,73 a
	CA + BC (15%)	16,00 a	8,95 a	24,09 a	5,44 a
Mg	CA + BC (0%)	7,75 a	6,27 a	6,17 a	1,47 a
	CA + BC (5%)	6,88 a	8,14 a	6,08 a	1,43 a
	CA + BC (10%)	9,03 a	6,68 a	6,11 a	2,52 a
	CA + BC (15%)	7,34 a	6,96 a	6,12 a	3,06 a

\* Para cada elemento, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

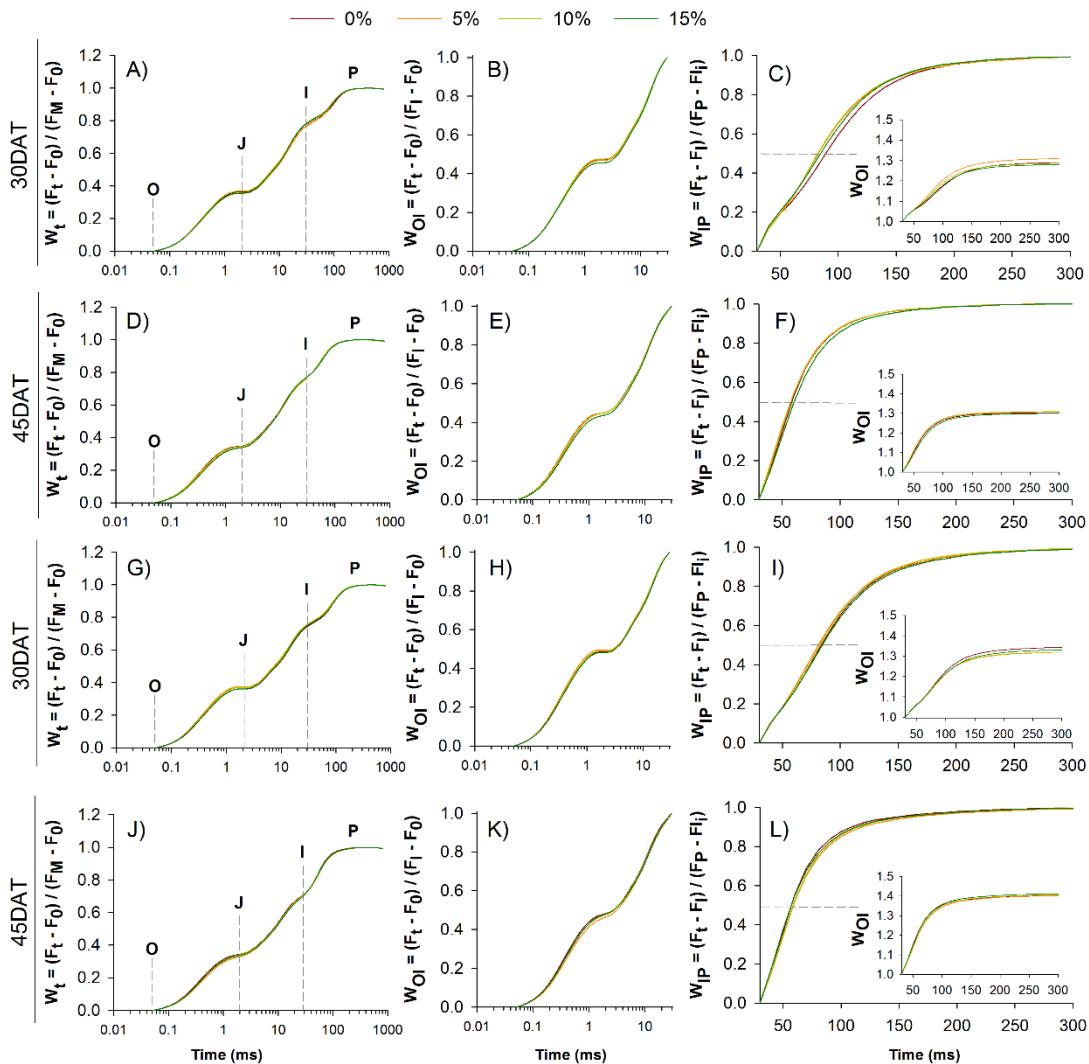
#### 4.1.2 Efeitos sobre parâmetros fotossintéticos

Os parâmetros fotossintéticos obtidos pela análise Jip-test da fluorescência transiente da clorofila *a* das plantas de brócolis adubadas com composto à base de cama de aviário (CA) enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão (BC), normalizados usando como referência as plantas adubadas com cama de frango compostada sem adição de biocarvão (CA), estão demonstrados na Figura 2. As plantas adubadas com CA + BC 5%, e inoculadas com *P. brassicaceae* apresentaram aos 30 DAT um incremento do índice de desempenho na conservação de energia de excitação para redução dos aceptores finais do PSI (fotossistema I) (PI<sub>TOTAL</sub>), comparado às plantas adubadas com o composto à base de CA sem adição de BC. Aos 45 DAT, observou-se este mesmo efeito, incremento do índice de desempenho fotossintético na conservação de energia de excitação para redução dos aceptores de elétrons do PSI (fotossistema I) (PI<sub>ABS</sub>), tanto para o tratamento CA + BC 5% quanto para o CA + BC 15%. Considerando que os processos de emissão de fluorescência, dissipação de calor e produção fotoquímica ocorrem em competição direta (KRAUSE & WEIS, 1991), o aumento do desempenho fotossintético levou a uma redução da perda de energia na forma de calor (DIo/RC) e do tamanho aparente do sistema antena (ABS/RC). Contudo, considerando as plantas que não foram inoculadas com *P. brassicaceae*, apesar de inicialmente ter sido observado uma redução dos índices de desempenho fotossintético (PI<sub>ABS</sub> e PI<sub>TOTAL</sub>) (30 DAT), observa-se que aos 45 DAT o tratamento CA + BC 5% favoreceu a performance fotossintética da planta de brócolis, promovendo um aumento do PI<sub>ABS</sub> e PI<sub>TOTAL</sub>, com consequente redução do DIo/RC e ABS/RC. Apesar dos leves incrementos nos índices de desempenho fotossintéticos PI<sub>ABS</sub> e PI<sub>TOTAL</sub> observados, estes dois parâmetros estão entre os mais sensíveis de serem detectados e quantificados em suas alterações no aparato fotossintético (GONÇALVES & JÚNIOR, 2005; TSIMILLI-MICHAEL & STRASSER, 2008).



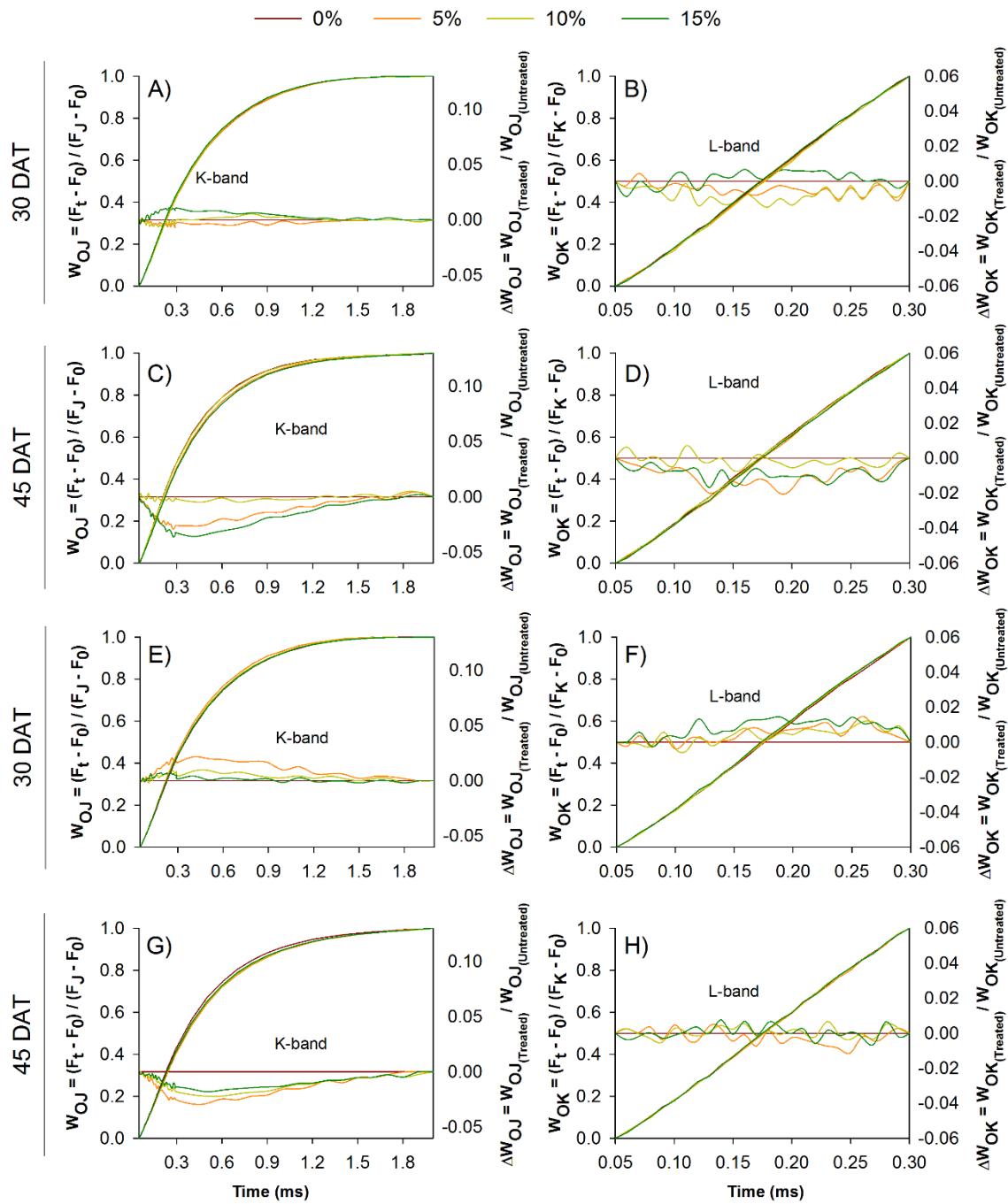
**Figura 2.** Parâmetros fotossintéticos de plantas de brócolis adubadas com cama de aviário compostada com biocarbão por 90 dias, deduzidas pela análise do teste JIP de transientes de fluorescência normalizados usando o controle (CA – BC0%) como referência.

Na Figura 3, são apresentados os gráficos de análise de fluorescência da clorofila *a* normalizada como curva de fluorescência variável relativa OJIP (os pontos  $O_{50\mu s}$ ,  $J_{2ms}$ ,  $I_{30ms}$ , e  $P_{1s}$  estão marcadas no gráfico) ( $W_t$ ) (Figuras 3A, 3D, 3G e 3J), os gráficos de fluorescência variável relativa normalizados entre os pontos  $O_{50\mu s}$  e  $I_{30ms}$  ( $W_{OI}$ ) (Figuras 3B, 3E, 3H e 3K), e os gráficos de fluorescência variável relativa normalizados entre os pontos  $I_{30ms}$  e  $P_{1s}$  ( $W_{IP}$ ) (Figuras 3C, 3F, 3I e 3L). Observa-se na Figura 3, que a adubação com composto à base de cama de aviário enriquecida com as diferentes doses de biocarbão não alterou a emissão de fluorescência transiente aos 30 e aos 45 DAT.



**Figura 3.** Fluorescência transiente da clorofila *a* de folhas adaptadas ao escuro de plantas de brócolis adubadas com composto à base de cama de aviário compostada por 90 dias e enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, inoculadas com *Plasmidiophora brassicae* (A, B, C, D, E, F) e não inoculadas (G, H, I, J, L). Fluorescência variável relativa entre as etapas O e P ( $W_t$ ) em escala de tempo logarítmica (A, D, G, J); Fluorescência variável relativa entre as etapas O e I ( $W_{OI}$ ; em escala de tempo logarítmica) (B, E, H, K); fluorescência variável relativa entre as etapas I e P ( $W_{IP}$ ) e  $W_{OI}$  na inserção (C, F, I, L).

