UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DO USO AGRONÔMICO DO DIGESTATO COMO BIOFERTILIZANTE ORIUNDO DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Marciana Cechin

Lajeado/RS, novembro 2021

Marciana Cechin

AVALIAÇÃO DO USO AGRONÔMICO DO DIGESTATO COMO BIOFERTILIZANTE ORIUNDO DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Projeto de Monografia apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Ambiental, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Ms. Marcelo Luis Kronbauer

Lajeado/RS, novembro 2021

Aos meus pais, meus incentivadores, e razão para seguir em frente:

José Cechin e Lirianice Radaelli Cechin

AGRADECIMENTOS

Agradecer é admitir que houveram momentos em que precisamos de alguém, é reconhecer que nunca poderemos lograr para si a capacidade de autossuficiência, é contemplar o que há de mais precioso nas relações humanas: a convivência, cooperação e ajuda mútua.

Agradeço em especial aos meus pais, irmãos e namorado por todo amor, apoio e compreensão. Vocês me ajudaram a sempre seguir em frente e persistir diante de toda e qualquer dificuldade.

Ao meu orientador Professor Ms. Marcelo Luis Kronbauer que me conduziu e auxiliou com seu conhecimento. Obrigada pela paciência e dedicação.

À todos os professos do curso de Engenharia Ambiental, que nos ensinaram além de todos os conteúdos, aprendizados essenciais para a vida, despertando admiração e inspiração durante estes anos. Em especial ao Professos Odorico Konrad, um dos idealizadores deste estudo e que contribuiu em vários momentos para a realização do mesmo.

Aos colegas de curso, pela troca de ideias, debates, companheirismos e amizade. Aos meus amigos que sempre estiveram apoiando, gratidão aos momentos compartilhados.

À empresa FOLHITO, pela disponibilização do espaço e materiais necessários para desenvolvimento da pesquisa e a todos os colegas de trabalho, pelo companheirismo, amizade e auxílio na elaboração deste trabalho.

À toda equipe do Centro de Pesquisa em Energias Renováveis (CPTS) do TECNOVATES pelo apoio na condução do trabalho. E a todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

O uso do digestato como um fertilizante orgânico, apresenta-se como uma alternativa viável para contribuir com o tratamento e destinação de resíduos. Ao operar uma usina de biogás o foco não deve ser somente na produção de energia, mas também no destino do digestato oriundo do processo. O digestato possui diversos nutrientes com valor agronômico agregado para a agronomia. Este trabalho objetiva avaliar o potencial para o uso agronômico do digestato oriundo da digestão anaeróbia de resíduos agroindustriais, na cultura de inverno de trigo. A avaliação a ser realizada consiste na caracterização do digestato, em relação aos nutrientes, além de contaminantes inorgânicos e microbiológicos. A cultura a ser avaliada será a de trigo, uma das principais alternativas para plantio de inverno na região Sul do Brasil. O digestato utilizado é oriundo de uma planta de biogás que realiza o tratamento de resíduos orgânicos, agroindustriais e alimentícios. Sua composição é basicamente de lodos de estação de tratamento de efluentes de frigoríficos e de indústrias alimentícias em geral, incluindo restos de processo, resíduos de refeitórios, entre outros. O experimento foi iniciado no dia 11 de maio de 2021, em uma casa de vegetação, com temperatura controlada. O digestato foi caracterizado e serviu como base para definição das 6 taxas de aplicações diferentes B, C1, C2, C3, C4 e C5 (0, 10, 15, 20, 30 e 45 mL), equivalentes a 0, 30, 45, 60, 90 e 135 m³/ha e concentração de nutrientes de 50,40:6,10:22,80, 75,60:9,15:34,20, 100,80:12,20:45,60, 151,20:18,30:68,40, 226,80:27,45:102,60 kg/ha (NPK). As aplicações do digestato foram 3 dias antes da semeadura, 25 e 45 dias após a semeadura. A avaliação das plantas-testes seguiu os seguintes critérios: Percentual de Germinação (PG), estatura das plantas (EP), massa seca (MAS) e massa fresca (MFA) da parte aérea, Número de Espiguetas (NE) e análise visual das raízes. Foi realizado também a avaliação do substrato (solo pós-colheita do experimento), em relação a suas características físico-químicas. A partir dos resultados, os tratamentos C2, C3 e C4 não apresentaram diferenças significativas nos critérios de EP, MSA, MFA, enquanto o C5 apresentou 25% de perda no PG, indicando uma característica moderadamente fitotóxica. No NE, os menores rendimento foram em C1 e C5, atribuindo ao C1 falta de condições de fertilidade suficiente e o C5, novamente, a questão da fitotoxicidade. Nas raízes notou-se um efeito positivo da aplicação do digestato, com densidade visual crescente conforme os tratamentos. Em relação ao digestato, foi possível verificar um potencial uso dele como um biofertilizante, já que todos os parâmetros estavam em conformidade com a legislação vigente. O solo pós experimento mostrou-se favorável a aplicação do digestato, com teores elevados de nutrientes, matéria orgânica e sem nenhuma contaminação por metais ou toxidez pelo Alumínio. Portanto, para plantas de biogás, é um aspecto interessante pensando na demanda de balanço de entrada e saída de material, viabilizando assim a operação e favorecendo o solo para cultivo agrícola.

Palavras-chave: Digestato; Biofertilzante; Digestão Anaeróbia; Trigo

ABSTRACT

The use of digestate as an organic fertilizer is a viable alternative to contribute to the treatment and disposal of waste. When operating a biogas plant, the focus should not only be on energy production, but also on the destination of the digestate from the process. Digestate has several nutrients with added agronomic value for agronomy. This work aims to evaluate the potential for the agronomic use of digestate from the anaerobic digestion of agro-industrial residues in the winter wheat crop. The evaluation to be carried out consists of the characterization of the digestate, in relation to nutrients, in addition to inorganic and microbiological contaminants. The crop to be evaluated will be wheat, one of the main alternatives for winter planting in southern Brazil. The digestate used comes from a biogas plant that handles organic, agro-industrial and food waste. Its composition is basically made up of sludge from the effluent treatment plant of slaughterhouses and food industries in general, including process residues, cafeteria residues, among others. The experiment started on May 11, 2021, in a greenhouse, with controlled temperature. The digestate was characterized and served as the basis for defining the 6 different application rates B, C1, C2, C3, C4 and C5 (0, 10, 15, 20, 30 and 45 mL), equivalent to 0, 30, 45, 60, 90 and 135 m³/ha and nutrient concentration of 50.40:6.10:22.80, 75.60:9,15:34.20, 100.80:12,20:45.60, 151 20:18.30:68.40, 226.80:27.45:102.60 kg/ha (NPK). The digestate applications were 3 days before sowing, 25 and 45 days after sowing. The evaluation of the test plants followed the following criteria: Germination Percentage (PG), plant height (EP), dry mass (MAS) and fresh mass (MFA) of shoot, Number of Spikelets (NE) and visual analysis of roots. The evaluation of the substrate (post-harvest soil of the experiment) was also carried out, in relation to its physicochemical characteristics. From the results, treatments C2, C3 and C4 did not show significant differences in the criteria of EP, MSA, MFA, while C5 showed 25% loss in PG, indicating a moderately phytotoxic characteristic. In NE, the lowest yields were in C1 and C5, attributing to C1 the lack of sufficient fertility conditions and C5, again, to the issue of phytotoxicity. In the roots, a positive effect of the application of the digestate was noticed, with increasing visual density according to the treatments. Regarding the digestate, it was possible to verify its potential use as a biofertilizer, as all parameters were in accordance with current legislation. The soil after the experiment proved to be favorable for the application of digestate, with high levels of nutrients, organic matter and no contamination by metals or toxicity by aluminum. Therefore, for biogas plants, it is an interesting aspect considering the demand for a balance of input and output of material, thus enabling the operation and favoring the soil for agricultural cultivation.

Keywords: Digestate; Biofertilizer; Anaerobic digestion; Wheat

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquematização da digestão anaeróbia 20
Figura 2 - Representação esquemática da composição do biogás 22
Figura 3 - Representação esquemática da geração e utilização do biogás 23
Figura 4 - Representação esquemática da operação de uma planta de biogás..... 26
Figura 5 -Exemplo de equipamentos para aplicação de biofertilizante 27
Figura 6 -Exemplo de aplicação convencional de fertilizantes líquidos 28
Figura 7 -Esquematização da aplicação convencional adequada..... 28
Figura 8 -Técnicas de separação da fração líquida do digestato 29
Figura 9 - Componentes da planta de trigo 34
Figura 10 - Sistema radicular do trigo 35
Figura 11 - Estádios de estabelecimento e crescimento do trigo 36
Figura 12 - Resumo Gráfico da Metodologia..... 38
Figura 13 - Estruturação da casa de vegetação..... 40
Figura 14 - Sistema de controle térmico da casa de vegetação..... 41
Figura 15 - Digestato anaeróbio a ser empregue no cultivo vegetativo do trigo..... 43
Figura 16 - Sementes de trigo e sua disposição nos vasos 48
Figura 17 - Irrigação semanal das plantas teste..... 49
Figura 18 - Aplicação do digestato nas plantas teste 50
Figura 19 - Avaliação semanal da estatura das plantas..... 51
Figura 20 - Desenvolvimento das plantas de trigo 6 dias após a semeadura 58
Figura 21 - . Evolução mensal do desenvolvimento das plantas de trigo 59
Figura 22 - Aplicações de digestato realizadas durante o experimento 60

