

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDA LORENÇON

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO PRODUZIDO A PARTIR
DE CARÇAÇAS DE SUÍNOS E SERRAGEM EM ROTO ACELERADOR DE
COMPOSTAGEM NO DESENVOLVIMENTO DO MILHO**

MEDIANEIRA

2023

EDUARDA LORENÇON

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO PRODUZIDO A PARTIR
DE CARCAÇAS DE SUÍNOS E SERRAGEM EM ROTO ACELERADOR DE
COMPOSTAGEM NO DESENVOLVIMENTO DO MILHO**

**Effects of the application of organic compound produced from swine
carcasses and sawdust in roto compost accelerator on corn development**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Giovana Clarice Poggere.

MEDIANEIRA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

EDUARDA LORENÇON

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO PRODUZIDO A PARTIR
DE CARCAÇAS DE SUÍNOS E SERRAGEM EM ROTO ACELERADOR DE
COMPOSTAGEM NO DESENVOLVIMENTO DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 19 de junho de 2023

Giovana Clarice Poggere
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Thiago Edwiges
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Vanderlei Leopold Magalhães
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MEDIANEIRA

2023

Dedico este trabalho a Eduarda Lorençon do
passado, por todo o esforço e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais e minhas irmãs que desde o início me apoiaram nos estudos e possibilitaram que eu chegasse até aqui. Também faço um agradecimento especial a minha irmã Fernanda Lorençon e ao meu cunhado Ricardo Rodigheri pela grande ajuda aos sábados para finalização do experimento do meu estudo.

Agradeço a minha orientadora Dra. Giovana Clarice Poggere, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória e por me proporcionar agradáveis momentos de conversa sobre vida acadêmica, profissional e pessoal. Ao professor Dr. Thiago Edwiges pelos dois anos de orientação em iniciação científica, em que pude conhecer e aprender assuntos até então desconhecidos por mim e que hoje vejo como oportunidade de trabalho em uma área de meu interesse.

Aos meus colegas e amigos da UTFPR que estiveram ao meu lado nos bons e maus momentos durante a minha jornada no curso, em especial a Diogo Salvati e Luana Canavessi que sempre estiveram presentes para ouvir desabafos. Também ao Igor de Souza Batista e a Larissa Maria Silveira Pereira que estiveram ao meu lado nos laboratórios da UTFPR nestes últimos anos de graduação, e que proporcionaram momentos de alegria em meio ao caos.

A Secretaria do Curso e a UTFPR, pela cooperação e apoio durante estes anos de graduação.

Por fim, a todos os não aqui mencionados que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Aliada a intensa produção de carne suína são gerados, além do dejetos, as carcaças de animais não abatidos. Usualmente as carcaças são destinadas para a compostagem, podendo resultar em benefícios econômicos e ambientais ao substituir total ou parcialmente os fertilizantes minerais pelo composto orgânico. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da aplicação de composto orgânico gerado a partir da compostagem de carcaça de suínos no desenvolvimento inicial da cultura do milho. Para isso foram utilizados cinco tratamentos com doses equivalentes a 0, 7,5, 15, 30 e 60 ton ha⁻¹ do composto orgânico e um tratamento com fertilizante mineral (NPK fórmula 15-15-15). Além da caracterização físico-química do composto, foram avaliados parâmetros de desenvolvimento do milho como matéria seca, pigmentos fotossintetizantes (clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides) e realizada a diagnose visual. A partir da análise estatística, foi constatado que as doses do composto orgânico obtiveram efeito significativo para os parâmetros de matéria seca, clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total. Foi observado que em relação à produção de matéria seca da parte aérea, nenhuma das doses aplicadas de composto atingiu o mesmo desempenho do tratamento com fertilizante mineral. Por outro lado, para matéria seca da raiz, a dose de 60 ton ha⁻¹ obteve o mesmo desempenho que o tratamento mineral, em que foram observados valores de 1,9 g e 2,0 g, respectivamente. Em relação aos pigmentos fotossintetizantes, a partir da aplicação de aproximadamente 30 ton ha⁻¹, o composto orgânico proporcionou maior síntese de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total, em comparação ao tratamento com fertilizante mineral. A partir da diagnose visual foi observada a existência de sintomas de deficiência de nutrientes na maioria dos tratamentos, principalmente nas doses de 0, 7,5 e 15 ton ha⁻¹. Portanto, a aplicação de composto orgânico proveniente de carcaças de suínos se mostrou eficiente no desenvolvimento inicial do milho, principalmente em relação aos pigmentos fotossintetizantes. Sendo assim, quando manejados corretamente, os compostos orgânicos se constituem em fonte de nutrientes para a agricultura, podendo substituir de maneira parcial os fertilizantes minerais, gerar impactos positivos para o ambiente e contribuir para o gerenciamento adequado do composto orgânico gerado em sistemas como o do roto acelerador de compostagem.

Palavras-chave: resíduos de suinocultura; fertilizante orgânico; nutrientes no solo; pigmentos fotossintetizantes; mineralização.

ABSTRACT

Allied with an intense production of pork, beyond manure, the carcasses of non-slaughtered animals are generated. Usually the carcasses are destined for composting, which can bring economics and ambiental benefits when used to replace whole or partially the mineral fertilizer with organic compost. Therefore the objective of this study was to evaluate the effects of applying organic compost from pig's carcass on the initial development of the corn crop. For this, five treatments doses were used, equivalent to 0, 7.5, 15, 30 and 60 ton/ha of organic compost and a treatment with mineral fertilizer (NPK formula 15-15-15). In addition to the physical-chemical characterization of the compound, corn development parameters such as dry matter, photosynthetic pigments (chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, total chlorophyll and carotenoids) were evaluated with visual diagnosis. From the statistical analysis, it was found that the doses of the organic compound had a significant effect on the parameters of dry matter, chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and total chlorophyll. It was observed that there was a difference in relation to the dry matter of the aerial part and the root, in which the dry matter production of the aerial part does not consume the same performance of the treatment with mineral fertilizer in any of the applied doses. On the other hand, for root dry matter, the dose of 60 ton/ha obtained the same performance as the mineral treatment, in which values of 1.9 g and 2.0 g were observed, respectively. Regarding photosynthetic pigments, from the application of approximately 30 ton/ha, the organic compound administered increased synthesis of chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and total chlorophyll, compared to treatment with mineral fertilizer. From the visual diagnosis, the existence of symptoms of nutrient deficiency was observed in most treatments, mainly at doses of 0, 7.5 and 15 ton/ha. Therefore, the application of organic compost from pig carcasses proved to be efficient in the initial development of corn, mainly in relation to photosynthetic pigments. Thus, when handled correctly, organic compounds constitute an efficient alternative source, contributing with the technical and economic feasibility of composting systems.

Keywords: pig farming waste; organic fertilizer; soil nutrients; photosynthetic pigments; mineralization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Características físico-químicas das carcaças de suínos	17
Figura 1 - Representação gráfica das fases da compostagem	18
Figura 2 - Pátio de compostagem da UTFPR.....	25
Figura 3 - Roto acelerador de compostagem para carcaças de suínos	27
Figura 4 - Produção de matéria seca da parte aérea e de raiz do milho	34
Figura 5 - Teor de pigmentos fotossintetizantes do milho	36
Figura 6 - Comparação visual de planta dos tratamentos	39
Figura 7 - Sintomas visuais da deficiência de nutrientes no milho	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da análise de textura e fertilidade do solo utilizado no experimento.....	26
Tabela 2 - Dados físico-químicos do composto orgânico produzido a partir de carcaça suína	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
CE	Condutividade Elétrica
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
COT	Carbono Orgânico Total
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
RAC	Roto Acelerador de Compostagem
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

N	Nitrogênio
P	Fósforo
NH_4^+	Íon amônio
NH_3	Amônia
NO_3^-	Nitrato
NO_2^-	Nitrito
K	Potássio
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Cadeia produtiva de suínos.....	16
3.2	Carcaças de suínos.....	16
3.3	Processo de compostagem.....	18
3.4	Adubação orgânica	20
3.5	Cultura do milho	22
3.6	Necessidades edafoclimáticas e nutricionais do milho.....	22
4	METODOLOGIA	25
4.1	Localização e caracterização da área experimental.....	25
4.2	Coleta e preparação do solo	25
4.3	Fonte de geração do composto orgânico	27
4.4	Preparo e caracterização físico-química do composto orgânico.....	28
4.5	Definição dos tratamentos e delineamento experimental	28
4.6	Montagem do experimento	29
4.7	Avaliações.....	29
4.7.1	Estágio fenológico do milho e diagnose visual	29
4.7.2	Pigmentos fotossintetizantes.....	30
4.7.3	Matéria seca: raiz e parte aérea	30
4.8	Análise estatística	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	Caracterização do composto orgânico	32
5.2	Produção de matéria seca	33
5.3	Pigmentos fotossintetizantes.....	36
5.4	Estágio fenológico e diagnose visual.....	38
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da Esalq/USP, em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), a agricultura e a pecuária somadas corresponderam a 24,8% do PIB do Brasil em 2022. Em comparação a 2021, o PIB do ramo agrícola recuou 6,39%, enquanto o do pecuário avançou 2,11% em 2022 (CEPEA, 2023). As condições favoráveis de clima e solo, além das políticas econômicas que vão desde o financiamento até o desenvolvimento de pesquisas na área favorecem o agronegócio brasileiro, que ocupa lugar de destaque no ranking mundial.

Dentre essas atividades, a cadeia produtiva de suínos se destaca com a produção de 4,983 milhões de toneladas de carne suína em 2022, bem como o cultivo do milho, que inclusive é uma das principais matérias primas na fabricação de ração animal. Na safra 2022/2023 foram produzidas 125,5 milhões de toneladas de milho no Brasil, ficando em terceiro lugar no ranking mundial de maiores produtores de milho (ABPA, 2023; CONAB, 2023).

Aliada a intensa produção de carne suína, são gerados elevados volumes de resíduos, que necessitam de gerenciamento ambientalmente adequado para que possam ser dispostos no ambiente, de modo a minimizar os impactos ambientais. Um desses resíduos é a carcaça dos suínos, resultante da mortalidade rotineira de animais que ocorre nas propriedades rurais. As carcaças de suínos são geralmente um empecilho para o produtor rural, devido aos obstáculos no gerenciamento adequado das carcaças como, por exemplo, no transporte interno, na saúde do trabalhador e destinação das carcaças.

A prática para destinação de carcaças suínas mais utilizada nos últimos anos é a compostagem, a qual se trata de um processo biológico aeróbio de conversão da matéria orgânica em composto orgânico estabilizado. O composto orgânico pode, dependendo das características químicas e biológicas, ser aproveitado como condicionante de solo ou até mesmo substituir total ou parcialmente os adubos minerais usualmente utilizados, por exemplo, na cultura do milho.