Ademais, as avaliações de cinética não demonstraram a presença de bandas-L ( $\Delta W_{OK}$ ) (Figura 4). A ausência de banda-L positiva sugere a estabilidade do sistema com a manutenção da conectividade energética e um consumo eficiente da energia de excitação (SOUZA et al., 2020). Variações nas bandas-K ( $\Delta W_{OJ}$ ) estão associados ao desacoplamento do complexo de evolução do oxigênio (OEC) (DABROWSKI et al., 2016). Assim, presença de bandas-K positivas indicam a inativação do OEC no lado doador PSII (SRIVASTAVA & STRASSER, 1995; STRASSER et al., 2004). Entretanto, não foi observada a presença de banda K positiva, sugerindo que não houve inativação do OEC, ao contrário, observa-se a presença de bandas-K negativas aos 45 DAT, tanto das plantas inoculadas quanto das plantas não inoculadas. Esses resultados demonstram que a adubação de plantas com composto à base de cama de aviário enriquecida com as diferentes doses de biocarvão, seja 5, 10 ou 15%, favorece o desempenho fotossintético destas plantas, até mesmo considerando aquelas plantas inoculadas com *P. brassicae*.



**Figura 4.** Fluorescência transiente da clorofila *a* de folhas adaptadas ao escuro de plantas de brócolis adubadas com composto à base de CA compostada por 90 dias e enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, inoculadas com *Plasmidiophora brassicae* (A, B, C, D) e não inoculadas (E, F, G, H). Fluorescência variável relativa entre as etapas O e J ( $W_{OJ}$ ; eixo vertical esquerdo e gráfico com símbolos) e cinética média (eixo vertical direito e gráfico sem símbolos) representada entre as etapas O e J ( $\Delta W_{OJ}$ ), revelando a banda K (A, C, E, G); Fluorescência variável relativa entre as etapas O e K ( $W_{OK}$ ; eixo vertical esquerdo e gráfico com símbolos) e cinética média (eixo vertical direito e gráfico sem símbolos) representada entre as etapas O e K ( $\Delta W_{OK}$ ), revelando a banda L (B, D, F, H).

#### **4.1.3. Efeitos sobre teores totais de metais tóxicos no solo e nos órgãos da planta**

Os tratamentos não promoveram variações significativas ( $p \leq 0,05$ ) quanto aos teores de Cd, Pb, Cu, Fe, Cr, e Al no solo, inicial determinada após a adubação e antes do transplante das mudas, e final, determinada após a colheita do brócolis (Tabela 8). Verificou-se, porém, aumento do teor de Zn no tratamento CA + 15% e de Mn em todos os tratamentos com CA + BC comparado ao tratamento apenas com CA. O menor teor foi no tratamento CA (61,23 mg/kg) e o maior no tratamento CA + BC 10% (68,93 mg/kg). O teor de Ni foi reduzido de 0,52 para 0,10 mg/kg com a adição de 5% de biocarvão ao composto (CA+ BC5%) comparada ao tratamento CA. Nos tratamentos com adição de 10 e 15 % de biocarvão (CA + BC 10% e CA +BC 15%) não foi detectada a presença de Ni (Tabela 8).

A Resolução nº 420 de 18 de dezembro de 2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu limites para concentração de metais tóxicos em solo agrícola, considerado valores orientadores de investigação para concentrações até 450, 3, 180, 200, 70 e 50 mg kg<sup>-1</sup> para os metais Zn, Cd, Pb, Cu, Ni e Cr, respectivamente. Os teores de metais analisados no solo após aplicação dos compostos orgânicos (CA, CA + BC5%, CA + BC10% e CA + BC15%) e ao final do ciclo das plantas de brócolis cv. Coliseu (Tabela 8), são muito inferiores aos limites estabelecidos pelo CONANA para prevenção da contaminação de solos agrícolas por metais tóxicos.

**Tabela 8.** Teores de metais em solo adubado com composto orgânico à base de cama de aviário (CA) coletada em granjas de produção de frangos de corte localizadas na Região Serrana do Rio de Janeiro e enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão (BC) e compostado por 90 dias. Amostras de solo coletadas após aplicação dos respectivos compostos e ao final do ciclo das plantas de brócolis, cultivar Coliseu. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Metal	Tratamento	Teores (mg/kg)	
		Solo Inicial	Solo Final
Zn	CA + BC (0%)	11,77 b	14,20 a
	CA + BC (5%)	27,89 b	20,95 a
	CA + BC (10%)	21,65 b	30,50 a
	CA + BC (15%)	93,17 a	20,06 a
Cd	CA + BC (0%)	0,28 a	
	CA + BC (5%)	0,03 a	ND
	CA + BC (10%)	ND	
	CA + BC (15%)	0,07 a	
Pb	CA + BC (0%)		26,50 a
	CA + BC (5%)	ND	28,17 a
	CA + BC (10%)		25,67 a
	CA + BC (15%)		22,50 a
Cu	CA + BC (0%)	1,77 a	3,97 a
	CA + BC (5%)	2,38 a	5,53 a
	CA + BC (10%)	3,72 a	5,35 a
	CA + BC (15%)	3,95 a	4,02 a
Fe	CA + BC (0%)	1450,53 a	1298,48 a
	CA + BC (5%)	1420,28 a	1266,09 a
	CA + BC (10%)	1442,14 a	1518,78 a
	CA + BC (15%)	1384,48 a	1263,83 a
Mn	CA + BC (0%)	61,23 b	62,15 a
	CA + BC (5%)	64,83 ab	62,58 a
	CA + BC (10%)	68,93 a	71,03 a
	CA + BC (15%)	63,57 ab	62,73 a
Ni	CA + BC (0%)	0,52 a	
	CA + BC (5%)	0,10 b	ND
	CA + BC (10%)	ND	
	CA + BC (15%)	ND	
Cr	CA + BC (0%)	3,65 a	2,60 a
	CA + BC (5%)	3,27 a	2,71 a
	CA + BC (10%)	3,02 a	2,63 a
	CA + BC (15%)	3,45 a	2,40 a
Al	CA + BC (0%)	2142,83 a	1794,17 a
	CA + BC (5%)	2986,66 a	1746,33 a
	CA + BC (10%)	3072,00 a	2081,17 a
	CA + BC (15%)	1918,50 a	1678,33 a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ND = não detectado.

Observaram-se diferenças significativas quanto aos teores de metais tóxicos e potencialmente tóxicos à saúde humana na massa seca de raiz (Pb e Cu), caule (Al), folha (Zn e Pb) e inflorescência (Pb, Mn e Cr) de plantas de brócolis (Tabela 9).

Os teores de Cd nas raízes aumentaram discretamente com o aumento das doses de biocarvão, mas sem diferir estatisticamente. Já no caule e nas folhas, os teores de Cd reduziram com o aumento das doses de biocarvão, partindo de 0,55 para 0,32 mg/kg de massa seca no caule e de 0,51 para 0,28 mg/kg de massa seca nas folhas, nos tratamentos 0 e 5% de biocarvão, respectivamente. Nos tratamentos com 10 e 15% de biocarvão os níveis do elemento estiveram abaixo dos limites de detecção (ND). De igual forma, Cd não foi detectado nas inflorescências (Tabela 9) em nenhum dos tratamentos.

Embora a compostagem promova concentração dos teores de metais presentes na cama de aves em virtude das perdas de massa durante o processo, esta contribui para imobilização destes elementos em frações orgânicas mais recalcitrantes e não biodisponíveis, com reduzida mobilidade. No entanto, o Pb permanece em frações lábeis após a compostagem, favorecendo sua absorção e translocação (SOUZA, 2021).

Os teores de Pb nas raízes e inflorescências reduziram significativamente com o aumento das doses de biocarvão, especialmente na dose de 15%. Os valores partiram de 10,67 para 2,92 mg/kg de massa seca nas raízes e de 7,75 para 1,33 mg/kg de massa seca nas inflorescências nas doses de 0 e 15% de biocarvão, respectivamente. No caule, os teores partiram de 1,17 mg/kg de massa seca no tratamento isento de biocarvão, para níveis não detectáveis nos demais tratamentos (Tabela 9). Nas folhas, porém, detectaram-se maiores teores de Pb no tratamento com 15% de biocarvão, seguido de 10%, testemunha (0%) e 5% (Tabela 9).

O teor de Pb na massa fresca da inflorescência (MFI) foi estimado considerando o teor de matéria seca nas inflorescências e a concentração de Pb, em massa seca. Com isso, identificaram-se, em base úmida, os valores de 0,94; 0,83; 0,26 e 0,11 mg kg<sup>-1</sup> de Pb na massa fresca das inflorescências nos tratamentos com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, respectivamente. Ou seja, a adição de doses crescentes de biocarvão contribuíram para a redução dos teores de Pb nas inflorescências. No entanto, mesmo com o baixo aporte de composto por planta, os teores encontrados nas plantas nos tratamentos CA e CA + BC5%, estão cerca de 213 e 177%, respectivamente, superiores ao limite máximo permitido pela Anvisa (2013), que é de 0,30 mg kg<sup>-1</sup> de massa fresca de inflorescência. Nos tratamentos CA + BC10% e CA + BC15%, no entanto, o teor de Pb foi de 0,26 e 0,11 mg kg<sup>-1</sup>, ou seja dentro do limite aceito pela ANVISA. Estes resultados evidenciam que a aplicação contínua da cama de aves, principalmente sem compostagem, como é praticado na região Serrana do Rio de Janeiro, contribui para aumento do risco da contaminação por metais das hortaliças produzidas, principalmente por Pb (SANTOS et al., 2021) e que a adição de biocarvão em doses mais elevadas pode contribuir para mitigar estes riscos. Esta redução da biodisponibilidade de Pb pelo biocarvão foi relatada por Alaboudi et al. (2019) em estudos com plantas de milho. A redução na biodisponibilidade de Pb e, consequentemente, menor absorção pelas plantas, pode estar associada à alta capacidade de adsorção do biocarvão, devido sua estrutura porosa e presença de elevada densidade de grupos funcionais (WANG et al., 2022).

Os teores de Ni nas raízes não variaram significativamente com a adubação e seus teores estiveram abaixo dos limites de detecção (ND) nos caules, folhas e inflorescência (Tabela 9).

Os teores de Cr nas inflorescências reduziram significativamente com o aumento das doses de biocarvão, especialmente na dose de 15%. Esta redução partiu de 2,70 para 0,92 mg/kg de massa seca nas doses de 0 e 15% de biocarvão, respectivamente. Os teores de Cr nas raízes, caules e folhas não variaram significativamente com a adubação (Tabela 9).

Os teores de Al, elemento extremamente tóxico às plantas, reduziram significativamente nos caules com o aumento das doses de biocarvão. Os teores nos caules reduziram de 55,62 para 22,69 mg/kg de massa seca nos tratamentos 0 e 5% de biocarvão, respectivamente. Os níveis do elemento estiveram abaixo do limite de detecção (ND) nos tratamentos com 10 e 15% de biocarvão. Nas raízes, os teores de Al não variaram significativamente com a adubação. Nas folhas e inflorescências os teores de Al não foram detectáveis (ND) (Tabela 9).

Os teores de Mn, Zn e Fe não variaram significativamente nas raízes, porém os teores de Cu reduziram significativamente com o aumento das doses de biocarvão, especialmente na dose de 15%. Este variou de 9,20 para 3,43 mg/kg de massa seca nas doses de 0 e 15% de biocarvão, respectivamente. Nos caules, os teores de Fe não foram detectados e não variaram significativamente para Mn, Cu e Zn. Nas folhas, os teores de Mn, Cu e Fe não variaram significativamente, porém os teores de Zn reduziram de forma significativa, de 28,79, para 22,80, 17,99 e 12,77 mg/kg de massa seca, nos tratamentos com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, respectivamente (Tabela 9).