Figura 23 -Aplicações de digestato realizadas durante o experimento 61
Figura 24 - Surgimento dos fungos após a segunda aplicação do digestato 71
Figura 25 - Surgimento de fungos após a terceira aplicação do digestato.....71
Figura 26 - Análise visual das raízes nos diferentes tratamentos 74
Figura 27 - Comparação visual das raízes nos diferentes tratamentos.....75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Composição do digestato utilizado no experimento 44
Gráfico 2 - Gráfico geral da evolução da estatura das plantas de trigo..... 67
Gráfico 3 - Comparação do BRANCO com o tratamento C1..... 68
Gráfico 4 - Comparação do BRANCO com o tratamento C2.....69
Gráfico 5 - Comparação do BRANCO com o tratamento C3.....70
Gráfico 6 - Comparação do BRANCO com o tratamento C4.....71
Gráfico 7 - Comparação do BRANCO com o tratamento C5.....72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Limites de contaminantes permitidos pela IN 27.....34
Quadro 2 - Temperaturas ideais para o desenvolvimento do trigo.....38
Quadro 3 - Metodologias de ensaio para caracterização do digestato anaeróbio.....45
Quadro 4 - Nomenclatueas e taxas de aplicação adotadas no experimento.....48
Quadro 5 - Carga nutricional equivalente a cada concentração de digestato aplicada..... 49
Quadro 6 - Aplicações do digestato durante o experimento.....49
Quadro 7- Parâmetros avaliados no substrato (solo após experimento).....54
Quadro 8 - Faixas de fitoxicidade de digestatos anaeróbios.....66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Referência para cálculo de fertilização.....45
Tabela 2- Resultados das análises físico-químicas do digestato anaeróbio 54
Tabela 3 - Caracterização do digestato anaeróbio em relação à legislação brasileira 56
Tabela 4 - Percentual de germinação das plantas-teste ao final do experimento nos diferentes tratamentos.....63
Tabela 5 - Massa seca e massa fresca da parte aérea das plantas testes.....72
Tabela 6 - Número de espiguetas obtidos em cada tratamento.....73
Tabela 7 - Caracterização do substrato pós experimento 76
Tabela 8 - Quantidade de calcário a ser aplicada conforme o Índice SMP 77
Tabela 9 - Comparação dos resultados obtidos com a legislação pertinente.....78
Tabela 10 - Relação entre os teores de Cálcio, Magnésio e Enxofre com a classe de disponibilidade.....80

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 Tema 13
1.2 Delimitação do tema 14
1.3 Problema de pesquisa 14
1.4 Hipótese 14
1.5. Justificativa 14
1.6 Objetivos 14
1.6.2 Objetivos específicos 15
1.8 Estrutura 15

2 REVISÃO TEÓRICA 17
2.1 Geração de resíduos na agroindústria e indústria alimentícia 17
2.2 Biodigestão anaeróbia 19
2.2.1 Hidrólise 20
2.2.2 Acidogênese 20
2.2.3 Acetogênese 21
2.2.4 Metanogênese 21
2.3 Biogás 22
2.4 Digestato como biofertilizante 24
2.4.1 Aplicações do Digestato 27
2.4.2 Legislações pertinentes ao uso do digestato 30
2.5 Cultura de Trigo 33

2.5.1 Sistema Radicular do Trigo 34
2.5.2 Estádios do trigo 35
2.5.3 Necessidades nutricionais da planta de trigo 37

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 38
3.1 Estruturação da casa de vegetação 39
3.2 Digestato anaeróbio (biofertilizante) 41
3.2.1 Caracterização do digestato 43
3.3 Escolha do Substrato 44
3.4 Taxa de Aplicação de digestato no experimento 45
3.5 Semeadura 48
3.5 Monitoramento do desenvolvimento vegetativo das plantas 48
3.6 Avaliação e desenvolvimento das plantas utilizadas no experimento 50
3.6.2 Estatura das Plantas (EP) e Percentual de Germinação (PG) 50
3.6.2 Número de Espiguetas (NE) 51
3.6.3 Caracterização do substrato final 51

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 53
4.1. Caracterização do digestato 53
4.1.1. Comparação do digestato com os limites de tolerância do MAPA 56
4.2. Desenvolvimento vegetativo das plantas de trigo 58
4.2.1. Percentual de Germinação 62
4.2.2. Monitoramento do crescimento vegetativo das plantas de trigo 64
4.2.3. Massa Seca e Massa Fresca da parte aérea 72
4.2.4. Número de espiguetas 73
4.2.5. Análise visual das raízes 74

5 CONCLUSÃO 82

REFERÊNCIAS 84

ANEXOS 95

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução das operações na agricultura, a produção de alimentos expandiu-se e os sistemas agrícolas ficaram mais intensos, ocasionando no surgimento de um novo ramo de produção primária de alimentos, a agroindústria. A agropecuária, a agroindústria e a agricultura trazem diversas vantagens ao país, como geração de emprego, contribuições ao desenvolvimento de forma geral e mais alimentos (MARDER, 2020).

A agricultura é um setor econômico fundamental no Rio Grande do Sul, a variedade de bens e serviços fornecidos vem aumentando, no entanto, a agricultura moderna deve sempre se concentrar no uso responsável dos recursos naturais, enfrentando o desafio de operar de forma eficiente e sustentável, em prol do desenvolvimento da população global. A perspectiva é de que os processos agroindustriais se tornem mais eficientes, os solos mais produtivos e férteis e a disponibilidade de alimentos cada vez maior (GIZ, 2018).

De acordo com Wilken *et al.* (2018) o uso responsável de fertilizantes desempenha um papel decisivo na manutenção da produção de produtos agrícolas. O consumo global dos fertilizantes mais importantes do mercado mundial, nitrogênio, potássio e fósforo (NPK) aumentaram constantemente ao longo dos anos. Todavia, como qualquer outra matéria-prima, as fontes naturais desses fertilizantes são finitas. Além disso, o uso responsável e adequado também é discutido a fim de evitar a contaminação de águas e solos.

O setor da agroindústria e indústria alimentícia no Estado do Rio Grande do Sul são responsáveis por grandes volumes de resíduos, intensificando problemas

ambientais relacionados à disposição final dos mesmos (KONRAD, et al., 2018). Hasan *et al.,* (2019) diz que as frações orgânicas destes resíduos podem ser exploradas através da digestão anaeróbia, podendo ser interpretada como uma fonte promissora de energia renovável e sustentável.

O reaproveitamento de resíduos orgânicos para produção de biogás e posterior incorporação do digestato em fertilizante orgânico apresenta-se como uma alternativa energética renovável, com viabilidade ambiental e econômica. Tal fato foi comprovado por Hasan *et al.*, (2019), que verificou as eficiências energéticas dos substratos agroindustriais no Vale do Taquari, visando a produção de biogás.

A digestão anaeróbia é considerada um dos possíveis tratamentos de resíduos orgânicos, reduzindo suas cargas orgânicas e contaminantes patogênicos. É considerado ainda por Chernicharo (2007) um processo ecológico extremamente balanceado, envolvendo processos metabólicos complexos ocorrendo em etapas sequenciais.

Ao operar uma usina de biogás, o foco não deve ser apenas na produção de energia, mas também no destino do digestato oriundo do processamento, que é rico em nutrientes, o que o torna um fertilizante orgânico de alta qualidade. Uma ampla gama de aplicações é possível, porque o digestato produzido pode ser aplicado diretamente ao solo ou condicionado por várias técnicas de tratamento, bem como a possibilidade de obter receitas adicionais no mercado de fertilizantes orgânicos, reciclando os nutrientes de forma mais precisa e econômica (GIZ, 2018).

Tendo em vista o anteriormente exposto, o presente trabalho pretende abordar o uso de digestatos oriundos de processos de digestão anaeróbia como biofertilizantes com potencial uso agronômico.

1.1 Tema

O tema do presente trabalho está relacionado a avaliação dos resultados obtidos a partir da aplicação de um biofertilizante oriundo do tratamento anaeróbio de resíduos agroindustriais, em escala piloto.

1.2 Delimitação do tema

O trabalho limita-se na investigação de um digestato anaeróbio para uso agronômico em uma cultura de inverno e dentro de uma casa de vegetação.

1.3 Problema de pesquisa

Um dos maiores desafios enfrentados em plantas de biogás brasileiras é o destino do digestato, subproduto obtido da digestão anaeróbia em biodigestores. De acordo com suas características, é possível a utilização do digestato como um biofertilizante com valor agronômico?

1.4 Hipótese

A pesquisa parte da hipótese de que o digestato anaeróbio possa ser utilizado como um biofertilizante para uso na agricultura. Para que a hipótese seja comprovada, será avaliada sua eficiência em uma casa de vegetação, com aplicações pontuais em uma cultura de inverno.

1.5. Justificativa

O aumento do uso da tecnologia de digestão anaeróbia, aumenta consequentemente a quantidade de digestato produzido. Sabe-se que o mesmo tem potencial para o uso agronômico como um biofertilizante rico em nutrientes e matéria orgânica. O presente trabalho vem ao encontro destas considerações, com o intuito de avaliar tal potencial.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos do uso agronômico do digestato oriundo da biodigestão anaeróbica de resíduos agroindustriais e indústria alimentícia aplicado na cultura de trigo, em uma escala de bancada.