A estratégia de aproveitamento do composto orgânico gerado a partir de carcaça suína, atrelado à substituição parcial de adubo mineral por adubo orgânico, geram benefícios ambientais e ainda, contribuem. Sendo assim, se torna cada vez

mais necessária e atrativa a realização de estudos que envolvem o aproveitamento de resíduos orgânicos como a carcaça de suínos, bem como fontes alternativas para adubação da cultura do milho e demais culturas.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de composto orgânico gerado a partir da compostagem de carcaça de suínos no desenvolvimento da cultura do milho, bem como comparar a adubação com composto orgânico e fertilizante mineral.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da aplicação de composto orgânico gerado a partir de carcaça de suínos no desenvolvimento inicial da cultura do milho.

2.2 Objetivos Específicos

- Coletar e caracterizar o composto orgânico utilizado no experimento;
- Avaliar parâmetros de desenvolvimento inicial da planta como produção de matéria seca de raiz e parte aérea e pigmentos fotossintetizantes (clorofila a, clorofila b, clorofila total e carotenoides);
- Avaliar sintomas de deficiência de nutrientes a partir de diagnose visual das plantas;
- Comparar os efeitos da aplicação de diferentes doses do composto orgânico no desenvolvimento da cultura do milho;
- Comparar a qualidade agronômica com aplicação de composto orgânico e de fertilizante mineral.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cadeia produtiva de suínos

A produção de carne suína é uma das principais atividades da indústria pecuária em todo o mundo, na qual os principais produtores deste insumo em termos de toneladas são respectivamente: China, União Europeia, Estados Unidos, Brasil e Rússia (USDA, 2023). De acordo com dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), o Brasil produziu 4,983 milhões de toneladas de carne suína em 2022, onde a Região Sul foi responsável por 72% da produção no país (ABPA, 2023).

A produção desta proteína tem impacto econômico significativo e representa uma fonte importante de emprego, principalmente em pequenas e médias propriedades rurais. No entanto, a produção suína varia de acordo com diversos fatores como condições climáticas para conforto animal e produção de grãos, acesso a recursos, demanda de mercado e políticas de cunho agrícola. Além disso, esta cadeia produtiva enfrenta alguns desafios, como questões relacionadas à saúde e bem-estar animal e, principalmente destinação final dos resíduos da suinocultura (CHEN *et al.*, 2020).

Os dois principais resíduos gerados a partir da suinocultura incluem: os dejetos, que são constituídos por fezes, urina e água; e as carcaças oriundas da mortalidade dos animais não abatidos. O gerenciamento adequado desses resíduos é fundamental para evitar a contaminação do solo, da água e do ar, bem como para promover a sustentabilidade do setor produtivo. Deste modo, as regulamentações governamentais, as boas práticas de manejo e o avanço das tecnologias de tratamento de resíduos são essenciais para garantir a gestão ambientalmente responsável das atividades de suinocultura (ANDREAZZI; SANTOS; LAZARETTI, 2015).

3.2 Carcaças de suínos

A tendência mundial de produção intensiva de suínos, aliada ao aumento de escalas de produção, traz consigo o desafio para o produtor ter que lidar com

elevadas proporções de mortalidade de suínos, exigindo um plano de gestão apropriado desse resíduo. As carcaças suínas em uma propriedade, além de serem um empecilho para o produtor rural, podem causar riscos de contaminação biológica à população, animais e recursos naturais (solo, água e ar). Dessa forma, a destinação adequada das carcaças se torna fundamental para evitar a disseminação de doenças e problemas de contaminação ambiental (GAOA *et al.*, 2010).

Atualmente no Brasil, está em vigor a Instrução Normativa nº 48/2019, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que estabelece regras sobre o recolhimento, transporte, processamento e destinação de animais mortos e resíduos da produção pecuária como alternativa para a sua eliminação nos estabelecimentos rurais. É importante ressaltar que normativas como esta, são de extrema relevância para que os produtores rurais e demais envolvidos tenham responsabilidade sobre o manejo e destinação de carcaças suínas e, assim, contribuindo para a preservação dos recursos naturais (KALBASI *et al.*, 2005).

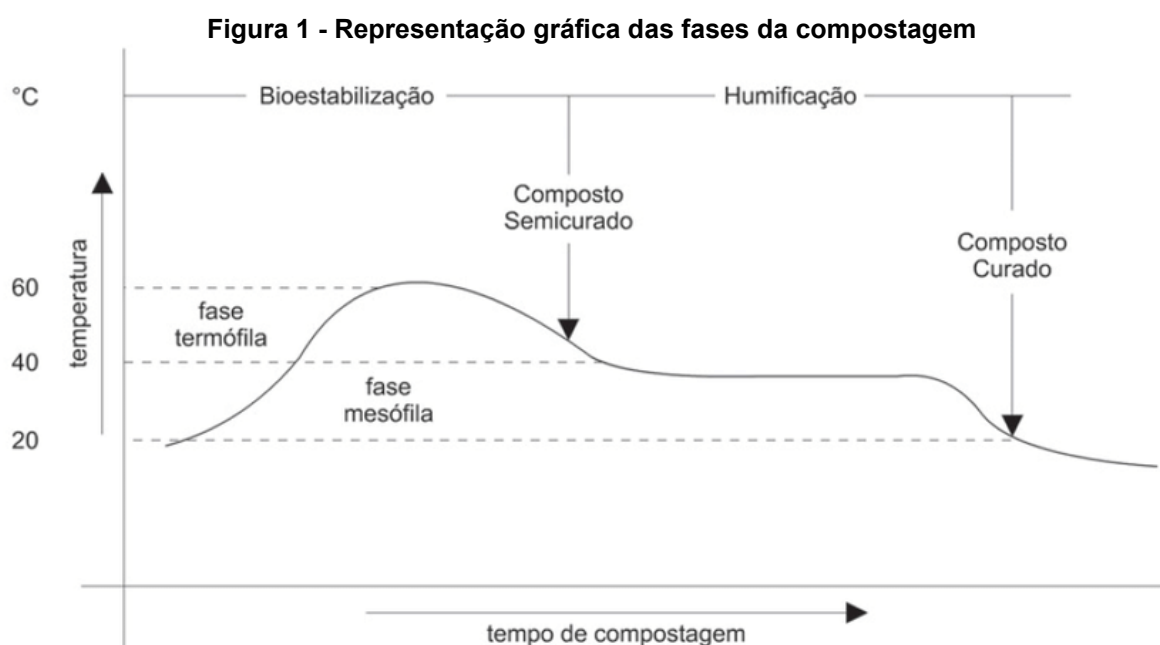
As carcaças podem ser processadas por meio de técnicas como compostagem, incineração ou utilização em sistemas de biodigestão, devendo ser biologicamente fiscalizada e ambientalmente segura, independente de qual método de destinação seja utilizado (SHANG; TAO; CHEN, 2023). As técnicas de destinação final como a compostagem e a digestão anaeróbia se mostram alternativas interessantes, pois as carcaças contêm elevada carga orgânica e nutrientes, que favorecem os processos biológicos (Quadro 1). Sendo assim, além de fazer o tratamento das carcaças, essas técnicas formam produtos finais com valor agregado (JOHNSTON *et al.*, 1998; MELO, 2020).

Quadro 1 - Características físico-químicas das carcaças de suínos		
Parâmetros	Matrizes	Leitões
Densidade (kg/m ³)	1050,0	1000,0
Matéria seca (%)	51,0	30,5
Carbono (%)	66,2	53,8
Nitrogênio (%)	4,4	9,4
Relação C:N	15,0	5,7
Fósforo (%)	0,54	1,24
Potássio (%)	0,57	0,92

Fonte: Adaptado de Nicoloso *et al.* (2017)

3.3 Processo de compostagem

A compostagem é um processo natural de decomposição de matéria orgânica que resulta na formação de composto orgânico rico em nutrientes. É uma prática utilizada para reciclar resíduos orgânicos, como restos de alimentos, aparas de jardim, folhas, palhas, entre outros, e transformá-los em material estabilizado e benéfico para o solo e as plantas (KIEHL, 2004). O processo de compostagem pode ser dividido em três fases distintas: fase mesofílica, termofílica e de maturação (Figura 1).



Fonte: D' Almeida e Vilhena (2000)

Inicialmente ocorre a multiplicação acelerada dos microrganismos mesófilos e intensificação da decomposição do material que, por sua vez, provoca o rápido aumento da temperatura. Esse fenômeno normalmente tem duração de 15 horas a 3 dias, dependendo das características dos resíduos, até que o interior do aglomerado de resíduo atinja a temperatura de aproximadamente 45 °C, representando o início da fase termofílica. Sendo assim, a fase termofílica é caracterizada por temperaturas predominantemente entre a faixa de 50 a 65 °C que, pela ação intensa de microrganismos termófilos, resulta na acentuada decomposição do material e, conseqüentemente, na manutenção da temperatura e liberação de vapor de água (SOARES *et al.*, 2017).

Já na fase mesofílica, ocorre a redução da atividade microbiana e deste modo, os fungos e actinomicetos promovem, juntamente com as bactérias, a degradação das substâncias mais resistentes. Deste modo, como existe a escassez de matéria orgânica de fácil degradação, ocorre a queda de temperatura e perda de umidade do aglomerado de material (INÁCIO; MILLER, 2009). Por fim, acontece a maturação do composto orgânico e formação de substâncias húmicas, as quais contribuem na manutenção do ciclo de carbono e nitrogênio (N) e no fortalecimento da estrutura do solo (PICCOLO, 2002). Portanto, ao final do processo de compostagem, em que a atividade microbiológica é reduzida e o composto perde a capacidade de auto aquecimento, se tem o composto curado de vasta aplicabilidade agrônômica (KIEHL, 2004).

Em todas as fases da compostagem é necessário o atendimento de quatro requisitos básicos para bom desenvolvimento do processo: umidade, relação carbono:nitrogênio (C:N), temperatura e oxigênio (PEREIRA NETO, 2007). Com o atendimento destas necessidades, os microrganismos terão bom desenvolvimento e à medida que a população de microrganismos cresce, converte o substrato em húmus, gerando calor. As temperaturas em uma leira de compostagem podem alcançar de 60 a 70 °C, em que proporciona a inativação de patógenos e qualidade microbiológica ao composto final (MORROW; BARKER; MCCAWE, 1997).

Segundo Fernandes e Silva (1999), há diversas tecnologias de compostagem a serem escolhidas para o processo, as quais podem ser classificadas em dois grupos: sistemas de leiras (revolvidas ou estáticas aeradas) e sistemas fechados ou reatores biológicos. No sistema de leiras o resíduo orgânico é distribuído em leiras, as quais são aeradas por meio de revolvimento ou por sistema de canalização de ar. Já em sistemas fechados, o material orgânico é disposto dentro de reatores biológicos fechados, permitindo o controle de todas as principais variáveis do processo (oxigênio, umidade, relação C:N e temperatura) (KIEHL, 2004).