Nas inflorescências, os teores de Cu, Zn e Fe não variaram significativamente, porém os teores de Mn aumentaram significativamente com o aumento das doses de biocarvão. Este foi de 13,10 para 28,11 mg/kg de massa seca nas doses de 0 e 15% de biocarvão, respectivamente (Tabela 9). Os teores de Cu encontrados nas inflorescências, estimados em base úmida (0,51 a 0,64 mg kg<sup>-1</sup> de massa fresca), são inferiores ao limite máximo permitido pela Anvisa (1998), que é de 10 mg kg<sup>-1</sup> de massa fresca.

**Tabela 9.** Teores de Cd, Pb, Ni, Cr, Al, Mn, Cu, Zn e Fe nas raízes, caules, folhas e inflorescências de plantas de brócolis, cultivar Coliseu, adubadas com composto orgânico à base de cama de aviário (CA) enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão (BC), compostado por 90 dias. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Metal	Tratamento	Teor (mg/kg)			
		Raiz	Caule	Folha	Inflorescência
Cd	CA + BC (0%)	0,18 a	0,55 a	0,51 a	
	CA + BC (5%)	0,17 a	0,32 a	0,28 a	ND
	CA + BC (10%)	0,23 a	ND	ND	
	CA + BC (15%)	0,33 a	ND	ND	
Pb	CA + BC (0%)	10,67 a	1,17 a	5,08 ab	7,75 a
	CA + BC (5%)	12,62 a	ND	2,08 b	7,00 a
	CA + BC (10%)	11,75 a	ND	6,5 a	2,83 ab
	CA + BC (15%)	2,92 b	ND	7,67 a	1,33 b
Ni	CA + BC (0%)	13,37 a			
	CA + BC (5%)	17,27 a	ND	ND	ND
	CA + BC (10%)	17,17 a			
	CA + BC (15%)	16,85 a			
Cr	CA + BC (0%)	19,32 a	1,37 a	1,69 a	2,7 a
	CA + BC (5%)	20,30 a	1,12 a	1,62 a	2,28 ab
	CA + BC (10%)	20,55 a	1,41 a	1,60 a	1,22 bc
	CA + BC (15%)	21,78 a	2,57 a	1,61 a	0,92 c
Al	CA + BC (0%)	1065,41 a	55,62 a		
	CA + BC (5%)	1240,83 a	22,69 b	ND	ND
	CA + BC (10%)	1121,83 a	ND		
	CA + BC (15%)	1570,45 a	ND		
Mn	CA + BC (0%)	72,79 a	15,93 a	ND	13,1 b
	CA + BC (5%)	73,37 a	14,73 a	ND	21,92 ab
	CA + BC (10%)	64,70 a	15,21 a	ND	32,55 a
	CA + BC (15%)	57,49 a	11,86 a	37,22 a	28,11 a
Cu	CA + BC (0%)	9,20 a	1,78 a	3,24 b	5,34 a
	CA + BC (5%)	8,50 a	3,33 a	4,08 ab	4,29 a
	CA + BC (10%)	7,22 ab	2,53 a	4,30 a	5,09 a
	CA + BC (15%)	3,43 b	2,79 a	4,09 ab	4,99 a
Zn	CA + BC (0%)	77,08 b	28,90 a	28,79 a	22,34 a
	CA + BC (5%)	73,16 b	19,84 b	22,80 ab	20,90 a
	CA + BC (10%)	98,63 a	19,18 b	17,99 bc	25,45 a
	CA + BC (15%)	68,45 b	19,51 b	12,77 c	52,50 a
Fe	CA + BC (0%)	582,67 a		61,75 a	31,42 a
	CA + BC (5%)	700,28 a	ND	57,93 a	36,87 a
	CA + BC (10%)	565,69 a		51,47 a	39,60 a
	CA + BC (15%)	634,58 a		52,79 a	32,52 a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ND = não detectado.

De forma geral, os resultados obtidos neste ensaio para a concentração de metais nas plantas de brócolis, mostram que a adição de biocarvão à cama de aviário durante o processo de compostagem, principalmente na dose de 15%, pode contribuir para a redução da biodisponibilidade de metais tóxicos, principalmente a de Pb, metal cumulativo e tóxico à saúde humana (NAZIR et al., 2015; KUMAR et al., 2020), e sua transferência para as inflorescências de brócolis.

#### **4.2. Ensaio 2: Efeito de Composto de Cama de Aviário e Diferentes Doses de Biocarvão sobre Duas Cultivares de Brócolis**

O estudo foi feito em dois ensaios simultâneos, utilizando-se a cultivar precoce e tolerante a temperaturas mais elevadas Coliseu e a cultivar de ciclo médio com maior crescimento foliar Legacy. Esta seleção teve como objetivo avaliar a resposta de diferentes cultivares ao mesmo tratamento.

Em ambas as cultivares, observou-se efeito significativo dos tratamentos sobre o desenvolvimento radicular, expresso pela massa fresca, seca e volume de raiz (Tabela 10); sobre o desenvolvimento da parte aérea, expresso pela massa fresca de folha, inflorescência e parte aérea; e pela massa seca de folha, parte aérea e da planta inteira, expressa pela soma: parte aérea + raiz (Tabela 12). No ensaio com a cultivar Legacy, observou-se, ainda, efeitos dos tratamentos sobre o número de folhas, massa fresca e seca de caule, com menores valores registrados nas parcelas testemunhas (sem adição dos compostos orgânicos). Efeitos sobre o diâmetro das inflorescências foram registrados apenas em Coliseu; e nenhum efeito dos tratamentos sobre a altura das plantas ou massa seca das inflorescências, seja de Coliseu ou de Legacy (Anexos D e E).

De forma geral, não houve diferenças entre os quatro tratamentos com compostos (CA, CA + BC5%, CA + BC10% e CA + BC15%) sobre o desenvolvimento radicular. No entanto, estes quatro tratamentos foram superiores ao tratamento testemunha (apenas adubação mineral) quanto ao desenvolvimento radicular das plantas, especialmente na cultivar mais tardia, a Legacy (Tabela 10). Na cultivar Coliseu, apenas o tratamento CA+BC5% resultou em massa fresca e seca e volume de raízes significativamente maiores que os da testemunha. Os tratamentos com 0, 10 e 15% de BC, apresentaram efeito intermediário. Ou seja, as duas cultivares comportaram-se de forma distinta, tendo-se observado em Legacy, uma clara distinção entre os tratamentos com os compostos em relação à testemunha, com médias de massa fresca e seca e volume de raízes significativamente maiores nestes tratamentos, comparados à testemunha. Nota-se também que a adição de biocarvão durante a compostagem, seja 5%, 10% ou 15%, não prejudicou a qualidade dos compostos, visto não terem diferido do tratamento com plantas adubadas apenas com cama de aviário (CA), sem adição de biocarvão (Tabela 10).

**Tabela 10.** Efeito da aplicação de composto orgânico à base de cama de aviário (CA) enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão (BC) compostado por 60 dias, sobre a massa fresca e seca de raiz, e volume de raiz, em plantas de brócolis, cultivares Coliseu e Legacy. Ensaios simultâneos realizados em condições de casa de vegetação de junho a agosto de 2023. Seropédica, UFRRJ, 2023.

	Massa Fresca Raiz (g)	Massa Seca de Raiz (g)	Volume de Raiz (mL)
<b>Coliseu</b>			
Testemunha	34,70 b	3,88 b	36,12 b
CA + BC (0%)	45,13 ab	5,43 ab	44,87 ab
CA + BC (5%)	51,68 a	5,92 a	50,37 a
CA + BC (10%)	49,51 a	6,04 a	48,37 ab
CA + BC (15%)	44,08 ab	5,12 ab	43,50 ab
<b>Legacy</b>			
Testemunha	18,92 b	3,15 b	20 b
CA + BC (0%)	41,12 a	6,31 a	41,25 a
CA + BC (5%)	34,92 a	4,92 ab	35,75 a
CA + BC (10%)	46,51 a	6,69 a	45,50 a
CA + BC (15%)	44,85 a	6,27 a	45,75 a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Embora com algumas diferenças entre as duas cultivares, os efeitos dos compostos sobre o desenvolvimento da parte aérea foram similares aos observados nas raízes (Tabela 12). Mesmo que não tenha sido observado efeito dos tratamentos sobre a altura e massa seca de inflorescência, para ambas cultivares; e sobre o número de folhas das plantas, massa fresca e seca de caule para a cultivar Coliseu e, sobre diâmetro de inflorescência para a cultivar Legacy, a adubação com os compostos, comparado à testemunha, resultou em ganhos no desenvolvimento e acúmulo de massa pelas plantas. Estes ganhos podem ser comprovados pelo significativamente maior acúmulo de massa fresca e seca de folhas, massa fresca e seca de parte aérea, massa fresca de inflorescência e massa seca total das plantas, para ambas as cultivares; pelo maior diâmetro das inflorescências em Coliseu; maior número de folhas e massa fresca e seca de caule para Legacy. Ainda, a adição do biocarvão não prejudicou a qualidade da cama de aviário como fertilizante orgânico, visto não ter havido diferenças significativas entre os quatro compostos quanto aos efeitos no desenvolvimento dos diferentes órgãos da planta.

E, em algumas variáveis como massa fresca de inflorescência, as maiores médias foram registradas nos tratamentos com adição de 5 e 10% e 10 e 15% de biocarvão, para Coliseu e Legacy, respectivamente; para massa seca de folhas, maiores médias foram registradas nos tratamentos com 10 e 15% de biocarvão; para diâmetro da inflorescência maior média foi registrada no tratamento com adição de 5% de biocarvão e; para o somatório de massa seca dos diferentes órgãos da planta, as maiores médias foram registradas nos tratamentos com as doses de 5, 10 e 15% de biocarvão em Coliseu. Tais valores representam ganhos de 37,18%;

28,68%, 22,34% e 29,51%, respectivamente, em comparação aos tratamentos sem adição de composto.

Nestes dois ensaios simultâneos, a adição de nutrientes via composto orgânico foi de 300 g planta<sup>-1</sup> (Tabela 11), valor superior ao utilizado no Ensaio 1 (item 4.1), com 175 g planta<sup>-1</sup> (Tabela 6), ambos em base seca. Da mesma forma, parte dos nutrientes foram suplementados com a adição de adubo mineral, 11,37 g de superfosfato simples no transplante e aporte semanal de N e K, de 2,5 g planta<sup>-1</sup> de formulação mineral NK (20-20). O total de biocarvão aportado nos tratamentos CA, CA + BC5%, CA + 10BC10% e CA + BC15% foi de 0, 16, 33 e 53 g vaso<sup>-1</sup> de 8L, respectivamente, equivalente a 0,00, 2,00, 4,12 e 6,62 g de biocarvão L<sup>-1</sup> de solo. O total de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O aportado no tratamento testemunha foi de 4,0, 2,16 e 4,0 g, respectivamente. Nos demais tratamentos, o total de N aportado variou entre 8,8 e 9,4 g planta<sup>-1</sup>, o de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> entre 7,80 e 8,19 g planta<sup>-1</sup> e o de K<sub>2</sub>O entre 10,93 e 11,83 g planta<sup>-1</sup> (Tabela 12). Diferente do Ensaio 1, os teores aportados de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O supriram as exigências nutricionais das plantas de 2,0 e 6 g planta<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente (GUERRA et al., 2013), de acordo com os resultados da análise de solo (Tabela 3), com exceção do tratamento testemunha que registrou teores de K<sub>2</sub>O inferior a 6 g planta<sup>-1</sup>. A recomendação de adubação e calagem neste ensaio (Ensaio 2) teve como resultado a mesma indicação do ensaio anterior (Ensaio 1): cerca de 40,0, 0,0 e 120,0 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (GUERRA et al., 2013) respectivamente, para uma densidade de 20.000 plantas por hectare e produtividade estimada de 15 t ha<sup>-1</sup> a 30 t ha<sup>-1</sup>.