1.6.2 Objetivos específicos

a) Caracterizar o digestato quanto a suas características físico-químicas;
b) Estruturar um espaço específico para avaliação dos testes a serem realizados em escala de bancada;
c) Aplicar diferentes concentrações de digestato em uma cultura de época para o período do experimento (cultura sugerida: trigo);
d) Comparar o desenvolvimento das plantas entre aplicação das diferentes concentrações de digestato;
e) Avaliar e comparar as propriedades físico-químicas dos substratos (solo pós-plantio) ao final do experimento;

1.8 Estrutura

Este trabalho se restringirá a avaliar as características do digestato anaeróbio (biofertilizante) a ser aplicado no cultivo do trigo, bem como, o desenvolvimento das plantas em consequência da adoção do digestato como biofertilizante.

O primeiro capítulo introduz o trabalho sucintamente e apresenta o tema, delimitação do tema, problema de pesquisa, hipótese e justificativa, bem como objetivos gerais e específicos.

O capítulo dois apresenta a revisão bibliográfica pertinente ao tema, como a geração de resíduos agroindustriais no Brasil e em específico na região Sul, partindo para aspectos mais específicos da digestão anaeróbia e os subprodutos gerados no processo. No mesmo capítulo, são descritos alguns usos do digestato como biofertilizante, e sua devida aplicação em áreas agrícolas. Algumas informações sobre a cultura de trigo também são abordadas ao decorrer do capítulo, além de taxas e frequência de aplicação sugeridas pela literatura consultada, os principais parâmetros de controle envolvidos e legislações.

O terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos, desde o início do experimento, considerando estruturação da casa de vegetação, taxa de aplicação do digestato, modo de acompanhamento do cultivo,

análises laboratoriais necessárias para caracterização e características da planta e do substrato utilizado.

No capítulo quatro os resultados obtidos a partir da experimentação são relatados, descritos e ilustrados através de tabelas, figuras e gráficos. As características do biofertilizante são analisadas e discutidas, bem como do substrato pós experimento.

No capítulo cinco são apresentadas as conclusões do trabalho correlacionando aos objetivos que se propôs, e se estes foram atendidos.

Por fim, no capítulo seis estão descritas as referências utilizadas neste Trabalho de Conclusão de Curso II.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Geração de resíduos na agroindústria e indústria alimentícia

O agronegócio é um dos setores produtivos mais promissor, apresentando expansão de 3% no ano de 2020 (MAPA, 2018). Nas contas da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (VBP), 2020 ficou 9,8% maior em 2020 em relação a 2019 e tal crescimento influencia na geração dos resíduos do setor.

Dados da Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (ABIA) a indústria de alimentos no Brasil representou, só em 2019, um faturamento de R$642 bilhões de reais. São aproximadamente 33,5 mil empresas que transformam o setor em forma de empregos, faturamento, grandes gerações de resíduos e consequentemente a atualização em técnicas para tratamentos adequados (TERA, 2020).

A Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e determina a responsabilidade dos geradores quanto a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos gerados em suas atividades garantindo a destinação final ambientalmente adequada, e ainda define os geradores de resíduos sólidos como “pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo” (PNRS, 2010).

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) proíbe a destinação a céu aberto, o lançamento e destinação *in natura* dos resíduos sólidos e prevê em seu Art. 9º o gerenciamento e gestão dos resíduos, d0efinindo uma hierarquia, onde no primeiro momento deve-se prioritariamente optar pela não geração, adotando técnicas de gestão dentro dos processos que evitem a geração de resíduo, em casos onde

esta técnica não elimina totalmente a geração, deve-se empregar o princípio da redução. Nesta ordem de escala de prioridades, adota-se a reutilização, posteriormente o processo de reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e, por fim quando nem uma das metodologias anteriores tiverem viabilidade de aplicação, ou não seja possível a aplicação de qualquer metodologia de recuperação ou tratamento deste resíduo que seja viável, destina-se os rejeitos finais de forma ambientalmente adequada.

De acordo com Gtech (2019) os principais resíduos da indústria alimentícia e abatedouros são os efluentes industriais, que podem ser biológicos ou químicos e resíduos sólidos provenientes da produção de alimentos, podendo ser classificados como:

- Efluentes:
    - Água residuária proveniente do processo de lavagem de máquinas e equipamentos;
    - Efluentes pós tratamento físico-químico;
    - Efluentes líquidos industriais biodegradáveis em geral;
    - Efluentes sanitárias;
    - Líquido proveniente de limpeza de caixa de gordura industrial e restaurante;
    - Lodo líquido de ETE biológica;
- Resíduos Sólidos:
    - Bagaços, cascas de frutas e legumes…;
    - Lodo sólido de ETE biológica;
    - Produtos alimentícios fora de validade ou especificações;
    - Restos de alimentos de restaurantes, supermercados, ceasas…;

A proximidade destes resíduos com recursos hídricos pode colocar em risco a sanidade do mesmo, causando impactos ao ambiente, tais como a morte da fauna local devido à alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), podendo alcançar os lençóis freáticos (MAFACIOLLI, 2012).

As opções de tratamento dos resíduos levam em conta as características dos mesmos, baseados nas reações físico-químicas e biológicas. A remoção dos poluentes pode ser removida através de reações químicas, separando as diferentes

fases sólidas e líquidas. No tratamento biológico a matéria orgânica poluente é removida através da ação de microrganismos e bactérias que as consomem em meios aeróbios e anaeróbios (VGRESÍDUOS, 2018).

2.2 Biodigestão anaeróbia

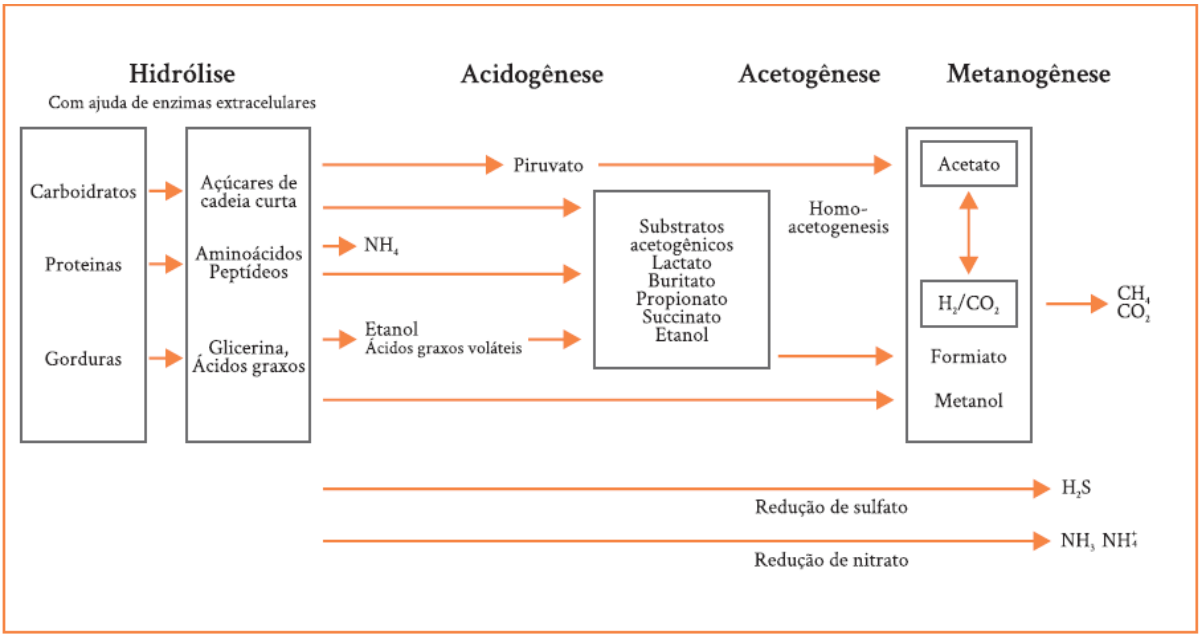
Tallou *et al.* (2020) diz que atualmente o método mais eficaz e viável para o tratamento de resíduos orgânicos é a digestão anaeróbia, principalmente tratando-se em termos de produção de energia e valorização agronômica. A digestão anaeróbia oferece benefícios econômicos, sociais e ambientais, como por exemplo baixo custo de energia, menos lodo de biomassa, eficácia na remoção de patógenos, redução na emissão de odores e produção de biofertilizantes através do digestato.

A digestão anaeróbia é o processo de degradação da matéria orgânica através de microrganismos em ambientes onde o oxigênio molecular é ausente. Geralmente, este tipo de tratamento é introduzido em tratamento de efluentes, águas e principalmente na recuperação energética de resíduos orgânicos, bem como na regulação dos ciclos biogeoquímicos e na manutenção e recuperação da qualidade dos ecossistemas (CAVALEIRO E ALVES, 2020).

Kunz *et al.* (2019), descreve a digestão anaeróbia como um processo complexo, que envolve condições sem a presença de oxigênio e que depende da atividade conjunta de um consórcio de microrganismos para converter a matéria orgânica em CO_2 e CH_4. Chernicharo (2007) representa a digestão anaeróbia como um sistema ecológico delicadamente balanceado, que inclui processos metabólicos complexos e de forma sequencial. O ecossistema de microrganismos trabalha interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico, amônia e novas células bacterianas.