A compostagem é a principal técnica de baixo custo para destinação ambientalmente adequada das carcaças suínas, sendo utilizada principalmente por pequenos produtores em escala reduzida. Após o processo de compostagem das carcaças de suíno se tem o composto orgânico que pode ser aproveitado como fonte de nutrientes para culturas vegetais, sendo assim, utilizado como adubo orgânico. No entanto, vale ressaltar a importância do balanceamento de nutrientes

de modo que as propriedades do solo, da cultura e do resíduo sejam levadas em consideração simultaneamente (CARDOSO; OYAMADA; SILVA, 2015).

3.4 Adubação orgânica

A adubação mineral, comumente utilizada nas culturas agrícolas, gera custos relativamente mais altos quando comparado com a utilização de adubos orgânicos, podendo trazer prejuízos econômicos nos casos em que a produção agrícola não atinge o valor esperado (BATHIANY *et al.*, 2018). Este problema pode ser minimizado com a utilização de adubo orgânico, o qual disponibiliza nutrientes para o desenvolvimento das plantas, aumentando a retenção e infiltração de água no solo e, assim, melhorando a estabilização de trocas catiônicas (JOUQUET *et al.*, 2011; TELLES *et al.*, 2019).

Os benefícios da adubação orgânica são, em alguns casos, equiparáveis ou superiores aos obtidos com a adubação mineral normalmente utilizada nas culturas (ONYENALI *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2001). A matéria orgânica pode exercer efeitos positivos sobre o rendimento das culturas devido principalmente aos nutrientes presentes nela, sendo a principal reserva de N do solo. Sendo assim, os resíduos orgânicos provenientes da agropecuária, como da produção de carne suína, podem ser importantes aliados na adubação de culturas como a do milho (SALEEM *et al.*, 2017).

Quando ocorre a entrada de nutrientes na forma orgânica no solo, devido à deposição de resíduos vegetais, aplicação de fertilizantes orgânicos ou organominerais, e pesticidas organofosforados, é necessário que haja a transformação da forma orgânica para a forma inorgânica desses nutrientes. Além do N, a matéria orgânica pode conter, principalmente, fósforo (P) e enxofre, os quais ficam disponíveis para as plantas a partir da mineralização realizada por microrganismos (KRAMER *et al.*, 2002).

O P é um elemento essencial para o crescimento das plantas e está presente tanto nas formas orgânicas quanto nas formas inorgânicas no solo. A mineralização deste nutriente ocorre devido à atividade de microrganismos do solo, principalmente bactérias e fungos, os quais possuem enzimas (fosfatases), que fazem a quebra dos compostos orgânicos de P em fosfato inorgânico solúvel. Deste

modo, o P na forma mineral solúvel fica disponível para as plantas, podendo ser absorvido pelas raízes (MENDES; REIS JUNIOR, 2003).

No entanto, vale ressaltar que a taxa de mineralização do P no solo pode ser relativamente lenta, pois a intensidade da mineralização se relaciona com a quantidade e qualidade de P na forma orgânica, bem como a temperatura, umidade e pH do solo. Além disso, no processo de decomposição da matéria orgânica as bactérias podem consumir e, conseqüentemente, fazer a imobilização do P inorgânico. Portanto, em culturas agrícolas, pode ser necessário fornecer fertilizantes adicionais a base de P para atender às necessidades nutricionais das plantas (SOUZA *et al.*, 2008; CÔRREA *et al.*, 2004).

De acordo com Taiz *et al.* (2017), a mineralização do N é o processo pelo qual o N de formas orgânicas é transformado em N amoniacal (íon amônio - NH_4^+ e amônia - NH_3) e nitrato (NO_3^-), por meio dos processos denominados amônificação e nitrificação. Primeiramente na etapa da amônificação, a matéria orgânica é degradada pelos microrganismos, os quais liberam enzimas que atuam na quebra de ligações de proteínas, aminoácidos, peptídeos, aminas, amidas, ácidos nucléicos e entre outros, transformando o N orgânico em N amoniacal.

Em seguida, ocorre a etapa de nitrificação ou também conhecida como oxidação do N amoniacal a NO_3^- , a qual é realizada por bactérias quimioautotróficas que obtêm energia durante o processo. A nitrificação, por sua vez, ocorre em duas etapas: primeiro ocorre a nitritação, que consiste na oxidação do N amoniacal para nitrito (NO_2^-); e, posteriormente, a nitratação, que é o processo de oxidação do NO_2^- para NO_3^- (NOVAIS *et al.*, 2007).

Ademais, vale destacar a importância do pH na dinâmica entre NH_4^+ e NH_3 , visto que em solos ácidos a forma NH_4^+ é favorecida, enquanto que em solos com pH neutro ou alcalino a forma NH_3 é favorecida. No caso de solos alcalinos, os quais normalmente não ocorrem no Brasil, é comum acontecer perdas de N por volatilização. Por isso, em se tratando de solos agrícolas que recebem calcário ou outros materiais para correção de pH, é importante o monitoramento da qualidade do solo para que a adubação supra as necessidades nutricionais das plantas (STAFANATO *et al.*, 2013).

3.5 Cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta pertencente à família Poaceae, a qual possui origem na América, sendo amplamente cultivado no mundo todo a partir de melhoramento genético, possibilitando seu cultivo em variadas condições climáticas (BELLIDO, 1991). Além disso, outro fator que favoreceu a ampliação no cultivo desse cereal foi o avanço tecnológico, o qual possibilitou a produção de milho em grande escala, desencadeando no aumento exponencial da produtividade nos últimos anos (GALVÃO *et al.*, 2014).

A cultura do milho representa elevada importância econômica, devido ao valor nutricional do grão e intensa utilização na alimentação humana e animal, bem como matéria-prima em indústrias. Além disso, o milho tem relevância social, visto que é um alimento o qual pode ser produzido em grande e pequena escala, e ainda por ser a base de diversas cadeias agroindustriais (FARINELLI; PENARIOL; FORNASIERI, 2012).

O milho é o segundo cereal mais produzido no Brasil, sobretudo, para produção de óleo, biocombustíveis e rações, o qual é intensamente utilizado na alimentação de animais da cadeia produtiva de suínos e aves. Estes dois segmentos consomem cerca de 70 a 80% do milho produzido no Brasil e 70% do milho produzido no mundo (GARCIA *et al.*, 2006).

O elevado potencial de produção dessa cultura no Brasil, se deve ao clima tropical que é favorável ao crescimento e desenvolvimento do milho. Apesar disso, alguns aspectos climáticos podem acarretar no sucesso ou fracasso na produção do milho, sendo importante o planejamento da atividade para minimizar os impactos de condições climáticas extremas (MALDANER *et al.*, 2014).

3.6 Necessidades edafoclimáticas e nutricionais do milho

A produção do milho pode ser afetada por diversas causas como, fatores climáticos, capacidade de infiltração de água no solo, fertilidade do solo, pragas e doenças e eficiência de foto-assimilação (CORRÊA *et al.*, 2009). Dentre os principais fatores associados a redução na produção do milho se destacam a radiação solar, temperatura e precipitação, que podem causar diversos danos à

planta e, conseqüentemente, reduzir seu desenvolvimento. Ademais, cada estágio fenológico da planta necessita de condições diferentes, ou seja, o efeito da radiação solar, temperatura e precipitação varia de acordo com níveis toleráveis de cada estágio da planta (ALVES *et al.*, 2010).

O fator de radiação solar está diretamente ligado a produção de massa no milho, visto que cerca de 78% da produtividade depende da radiação solar a qual incide sobre a planta. Isso porque, a eficiência na produção de massa da planta é obtida pela relação da massa de matéria seca acumulada e a radiação interceptada pela planta em um determinado período (ROMANO, 2005).

Em relação a temperatura e precipitação, o milho se desenvolve bem em altas temperaturas desde que haja umidade suficiente no solo, suportando temperaturas noturnas de até 30 °C durante longos períodos (RODRIGUES *et al.*, 2011; CRUZ *et al.*, 2006). Além disso, a cultura do milho exige precipitação mínima de 350 a 500 mm por ciclo, visto que a redução de 44% da água disponível para a planta pode acarretar na perda de aproximadamente 12% na produção de grãos do milho. Ademais, a precipitação ideal para cultivo do milho se encontra em torno de 500 a 800 mm, dependendo do local e da época de plantio (EMBRAPA, 2004; BERGAMASCHI *et al.*, 2006; COELHO; CRUZ; FILHO, 2004).

Além dos fatores climáticos em geral, a cultura do milho necessita de condições favoráveis de nutrição, ou seja, disponibilidade de nutrientes para seu desenvolvimento. Sendo assim, a fertilização se torna necessária no cultivo do milho e demais culturas, visto que a intensa produção agrícola retira elevadas quantidades de nutrientes do solo e normalmente os solos tropicais como os do Brasil, tem baixa disponibilidade de nutrientes (NOVAIS *et al.*, 2007).

Visando a alta produtividade da cultura do milho, é necessário atender às exigências nutricionais por meio da aplicação de fertilizantes, visto que a planta retira nutrientes do solo durante todo o ciclo de desenvolvimento. Os elementos aplicados em maior quantidade no solo são o N, P e potássio (K), os quais são os macronutrientes essenciais para o desenvolvimento de culturas em geral (TAIZ *et al.*, 2017).

O N é o elemento mineral que as plantas mais necessitam, visto que ele serve como constituinte da clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos. Por isso, a disponibilização de quantidades suficientes de N no solo é essencial para o

crescimento do milho, sendo variável a quantidade e a velocidade de absorção deste macronutriente ao longo do ciclo desta cultura (NOVAIS *et al.*, 2007).

Já o P é responsável por estimular o desenvolvimento radicular, incrementar a resistência mecânica dos caules e estimular a floração, fecundação, formação e maturação do grão. Por outro lado, o K tem como funções principais aumentar a taxa fotossintética, melhorando o crescimento e resistência das plantas ao déficit hídrico (GARCIA, 2005; LOPES, 1988).