Não houve aporte de Ca e Mg no tratamento testemunha. Nos demais tratamentos o total de Ca variou entre 3,05 e 3,35 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, equivalente a 27,5 e 32,3 g respectivamente, e o de Mg entre 0,92 e 1,24 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, equivalente a 1,9 e 2,2 g respectivamente (Tabela 11). Embora os teores de Ca atendam às exigências nutricionais da cultura em todos os tratamentos com exceção do tratamento testemunha, os teores de Mg ficaram abaixo do recomendado por Guerra et al. (2023), de 3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

**Tabela 11.** Quantidade de composto orgânico (CO), cama de aviário (CA), biocarvão (BC), superfosfato simples (SS), e formulação mineral NK (NK) em gramas aportados por vaso e total estimado de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca e Mg fornecido para as plantas. Seropédica, UFRRJ, 2023.

Tratamento	C	CA	BC	SS	NK	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
	Adubos adicionados por vaso (g)						Quantidade de nutriente estimado por vaso (g)			
Testemunha	0	0	0	11,4	20	4	2,2	4,0	0	0
Cama de Aviário (CA)	300	300	0	11,4	20	9,4	7,8	11,8	32,3	2,2
CA + BC (5%)	300	284	16	11,4	20	8,8	7,9	10,9	31,7	1,9
CA + BC 10%	300	267	33	11,4	20	8,8	8,2	11,3	30,8	2,1
CA + BC (15%)	300	247	53	11,4	20	9,1	8,1	11,2	27,5	1,9

Embora o apporte de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca e Mg com a adubação com os compostos tenham sido superiores ao aportado via adubação mineral, deve-se considerar que parte dos nutrientes do composto não são prontamente disponíveis e tem sua liberação dependente do processo de mineralização. No entanto, deve-se considerar que as quantidades adicionadas no tratamento testemunha, foram inferiores à faixa recomendada para a cultura, em especial de K<sub>2</sub>O e Mg. Este menor suprimento de K<sub>2</sub>O e Mg pode ser uma das causas do menor desempenho observado

no desenvolvimento destas plantas, quando comparado aos tratamentos com adição dos compostos com cama de aviário.

Nesses dois últimos experimentos, registrou-se desempenho superior ao observado no ensaio anterior no tocante ao desenvolvimento das plantas que receberam os compostos com cama de aviário. Este resultado é associado ao aporte de nutrientes durante o ciclo da cultura, atendendo as recomendações para teores de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O e Ca, ainda que o teor de Mg tenha ficado abaixo do recomendado.

Além de favorecer a produção vegetal, o composto orgânico enriquecido com biocarvão pode contribuir para produção de alimentos mais saudáveis com menores teores de metais tóxicos à saúde humana, como Pb por exemplo, principalmente nas inflorescências e para o desenvolvimento sustentável da agricultura.

Losacco et al. (2022a) ao avaliarem a influência de fertilizantes nitrogenados associado com biocarvão no cultivo de couve-flor (*B. oleracea* L. var. *botrytis*), verificaram aumento no número de compostos fenólicos, carboidratos e proteínas em plantas de couve-flor. Em outro experimento, Losacco et al. (2022b) constataram que o uso de biocarvão no cultivo de couve-flor, foi capaz de aumentar a disponibilidade de nutrientes, promover melhorias nas propriedades químicas e físicas, além de reduzir o teor de nitrogênio lixiviado do solo.

Zonayet et al. (2023) também relataram efeitos positivos nas características físicas e químicas do solo, com aplicação de fertilizantes minerais associados com biocarvão, como redução da densidade e aumento da porosidade, aumento do teor de carbono orgânico e de matéria orgânica, além de redução na salinidade do solo pela imobilização de íons de sódio, no cultivo de tomate em solo Franco Argiloso.

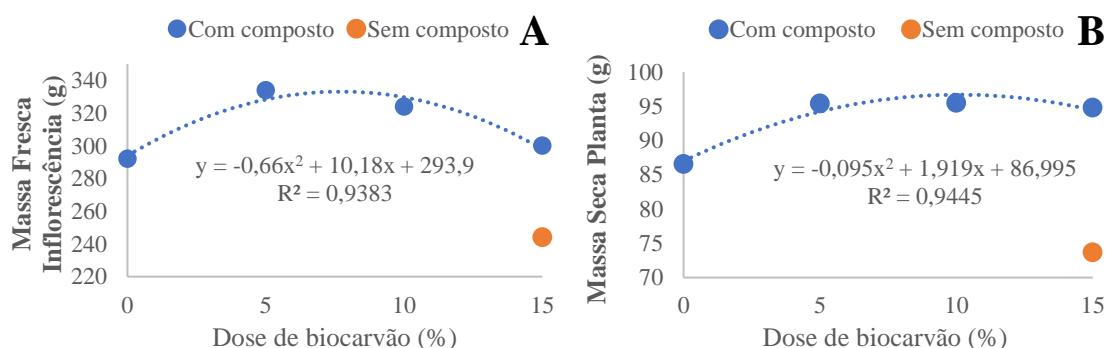
**Tabela 12.** Efeito da aplicação de composto orgânico à base de cama de aviário enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, compostado por 60 dias, sobre altura, número de folhas (NF), massa fresca da folha (MFF), caule (MFC), inflorescência (MFI), parte aérea (MFPA) e diâmetro da inflorescência (DLI), massa seca da folha (MSF), caule (MSC), inflorescência (MSI), parte aérea (MSPA) e da planta (MSP), em plantas de brócolis de duas cultivares, Coliseu e Legacy. Ensaios simultâneos realizados em condições de casa de vegetação de junho a agosto de 2023. Seropédica, UFRRJ, 2023.

Tratamento	Altura NF	Massa Fresca					Diâmetro (cm)	Massa Seca				
		Folha	Caule	Inflorescência	Parte Aérea	Inflorescência		Folha	Caule	Inflorescência	Parte Aérea	Planta
		(cm)	(unid.)	(g)				(cm)				
<b>Coliseu</b>												
Testemunha	19,75 a	16,37 a	524,37 b	166,87 a	243,75 b	935,00 b	13,43 b	37,41 b	12,61 a	19,82 a	69,85 b	73,74 b
CA + BC (0%)	19,62 a	18,25 a	722,50 a	185,62 a	292,50 ab	1200,62 a	14,87 ab	45,02 ab	13,89 a	22,24 a	81,15 ab	86,58 ab
CA + BC (5%)	19,62 a	17,37 a	659,37 a	189,37 a	334,37 a	1183,12 a	16,43 a	46,52 ab	16,08 a	26,94 a	89,54 a	95,46 a
CA + BC (10%)	19,19 a	17,50 a	678,12 a	191,25 a	324,37 a	1193,75 a	15,43 ab	48,14 a	15,87 a	25,44 a	89,46 a	95,50 a
CA + BC (15%)	18,37 a	16,50 a	685,62 a	183,75 a	300,00 ab	1169,37 a	15,00 ab	47,66 a	15,53 a	26,53 a	89,73 a	94,85 a
<b>Legacy</b>												
Testemunha	30,75 a	19,50 b	579,37 b	322,50 b	228,12 b	1130,00 b	12,31 a	49,52 b	24,29 b	19,91 a	93,73 b	96,88 b
CA + BC (0%)	32,19 a	25,37 a	980,62 a	406,88 a	319,37 ab	1706,87 a	13,19 a	83,11 a	35,81 a	24,30 a	143,22 a	149,53 a
CA + BC (5%)	31,44 a	26,00 a	1010,00 a	423,75 a	345,00 ab	1778,75 a	13,94 a	84,57 a	37,71 a	25,75 a	148,03 a	152,95 a
CA + BC (10%)	32,19 a	25,50 a	992,50 a	420,62 a	360,00 a	1773,12 a	13,25 a	89,52 a	38,24 a	28,34 a	156,11 a	162,80 a
CA + BC (15%)	31,94 a	23,25 a	973,75 a	418,12 a	349,37 a	1741,25 a	14,18 a	87,96 a	34,84 a	29,82 a	152,62 a	158,89 a

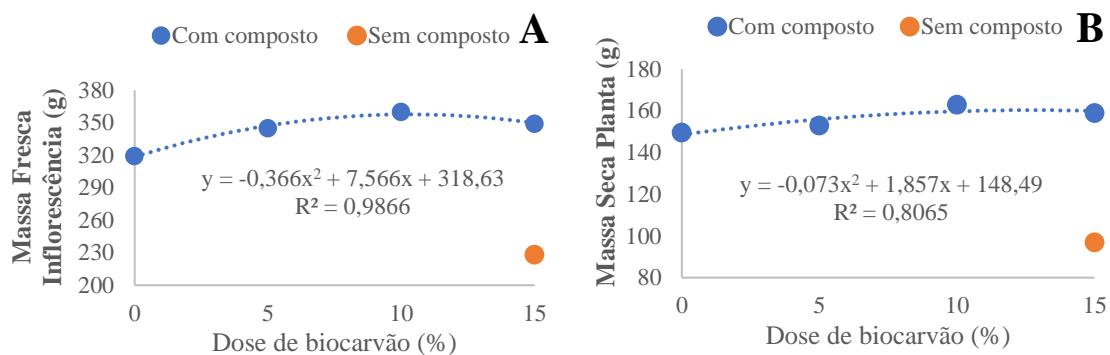
\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As inflorescências produzidas apresentaram massa fresca média de 312,8 e 343,4 g e diâmetro de 15,4 e 13,6 cm, quando provenientes dos tratamentos com aplicação de composto, enquanto tratamentos testemunha apresentaram massa fresca média de 243,7 e 228,1 g e diâmetro de 13,4 e 12,3 cm, para Coliseu e Legacy, respectivamente. Os valores de massa fresca da inflorescência obtidos nos tratamentos com aplicação de composto são considerados adequados, e atendem às exigências do mercado, que são de 300 a 400g (MELO, 2015).

Visando identificar a faixa ou dose mais adequada de biocarvão a ser adicionada aos compostos, construíram-se curvas de dose de biocarvão e resposta da planta e estimou-se a equação de ajuste. Identificou-se uma resposta quadrática em função da dose de biocarvão para acúmulo de massa fresca das inflorescências com máximo nas doses de 7,7% e 10,3% para Coliseu e Legacy, respectivamente; e máximo acúmulo de massa seca total da planta nas doses de 10,1 e 12,7% para a cultivar Coliseu e Legacy, respectivamente (Figuras 5 A e B e Figura 6 A e B). Nos respectivos gráficos, nota-se, ainda, o ganho de massa fresca de inflorescência e de massa seca total das plantas adubadas com os compostos à base de cama de aviário, independente da dose, comparado ao tratamento testemunha sem adição de cama (Figura 5 A, B; 6 A, B).



**Figura 5.** Efeito da porcentagem de biocarvão adicionado à cama de aviário, seguido de compostagem por 60 dias, comparado a tratamento sem adição de composto, sobre a massa fresca das inflorescências (A) e massa seca (B) da planta de brócolis, cultivar Coliseu, em ensaio realizado em condições de casa de vegetação no período de junho a agosto de 2023. Seropédica, UFRRJ, 2023.



**Figura 6.** Efeito da porcentagem de biocarvão adicionado à cama de aviário, seguido de compostagem por 60 dias, comparado a tratamento sem adição de composto, sobre a massa fresca das inflorescências (A) e massa seca (B) das plantas de brócolis, cultivar Legacy, em ensaio realizado em condições de casa de vegetação no período de junho a agosto de 2023. Seropédica, UFRRJ, 2023.

## **5. CONCLUSÕES**

A adição de biocarvão à cama de aviário durante o processo de compostagem não prejudica a qualidade do composto produzido nem afeta a intensidade da hérnia das crucíferas.

A cama de aviário compostada com adição de até 15% de biocarvão não prejudica sua qualidade como adubo orgânico e, nas condições de realização deste estudo, a adubação com este composto com adição de até 6,6 g de biocarvão L<sup>-1</sup> de solo não prejudicou as plantas de brócolis.

A adição de 15% de biocarvão à cama de aviário durante o processo de compostagem reduz a biodisponibilidade e concentração de metais tóxicos nas plantas de brócolis cv. Coliseu, com destaque para a redução dos teores de Pb nas inflorescências.