Aquino e Chernicharo (2005) e Tallou *et al.* (2020) relatam que a digestão anaeróbia envolve atividades de três grupos de microrganismos distintos, sendo eles: bactérias fermentativas ou acidogênicas, bactérias sintróficas ou acetogênicas e microrganismos metanogênicos (Figura 1).

Figura 1 - Esquematização da digestão anaeróbia



Fonte: Kunz et al., (2019).

2.2.1 Hidrólise

Segundo Diamantis *et al.* (2021) a primeira etapa do metabolismo anaeróbico envolve a desintegração e hidrólise de lipídeos em glicerol e ácidos de cadeia longa. As bactérias fermentativas/acidogênicas são responsáveis pela fermentação de açúcares, aminoácidos e ácidos graxos resultantes da hidrólise da matéria orgânica complexa de alta massa molecular, produzindo ácidos orgânicos como acético, propiônico e butírico, álcoois (etanol), cetonas, dióxido de carbono e hidrogênio (AQUINO E CHERNICHARO, 2005).

Este grupo é o primeiro a atuar na próxima etapa de degradação do substrato, possuindo baixo tempo de geração, e as mais elevadas taxas de crescimento do consórcio microbiano. Essa etapa só será limitante caso o material a ser degradado não for hidrolisado facilmente (AQUINO E CHERNICHARO, 2005).

2.2.2 Acidogênese

Na fase da acidogênese, os carboidratos são reduzidos a piruvato, que por sua vez é convertido em ácido lático pela ação de leveduras. Já os ácidos graxos são

degradados e oxidados através da liberação sequencial na forma de acetato, amônia, dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio (AMARAL *et al*., 2019).

Conforme Karlsson *et al.* (2014), nessa segunda etapa o material que passou pela hidrólise (monômeros) são degradados e simplificados a moléculas como ácido butírico, acético e propiônico a álcoois, óxidos de nitrogênio, hidrogênio e dióxido de carbono. Ao final da etapa de acidogênese são formados principalmente CO_2, H_2, álcoois e ácidos orgânicos, além de compostos orgânicos nitrogenados e sulfurados, devido à degradação de aminoácidos e proteínas.

2.2.3 Acetogênese

Sendo considerada a etapa mais crítica do processo por Kunz *et al*. (2020) e Prabhu *et al*. (2021), a acetogênese é conduzida por um grupo de bactérias acetogênicas, que produzem/promovem reações endotérmicas.

Nessa etapa os ácidos de cadeias longas transformam-se em ácidos com um ou dois átomos de carbono, produzindo hidrogênio e dióxido de carbono. Ainda, para que a formação da cadeia curta seja termodinamicamente favorável, esta deve ocorrer associada ao consumo de hidrogênio gasoso pelas arqueas metanogênicas. A sintrofia entre os organismos distintos facilita o crescimento de ambos, possibilitando a produção de acetato a partir de ácidos orgânicos (KUNZ *et al*., 2020, KARLSSON *et al*., 2014).

2.2.4 Metanogênese

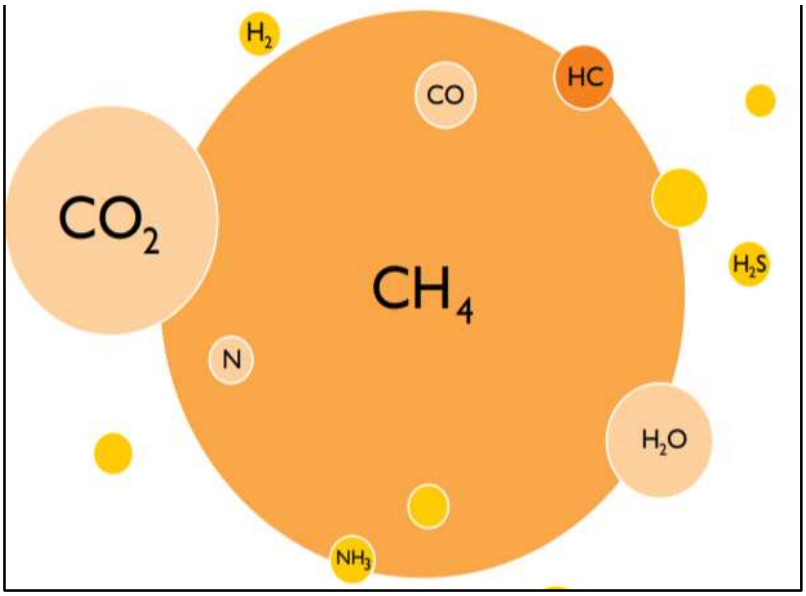
A etapa final da digestão anaeróbia ocorre em condições onde não há presença de oxigênio, exclusivamente. Sendo assim, o carbono presente na biomassa é convertido em CO_2 e CH_4 através da ação das arqueas metanogênicas, que podem ser divididas em acetoclásticas e hidrogenotróficas. As acetoclásticas utilizam acetato como fonte de substrato, representando cerca de 70% do biogás produzido. Já as hidrogenotróficas utilizam o CO_2 e H_2 como substrato para produção de CH4 (AMARAL *et al*., 2019).

Aquino e Chernicharo (2005) afirmam que os microrganismos metanogênicos são os mais importantes do consórcio microbiano, no entanto são também os mais sensíveis do processo, por possuírem particularidades altamente específicas de substrato e condições de vida. Para Saedi e Lorenzen (2019) a eficiência da metanogênese é consequência de todo um equilíbrio do sistema, onde todos os produtos da fermentação são utilizados como substrato na etapa de conversão de CH_4.

2.3 Biogás

De acordo com Konrad *et al.* (2016), o biogás é resultado da biodigestão anaeróbia, onde basicamente a matéria orgânica é convertida em gases, os quais são compostos basicamente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), alguns traços de vapor d'água, sulfeto de hidrogênio (H_2S), siloxanos, hidrocarbonetos,amônia (NH_3), oxigênio (H_2O), monóxido de carbono (CO) e nitrogênio (N), variando de 75% a 0,01%, respectivamente. A Figura 2 representa a composição ideal do biogás, citada acima, para aproveitamento energético, de acordo com a descrição acima.

Figura 2 - Representação esquemática da composição do biogás



Fonte: Konrad *et al*. (2016)

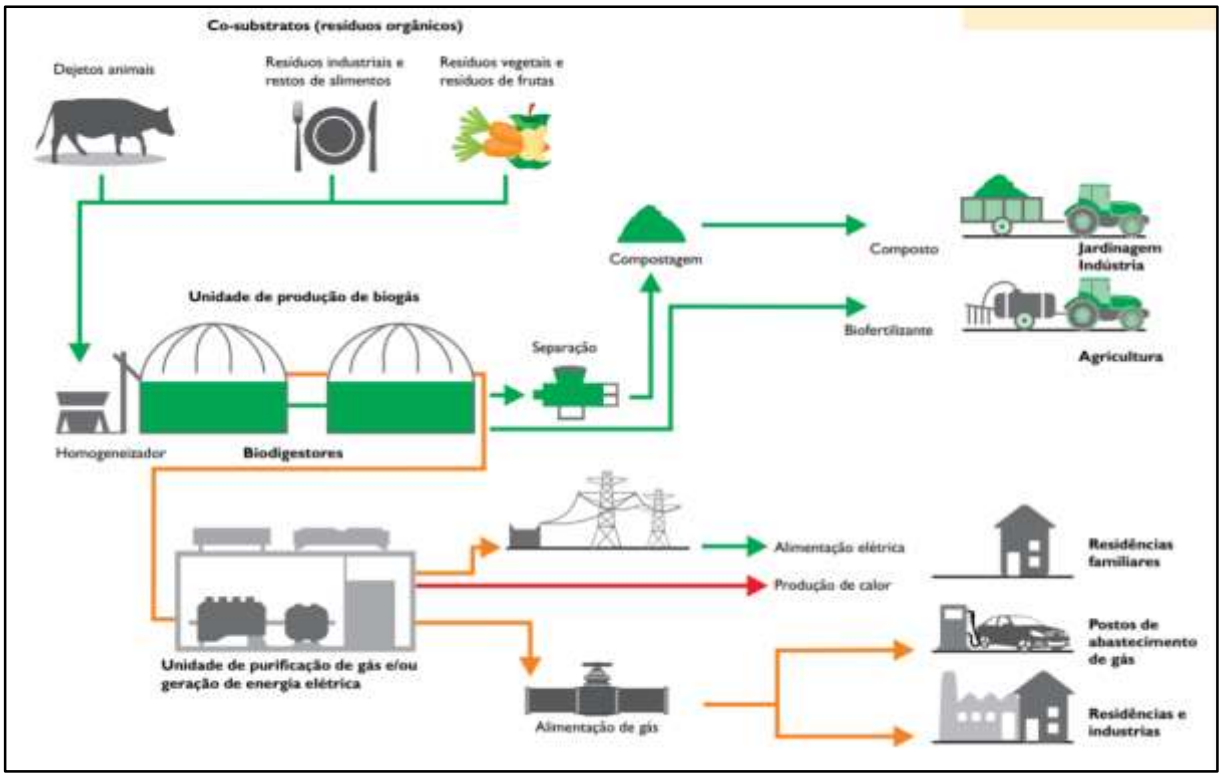
Segundo Bres *et al.* (2018) a utilização do biogás apresenta algumas vantagens, como a geração descentralizada de energia, sendo definida como uma

energia renovável e pode ser conectada diretamente ao consumidor ou à rede de distribuição. Tem ainda a possibilidade de renda extra e cogeração, salientando a redução do metano para a atmosfera, sendo este um importante gás que causa o aquecimento global, ou efeito estufa.