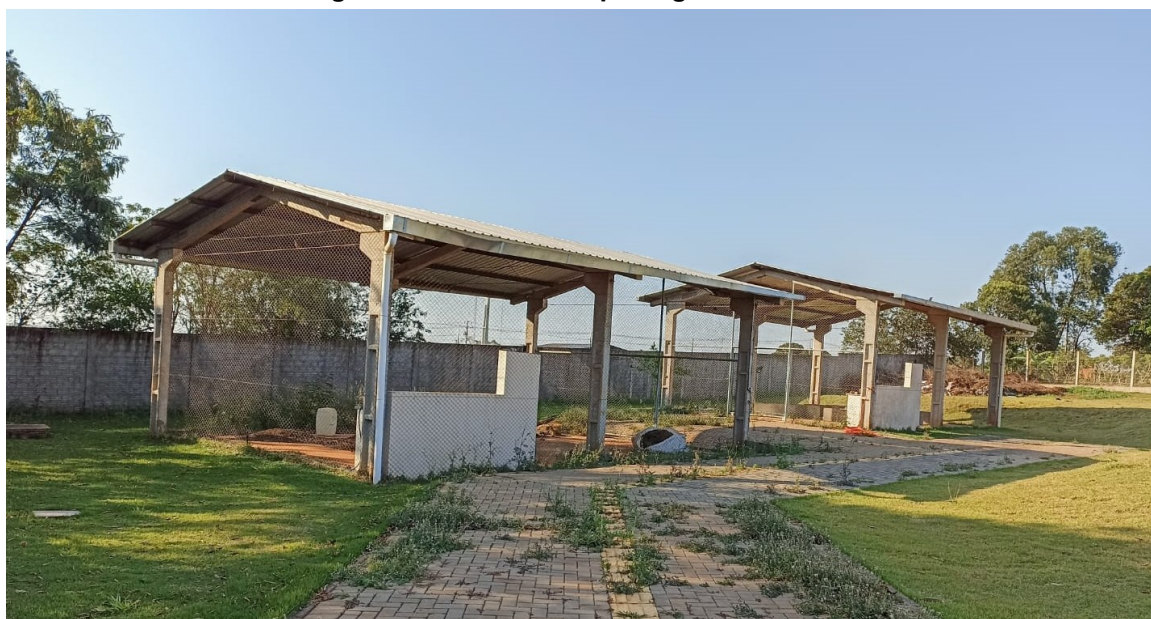
Sendo assim, para disponibilização dos macronutrientes essenciais são usualmente utilizados adubos minerais, os quais geram elevados custos para a produção das culturas, uma vez que tem seus preços regulados pelo mercado externo, e ainda são minerais retirados de fontes finitas na natureza. Deste modo, a busca por adubos alternativos como resíduos orgânicos gerados em atividades agropecuárias, se torna cada vez mais constante e, ainda, contribui para o gerenciamento adequado desses resíduos (VALDERRAMA *et al.*, 2011).

4 METODOLOGIA

4.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no pátio de compostagem (Figura 2) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), localizada no município de Medianeira-PR, cujas coordenadas geográficas são 25°17'54" S e 54°06'48" W e 416 m de altitude. A escolha deste local para condução do experimento foi motivada pela área ser cercada e coberta, possibilitando melhor controle de fatores adversos como animais, radiação excessiva e controle da umidade do solo utilizado no experimento.

Figura 2 - Pátio de compostagem da UTFPR



Fonte: Autoria própria (2022)

De acordo com Köppen-Geiger, a classificação climática da região de estudo é Cfa e a temperatura e pluviosidade média anual, em Medianeira, são de 21,9 °C e 2.003 mm, respectivamente.

4.2 Coleta e preparação do solo

O solo utilizado no experimento foi coletado no bosque da UTFPR do campus Medianeira, cujas coordenadas são 25°18'06" S e 54°06'44" W e 431 m de

altitude, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) (EMBRAPA, 2006).

De acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (TEIXEIRA *et al.*, 2017), o solo foi submetido à fragmentação manual e posterior secagem ao ar livre. A separação dos torrões de solo foi realizada por peneiramento em peneira com abertura de 2,00 mm, obtendo-se a fração terra fina seca ao ar (TFSA). Na tabela 1 são apresentadas as características do solo, as quais foram determinadas a partir de análise de fertilidade.

Tabela 1 - Resultados da análise de textura e fertilidade do solo utilizado no experimento

Propriedade	Unidade	Valor	Referência*
pH em CaCl	-	5,20	médio
Alumínio	cmol _c /dm ³	0,00	baixo
Acidez potencial (H+Al)	cmol _c /dm ³	3,80	médio
Soma de bases	cmol _c /dm ³	6,73	alto
CTC pH 7,0	cmol _c /dm ³	10,52	médio
CTC efetiva	cmol _c /dm ³	6,73	médio
Saturação de bases	%	63,94	médio
Matéria orgânica	g/kg	27,54	médio
Carbono orgânico	g/kg	15,97	médio
Cálcio (Ca)	cmol _c /dm ³	3,76	médio
Magnésio (Mg)	cmol _c /dm ³	1,92	alto
Potássio (K)	cmol _c /dm ³	0,80	alto
Sódio (Na)	cmol _c /dm ³	0,25	médio
Fósforo disponível (P)	mg/dm ³	3,47	-
Cobre (Cu)	mg/dm ³	6,96	alto
Ferro (Fe)	mg/dm ³	46,54	médio
Manganês (Mn)	mg/dm ³	97,05	alto
Zinco (Zn)	mg/dm ³	3,24	médio
Areia	%	10,4	-
Silte	%	13,4	-
Argila	%	76,2	-

Nota: Com base nos valores de interpretação do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (Pauletti; Motta, 2017). Fonte: Autoria própria (2022)

4.3 Fonte de geração do composto orgânico

O composto orgânico utilizado no estudo foi coletado de um equipamento denominado roto acelerador de compostagem (RAC) (Figura 3), que realiza a compostagem de carcaças de suínos de uma propriedade rural. A propriedade localiza-se no município de Serranópolis do Iguaçu-PR, a qual tem unidade de terminação de suínos, ou seja, destinada à engorda de suínos para posterior abate.

Figura 3 - Roto acelerador de compostagem para carcaças de suínos



Fonte: Autoria própria (2022)

Neste equipamento as carcaças de suínos são trituradas para facilitar a ação das bactérias no processo de decomposição da matéria orgânica e, em seguida, são direcionados para o cilindro do RAC. Além das carcaças, é adicionado serragem na proporção de 2:1 (serragem:carcaça). Dentro do cilindro ocorre a mistura das carcaças com a serragem, que serve como fonte de carbono, visto que a relação C:N das carcaças varia entre 5 e 15. Isto porque as carcaças tem alta quantidade de N em sua composição, além de conter teores de água entre 50 e 70%. Estas condições de umidade e relação C:N não viabilizam o processo de compostagem sem a adição de um substrato com alta relação C:N, como a serragem.

O equipamento contém sistema de ventilação, que opera em intervalos de 5 minutos, bem como um sistema de revolvimento do resíduo, em que o cilindro rotaciona por 5 minutos e fica em repouso por 30 minutos. O composto orgânico

utilizado no experimento e para análises físico-químicas foi coletado após 60 dias de compostagem no RAC e aproximadamente 30 dias em maturação fora do RAC.

4.4 Preparo e caracterização físico-química do composto orgânico

Para aplicação do composto orgânico no experimento, bem como para a caracterização físico-química, o composto foi submetido à separação manual visando a retirada de materiais como ossos, dentes e outros elementos indesejáveis. Em seguida, foi triturado em liquidificador e peneirado em peneira com abertura de 5,60 mm (Malha/Tyler de 3,50), para retirada de materiais fibrosos que poderiam interferir no experimento.

Para a aferição do pH e da condutividade elétrica (CE) foi realizada diluição de 10 g de composto em 50 mL de água destilada, seguido de agitação por 30 minutos (TEDESCO *et al*, 1995). A medição do pH e da CE foi feita a partir da fração sobrenadante em pHmetro INSTRUTHERM/PH-5000 e condutímetro LUCA-150, respectivamente. Para a determinação de umidade e matéria orgânica, a amostra foi levada para estufa por cerca de 12 horas a 105 °C e, por fim, na mufla a 550 °C por um período de 2,5 horas (APHA, 2005).

Para a determinação do nitrogênio total Kjeldahl (NTK) a amostra foi digerida a 350 °C em bloco digestor (MARCONI/MA 4025), destilada (TECNAL/TE 036/1) e titulada com ácido clorídrico 0,1 mol (MALAVOLTA, 1989). Para a obtenção do carbono orgânico total (COT) foi realizada a divisão do valor de sólidos voláteis (SV) pelo fator 1,8, segundo Kiehl (2010). Desse modo, a relação C:N pode ser calculada por meio da divisão do valor de COT pelo valor de NTK.

4.5 Definição dos tratamentos e delineamento experimental

As cinco doses do composto orgânico foram calculadas a fim de fornecer o equivalente a 0, 7,5, 15, 30 e 60 ton ha⁻¹ do composto orgânico, visando a definição posterior da melhor dose que pudesse prover quantidade suficiente de macronutrientes essenciais (N, P e K) para o desenvolvimento vegetal. Além disso, foi avaliado um tratamento adicional em uma única dose de formulado de NPK mineral (15-15-15), que foi calculado de acordo com a exigência da cultura, de

acordo o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (PAULETTI; MOTTA, 2017).

Deste modo, o experimento contemplou cinco tratamentos com doses diferentes do composto orgânico e um tratamento com NPK mineral, com 5 repetições por tratamento. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado.

4.6 Montagem do experimento

Foi realizada a mistura de 4 kg solo com o composto nas respectivas doses, de modo que o composto reagisse com o solo por 7 dias em vasos de plástico (15 cm de altura por 20 cm de diâmetro de boca). O fertilizante NPK mineral foi aplicado no dia da semeadura. Em seguida, ocorreu a semeadura de seis sementes de milho em cada vaso, de forma que após a germinação, foram deixadas apenas duas plantas. A partir disso, foi realizado o monitoramento dos ensaios e a adição de água quando necessário durante os 35 dias de experimento.

4.7 Avaliações

4.7.1 Estágio fenológico do milho e diagnose visual

A determinação do estágio de desenvolvimento da planta foi realizada, ao final do experimento, por meio da contagem do número de folhas completamente expandidas, segundo Ritchie, Hanway e Benson (1993). De acordo com os autores, ao conhecer este dado é possível estabelecer práticas de manejo desde o plantio do milho até as fases finais da cultura a fim de obter maior produtividade, visto que o milho possui diferentes exigências hídricas, térmicas e nutricionais. Apesar de ser um parâmetro essencial para o sucesso do cultivo do milho, o estágio fenológico das plantas de milho não foi analisado estatisticamente. A diagnose visual foi o método utilizado para avaliar os sintomas da deficiência de nutrientes, por meio da aparência da planta, sobretudo, pela observação de coloração das folhas.

4.7.2 Pigmentos fotossintetizantes

Os pigmentos fotossintetizantes, clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides foram quantificados logo após o encerramento do experimento com auxílio de espectrofotômetro UV-VIS (PerkinElmer Lambda XLS), por meio da metodologia de extração por solvente (solução de acetona 80%). Para isso, foram coletadas folhas maduras de mesma posição e lavadas em água corrente, sendo colocadas sobre papel toalha para perda da umidade. Posteriormente, foram obtidas e pesadas parcelas de 0,1 g de cada folha fresca para a extração dos pigmentos fotossintetizantes, a qual foi realizada a partir da moagem manual do tecido foliar em solução de acetona.