O uso de composto orgânico enriquecido com biocarvão promoveu ganhos significativos na massa fresca de inflorescência de brócolis, nas cultivares Coliseu e Legacy, e contribuiu para produção de inflorescências adequadas às exigências de mercado.

Estudos em condições de campo, e com distintas condições de solo, precisam ser realizados para validação de formulações de adubo orgânico contendo cama de aviário e biocarvão.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual**. 2023. Disponível em: <https://abpa-br.org/quem-somos/abpa-relatorio-anual/>. Acesso em: 24 de março de 2023.
- AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. **Consulta de praga/doença**. 2023. Disponível em: [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: 02 de março de 2023.
- ALABOUDI, K. A.; AHMED, B.; BRODIE, G. Effect of biochar on Pb, Cd and Cr availability and maize growth in artificial contaminated soil. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 64, n. 1, p. 95-102, 2019.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Portaria nº 685, de 27 de agosto de 1998**. Diário Oficial da União. Seção 1. Brasília. 1998.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução - RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013**. Diário Oficial da União. Seção 1. Brasília. N° 168, sexta-feira, 30 de agosto de 2013.
- AVILA, V. S.; MAZZUCO, H.; FIGUEIREDO, E. A. P. **Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante**. Concórdia, SC: EMBRAPA-CNPSA. 38p, Circular Técnica 16, 1992.
- AVILA, V. S.; COSTA, C. A. F.; FIGUEIREDO.; É. A. P.; ROSA, P. S.; OLIVEIRA, U.; ABREU, V. M. N. **Materiais alternativos, em substituição à maravalha como cama de frango**. Concórdia, SC: Embrapa suíno e aves. 5p, Comunicado Técnico 465, 2007.
- BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 22, p. 5444-5453, 2009.
- BHERING, A. S.; CARMO, M. G. F.; MATOS, T. S.; LIMA, E. S. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Soil factors related to the severity of clubroot in Rio de Janeiro, Brazil. **Plant Disease**, v. 101, n. 8, p. 1345–1353, 2017.
- BHERING, A. S.; CARMO M. G. F.; COELHO, I. S.; LIMA, E. S. A.; DE CARVALHO, C. F.; SARAIVA, A. L. R. F.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Soil management in a mountain agroecosystem and clubroot disease. **Plant Pathology**, v. 69, n. 2, p. 302-309, 2020.
- BOLAN, N. S.; SZOGI, A. A.; CHUASAVATHI, T.; SESHADRI. B.; ROTHROCK JR, M. J.; PANNEERSELVAM, P. Uses and management of poultry litter. **World's Poultry Science Journal**, v. 66, n. 4, p. 673-698, 2010.
- BORTOLOTI, G. A.; BARON, D. Phytoremediation of toxic heavy metals by brassica plants: A biochemical and physiological approach. **Environmental Advances**, v. 8, 13p, 2022.

BOTEGA, J. L. **Compostagem e caracterização físico-química de substrato de cama de aviário: estudo de caso.** 2019. 90p. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Medianeira, 2019.

BOTERO, A.; GARCÍA, C.; GOSEN, B. D.; STRELKOV, S. E.; 1, TODD, C. D.; BONHAMSMITH, P. C.; PÉREZ-LÓPEZ, E. Clubroot disease in Latin America: distribution and management strategies. **Plant Pathology**, v. 68, n. 5, p. 827-833, 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. MAPA. Instrução Normativa SDA nº35, de 04 de julho de 2006. **Diário oficial da União – Seção 1**, Brasília, 12 de jul. 2006. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf>>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 481, de 03 de outubro de 2017. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2017.

CAMPOS, D.V.B.; FREIRE, L.R.; ZONTA, E.; EIRA, P.A.; DUQUE, F.F., DE-POLLI, H.; SOUTO, S.M.; SANTOS, G.A.; ANJOS, L.H.C.A. Adubos e corretivos. In: FREIRE, L.R. (Org.). **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Seropédica, RJ: Editora Universidade Rural, 2013. p. 107-128.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas**. Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2001.

CARLOS, L.; RODRIGUES, N.; CRISTINA, A.; GONÇALVES, M.; COLAB, S. A. S. F. Caracterização físico-química e fitoquímica de cinco brássicas e respectivos tecidos vegetais. Qualidade e segurança alimentar. **Vida rural**, p. 64-69, 2022.

CARTER, S.; SHACKLEY, S.; SOHI, S.; SUY, T. B.; HAEFELE, S. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). **Agronomy**, v. 3, n. 2, p. 404-418, 2013.

CASTRO, T. A. V. T.; SANTOS, C. A.; BREDA, F. A. F.; SILVA, H. F. O.; CARMO, M. G. F.; GARCÍA, A. C. Influência das substâncias húmicas no crescimento e desenvolvimento de plantas e na supressão de doenças. Seropédica, RJ: Editora Edur, 2022.

CHUNG, W.J.; CHANG, S.W.; CHAUDHARY, D.K.; SHIN, J.; KIM, H.; KARMEGAM, N.; GOVARTHANAN, M.; CHANDRASEKARAN, M.; RAVINDRAN, B. Effect of biochar amendment on compost quality, gaseous emissions and pathogen reduction during in-vessel composting of chicken manure. **Chemosphere**, v. 283, p. 131129, 2021.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, nº 249, de 30 de dezembro de 2009. 2009.

CORRÊA, J. C.; MIELE, M. A cama de aves e os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos. **Embrapa Suínos e Aves**, 2011. cap.3, p. 127-152.

COSTA, M.S.S.M.; COSTA, L.A.M.; PELÁ, A.; SILVA, A.C.J.; DECARLI, L.D.; MATTER, U.F. Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaça de aves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.692-698, 2006.

CRUZ, L. C. C. D. **Utilização de Composto Orgânico na Fertilização de Brócolis e Efeitos no Desenvolvimento da Hérnia das Crucíferas**. 2023. 43p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

DABROWSKI, P.; BACZEWSKA, A. H.; PAWLU'SKIEWICZ, B.; PAUNOV, M.; ALEXANTROV, V.; GOLTSEV, V.; KALAJI, M. K. Prompt chlorophyll a fluorescence as a rapid tool for diagnostic changes in PSII structure inhibited by salt stress in Perennial ryegrass. **Journal of Photochemistry & Photobiology B: Biology**, V. 157, p. 22–31, 2016.

DALTO, P. H.; GONÇALVES. F. O; SILVA. E. G.; SAMPAIO DE SENA, A. F.; BARREIRA, H. M.; SANTOS, M. R. Uso de biocarvão como condicionador de solo e sua influência na produtividade do milho e feijão. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 3937-3943, 2020.

DINIZ, E. R.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S. S.; PETERNELLI, L. A.; BARRELLA, T. P.; FREITAS, G. B. DE. Crescimento e produção de brócolis em sistema orgânico em função de doses de composto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1428-1434, 2008.

DINIZ, C. S.; CRUZ, L. C. C. D.; SANTOS, C. A.; SOUZA, C. C. B.; SOBRINHO, N. M. B. A.; CARMO, M. G. F. In: **Anais do I Simpósio Ibero-Americano de Ciência do Solo**. Seropédica, RJ: UFRRJ, 2021.

DIXON, G. R. The occurrence and economic impact of *Plasmodiophora brassicae* and clubroot disease. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 3, p. 194-202, 2009a.

DIXON, G. R. *Plasmodiophora brassicae* in its environment. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 3, p. 212-228, 2009b.

DIXON, G.R. Clubroot (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) – an agricultural and biological challenge worldwide. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 36, p. 5-18, 2014.

DOMÍNGUEZ-PERLES, R.; MENA, P.; GARCIA-VIGUERA, C.; MORENO, D. A. **Brassica foods as a dietary source of vitamin C: a review**. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 54, n. 8, p. 1076-1091, 2014.

DONALD, C.; PORTER, I. Integrated control of clubroot. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 3, p. 289-303, 2009.

DUARTE, L. O.; AQUINO, L. A.; OLIVEIRA, T. F.; CLEMENTE, J. M. Adubação e nutrição. In: NICK, C.; BORÉM, A. **Brássicas: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 251p, 2022.

EMATER-RJ - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro. **Acompanhamento Sistemático da Produção Agrícola-ASPA.** 2020. Disponível em: <<http://www.emater.rj.gov.br/images/municcorr2020.htm>>. Acesso em 14 de fevereiro de 2023.

FALABRETTI, A. M.; FREITAS, E. S. Levantamento de *Salmonella* spp. em diferentes substratos de cama de aviário. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária FAG**, v. 2, n. 2, 2019.

FAVELA-GONZÁLEZ, K, M.; HERNÁNDEZ-ALMANZA, A. Y.; DE LA FUENTE-SALCIDO, N. M. The value of bioactive compounds of cruciferous vegetables (*Brassica*) as antimicrobials and antioxidants: A review. **Journal of Food Biochemistry**, v. 44, n. 10, p. e13414, 2020.

FAOSTAT – Food and Agriculture Organization. **Cultivos.** 2021. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>> Acesso em 26 de janeiro de 2023.

FERNANDES, F. L.; FERNANDES, M. E. S.; RIBEIRO, R. C.; RODRIGUES, N. C. C.; PEREIRA, R. C.; ZANUNCIO, J. C. Manejo de pragas. In: NICK, C.; BORÉM, A. **Brássicas: do plantio à colheita.** Viçosa, MG: Editora UFV, 251p, 2022.

FERREIRA, P. F. A.; XAVIER, J. F.; BERTHOLOTO, D. M.; MELO, D. A.; CORREIA, T. R.; COELHO, S. M. O.; SOUZA, M. M. S.; LEAL, M. A. A.; ARAÚJO, E. S.; COELHO, I. S. Effect of composting on the microbiological and parasitic load in animal production wastes in Brazil. **International journal of recycling organic waste in agriculture**, v. 10, n. 3, p. 265-273, 2021.

FERREIRA, F. J. P. **Uso do Biocarvão na Redução de Solubilidade de Metais Pesados Durante a Compostagem da Cama de Frango.** 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia Moderna na Produção e Comercialização de Hortaliças.** 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. 421 p.

FILHO, L. S. C.; MACIEL, G. M. Cultivares. In: NICK, C.; BORÉM, A. **Brássicas: do plantio à colheita.** Viçosa, MG: Editora UFV, 251p, 2022.

FIRDEVS, M. Cadmium and lead in livestock feed and cattle manure from four agricultural areas of Bursa, Turkey. **Toxicological and Environmental Chemistry**, v. 87, n. 3, p. 329-334, 2005.

GONÇALVES, J. F. C.; JÚNIOR, U. M. S. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 3, p. 307-313, 2005.

GONÇALVES, A. H.; CASTANHEIRA, D. T.; SILVA, L. G.; VOLTOLINI, G. B. Manejo de plantas daninhas. In: NICK, C.; BORÉM, A. **Brássicas: do plantio à colheita.** Viçosa, MG: Editora UFV, 251p, 2022.

GOVINDJEE, G. **Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis.** Dordrecht: Springer, 2004.

GUERRA, J.G.M.; LEAL, M.A.A., FERREIRA, M.B.C. Recomendações de adubos, corretivos e de manejo da matéria orgânica para as principais culturas do Estado do Rio de Janeiro: Brócolos, couve, couve-flor e repolho. In: FREIRE, L.R. (Org.). **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro.** Seropédica, RJ: Editora Universidade Rural, 2013. p.107-128.

HOCHMUTH, G. J.; MAYNARD, D.; VAVRINA, C.; HANLON, E.; SIMONNE, E. **Plant Tissue Analysis and Interpretation for Vegetable Crops in Florida. Florida.** University of Florida, 1991. 50 p.

HOLTZ, A. M.; RONDELLI, V. M.; CELESTINO, F. N.; BESTETE, L. R.; CARVALHO, J. R. **Pragas das brássicas.** Colatina, ES: IFES, 2015. 230p.