Uma das vantagens citadas por Tallou *et al.* (2020) é em relação ao biogás ser considerada uma fonte de energia limpa e mais sustentável que os combustíveis fósseis. Além dos resíduos orgânicos serem convertidos em energia ao invés de se tornarem um problema ambiental quando não destinados corretamente.

Na Figura 3, é representado esquematicamente a produção de biogás e seus possíveis usos na cogeração de energia. Essa cogeração pode ser na forma de aquecimento térmico, energia elétrica com a implantação de um gerador ou ainda, biocombustível quando purificado o biogás em torno de 60-80%.

Figura 3 - Representação esquemática da geração e utilização do biogás



Silva *et al.* 2005 verificou em seu estudo que adaptando o queimador principal de um aquecedor de água para operar com biogás adequadamente e chama estável, a eficiência média foi de 68%, com um ganho térmico de 36,7 ºC. A temperatura final

da água foi de 62,7 ºC e para isso foi consumido 0,796 m³ de biogás e aquecido 75 litros de água em 72 minutos.

Konrad *et al.* 2016 diz que para a utilização do biocombustível é necessário que o biogás passe por um processo de purificação para eliminar possíveis contaminantes prejudiciais aos motores e sistemas mecânicos. Dalpaz *et al.* 2020 testou a purificação do biogás com três concentrações diferentes de CH_4 a fim de encontrar e comparar qual a mais viável em relação ao aproveitamento térmico e elétrico. Ao final, concluiu-se que à medida que a concentração é aumentada, a energia resultante também aumenta, chegando em 3,57 kWh/m^3 e 1,67 kWh/m^3, com 92,33% de CH_4 para energia elétrica e térmica, respectivamente.

Um dos primeiros passos da purificação do biogás é a remoção do CO_2, tendo em vista que a sua presença interfere diretamente no potencial energético do biogás por ser inerte em combustão e ocupar volume. Com sua remoção é ajustado o poder calorífico do CH_4 e a densidade relativa (SILVA E MEZZARI, 2019).

2.4 Digestato como biofertilizante

Outro subproduto resultante da digestão anaeróbia é o digestato, que possui nutrientes com valor agregado para a agronomia, de fonte finita e com características benéficas ao solo. Um exemplo destes nutrientes são o Nitrogênio, Fósforo e Potássio, que podem favorecer o desenvolvimento de plantas, possibilitando seu uso como biofertilizante (PIVATO *et al.*, 2016).

De acordo com Ros *et al.* (2018) digestato é todo material orgânico residual ou não, que passou pelo processo de digestão anaeróbia, com objetivo de tratar, estabilizar ou aproveitar os subprodutos resultantes da biodigestão. Já o biofertilizante é um digestato que possui características de interesse agronômico, podendo ser utilizados desde que apresente concentrações convenientes de nutrientes, elementos traços, metais e microrganismos. Neste caso, entende-se que todo biofertilizante pode ser considerado um digestato, mas nem todo digestato pode ser um biofertilizante.

O armazenamento, descarte e gerenciamento do digestato representam desafios para a indústria que busca estabelecer o biogás como uma fonte de energia alternativa e sustentável (VERONEZE *et al.*, 2019). Dahlin *et al.* (2017) diz que as

aplicações promissoras para o uso do digestato como biofertilizante foram encontradas no setor agrícola, onde é usado como condicionador de solo e biofertilizante. Como condicionador, ele se destaca por sua capacidade de melhorar a estrutura do solo, já como um biofertilizante, caracteriza-se pela liberação lenta de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK), além do fornecimento de micronutrientes essenciais para o desenvolvimento do solo.

Veroneze *et al.* (2019) cita a importância de cada um dos nutrientes citados acima, sendo eles fundamentais para que as plantas completem seu ciclo de vida. Os macronutrientes (NPK, Cálcio, Magnésio e Enxofre) são necessários em maiores quantidades, enquanto os micronutrientes (ferro, cobre, zinco, boro, molibdênio e cloro) possuem menor demanda.

De acordo com Agência Alemã de Meio Ambiente, na publicação do livro " Quality assurance of compost and digestate" do ano de 2017 além de todos os nutrientes contidos no digestato, ele ainda pode ser rico em matéria orgânica e húmus decorrentes da biodigestão anaeróbia. As concentrações de húmus e matéria orgânica auxiliam na retenção de nutrientes e água do solo, no equilíbrio do pH através de reações de tamponamento e no desenvolvimento de fungos e microrganismos benéficos às raízes.

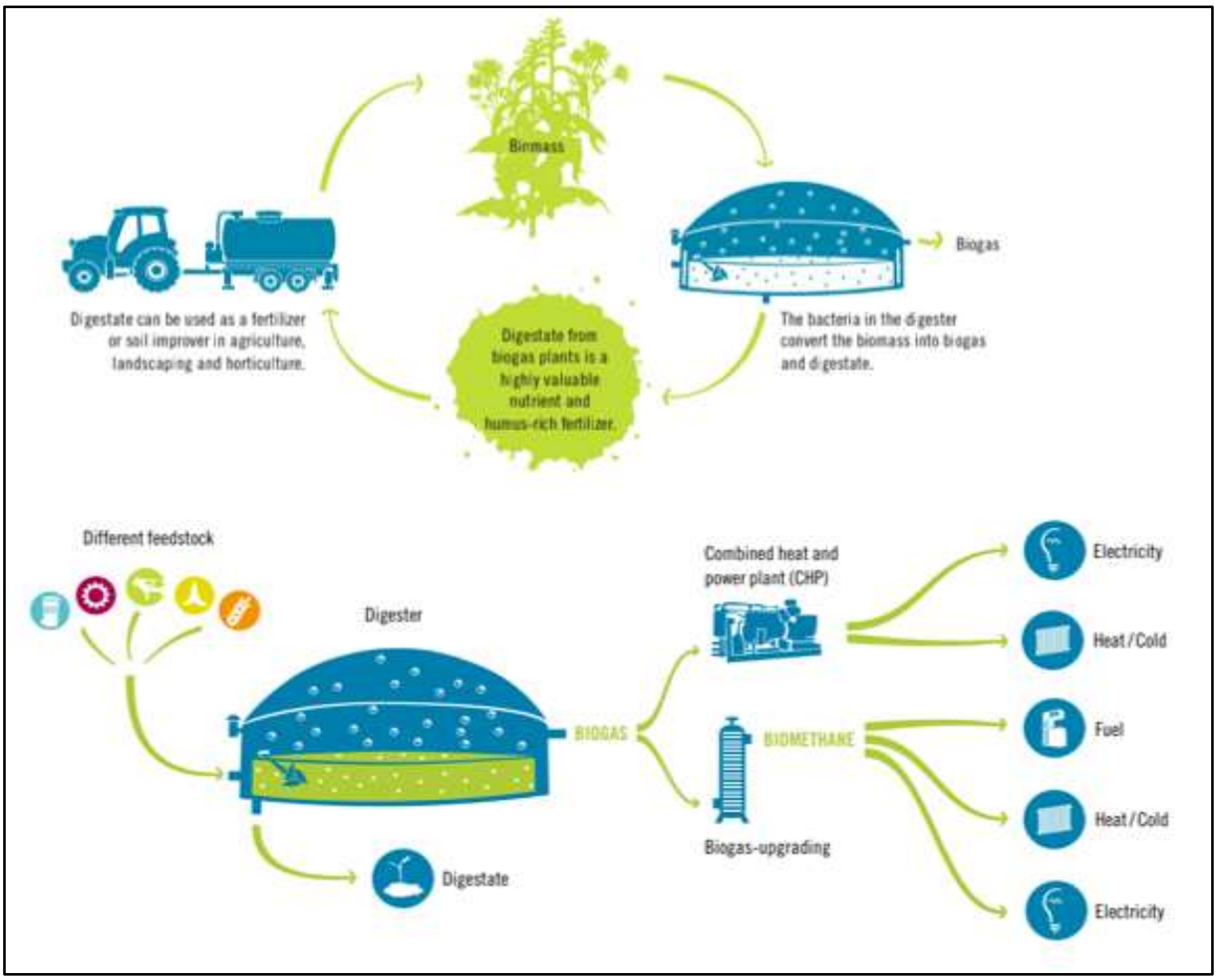
Pesquisas realizadas na Europa mostram as vantagens do uso do digestato em relação à fertilizantes orgânicos minerais, devido a menor lixiviação do nitrato por conta do digestato adicionar substâncias orgânicas ao solo que podem reduzir o número de nutrientes perdidos (SLEPETIENE *et al.*, 2020)**.**

Alburquerque *et al.* (2012) compararam os efeitos do digestato com um fertilizante mineral convencional em uma cultura de melancia. A adição do digestato forneceu ao solo uma fonte de nutrientes disponíveis em curto prazo e teve efeito positivo nas propriedades biológicas do solo, mostrando rendimentos comparáveis ao mineral.

Dados retirados do "Digestate as Fertilizer", material produzido pela GIZ (Agência Alemã de Cooperação Internacional), especializada em projetos de cooperação e de desenvolvimento sustentável à escala mundial, cerca de 128 milhões de toneladas de digestato são produzidos anualmente nas 13.000 usinas de biogás na Europa. Esses fertilizantes contêm ingredientes valiosos que são usados para

abastecer as plantas com nutrientes e húmus acumulado e estrutura no solo. Assim, além do ciclo regenerativo de CO_2 na produção de biogás, todos os outros ciclos de materiais também são fechados.