Logo após a extração, o material foi filtrado e o extrato obtido foi utilizado para determinação dos pigmentos fotossintetizantes em três comprimentos de onda (663, 646 e 470 nm) (BARBOSA; SCOPEL; VIEIRA, 2008). A partir disso, foram calculados os teores de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total (WHITAM; BLAYDES; DEVLIN, 1971) e carotenoides (LICHTENTHALER; WELLBURN, 1983). Os teores são expressos em mg de pigmento por g de tecido fresco (mg g^{-1}).

4.7.3 Matéria seca: raiz e parte aérea

Para determinação da matéria seca, primeiramente a parte aérea das plantas foi separada da raiz e, então, as duas partes (parte aérea e raiz) foram colocadas separadamente em estufa com circulação forçada de ar à 60 °C, por 24 a 48 horas ou até peso constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas para obtenção da matéria seca da parte aérea e de raiz segundo Tedesco *et al.* (1995).

4.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). O efeito das diferentes doses do composto orgânico foi avaliado por meio de análise de regressão, considerando a significância do coeficiente de determinação (R^2) e os melhores níveis de significância. Os teores do tratamento com NPK mineral foram

utilizados para comparação com as doses do composto orgânico. As análises estatísticas foram realizadas no programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do composto orgânico

O pH do composto orgânico utilizado no experimento foi de 7,67, o qual está de acordo com os valores recomendados por Kiehl (2010) para composto orgânico. Isto porque no início da compostagem o meio se torna ácido pela liberação de ácidos orgânicos, mas, em seguida, há formação de ácidos húmicos e humatos alcalinos. Além disso, o pH se eleva devido à mineralização do N orgânico em N amoniacal, visto a reação alcalina característica da NH_3 (FIALHO *et al.*, 2005). Esses valores são similares aos encontrados por Won *et al.* (2016), que foi de 7,1 a 7,8 em compostos orgânicos produzidos a partir de carcaça suína e diferentes proporções de mistura de serragem e dejetos suínos. Por outro lado, Soto *et al.* (2017) reportou valores de pH próximos da neutralidade, sendo de 6,90 a 7,00 ao avaliar os parâmetros físico-químicos em compostagem de carcaças e dejetos de suínos. Na Tabela 2 são apresentados os valores relacionados à caracterização físico-química do composto orgânico produzido a partir de carcaça suína.

Tabela 2 - Dados físico-químicos do composto orgânico produzido a partir de carcaça suína

Parâmetro	Unidade	Valor
pH	N.A	7,67 ± 0,10
Condutividade elétrica (CE)	mS cm ⁻¹	5,15 ± 0,17
Sólidos totais (ST)	%	85,33 ± 0,09
Sólidos voláteis (SV)	%	93,22 ± 0,14
Nitrogênio total Kjeldahl (NTK)	%	5,07 ± 0,04
Carbono orgânico total (COT)	%	51,79
Relação carbono:nitrogênio (C:N)	N.A	10

Nota: N.A – Não aplicável; valores em base seca. Fonte: Autoria própria (2023)

O composto apresentou CE de 5,15 mS cm⁻¹, valor similar à faixa de 4,4 a 5,9 mS cm⁻¹ encontrada por Damaceno *et al.* (2021) após 57 dias de compostagem utilizando diferentes misturas de resíduos sólidos urbanos, dejetos animais, cinzas e serragem. Entretanto, este valor está acima do limite máximo de 4,0 mS cm⁻¹ recomendado por Meng *et al.* (2019) para a utilização de composto orgânico como substrato na produção de vegetal. A concentração de sais (íons) pode ser explicada

devido à degradação da matéria orgânica, que acarretou no aumento da CE do material durante o processo de compostagem.

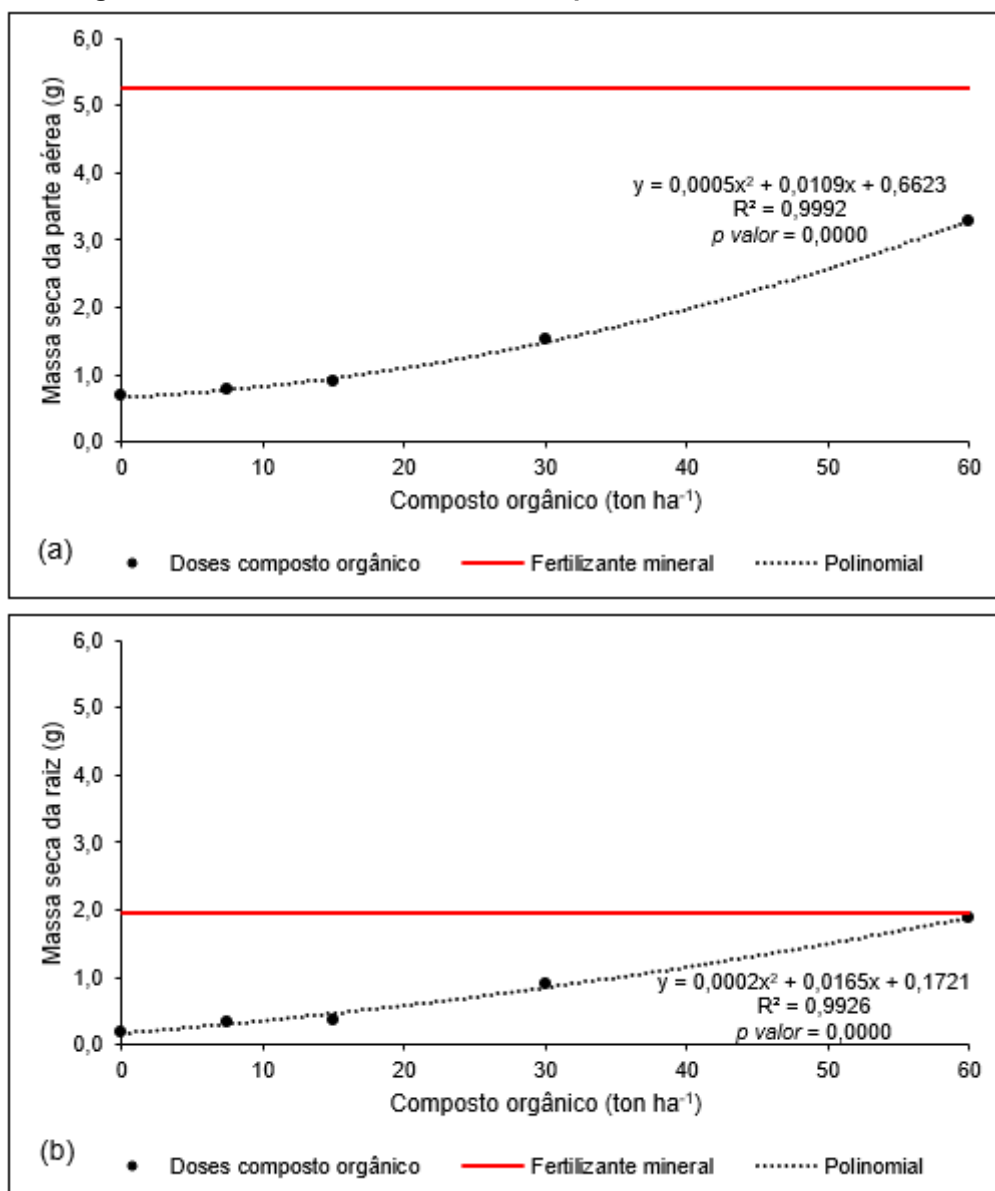
O teor de ST do composto foi de 85,33%, ou seja, apresentou baixa umidade (14,67%) devido ao período de 30 dias que o composto ficou em processo de maturação após a compostagem de 60 dias no RAC, ficando exposto ao ar livre e perdendo umidade. Já o teor de SV do composto foi de 93,22%, valor acima do encontrado por Won *et al.* (2016) de 75,9-81,1%, ou seja, é um composto orgânico rico em matéria orgânica.

Em relação ao teor de N e carbono do composto, os quais são imprescindíveis para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela degradação dos resíduos orgânicos, o composto apresentou teor de NTK e COT de 5,07% e 51,79% respectivamente. Sendo assim, a relação C:N do composto no final do experimento foi de 10, valor próximo ao encontrado por Chen *et al.* (2020) de 12,60 a 16,19 ao avaliar os efeitos da relação C:N sobre a destinação de carcaça suína por compostagem com esterco suíno e palha de milho. Compostos orgânicos que apresentam relação C:N abaixo de 20 indicam estabilização do material ao final do processo de biodegradação, em que parte do carbono contido na carcaça e principalmente na serragem foi convertido em CO₂ pela ação dos microrganismos.

5.2 Produção de matéria seca

A análise de variância mostrou efeito significativo das doses do composto orgânico em relação à matéria seca, em que tanto a produção de matéria seca da parte aérea quanto de raiz, apresentou incremento em função do aumento da dose de composto aplicado na cultura. A seguir é apresentada a produção de matéria seca da parte aérea (Figura 4a) e de raiz (Figura 4b) do milho considerando a aplicação de fertilizante mineral e doses do composto orgânico.

Figura 4 - Produção de matéria seca da parte aérea e de raiz do milho



Nota: Produção de matéria seca da parte aérea (a) e de raiz (b). Fonte: Autoria própria (2023)

Ao observar a produção de matéria seca da parte aérea, é possível observar que a maior dose de composto (60 ton ha⁻¹) resultou em 3,3 g de matéria seca, enquanto que o tratamento com fertilizante mineral atingiu 5,3 g de matéria seca. Em outras palavras, nenhuma das doses de composto aplicadas obtiveram resultado melhor ou equiparável ao encontrado pela aplicação do fertilizante mineral. Este resultado pode ser explicado devido à necessidade de quantidades maiores de nutrientes para formação e desenvolvimento das folhas. Segundo Escosteguy *et al.* (2016) os compostos orgânicos possuem menores quantidades de nutrientes na forma mineral, sendo decompostos mais lentamente no solo e liberando menores quantidades de nutrientes para as plantas em comparação aos adubos minerais.

Deste modo, a quantidade de nutrientes do composto orgânico disponível às plantas, pode ter sido limitante para o crescimento inicial da parte aérea da cultura do milho.