HOU, J.; PUGAZHENDHI, A.; PHUONG, T. N.; THANH, N. C.; BRINDHADEVI, K.; VELU, G.; NGUYEN, T. L. C.; YUAN, D. Plant resistance to disease: Using biochar to inhibit harmful microbes and absorb nutrients. **Environmental Research**, v. 214, p. 113883, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário.** 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/brocolis/br>> Acesso em 26 de janeiro de 2023.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações.** 2023. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A601>>. Acesso em 09/11/2023.

JAKOP, M.; BELASK, N.; RIHTER, E.; PREDIKAKA, T. C.; STAJNKO, D.; MLAKAR, S. G. The Effect of Biochar Applied Alone and in Combination with Mineral and Organic Fertilisers on the Yield of White Cabbage and Soil Properties. **Agricultura Scientia**, v. 20, n. 1, p. 9-21, 2023.

JAVED, M. A.; SCHWELM, A.; ZAMANI-NOOR, N.; SALIH, R.; VAÑÓ. M. S.; WU, J.; PÉREZ-LÓPEZ, E. The clubroot pathogen *Plasmodiophora brassicae*: A profile update. **Molecular Plant Pathology**, 2022.

JI, G.; LONG, Y.; CAI, G.; YAN, G.; WU, J.; ZHANG, F.; WU, X. Whole-Genome Comparison Reveals Structural Variations behind Heading Leaf Trait in *Brassica oleracea*. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 4, p. 4063, 2023.

JUNIOR, G. A.; VARGAS, P.; FERRARI, S.; PAVARINI, R. Desempenho de híbridos de brócolis de cabeça única em função de densidade e arranjo espacial. **Nucleus**, v. 12, n. 1, p. 199-206, 2015.

KAGEYAMA, K. & ASANO, T. L. Life cycle of *Plasmodiophora brassicae*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 3, p. 203-211, 2009.

KELLEHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T. F.; SUTTON, D.; LEAHY, M. J. Advances in poultry litter disposal technology—a review. *Bioresource technology*, v. 83, n. 1, p. 27-36, 2002.

KNOX, O.G.G. OGHORO, C.O. BURNETT, F.J. FOUNTAINE, J.M. Biochar increases soil pH, but is as ineffective as liming at controlling clubroot. *Journal of Plant Pathology*, v. 97, p. 149-152, 2015.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual review of plant biology*, v. 42, n. 1, p. 313-349, 1991.

KUMAR, A.; KUMAR, A.; CABRAL-PINTO, M. M. S.; CHATURVEDI, A. K.; SHABNAM, A. A.; SUBRAHMANYAM, G.; MONDAL, R.; GUPTA, D. K.; MALYAN, S. K.; KUMAR, S. S.; KHAN, S. A.; YADAV, K. K. Lead Toxicity: Health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 7, 2020.

LEAL, M. A. A. Técnicas e procedimentos de compostagem. In: SOBRINHO, N. M. B. A.; LIMA, E. S. A.; BREDA, F. A. F.; SANTOS, C. A.; SOUZA, C. C. B. **Substâncias húmicas no processo de compostagem: gênese, caracterização e aplicação**. Rio de Janeiro: Interciênciac, 244p, 2023.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. Routledge, London, UK, 2009.

LIMA, J. O. **Tempo de compostagem de cama de aves e seus efeitos no desenvolvimento de plantas de couve-flor e na severidade da hérnia das crucíferas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

LIMA, J. O.; SANTOS, C. A.; SOUZA, C. C. B.; XAVIER, C. L. B.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; CARMO, M. G. F. Poultry litter composting and its effects on the occurrence of clubroot. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, v. 9, n. 3, e6806, jul./sep. 2022.

LIMA, E. S. A.; BREDA, F. A. F.; SOUZA, C. C. B.; SOBRINHO, N. M. B. A. Influência das Substâncias Húmicas na Biossorção de Metais: Conceitos Teóricos e Aplicações Práticas. In: SOBRINHO, N. M. B. A.; LIMA, E. S. A.; BREDA, F. A. F.; SANTOS, C. A.; SOUZA, C. C. B. **Substâncias húmicas no processo de compostagem: gênese, caracterização e aplicação**. Rio de Janeiro: Interciênciac, 244p, 2023.

LIU, L.; QIN, L.; CHENG, X.; ZHANG, Y.; XU, L.; LIU, F.; WEI, Y. Comparing the infection biology of *Plasmodiophora brassicae* in clubroot susceptible and resistant hosts and non-hosts. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, p. 507036, 2020.

LOPES, U. P.; FILHO, F. A. S. L.; MICHEREFF, S. J. Manejo de doenças. In: NICK, C.; BORÉM, A. **Brássicas: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 251p, 2022.

LOSACCO, D.; CAMPANALE, C.; TUMOLO, M.; ANCONA, V.; MASSARELLI, C.; URICCHIO, V.F. Evaluating the Influence of Nitrogen Fertilizers and Biochar on *Brassica oleracea* L. var. *botrytis* by the Use of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. **Sustainability**, v. 14, n. 19, p. 11985, 2022a.

LOSACCO, D.; TUMOLO, M.; COTUGNO, P.; LEONE, N.; MASSARELLI, C.; CONVERTINI, S.; TURSI, A.; URICCHIO, V.F.; ANCONA, V. Use of biochar to improve the sustainable crop production of cauliflower (*Brassica oleracea* L.). **Plants**, v. 11, n. 9, p. 1182, 2022b.

LUENGO, R. F. A.; MELO, R. A. C. Colheita, manuseio e comercialização. In: NICK, C.; BORÉM, A. **Brássicas: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 251p, 2022.

MACEDO, T. G.; SANTOS, C. A.; BRANDAO, A. A.; COSTA, E. S. P.; CARMO, M.G.F. Single-head broccoli production under different spacing and conditions of Baixada Fluminense. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 9, p. e6908, 2022.

MANGRICH, S. A.; MAIA, C. M.B F.; NOVOTNY, E. H. Biocarvão: as terras pretas de índio e o sequestro de carbono. **Ciência hoje**, v. 47, n. 281, p. 48-52, 2011.

MATOS, T. S. **Fatores de transferência de elementos-traço do solo para plantas de couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) no município de Nova Friburgo-RJ.** 136f. Tese (Doutorado em Agronomia). Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.

MAY, A.; TIVELLI, S.; VARGAS, P.; SAMRA, A.G.; SACCONI, L.V.; PINHEIRO, M.Q. **A cultura da couve-flor**, Campinas: Instituto Agronômico, (Boletim Técnico), n. 200, 2007.

MARQUELLI, W. A.; MELO, RA de C.; BRAGA, M. B. **Irrigação no cultivo de brássicas**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. 25p, Circular Técnica 158, 2017.

MCBRIIDE, M. B.; SPIERS, G. Trace elements content of selected fertilizers and dairy manures as determined by ICP-MS. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.32, p. 139-156, 2001.

MELO, R. A. C.; VENDRAME, L. P. C. Produção de brássicas no verão: velhos desafios e novas oportunidades. **Hortaliças em revista**, Embrapa hortaliças, p. 12-13, ano III, número 13, jul/ago de 2014.

MELO, R. A. C. **A cultura dos brócolis**. Brasília, DF: Embrapa, 2015.153 p.

MELO, R. A. C.; VENDRAME, L. P. C.; MADEIRA, N. R.; BLIND, A. D.; VILELA, N. J. **Caracterização e diagnóstico da cadeia produtiva de brássicas nas principais regiões produtoras brasileiras**, Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. 104p, Documentos 157, 2017.

MELLO, S. C. Exigências climáticas e Ecofisiologia. In: NICK, C.; BORÉM, A. **Brássicas: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 251p, 2022.

MIEKUS, N.; MARSZALEK, K.; PODLACHA, M.; IQBAL, A.; PUCHALSKI, C.; ŚWIERGIEL. Health benefits of plant-derived sulfur compounds, glucosinolates, and organosulfur compounds. **Molecules**, v. 25, n. 17, 22p, 2020.

MITANI, S.; SUGIMOTO, K.; HAYASHI, H.; TAKII, Y.; OHSHIMA, T., MATSUO, N. Effects of cyazofamid against *Plasmodiophora brassicae* Woronin on Chinese cabbage. **Pest Management Science**, v. 59, n. 3, p. 287-293, 2003.

MURAKAMI, H.; TSUSHIMA, S., SHISHIDO, Y. Soil suppressiveness to clubroot disease of Chinese cabbage caused by *Plasmodiophora brassicae*. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 11, p. 1637-1642, 2000.

NAZIR, R.; KHAN, M.; MASAB, M.; REHMAN, H. U.; RAUF, N. U.; SHAHAB, S.; AMEER, N.; SAJED, M.; ULLAH, M.; RAFEEQ, M.; SHAEEN, Z. Accumulation of heavy metals (Ni, Cu, Cd, Pb, Zn, Fe) in the soil, water and plants analysis of physicochemical parameters of soil and water collected from Tanda Dam Kohat. **Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v. 7, n. 3, p. 89-97, 2015.

NEPA-UNICAMP. **TACO - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4 ed. São Paulo: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação, 2011.

OLIVEIRA, M. C.; ALMEIDA, C. V.; ANDRADE, D. O.; RODRIGUES, S. M. M. Teor de Matéria Seca, pH e Amônia Volatilizada da Cama de Frango Tratada ou Não com Diferentes Aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 32, n. 4, p. 951-954, 2003.

OVIEDO-RONDÓN, E. O. Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, MG, v. 37, n. esp., p. 239-252, 2008.

OYEWUMI, O.; SCHREIBER, M. E. Using column experiments to examine transport of arsenic and other trace elements released from poultry litter: implications for trace element mobility in agricultural watersheds. **Environmental Pollution**, v. 227, p. 223-233, 2017.

PARENTE, C. E. T.; LINO, A. S.; ARRUDA JUNIOR, E. R.; ZONTA, E., DORNELES, P. R.; TORRES, J. P. M.; MEIRE, R. O.; MALM, O. Multi-temporal accumulation and risk assessment of available heavy metals in poultry litter fertilized soils from Rio de Janeiro upland region. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 1, p. 28, 2019.

PASTOR-VILLEGAS, J.; PASTOR-VALLE, J. F.; MENESSES RODRÍGUEZ, J. M.; GARCÍA, M. Study of commercial wood charcoals for the preparation of carbon Adsorbents. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 76, n. 1-2, p. 103-108, 2006.

PAULINO, F. F. **Avaliação dos componentes voláteis e atividade antioxidante de *Eruca sativa* Mill., *Brassica rapa* L. e *Raphanus sativus* L. após processamento**. 2008. 219f. (Mestrado em Farmácia). Faculdade de Farmácia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

PENALBER, A.T.T. Controle alternativo da hérnia das crucíferas causada por *Plasmodiophora brassicae* em brócolis através de compostos orgânicos. 168f. Tese (Doutorado em Fitopatologia). Brasília: Universidade de Brasília, 2009.

PEREIRA, L. F.; SANTOS, C. A.; RIBEIRO, J. C.; CRUZ, L. C. C. D.; SOBRINHO, N. M. B. A.; CARMO, M. G. F. Produção de brássicas na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. In: ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G. **Pesquisas agrárias e ambientais**. Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, v.11, 239p, 2022.

PERGOLA, M.; PERSIANI, A.; PALESE, A. M.; DI MEO, V.; PASTORE, V.; D'ADAMO, C.; CELANO, G. Composting: The way for a sustainable agriculture. **Applied Soil Ecology**, v. 123, p. 744-750, 2018.

PETTER, F. A.; LIMA, L. B.; MORALES, M. M.; JÚNIOR, B. H. M.; L. A. MORAIS. Biocarvão no solo: aspectos agronômicos e ambientais. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL**. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE AGRICULTURE. Ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento sustentável das novas fronteiras agrícolas: anais. p. 73-81, 2016.

REIS, A.; SOUZA, R. L.; KÓR, D. G.; CANEDO, É. J.; LIMA, F. D. S. **Principais doenças das brássicas causadas por fungos, oomicetos e protozoário: identificação e manejo**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. 43p, Circular Técnica 176, 2021.

ROGERI, D. A.; ERNANI, P. R.; MANTOVANI, A.; LOURENÇO, K. S. Composition of Poultry Litter in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1–7, 2016.