Figura 4 - Representação esquemática da operação de uma planta de biogás



Fonte: Adaptado GIZ (2018).

Utilizar o digestato como biofertilizante apresenta-se vantajoso em relação a aplicação de dejeto suíno, ou até lodos de estações de tratamento sem passar por nenhum tratamento. As emissões de odor, por exemplo, são significativamente diminuídas devido à degradação de compostos orgânicos voláteis durante a biodigestão anaeróbia. Com os compostos orgânicos degradados o risco de queima de folhas é ligeiramente menor, pois a matéria orgânica, causadora do dano, foi metabolizada em CH_4 (GIZ, 2018).

2.4.1 Aplicações do Digestato

A aplicação de fertilizantes líquidos, incluindo biofertilizantes e dejetos de suínos requer uma atenção maior, já que sua aplicação de forma indiscriminada resultará em contaminação do solo e águas superficiais e subterrâneas (CORRÊA *et al.*, 2011). A perda de nutrientes pela aplicação inadequada também é um impacto notado por Tambone *et al.* (2017) que cita que os nutrientes são a base do valor total (R$) do biofertilizante.

Tambone *et al.* (2017) diz que embora haja um amplo campo de maquinários apropriados, às condições climáticas são uma variável importante para o desempenho total da aplicação. O alto teor de Amônio (NH_4) em conjunto com valores de pH elevados, carrega o risco de perdas na forma de NH_3 durante o armazenamento e aplicação. As concentrações de Amônia (NH_3) podem ser consideradas como nitrogênio mineral disponível no ano de aplicação do biofertilizante, desde que aplicados de forma adequada, evitando volatilização. Ainda, há uma proporção de nitrogênio orgânico que é mineralizado durante a aplicação tornando-se disponível durante a vegetação (GIZ, 2018).

Entre as técnicas para espalhar biofertilizantes líquidos que atendem aos requisitos mencionados acima, estão os processos com mangueiras de arrasto, distribuidores com dragas ou sistemas automatizados de injeção, conforme é apresentado nas Figura 5 (GIZ, 2018).

Figura 5 -Exemplo de equipamentos para aplicação de biofertilizante

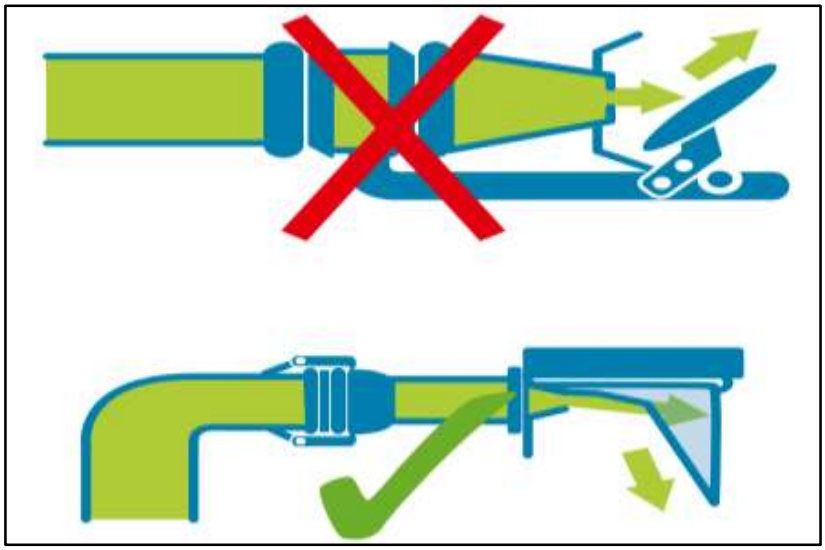
Fonte: Adaptado GIZ (2018).

A distribuição por tanques de aplicação convencionais, conforme Figura 6, não é indicada pelo aceleramento da volatilização do NH_3, inclusive a prática já proibida desde 2016 na Alemanha. No entanto, como é uma técnica econômica, é necessário realizar algumas adaptações nas mangueiras de espalhação (Figura 7). Isso torna possível manter as perdas de NH_3 baixas, visto que a incorporação ocorre de forma imediata, evitando vento e não dispersando tanto em temperaturas elevadas (GIZ, 2018; BARROS *et al*. 2019).

Figura 6 -Exemplo de aplicação convencional de fertilizantes líquidos

Fonte: Fatritol (2021).

Figura 7 -Esquematização da aplicação convencional

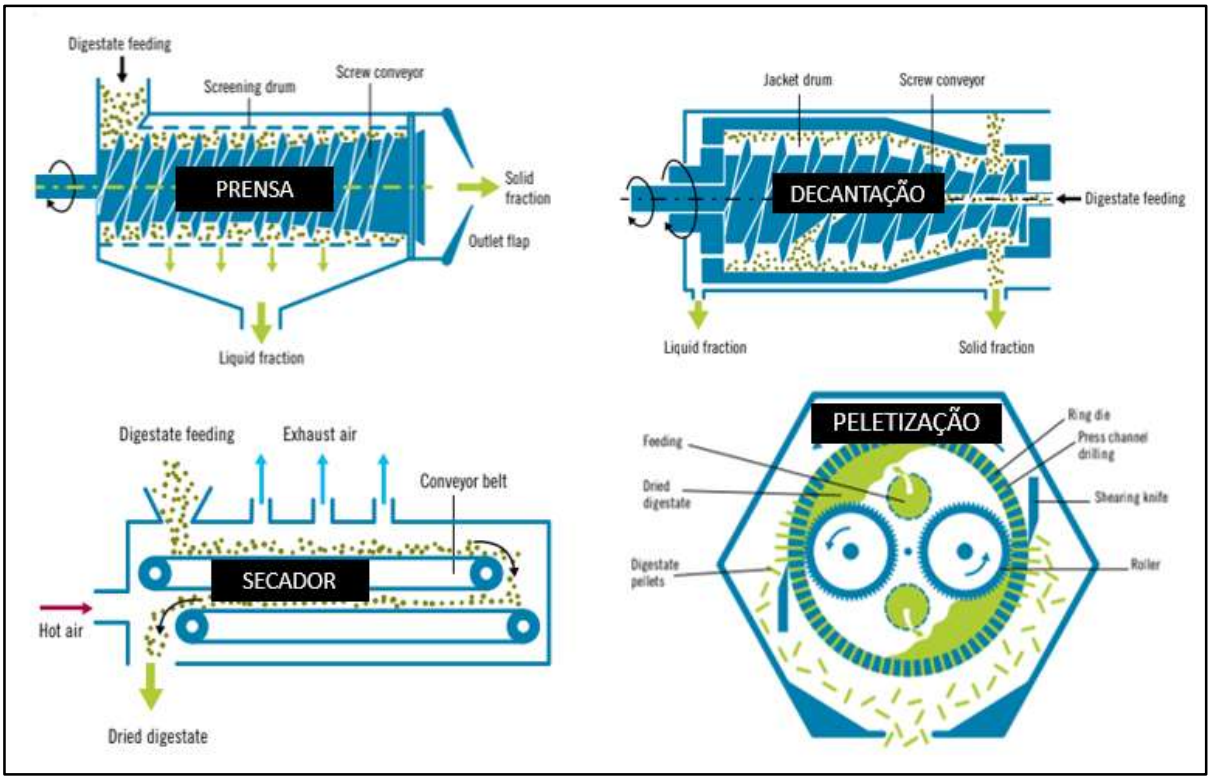


Fonte: GIZ (2018).

Dentre as medidas para aplicação mais adequada, algumas medidas organizacionais são citadas por He *et al.* (2021) para diminuição de perdas no momento de aplicação. Em solos não cultivados a incorporação imediata mostra-se como a medida mais adequada, no entanto em solos onde já se tem culturas a técnica já não é aplicável. Grande parte de perda por NH_3 está correlacionada com o pH, sendo uma medida mitigadora citada pelo autor a acidificação do digestato antes da aplicação.

Algumas técnicas de separação (Figura 8) da fração líquida são utilizadas na Europa, como por exemplo evaporação e filtração por membrana, processos de desidratação e precipitação com posterior granulação ou peletização do material sólido. Em qualquer dos casos, o objetivo é a otimização responsável da gestão de biofertilizantes e nutrientes, promovendo redução de custos e aumento de valor agregado do produto (GIZ, 2018).

Figura 8 -Técnicas de separação da fração líquida do digestato



Fonte: Adaptado GIZ (2018).

2.4.2 Legislações pertinentes ao uso do digestato

A partir do Decreto nº 86.955, de 18 de fevereiro de 1982 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os biofertilizantes se tornaram relevantes e passíveis de serem inseridos na legislação brasileira referente a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura.

Subsequente a este decreto, diversas instruções normativas (IN), publicadas pelo MAPA, a fim de detalhar as leis e decretos anteriores. A Lei nº 6.984, de 16 de dezembro de 1980, alterada pela Lei 12.890 de 2013, dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências.

O Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004, com as alterações do Decreto nº 8.384 de 2014 aprova o regulamento da Lei nº 6.984 de 1980, permite as disposições sobre a inspeção e fiscalização da produção e comercialização de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos.