Por outro lado, quando comparada a aplicação das doses do composto orgânico e o fertilizante mineral na produção de matéria seca da raiz, observa-se que a maior dose aplicada do composto (60 ton ha^{-1}) obteve praticamente o mesmo desempenho que o tratamento com fertilizante mineral. Esse comportamento foi similar ao relatado por Siavoshi *et al.* (2011), em estudo onde comparou a aplicação de composto orgânico e fertilizante mineral no cultivo de arroz. A dose de 60 ton ha^{-1} do composto apresentou produção de matéria seca da raiz de 1,9 g e o tratamento com fertilizante mineral obteve 2,0 g, indicando que com a aplicação de composto orgânico a raiz do milho pode se desenvolver tão bem quanto com adubação mineral.

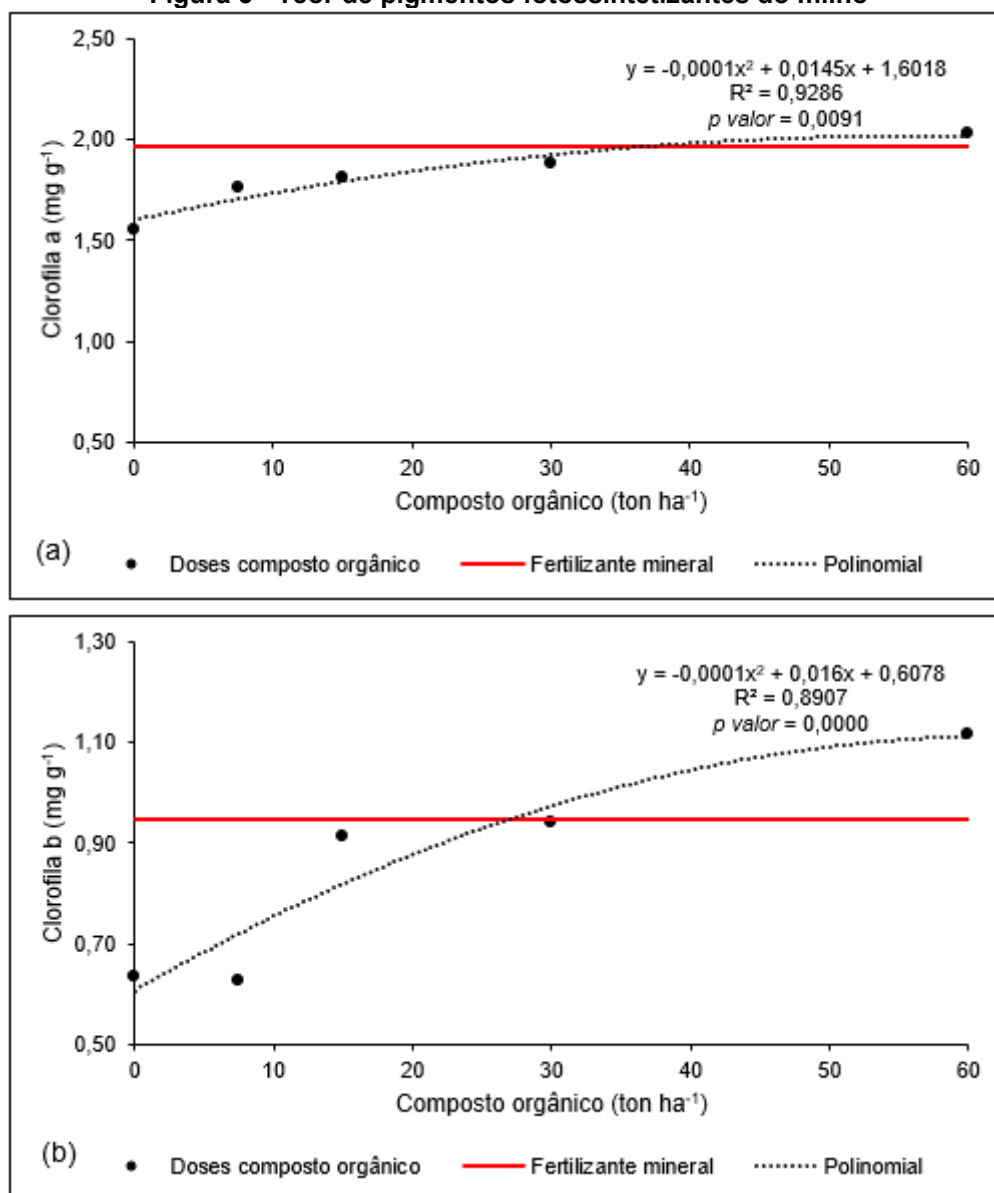
O desempenho similar na produção de matéria seca da raiz entre o tratamento orgânico e mineral pode ser devido à matéria orgânica presente no composto orgânico, que além de fornecer nutrientes, pode contribuir para a agregação do solo, melhorando a estrutura, a aeração, a drenagem e a capacidade de armazenamento de água (BRASIL, 2015). Além disso, os nutrientes disponibilizados pelo composto orgânico se mostraram suficientes para suprir a necessidade de nutrientes para o desenvolvimento do sistema radicular da planta, já que as raízes não necessitam de elevadas quantidades de nutrientes.

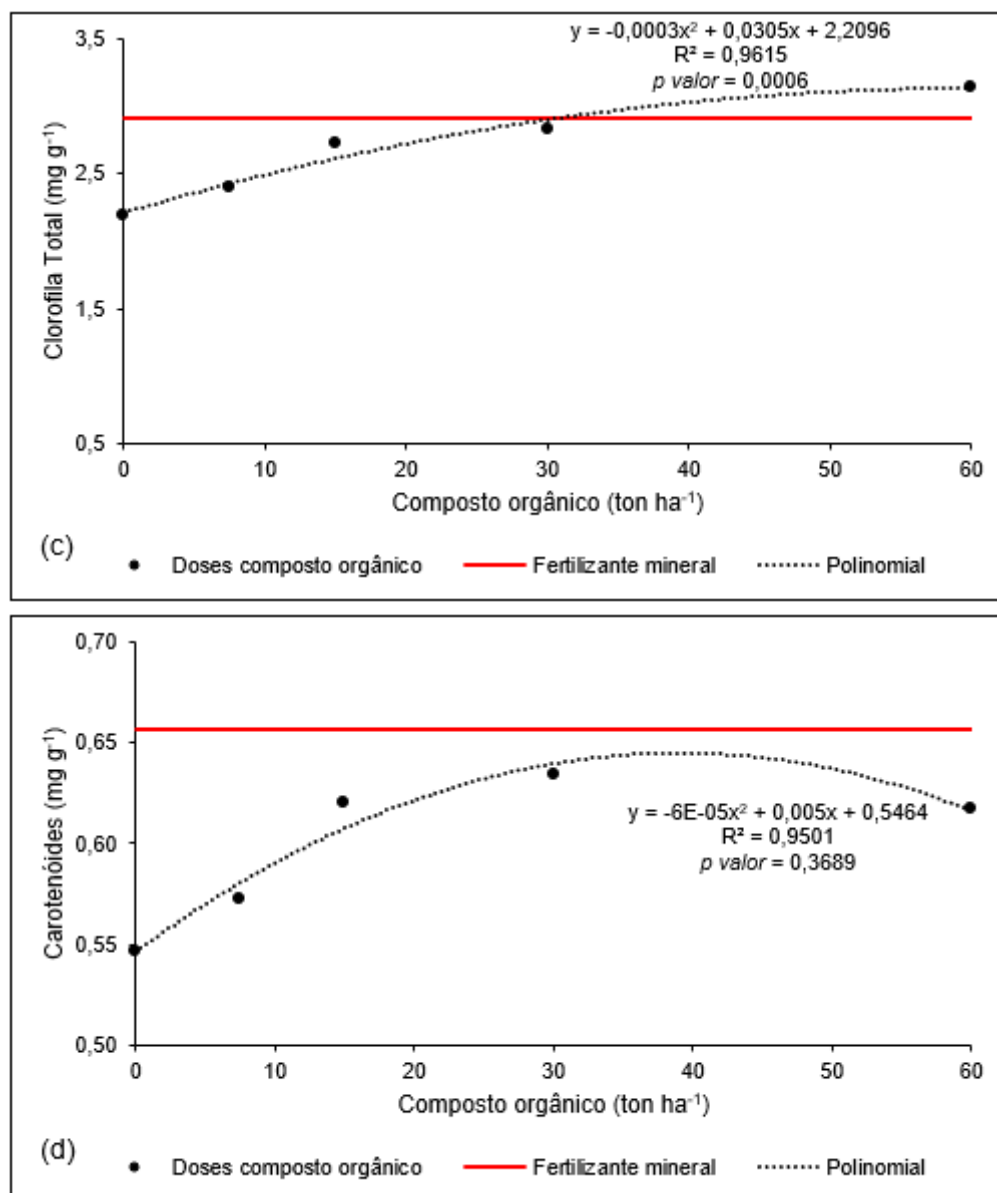
De modo geral, a produção de matéria seca de culturas agrícolas está associada à disponibilização de nutrientes, ou seja, à forma (orgânica ou inorgânica) com que os nutrientes estão presentes no adubo orgânico e/ou fertilizante mineral. De acordo com Andrade *et al.*, (2013), a disponibilização de N e P contidos em compostos orgânicos ocorre a partir do processo de mineralização realizado essencialmente por microrganismos do solo, em que o N passa às formas de NH_4^+ e NO_3^- nos processos denominados amonificação e nitrificação. Por outro lado, os fertilizantes minerais tem rápida liberação de nutrientes às plantas, pois os nutrientes já se encontram na forma inorgânica e, por isso, são solubilizados na água contida no solo e imediatamente podem ser absorvidos pelas plantas (MALAQUIAS; SANTOS, 2017).

5.3 Pigmentos fotossintetizantes

As diferentes doses do composto orgânico obtiveram efeito significativo em relação aos teores de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total, bem como o incremento em função do aumento da dose de composto. Por outro lado, este comportamento não foi constatado em relação a carotenoides (*p*-valor >0,05). Os teores de pigmentos fotossintetizantes, ou seja, clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides presentes no tecido foliar do milho são apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Teor de pigmentos fotossintetizantes do milho





Nota: Teor de clorofila a (a), clorofila b (b), clorofila total (c) e carotenoides (d). Fonte: Autoria própria (2023)

Para clorofila a (Figura 5a) observa-se que a dose de 60 ton ha⁻¹ de composto orgânico obteve maior teor de clorofila a em comparação ao fertilizante mineral, sendo 2,03 e 1,96 mg g⁻¹, respectivamente. Este resultado indica que a partir da aplicação do composto orgânico houve maior síntese de clorofila a, que pode ser explicada pela ação benéfica da matéria orgânica nos atributos do solo (FARIA *et al.*, 2020). O incremento de clorofila a também foi observado por Mishra e Shukla (1986) em estudo com milho e soja cultivados em solo com aplicação de cinzas. Além disso, observa-se que a partir da aplicação de aproximadamente 50 ton ha⁻¹ a linha de tendência das doses de composto orgânico começa a estabilizar, ou seja,

indica-se que a dose ótima para obtenção de maior síntese de clorofila *a* fica próximo de 60 ton ha⁻¹.