RUARO, L.; LIMA NETO, V.C.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J. Influência do boro, de fontes de nitrogênio e do pH do solo no controle de hérnia das crucíferas causada por *Plasmodiophora brassicae*. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 4, 231-238. 2009.

SAGER, M. Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 1383-1390, 2007.

SAHARAN, G. S.; MEHTA, N. K.; MEENA, P. D. Clubroot Disease of Crucifers. **Springer Singapore**, 2021.

SANCHUKI, C. E.; SOCCOL, C. R.; CARVALHO, J. C.; SOCCOL, V. T.; WOICIECHOWSKI, C. N. A. L. Evaluation of poultry litter traditional composting process. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 5, p. 1053-1058, 2011.

SANTOS, C. A. **Calagem e biofungicida no manejo da hérnia das crucíferas em couve-flor no município de Nova Friburgo RJ**. 2017. 75f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

SANTOS, C. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, E. S. P.; DINIZ, C. S.; CARMO, M. G. F. Liming and biofungicide for the control of clubroot in cauliflower. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 3, p. 303–311, 2017.

SANTOS, C. A.; DINIZ, C. S.; LIMA, J. O.; OLIVEIRA, L. S. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; CARMO, M. G. F. Avaliação preliminar do uso de torta de mamona no manejo da hérnia das crucíferas em couve-flor. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 3, p. 31-38, 2018a.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 5.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018b.

SANTOS, A, R, M.; KANO, C.; CHAVES, F. C.; CUNHA, A. L. B. D.; GENTIL, D. F. D. O.; COSTA JÚNIOR, A. B. D. Inflorescence production of broccoli cultivars in the hot and humid climate of central Amazonia. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 54-61, 2020.

SANTOS, C. A. **Produção de brássicas na Região Serrana do Rio de Janeiro: Relação entre atributos de solo, práticas de manejo, hérnia das crucíferas e contaminação por metais**. 2020. 104p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

SANTOS, C. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; GONÇALVES, R. G. M.; COSTA, T. A. G.; CARMO, M. G. F. Toxic metals in broccoli by combined use of acidity correctives and poultry litter under mountain tropical conditions. **Archives of Environmental Contamination And Toxicology**, v. 80, p. 507-518, 2021.

SANTOS, C. A.; SOBRINHO, N. M. B. A.; CRUZ, C. C. D.; CARMO, M. G. F. Uso de Compostos Orgânicos e Substâncias Húmicas no Manejo de Brassicáceas e no Controle da Hérnia das Crucíferas (*Plasmodiophora brassicae*). In: SOBRINHO, N. M. B. A.; LIMA, E. S. A.; BREDA, F. A. F.; SANTOS, C. A.; SOUZA, C. C. B. **Substâncias húmicas no processo de compostagem: gênese, caracterização e aplicação**. Rio de Janeiro: Interciência, 244p, 2023a.

SANTOS, C. A.; SOBRINHO, N. M. B. D. A.; GONÇALVES, R. G. D. M.; LIMA, J. D. O.; CRUZ, L. C. C. D.; CARMO, M. G. F. D. Strategies for reducing the impact of clubroot on broccoli cultivation in tropical mountain regions. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 45, 12p, 2023b.

SHAH, S.; WESTERMAN, P.; PARSONS, J. **Poultry Litter Amendments**. North Carolina: North Carolina Cooperative Extension Service, 2006.

SHAW, R. K.; SHEN, Y.; YU, H.; SHENG, X.; WANG, J.; GU, H. Multi-Omics Approaches to Improve Clubroot Resistance in Brassica with a Special Focus on *Brassica oleracea* L. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 16, p. 9280, 2022.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. p. 205-274, 2007.

SOUZA, C. C. B.; BORELLA, J.; LEAL, J. F. L.; TORNISIELO, V. L.; PIMPINATO, R. F.; MONQUERO, P. A.; PINHO, C. F. Limited Diclosulam Herbicide Uptake and Translocation-Induced Tolerance in *Crotalaria juncea*. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 104, pages 114–120, 2020.

SOUZA, C. C. B. **Alterações Químicas, Estruturais e na Capacidade de Adsorção de Metais Pesados da Cama de Frango Durante a Compostagem.** 2021. 162p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

SOUZA, C. C. B.; GARCÍA, A. C.; LIMA, E. S. A.; SOBRINHO, N. M. B. A. S. Gênese de Substâncias Húmicas e Caracterização das Alterações da Matéria Orgânica durante o Processo de Compostagem. In: SOBRINHO, N. M. B. A.; LIMA, E. S. A.; BREDA, F. A. F.; SANTOS, C. A.; SOUZA, C. C. B. **Substâncias húmicas no processo de compostagem: gênese, caracterização e aplicação.** Rio de Janeiro: Interciência, 244p, 2023.

SRIVASTAVA, A.; STRASSER, R. J. How do land plants respond to stress temperature and stress light/Stress and stress management of land plants during a regular day. **Archs Sci Geneve**, v. 48, p. 135-146, 1995.

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: **Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis.** Dordrecht: Springer Netherlands, p. 321-362, 2004.

STRUCK, C.; RÜSCH, S.; STREHLOW, B. Control Strategies of Clubroot Disease Caused by *Plasmodiophora brassicae*. **Microorganisms**, 13p. 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. Crescimento vegetativo e organogênese. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** Porto Alegre: Artmed, 6<sup>a</sup> ed. Cap. 19, 2017.

TEIXEIRA, P. C; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual e métodos de análise de solo.** 3nd ed. Embrapa solos, Rio de Janeiro, RJ. 2017.

THEISEN, G. **Aspectos botânicos e relato da resistência de nabo silvestre aos herbicidas inibidores de ALS.** Documentos, n.239, Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2008.

TRANI, P. E.; TERRA, M. M.; TECCHIO, M. A.; TEIXEIRA, L. A. J.; HANASIRO, J. **Adubação orgânica de hortaliças e frutíferas.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2013.

TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; BLAT, S. F. Boletim Técnico IAC. **Couve de folha: do plantio à pós-colheita.** Campinas, SP, ed. 214, 36 p, 2015.

TREVISON, J. N.; MARTINS, G. A. K.; DAL'COL LÚCIO, A.; CASTAMN, C.; MARION, R. R.; TREVISON, B. G. Rendimento de cultivares de brócolis semeadas em outubro na região centro do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 33, p. 233-239, 2003.

TSIMILLI-MICHAEL, M. AND STRASSER, R. In vivo assessment of stress impact on plants vitality: applications in detecting and evaluating the beneficial role of Mycorrhization on host plants. In: **Mycorrhiza: State of the art, genetics and molecular biology, ecofunction, biotechnology, eco-physiology, structure and systematic**. Springer, Varma, A, 2008.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. Method 3050. **Acid digestion of sediments, sludges, and soils.** 2008. Disponível em: <<http://www.epa.gov/waste/hazard/testmethods>> Acesso: 20 março 2023.

WANG, Y. Y.; YOU, L. C.; LYU, H. H.; LIU, Y. X.; HE, L. L.; HU, Y. D.; LUO, F. C.; YANG, S. M. Role of biochar–mineral composite amendment on the immobilization of heavy metals for *Brassica chinensis* from naturally contaminated soil. **Environmental Technology & Innovation**, v. 28, p. 102622, 2022.

YANG, Y.; CHEN, T.; XIAO, R.; CHEN, X.; ZHANG, T. A quantitative evaluation of the biochar's influence on plant disease suppress: a global meta-analysis. **Biochar**, v. 4, n. 1, p. 43, 2022.

YU, H.; ZOU, W.; CHEN, J.; CHEN, H.; YU, Z.; HUANG, J.; TANG, H.; WEI, X.; GAO, B. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. **Journal of environmental management**, v. 232, p. 8-21, 2019.

ZAMANI-NOOR, N.; BRAND, S.; SÖCHTING, H. P.; Effect of pathogen virulence on pathogenicity, host range, and reproduction of *Plasmodiophora brassicae*, the causal agent of clubroot disease. **Plant Disease**, v. 106, n. 1, p. 57-64, 2022.

ZONAYET, M.; PAUL, A.K.; FAISAL-E-ALAM, M.; SYFULLAH, K.; CASTANHO, R.A.; MEYER, D. Impact of Biochar as a Soil Conditioner to Improve the Soil Properties of Saline Soil and Productivity of Tomato. **Sustainability**, v. 15, n. 6, p. 4832, 2023.

## 7. ANEXOS

**Anexo A.** Teores totais de metais no composto orgânico à base de cama de aviário, coletada em granjas de produção de frangos de corte localizadas na Região Serrana do Rio de Janeiro e enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão e compostada por 90 dias. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Metal	Composto	Teor no Composto mg.kg <sup>-1</sup>
Zn	CA + BC (0%)	682,20
	CA + BC (5%)	643,25
	CA + BC (10%)	588,13
	CA + BC (15%)	585,16
Pb	CA + BC (0%)	13,04
	CA + BC (5%)	11,63
	CA + BC (10%)	13,00
	CA + BC (15%)	12,75
Cu	CA + BC (0%)	293,44
	CA + BC (5%)	281,65
	CA + BC (10%)	265,01
	CA + BC (15%)	260,98
Fe	CA + BC (0%)	7320,47
	CA + BC (5%)	7947,27
	CA + BC (10%)	7240,32
	CA + BC (15%)	7164,03
Mn	CA + BC (0%)	728,69
	CA + BC (5%)	693,31
	CA + BC (10%)	678,31
	CA + BC (15%)	679,88
Ni	CA + BC (0%)	6,76
	CA + BC (5%)	5,60
	CA + BC (10%)	4,80
	CA + BC (15%)	4,68
Cr	CA + BC (0%)	12,71
	CA + BC (5%)	18,83
	CA + BC (10%)	17,46
	CA + BC (15%)	19,43
Al	CA + BC (0%)	5630,88
	CA + BC (5%)	6703,26
	CA + BC (10%)	4553,76
	CA + BC (15%)	3217,76

Fonte: adaptado de Ferreira (2023).

**Anexo B.** Análise de variância relativa aos dados de severidade da hérnia das crucíferas, massa fresca de raiz sadia e com galhas, porcentagem de raízes com galhas com base na massa fresca (PMFRH), volume de raízes sadias e com galhas, porcentagem de raízes com galhas com base no volume (PVRH), e massa seca total das raízes, em função da inoculação ou não com esporos resistentes de *Plasmodiophora brassicae*, da adubação com composto orgânico com diferentes doses de biocarvão (0, 5, 10 e 15%), em ensaio realizado em condições de casa de vegetação com a cultivar Coliseu, no período de agosto a outubro de 2022. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Fonte de variação	GL	Severidade	Quadrado médio							
			Massa fresca		PMFRH	Volume (mL)		PVRH	Massa seca total de raiz <sup>1</sup>	
			Raiz sadia	Hérmias <sup>1</sup>		Raiz sadia	Hérmias <sup>1</sup>			
Inoculo (I)	1	107825,52*	14528,30*	484,66*	111684,28*	17608,80*	449,64*	113746,66*	9,69 <sup>ns</sup>	
Dose (D)	3	0,52 <sup>ns</sup>	27,91 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	8,41 <sup>ns</sup>	31,22 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	4,64 <sup>ns</sup>	11,13 <sup>ns</sup>	
I x D	3	0,52 <sup>ns</sup>	7,46 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	8,41 <sup>ns</sup>	18,85 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	4,64 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	
Bloco	5	0,52 <sup>ns</sup>	69,47 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	3,99 <sup>ns</sup>	35,19 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	12,30 <sup>ns</sup>	2,26 <sup>ns</sup>	
Erro	35	0,52	33,6	1,31	8,15	30,35	1,08	6,07	6,71	
CV (%)		1,52	29,87	27,58	5,92	26,43	25,63	5,06	17,65	

ns -não significativo; \* significativo a 5%; 1 - dados transformados por  $\sqrt{x+1}$ .