A IN nº 53 de 23 de outubro de 2013 (BRASIL, 2013), com as alterações da IN nº 3 de 15 de janeiro de 2020 (BRASIL, 2020), estabelece as disposições e critérios para as definições, a classificação, o registro e renovação do registro de estabelecimento, o registro do produto, a autorização de comercialização e uso de materiais secundários, o cadastro e renovação de cadastro de prestadores de serviços de armazenamento, acondicionamento, análises laboratoriais, de empresas geradoras de materiais secundários e de fornecedores de minérios, embalagem, rotulagem e propaganda de produtos, alterações e cancelamentos de registros, produto e cadastro e procedimentos a serem adotados na inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio. Além de incluir o credenciamento de instituições privadas de pesquisa, requisitos mínimos para avaliação da viabilidade e eficiência agronômica com elaboração de um relatório técnico-científico para fins de registro, na condição de produto novo.

Da mesma forma, a IN nº 61 de 08 de julho de 2020 (BRASIL, 2020) estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro,

embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e biofertilizantes. Para efeito da IN, biofertilizante caracteriza-se como:

> Produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando sua produtividade, sem ter em conta o seu valor hormonal ou estimulante.

Tratando-se de biofertilizantes, devem ser expressos da seguinte forma:

a) macronutrientes primários: Nitrogênio (N), Fósforo (P2O5) e Potássio (K2O);
b) macronutrientes secundários: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S);
c) micronutrientes: Boro (B), Cloro (Cl), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Selênio (Se), Silício (Si) e Zinco (Zn);

A IN nº 61 (BRASIL, 2020) menciona que para fertilizantes orgânicos de natureza fluida o Carbono Orgânico (CO) deve ser de, no mínimo 3%, os teores de NPK de 1% e os micronutrientes primários, conforme declarado no registro do produtor/importador. Quando declarado os micronutrientes, os mesmos devem seguir as concentrações previstas na IN.

A IN nº 27 de 05 de junho de 2006 (BRASIL, 2006), com as alterações da IN SDA 07 de 12 de abril de 2016 (BRASIL, 2016) estabelece os limites de concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninha para produzir, importar ou comercializar fertilizantes, biofertilizantes, corretivos e inoculantes.

O limite dos contaminantes inorgânicos e microbiológicos dispostos na IN nº 27 encontram-se dispostos no Quadro.

Quadro 1 - Limites de contaminantes permitidos pela IN 27

CONTAMINANTE		VALOR MÁXIMO ADMITIDO	UNIDADE DE MEDIDA
Arsênio		20	mg/kg
Cádmio		3	mg/kg
Chumbo		150	mg/kg
Cromo hexavalente		2	mg/kg
Mercúrio		1	mg/kg
Níquel		70	mg/kg
Selênio		80	mg/kg
Coliformes Termotolerantes		1.000	NMP/g de MS
Ovos Viáveis de Helmintos		1	nº em 4g ST
Salmonella		Ausência em 10 gramas de matéria seca	
Materiais inertes	Vidros, plásticos, metais < 2 mm	0,5% na massa seca	
	Pedras > 5 mm	5,0% na massa seca	

Fonte: Adaptada IN 27 (BRASIL, 2016). MS: Matéria Seca. ST: Sólidos Totais

Para validação do digestato oriundo da digestão anaeróbia de resíduos agroindustriais como um biofertilizante e obtenção do registro do produto, como o mesmo não se enquadra no art.12 da IN 61, é considerado um novo produto. A IN caracteriza um novo produto como:

> Todo produto novo, nacional ou importado, que não conte com antecedentes de uso no País, em qualquer um de seus aspectos técnicos, somente terá seu registro concedido após relatório técnico-científico conclusivo, emitido por órgão brasileiro de pesquisa oficial ou credenciado, que ateste a viabilidade e eficiência de seu uso agrícola, sendo que os trabalhos de pesquisa com o produto, quando necessários, não deverão estender-se por um prazo maior que três safras agrícolas, salvo quando condições técnicas supervenientes exigirem a sua prorrogação.

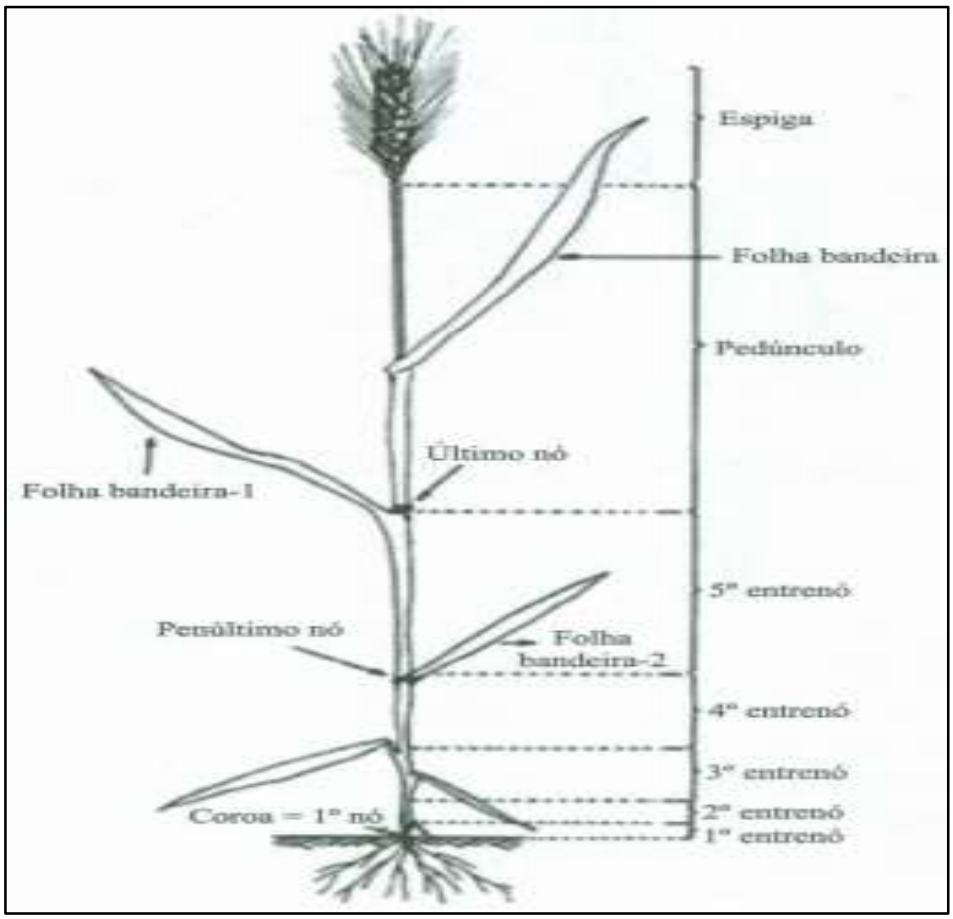
No Brasil, o primeiro registro de Biofertilizante foi em 2018, da empresa brasileira Microquimica. O vorax (biofertilizante), tem ação bioestimuladora e é produzido a partir da fermentação do melaço da cana de açúcar e teve um processo de pesquisa de 6 anos, explorando várias culturas e usos (CULTIVAR, 2019).

2.5 Cultura de Trigo

O trigo (*Triticum aestivum L*.) é umas das principais alternativas de cultura de inverno no Sul do Brasil, sendo uma cultura que possui como característica grande plasticidade de adaptação, podendo ser produzido tanto em regiões tropicais quanto subtropicais. Frequentemente para alcançar altas produtividades a umidade do ar ideal deve estar em até 70% e, quando são ultrapassadas podem acarretar em danos fitossanitários, impactando no rendimento dos grãos (MARSARO JÚNIOR *et al.*, 2020).

A espécie Triticum aestivum L. é hexaploide, estruturada em raízes, colmo, folhas e inflorescência. As plantas têm, no final, de 5 a 6 folhas, correspondendo ao número de nós. Cada folha é composta pela bainha, lâmina, lígula e um par de aurículas, normalmente pilosas, na base da lâmina (Figura 9). A disposição das folhas é alternada, formando ângulos de 180º entre uma folha e outra, até a última. Seu grão, chamado cariopse, é pequeno, medindo em média 6-7 mm, seco e indeiscente. Forma-se apenas um grão a partir de cada flor. O formato dos grãos é muito variável, desde grãos curtos e arredondados até grãos estreitos e compridos, o que causa diferenças significativas no seu peso específico, conforme Scheeren, Castro e Caierão (2015).