Em relação a clorofila *b* (Figura 5b), foi constatado que a aplicação de 30 ton ha⁻¹ resultou em teor de clorofila *b* bastante similar ao obtido por meio do fertilizante mineral, 0,94 e 0,95 mg g⁻¹, respectivamente. De forma semelhante a clorofila *a*, foi constatado que a partir da aplicação de 60 ton ha⁻¹ de composto observa-se a estabilização da curva de tendência das doses de composto orgânico, indicando que a dose ideal para obtenção de maior teor de clorofila *b* fica próxima de 60 ton ha⁻¹. Quanto à clorofila total (Figura 5c), foi constatado resultado similar a clorofila *a* e clorofila *b*, em que a partir da aplicação de aproximadamente 30 ton ha⁻¹ de composto orgânico o teor de clorofila total superou o atingido pelo tratamento com fertilizante mineral.

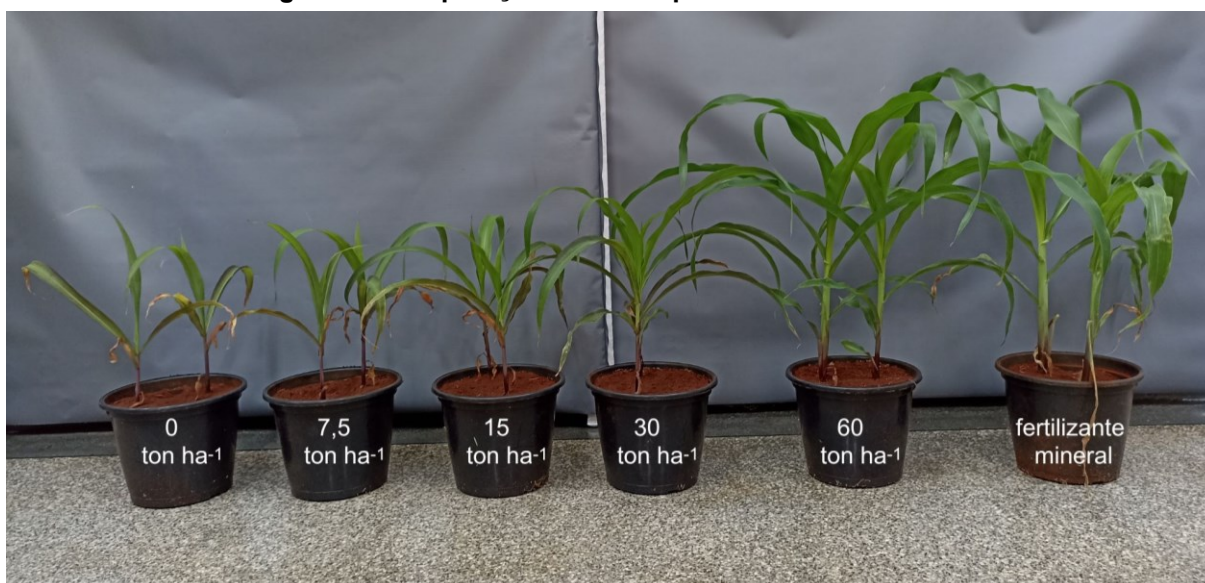
Por outro lado, nenhuma das doses de composto aplicadas resultou em teor de carotenoides (Figura 5d) equiparável a 0,66 mg g⁻¹ obtido pelo fertilizante mineral. Apesar de estar presente em diversos organismos fotossintetizantes, os carotenoides atuam como acessórios no processo de fotossíntese, visto que sua principal função é proteger a planta contra possíveis danos provocados pela radiação solar. Por isso, o teor de carotenoides razoavelmente baixo não representa necessariamente, risco elevado à saúde da planta (MULLER *et al.*, 2001). Ao observar a linha de tendência das doses de composto, foi possível destacar que, apesar do teor de carotenoides sofrer incremento com o aumento das doses de composto, ao aplicar 60 ton ha⁻¹ de composto a síntese de carotenoides diminuiu. Esse comportamento prova que, tanto a falta quanto o excesso de nutrientes podem causar efeitos prejudiciais ao desenvolvimento de culturas agrícolas.

5.4 Estágio fenológico e diagnose visual

Em relação ao estágio fenológico das plantas, os tratamentos com doses de 0, 7,5 e 15 ton ha⁻¹ do composto atingiram o estágio V5, ou seja, estágio em que cinco folhas estão completamente desenvolvidas. O estágio V5 é caracterizado pelo meristema apical localizado abaixo da superfície do solo, o qual é responsável pelo crescimento das folhas e do caule (MAGALHÃES; DURÕES, 2006). Por outro lado, os tratamentos com 30 e 60 ton ha⁻¹ do composto e o tratamento com fertilizante

mineral atingiram estágio fenológico V6, em que todas as estruturas da planta já tiveram seu crescimento iniciado. Estes resultados de estágios fenológicos indicam que os três tratamentos de menor dose de composto tiveram crescimento prejudicado, devido à deficiência de nutrientes disponíveis às plantas, segundo VON PINHO *et al.* (2009). A comparação visual entre as plantas de cada um dos seis tratamentos é apresentada na Figura 6.

Figura 6 - Comparação visual de planta dos tratamentos



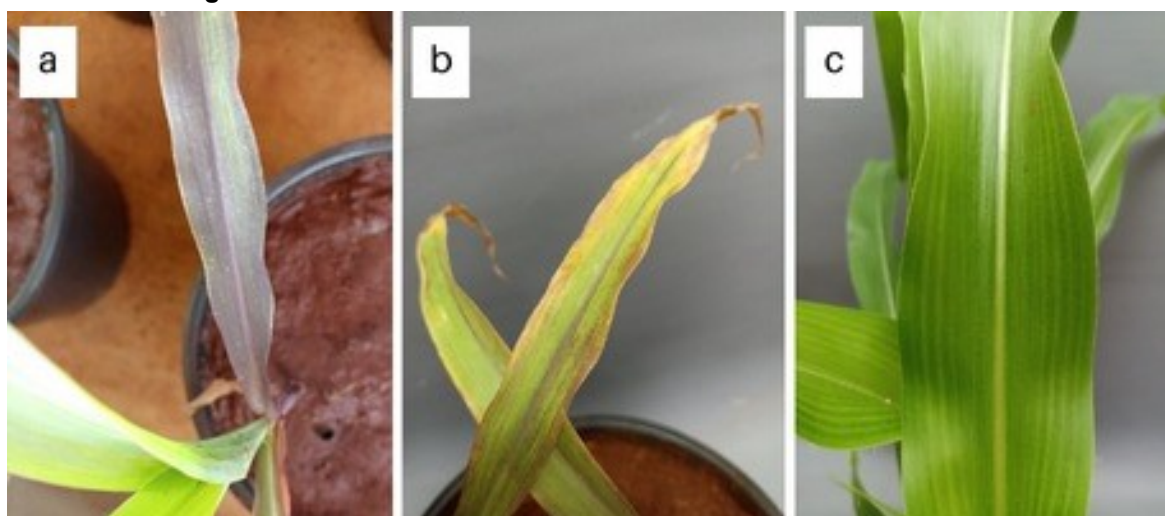
Fonte: Autoria própria (2022)

A partir da diagnose visual da parte foliar da planta, foi possível observar que os tratamentos com aplicação de 0, 7,5, 15 e 30 ton ha⁻¹ de composto orgânico apresentaram altura de planta bastante inferior aos outros dois tratamentos (60 ton ha⁻¹ de composto e fertilizante mineral). Este resultado pode ser explicado devido à deficiência de nutrientes disponíveis, a qual ocasiona no atraso do crescimento da planta e aparecimento de sinais visuais como alteração de cor na folha (TAIZ *et al.*, 2017). É possível observar que as folhas as quais apresentam coloração anormal são na maioria folhas velhas, devido à fácil transferência de N, P e K das folhas velhas para as folhas novas. Sendo assim, os sintomas de deficiência de nutrientes tendem a surgir primeiro nas folhas mais velhas (GONDIM *et al.*, 2016).

A coloração roxa na marginal das folhas observada em algumas plantas, conforme Figura 7a, pode ser indicativo da falta de P. Este aspecto se deve ao acúmulo de antocianina nas folhas, que comumente ocorre em plantas submetidas à deficiência de P (GAUTAM *et al.*, 2011). Além disso, a coloração roxa pode progredir

para as folhas mais novas e posteriormente, evoluir para necrose (morte das células) (Figura 7b). Outra causa para o aspecto de necrose na folha é devido a deficiência de N, o qual serve como constituinte de muitos componentes celulares vegetais, incluindo clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos. Por isso, a deficiência de N rapidamente inibe o crescimento vegetal e, caso a deficiência persistir, as folhas começam a ficar amareladas até atingir a necrose (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Figura 7 - Sintomas visuais da deficiência de nutrientes no milho



Nota: Sintoma de deficiência de fósforo (a), nitrogênio e/ou fósforo (b) e zinco (c). Fonte: Autoria própria (2022)

O aspecto de listras amareladas paralelas à nervura central da folha (Figura 7c) pode ocorrer devido à deficiência de zinco (Zn) que, por ser um nutriente pouco móvel, os sintomas são observados nas folhas novas (MALAVOLTA, 2006). No estudo de FERREIRA (2012), o qual avaliou os sintomas da deficiência de macronutrientes e micronutrientes por meio da diagnose visual na cultura do milho, foram relatados sintomas semelhantes causados pela deficiência de N, P e Zn.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em termos de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total, a fonte orgânica foi mais eficiente no desenvolvimento inicial do milho, apesar de não refletir em maior produção de matéria seca. A partir da diagnose visual conclui-se que, considerando a existência de sintomas da falta de nutrientes, o tempo de duração do experimento pode ter sido curto para que todos os nutrientes fossem mineralizados e então, disponibilizados às plantas. Apesar disso, a aplicação de composto orgânico proveniente de carcaças de suínos se mostrou eficiente para a complementação de adubação da fase inicial de desenvolvimento da cultura do milho, principalmente em relação aos pigmentos fotossintetizantes.

Quando corretamente manejados, os compostos orgânicos se constituem em uma fonte de nutrientes para a agricultura e que podem substituir de maneira parcial os fertilizantes minerais. Deste modo, são gerados impactos positivos para o ambiente e contribui-se para o gerenciamento adequado do composto orgânico gerado em sistemas de compostagem como o roto acelerador de compostagem. Ademais, sugere-se a avaliação de doses maiores de composto orgânico, bem como estudo mais aprofundado dos efeitos da aplicação de composto orgânico proveniente de carcaças de suínos, por meio de análises do tecido vegetal e do solo após o experimento.