**Anexo C.** Análise de variância relativa aos dados de desenvolvimento das plantas de brócolis cv. Coliseu®, expresso pela altura e número de folhas, massa fresca da folha, caule, inflorescência e da parte aérea, diâmetro da inflorescência, massa seca da folha, caule, inflorescência, da parte aérea e total da planta, em função da inoculação ou não com esporos de resistência de *Plasmodiophora brassicae* e adubação com composto orgânico à base de cama de aviário enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, em ensaio realizado em condições de casa de vegetação de agosto a outubro de 2022. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio							
		Altura	nº de folhas	Massa fresca				Parte aérea	
				Folha	Caule	Inflorescência <sup>1</sup>			
Inoculação (I)	1	402,52*	75,00*	13660133,33*	81675,00*	1071,73*	3437375,52*		
Dose (D)	3	0,89 <sup>ns</sup>	9,58 <sup>ns</sup>	2434,72 <sup>ns</sup>	116,66 <sup>ns</sup>	2,24 <sup>ns</sup>	1864,40 <sup>ns</sup>		
I x D	3	3,00 <sup>ns</sup>	10,27 <sup>ns</sup>	418,05 <sup>ns</sup>	100,00 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	1356,07 <sup>ns</sup>		
Bloco	5	6,18 <sup>ns</sup>	2,58 <sup>ns</sup>	1280,83 <sup>ns</sup>	127,08 <sup>ns</sup>	2,19 <sup>ns</sup>	3705,93 <sup>ns</sup>		
Erro	35	6,36	4,98	2249,16	176,6	1,64	4109,74		
CV (%)		18,95	16,48	21,24	22,00	21,17	18,67		

Fonte de variação	GL	Quadrado médio							
		Diâmetro da inflorescência	Massa seca				Parte aérea	Planta	
			Folha	Caule	Inflorescência <sup>1</sup>				
Inoculação (I)	1	910,02*	2994,10*	880,22*	82,09*	16516,17*	15725,64*		
Dose (D)	3	2,54 <sup>ns</sup>	17,84 <sup>ns</sup>	3,15 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	55,35 <sup>ns</sup>	110,20 <sup>ns</sup>		
I x D	3	1,95 <sup>ns</sup>	5,31 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	10,57 <sup>ns</sup>	16,12 <sup>ns</sup>		
Bloco	5	3,61 <sup>ns</sup>	25,12 <sup>ns</sup>	3,3 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	83,19 <sup>ns</sup>	107,43 <sup>ns</sup>		
Erro	35	2,54	19,59	1,99	0,16	39,01	58,27		
CV (%)		32,74	27,24	21,75	16,86	21,29	21,72		

ns -não significativo; \* significativo a 5%; 1 - dados transformados por  $\sqrt{x+1}$ .

**Anexo D.** Análise de variância relativa aos teores de metais em solo adubado com composto orgânico à base de cama de aviário coletada em granjas de produção de frangos de corte localizadas na Região Serrana do Rio de Janeiro e enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão e compostado por 90 dias. Amostras de solo coletadas após aplicação dos respectivos compostos e ao final do ciclo das plantas de brócolis, cultivar Coliseu. Seropédica, UFRRJ, 2022.

FV	GL	Quadrado médio								
		Solo Inicial								
		Zn	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Ni	Cr	Al
Dose	3	4081,40*	0,04 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	3,30 <sup>ns</sup>	2608,3 <sup>ns</sup>	31,22*	0,18*	0,21 <sup>ns</sup>	1026139 <sup>ns</sup>
Bloco	2	40,20 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	1,96 <sup>ns</sup>	114,7 <sup>ns</sup>	1,96 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	883509 <sup>ns</sup>
Resíduo	6	114	0,02	0,00	1,39	5330,9	4,30	0,00	0,10	1899218
CV (%)		27,68	153,35	0,00	39,94	5,13	3,21	58,47	9,55	54,47

FV	GL	Quadrado médio								
		Solo Final								
		Zn	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Ni	Cr	Al
Dose	3	136,75 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	16,95 <sup>ns</sup>	2,12 <sup>ns</sup>	44909 <sup>ns</sup>	54,93 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	94272 <sup>ns</sup>
Bloco	2	97,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	10,33 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	1909 <sup>ns</sup>	37,54 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	13183 <sup>ns</sup>
Resíduo	6	48,7	0,00	26,31	1,44	39909	121,81	0,00	0,08	67560
CV (%)		32,57	0,00	19,97	25,51	14,94	17,08	0,00	11,35	14,24

ns -não significativo; \* significativo a 5%.

**Anexo E.** Análise de variância relativa ao teor de Cd, Pb, Ni, Cr, Al, Mn, Cu, Zn e Fe nas raízes, caules, folhas e inflorescências de plantas de brócolis, cultivar Coliseu, adubadas com composto orgânico à base de cama de aviário enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, compostado por 90 dias. Seropédica, UFRRJ, 2022.

FV	GL	Quadrado médio								
		Raiz								
		Cd	Pb	Ni	Cr	Al	Mn	Cu	Zn	Fe
Dose	3	0,01 <sup>ns</sup>	59,53*	10,51 <sup>ns</sup>	3,07 <sup>ns</sup>	153272 <sup>ns</sup>	169,71 <sup>ns</sup>	19,84*	534,06*	10997 <sup>ns</sup>
Bloco	2	0,03 <sup>ns</sup>	3,06 <sup>ns</sup>	29,15 <sup>ns</sup>	5,73 <sup>ns</sup>	86857 <sup>ns</sup>	68,64 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	18,79 <sup>ns</sup>	14328 <sup>ns</sup>
Resíduo	6	0,03	1,7	21,33	31,62	61914	46,82	2,25	28,25	16933
CV (%)		79,19	13,76	28,58	27,44	19,91	10,20	21,17	6,07	20,96
FV	GL	Quadrado médio								
		Caule								
		Cd	Pb	Ni	Cr	Al	Mn	Cu	Zn	Fe
Dose	3	0,21 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	2075,67*	9,54 <sup>ns</sup>	1,24 <sup>ns</sup>	66,32*	0,00 <sup>ns</sup>
Bloco	2	0,01 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	36,86 <sup>ns</sup>	9,00 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	239,13 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
Resíduo	6	0,00	0,08	0,00	1,05	25,21	3,33	0,80	8,50	0,00
CV (%)		45,85	98,97	0,00	63,45	25,65	12,65	34,30	13,34	0,00
FV	GL	Quadrado médio								
		Folha								
		Cd	Pb	Ni	Cr	Al	Mn	Cu	Zn	Fe
Dose	3	0,18 <sup>ns</sup>	17,43*	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	1039 <sup>ns</sup>	0,66*	139,84*	67,70 <sup>ns</sup>
Bloco	2	0,04 <sup>ns</sup>	2,72 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	7,97 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	38,13 <sup>ns</sup>	14,12 <sup>ns</sup>
Resíduo	6	0,05	1,8	0,00	0,07	0,00	7,97	0,13	7,24	65,17
CV (%)		111,22	25,16	0,00	16,37	0,00	30,35	9,36	13,07	14,42
FV	GL	Quadrado médio								
		Inflorescência								
		Cd	Pb	Ni	Cr	Al	Mn	Cu	Zn	Fe
Dose	3	0,00 <sup>ns</sup>	29,40*	0,00 <sup>ns</sup>	2,16 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	213,17*	0,61 <sup>ns</sup>	667,91 <sup>ns</sup>	43,567 <sup>ns</sup>
Bloco	2	0,00 <sup>ns</sup>	2,13 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	32,21 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	106,91 <sup>ns</sup>	42,71 <sup>ns</sup>
Resíduo	6	0,00	3,44	0,00	0,17	0,00	17,45	0,29	143,10	39,81
CV (%)		0,00	39,27	0,00	23,45	0,00	17,46	10,97	39,48	17,98

ns -não significativo; \* significativo a 5%.

**Anexo F.** Análise de variância dos dados relativos à altura, número de folhas, volume de raiz, massa fresca de raiz, folha, caule, inflorescência, parte aérea e diâmetro da inflorescência e de massa seca de raiz, folha, caule, inflorescência, parte aérea, e da planta, em plantas de brócolis cv. Coliseu®, em função da adubação com composto orgânico à base de cama de aviário enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, compostado por 60 dias e testemunha. Ensaio realizado em condições de casa de vegetação de junho a agosto de 2023. Seropédica, UFRRJ, 2023.

FV	GL	Altura	Quadrado médio						
			Número de folhas	Volume de raiz	Massa fresca				
					Raiz	Folha	Caule	Inflorescência	Parte aérea
Dose	4	2,56 <sup>ns</sup>	4,78 <sup>ns</sup>	241,40*	344,23*	46212*	750,94 <sup>ns</sup>	9982,2*	102493*
Bloco	7	7,86 <sup>ns</sup>	4,62 <sup>ns</sup>	140,90 <sup>ns</sup>	144,57 <sup>ns</sup>	8164 <sup>ns</sup>	617,05 <sup>ns</sup>	4860,0*	21056 <sup>ns</sup>
Erro	28	10,2	3,1	79,32	92,73	7381	1199,87	1623,6	16659
CV (%)		16,54	10,24	19,95	21,39	13,14	18,89	13,48	11,36
Diâmetro da inflorescência			Massa seca						
			Raiz	Folha	Caule	Inflorescência	Parte aérea	Planta	
Dose	4	9,41*	5,95*	153,59*	17,88 <sup>ns</sup>	75,05 <sup>ns</sup>	603,32*	713,64*	
Bloco	7	4,65 <sup>ns</sup>	2,76 <sup>ns</sup>	43,40 <sup>ns</sup>	11,06 <sup>ns</sup>	18,28 <sup>ns</sup>	81,02 <sup>ns</sup>	99,12 <sup>ns</sup>	
Erro	28	2,47	1,65	47,86	9,01	27,33	122,6	129,38	
CV (%)		10,47	24,39	15,39	20,29	21,61	13,19	12,75	

ns -não significativo; \* significativo a 5%.

**Anexo G.** Análise de variância dos dados relativos à altura, número de folhas, volume de raiz, massa fresca de raiz, folha, caule, inflorescência, parte aérea e diâmetro da inflorescência e de massa seca de raiz, folha, caule, inflorescência, parte aérea, e da planta, em plantas de brócolis cv. Legacy®, em função da adubação com composto orgânico à base de cama de aviário enriquecida com 0, 5, 10 e 15% de biocarvão, compostado por 60 dias e testemunha. Ensaio realizado em condições de casa de vegetação de junho a agosto de 2023. Seropédica, UFRRJ, 2023.

Quadrado médio									
FV	GL	Altura	Número de folhas	Volume de raiz	Raiz	Folha	Caule	Inflorescência	Parte aérea
Dose	4	3,00 <sup>ns</sup>	57,85*	910,65*	999,70*	270267*	14716,60*	23057,20*	621635*
Bloco	7	9,30 <sup>ns</sup>	8,17 <sup>ns</sup>	69,30 <sup>ns</sup>	55,18 <sup>ns</sup>	15585 <sup>ns</sup>	2682,80 <sup>ns</sup>	6572,80 <sup>ns</sup>	41589 <sup>ns</sup>
Erro	28	5,69	5,44	115,69	93,55	24930	2741,91	6826,1	55168
CV (%)		7,52	9,74	28,57	25,96	17,4	13,14	25,79	14,45
Massa seca									
Diâmetro da inflorescência				Raiz	Folha	Caule	Inflorescência	Parte aérea	Planta
Dose	4	4,31 <sup>ns</sup>		17,03*	2215,71*	259,72*	118,67 <sup>ns</sup>	5253,60*	5811,80*
Bloco	7	2,25 <sup>ns</sup>		2,30 <sup>ns</sup>	147,60 <sup>ns</sup>	15,82 <sup>ns</sup>	30,11 <sup>ns</sup>	238,80 <sup>ns</sup>	227,80 <sup>ns</sup>
Erro	28	3,69		2,12	200,77	35,71	50,55	511,3	521,9
CV (%)		14,36		26,66	17,95	17,49	27,74	16,3	15,84

ns -não significativo; \* significativo a 5%.