REFERÊNCIAS

- ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal). **Relatório Anual - 2023**. Disponível em: <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>. Acesso em: 05 de maio de 2023.
- ALVES, F. Q. G.; SILVA, F. C.; COSTA, I. J. S.; DAVID, A. M. S. S.; SIMÕES, D. A. Qualidade fisiológica de híbridos de milho submetidos a diferentes temperaturas. *In*: 28. **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**. Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010.
- ANDRADE, C. A. D; *et al.* Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 5, p. 536–544, mai. 2013.
- ANDREAZZI, M. A.; SANTOS, J. M. G. dos; LAZARETTI, R. M. J. Swine farms' waste destination of northwestern and southwestern regions of Paraná. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 744-751, 2015.
- APHA (American Public Health Association). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington: American Water Works Association, 2005.
- BARBOSA, J. Z.; SCOPEL, W; VIEIRA, M. L. Procedimentos para extração de pigmentos fotossintetizantes em espécies frutíferas. **Evidência**, Joaçaba, v. 8, n. 1-2, p. 29-42, jan/dez. 2008.
- BATHIANY, S.; *et al.* Climate models predict increasing temperature variability in poor countries. **Science Advances**, v. 4, n. 5, may. 2018.
- BELLIDO, L. L. **Cultivos Herbáceos: Cereales**. 1. Ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1991.
- BERGAMASCHI, H.; *et al.* Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n.2, p. 243-249, fev. 2006.
- BRASIL. Instrução normativa n. 25, de 23 de Julho de 2009. Aprova normas sobre fertilizantes orgânicos destinados à agricultura, Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf/view>. Acesso em: 19 abr. 2023.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **PROBIOGÁS. Avaliação de opções para o tratamento de efluentes da produção de biogás/Probiogás**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015. 91 p. Disponível em: https://www.giz.de/en/downloads/giz_avaliacao_digital_simples.pdf. Acesso em: 15 mai. 2023.
- CARDOSO, B. F; OYAMADA, G. C; SILVA, C. M. Produção, tratamento e uso dos dejetos suínos no Brasil. **Desenvolvimento em questão**, v. 13, n. 32, p. 127-145, out/dez. 2015.

CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada). Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz - USP. **PIB do Agronegócio 2022**. 17 mar. 2022. Disponível em: <https://cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

CHEN, Y.; *et al.* Effect of C/N ration on disposal of pig carcass by co-composting with swine manure: experiment at laboratory scale. **Environmental Technology**, v. 42, n. 28, p. 4415-4425, 2021.

COELHO, A. M.; CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P. **Desafios para obtenção de altas produtividades de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. (Comunicado Técnico 112).

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Série histórica dos grãos: milho**. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

CORRÊA, J.C.; MANIR, M.; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 39, p. 1231-1237, 2004.

CORRÊA, T. B. S.; *et al.* Zoneamento de riscos climáticos do consórcio feijão-milho no estado do Rio de Janeiro. *In*: 16. **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Belo Horizonte - MG, 2009.

CRUZ, J.C.; *et al.* **Manejo da cultura do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Circular Técnica 87).

D'ALMEIDA, M. L. O; VILHENA, A. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2. ed. São Paulo: IPT/Cempre, 2000.

DAMACENO, F. M.; *et al.* Centralized treatment of waste through composting: influence of the c/n ratio and bulking agent. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 20, n. 7, p. 1147-1156, 2021.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de segurança e qualidade para a cultura do milho**. Brasília: Embrapa, 2004.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. 2. ed. Trad. NUNES, M.E.T. Londrina: Editora Planta, 2006.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; *et al.* **Calagem e adubação e a qualidade ambiental**. *In*: MANUAL de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. p. 331-342.

FARIA, M. R.; *et al.* Contribution of organic amendments to soil properties and survival of *Stenocarpella* on maize stalk. **Scientia Agricola**, v. 77, n. 6, 2020.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D. Características agronômicas e produtividade de cultivares de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. **Científica**, v. 40, n. 1, p. 21-27, 2012.

FERNANDES, F; SILVA, S. M. C. P. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. Londrina: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, UEL, 1999.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.

FIALHO, L. L.; *et al.* **Monitoramento Químico e Físico do Processo de Compostagem de Diferentes Resíduos Orgânicos**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2005. (Circular Técnica, 29).

GALVÃO, J. C.C.; *et al.* Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 819-828, nov/dez, 2014.

GAOA, M; *et al.* The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 6, p. 1899-1903, mar 2010.

GARCIA, J. C. **Efeitos da adubação orgânica, associada ou não a adubação química, calagem e fosfatagem, nos rendimentos agrícola e de aguardente teórica da cana-de-açúcar (Saccharum spp)**. 2005. Tese (Doutorado) Universidade federal de Lavras - UFLA. Lavras. 2005.

GARCIA, J.C.; *et al.* **Aspectos econômicos da produção e utilização do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Circular Técnica 74).

GAUTAM, P; GUSTAFSON, D. M.; WICKS III, Z. Phosphorus concentration, uptake and dry matter yield of corn hybrids. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 7, n. 4, p. 418-424, 2011.

GONDIM, A. R. D. O.; *et al.* Crescimento inicial do milho cultivar brs 1030 sob omissão de nutrientes em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v. 63, n. 5, p. 706-714, set./out. 2016.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem**: ciência prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

JOHNSTON, L. J.; *et al.* Homogenization for disposal of dead piglet carcasses. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 14, n. 2, p.183-186, 1998.

JOUQUET, E. P.; *et al.* Do compost and vermicompost improve macronutrient retention and plant growth in degraded tropical soils? **Compost Science & Utilization**, v. 19, n. 1, p. 15-24, 2011.

KALBASI, A.; *et al.* Carcass composting for management of farm mortalities: a review. **Compost science & utilization**, v. 13, n. 3, p. 180-193, 2005.

- KIEHL, E.J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. 4. ed. Piracicaba, 2004.
- KIEHL, E. J. **Novos Fertilizantes Orgânicos**. 1. ed. Piracicaba: Degaspari, 2010.
- KRAMER, A. W.; *et al.* Combining fertilizer and organic inputs to synchronize N supply in alternative cropping systems in California. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 91, n. 1-3, p. 233-243, sep. 2002.
- LICHTENTHALER, H; WELLBURN, A. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, v. 11, p. 591-592, 1983.
- LOPES, A. S. (Trad.). **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1988.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; **Fisiologia da Produção de Milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2006. (Circular Técnica, 76).
- MALAQUIAS, C. A. A. M.; SANTOS, A. J. M. Adubação organomineral e NPK na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Pubvet**, v. 11, n. 5, p. 501-512, mai. 2017.
- MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989.
- MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. 1. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006.
- MALDANER, L. J; *et al.* Exigências agroclimáticas da cultura do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 13-23, 2014.
- MELO, W. S. **Adubação da cultura da soja com fertilizante orgânico produzido a partir de carcaças de frango**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2020.
- MENDES, I. D. C.; DOS REIS JÚNIOR, F. B. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos**: uma análise crítica. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003.
- MENG, X; *et al.* Co-composting of the biogas residues and spent mushroom substrate: Physicochemical properties and maturity assessment. **Bioresource Technology**, v. 276, p. 281-287, mar. 2019.
- MISHRA, L. C.; SHUKLA, K. N. Growth, photosynthetic pigments and dry matter production of corn and soybean grown on soil amended with fly ash. **Environmental and experimental botany**, v. 26, n. 3, p. 211-216, jul. 1986.
- MORROW, W. E. M; BARKER, J. C.; MCCAW, M. B. **Composting as a suitable technique for managing swine mortalities**. Raleigh: North Carolina State University, Jul. 1997.
- MULLER, P.; LI, X. P.; NIYOGI, K. K. Non-photochemical quenching: A response to excess light energy. **Plant Physiology**, v. 125, n. 4, p. 1558-1566, abr. 2001.
- NICOLOSO, R. D. S.; *et al.* **Tecnologias para Destinação de Animais Mortos na Granja**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2017.

NOVAIS, R. F.; *et al.* **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007.

ONYENALI, T.; *et al.* Organic fertilizers improve the growth, seed quality and yield of newly released soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) varieties in the tropics. **Organic Agriculture**, v. 10, p. 155-170, 2020.

PAVINATO, P S; *et al.* **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa: UFV, 2007.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances. A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. **Advances in Agronomy**, v. 75, p. 57-134, 2002.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26p. (Special report, 48).

RODRIGUES, L. R.; *et al.* **Indicações técnicas para o cultivo do milho e do sorgo no Rio Grande do Sul: Safras 2011/2012 e 2012/2013**. 1. ed. Porto Alegre: Fepagro, 2011.

ROMANO, M. R. **Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante: parâmetros para modelos de crescimento**. 2005. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

SALEEM, A.; *et al.* Extractability and bioavailability of phosphorus in soils amended with poultry manure co-composted with crop wastes. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, n. 3, p. 609-623, 2017.

SHANG, B.; TAO, X.; CHEN, Y. Pig carcass composting using a forced aeration system during different seasons: a field study. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 25, n. 1, p. 117-127, 2023.

SIAVOSHI, M.; NASIRI, A.; LAWRE, S. Effect of organic fertilizer on growth and yield components in Rice (*Oryza sativa* L.). **The Journal of Agricultural Science**, v. 3, n. 3, p. 217-224, set. 2011.

SILVA, F. C.; *et al.* Efeito na fertilidade de um Argissolo Vermelho- Amarelo cultivado com cana-de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 831-840, mai. 2001.

SOARES, J. D. R.; *et al.* Compostagem de resíduos agrícolas: uma fonte de substâncias húmicas. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 4, p. 414-421, out./dez. 2017.

SOTO, F. R. M.; *et al.* Parâmetros microbiológicos e físico-químicos em um sistema de compostagem experimental de carcaças e dejetos sólidos de suínos. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, n. 3, p. 105-112, set. 2017.

SOUZA, E.D.; *et al.* Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1273-1282, 2008.

STAFANATO, J. B; *et al.* Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 726–732, mai. 2013.

TAIZ, L.; *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEDESCO M. J; *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 3. ed. Porto Alegre: Departamento de solos, UFRGS, 1995.

TEIXEIRA P. C; *et al.* **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017.

TELLES, T. S.; *et al.* Soil conservation practices in a watershed in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 3, 2019.

USDA. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Graphical Query: Top Countries By Commodity**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/topCountriesByCommodity>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

VALDERRAMA, M; *et al.* Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 254-263, abr/jun. 2011.

VON PINHO, R. G.; *et al.* Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009.

WHITHAM, F; BLAYDES, D; DEVLIN, R. **Experiments in Plant Physiology**. New York: D. Van Nostrand Company, 1971.

WON, S. G; *et al.* Co-composting of swine mortalities with swine manure and sawdust, **Compost Science & Utilization**, v. 24, n. 1, p. 42-53, 2016.