Figura 9 - Componentes da planta de trigo

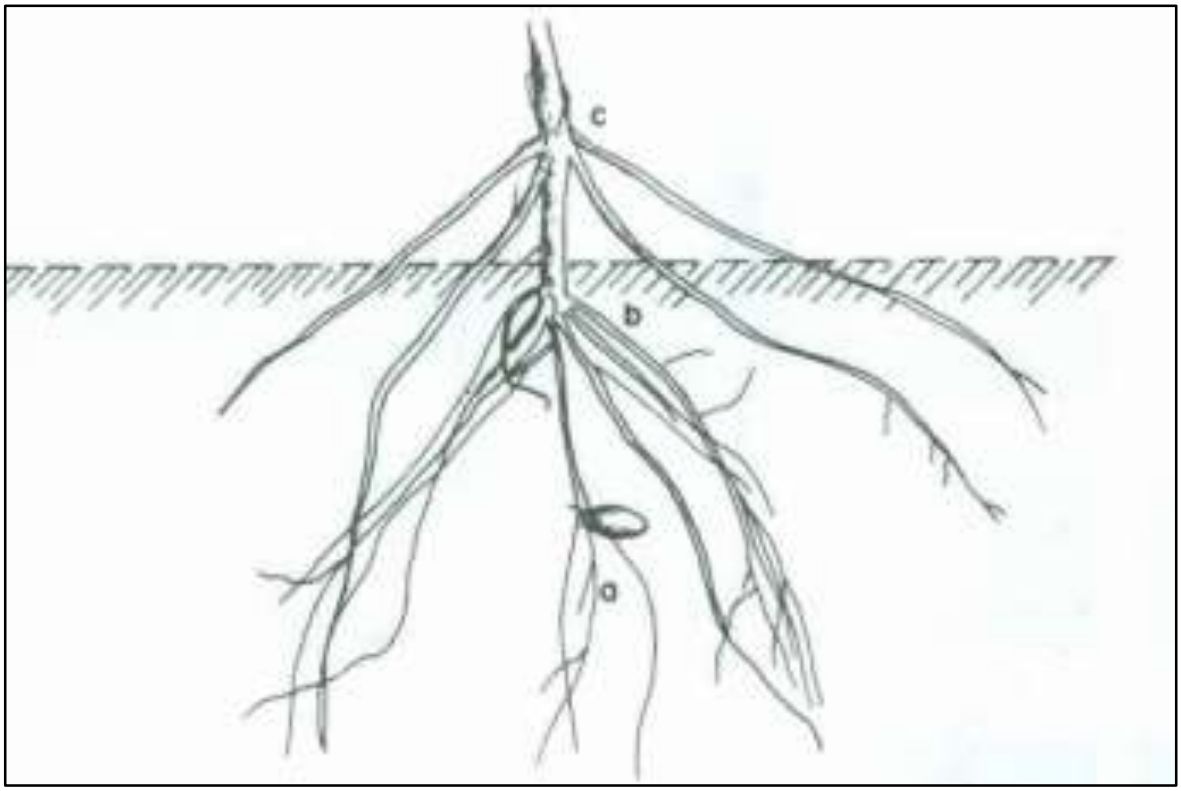


Fonte: Borém (2015).

2.5.1 Sistema Radicular do Trigo

O sistema radicular do trigo é composto por três grupos, conforme Figura 10, onde as raízes seminais são importantes até o início do estado de afilhamento, tendo como função o estabelecimento da plântula. Na maioria das plantas, com profundidade de 1 a 2 cm é formado o coroamento, onde são originadas as raízes permanentes (b), cerca de 20 dias após a emergência. Através do espigamento, o sistema radicular encontra-se pronto, podendo surgir algumas raízes adventícias na superfície do solo, a partir do primeiro e segundo nó da planta (SCHEEREN, CASTRO E CAIERÃO, 2015).

Figura 10 - Sistema radicular do trigo

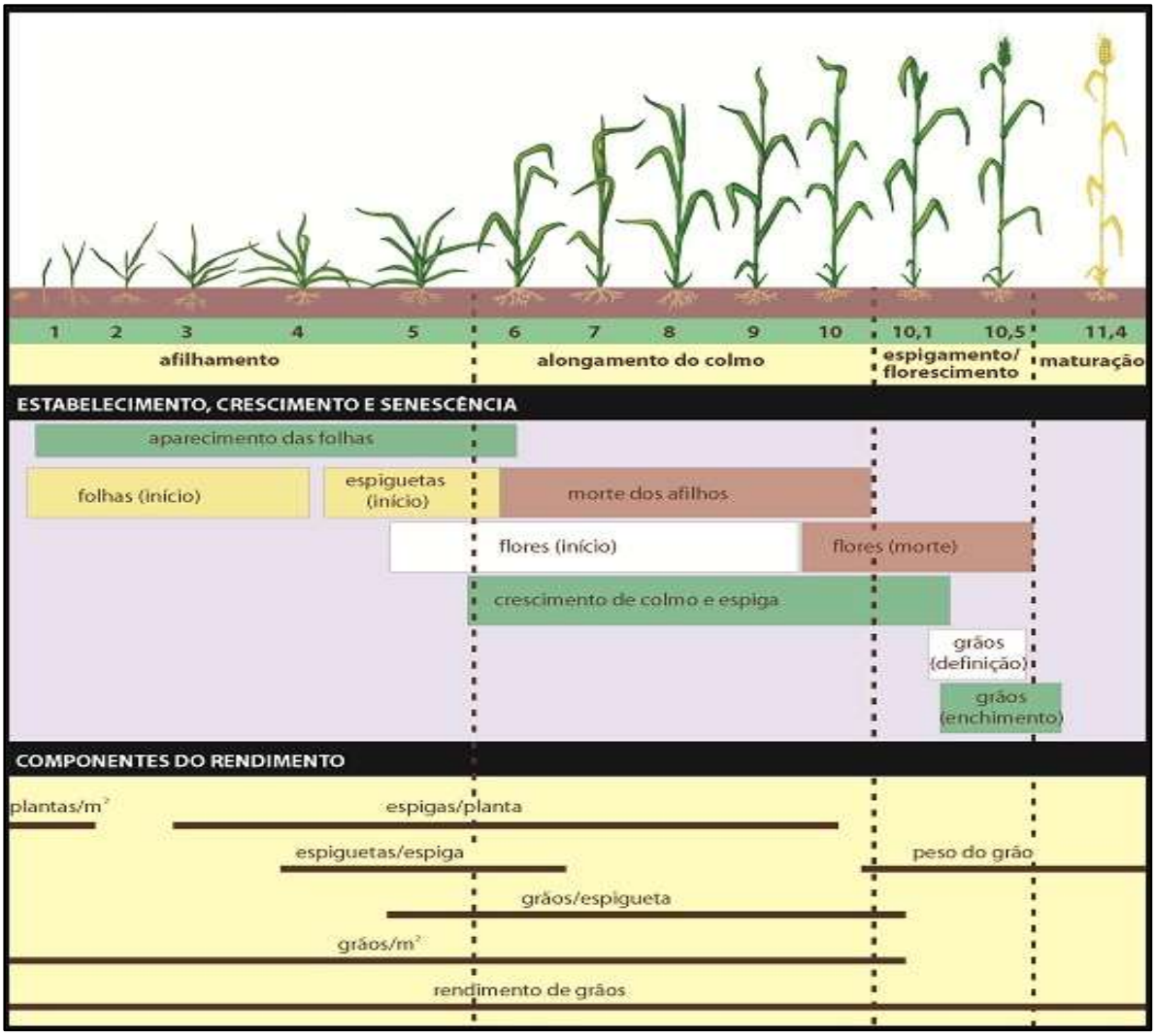


Fonte: Borém (2015)

2.5.2 Estádios do trigo

Borém e Scheeren (2015) relatam que os estádios de desenvolvimento da cultura de trigo é: plântula, afilhamento, alongamento, emborrachamento, espigamento, florescimento, grão em estado leitos, grão em massa, grão em maturação fisiológica e grão maduro, conforme Figura 11. No Quadro 2, é apresentado as temperaturas ideais para cada estádio, porém variações de temperatura são extremamente prejudiciais à cultura.

Figura 11 - Estádios de estabelecimento e crescimento do trigo



Fonte: Embrapa (2014).

Quadro 2 - Temperaturas ideais para o desenvolvimento do trigo

ESTÁDIO	TEMPERATURA
Afilhamento	15 a 20 ºC
Desenvolvimento das folhas	20 e 25 ºC
Pleno desenvolvimento	20 ºC
Fertilização	18 a 24 ºC

Fonte: Embrapa (2014).

2.5.3 Necessidades nutricionais da planta de trigo

De acordo com Borém e Scheeren (2015), a fertilidade do solo deve atender uma demanda nutricional para que a cultura consiga expressar seu máximo potencial produtivo.Todos os elementos são essenciais, Boro, Cálcio, Cloro, Cobre, Ferro, Potássio, Molibdênio, Manganês, Magnésio, Nitrogênio, Níquel, Potássio, Zinco e Enxofre. No entanto, é observado que no Brasil, as limitações que mais afetam os solos são os macronutrientes NPK e S e os micronutrientes Zn e B.

O Manual de Adubação e Calagem do Rio Grande do Sul (2016) diz que a adubação deve ser feita com base na referência de 22 kgN/ha, já que a nutrição com N é diretamente ligada aos processos fisiológicos e metabólicos (síntese de proteínas) que são responsáveis pelo índice de qualidade dos grãos produzidos. O P também é demandado, sendo sua ausência caracterizada por diminuição na taxa de crescimento, na altura e sistema radicular, atraso na emergência das folhas e redução no número de afilhos, biomassa total e grãos. Da mesma forma que o N e P, o K também é demandado devido a deficiência nos solos brasileiros.

O S também é apontado como um nutriente essencial pois é constituinte das proteínas de glúten que, por sua vez, altera a qualidade tecnológica dos grãos. A deficiência de Zn no solo impacta na clorose internerval em folhas, estreitamento da bainha foliar, baixa estatura da planta e pouca emissão de afilhos. Deficiências de B manifestam-se nos órgãos reprodutivos da planta, gerando perdas na produção (MANUAL DE ADUBAÇÃO E CALAGEM RS, 2016).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A avaliação realizada constituiu na caracterização do biofertilizante, em um laboratório externo e certificado pelo MAPA e servindo para definição das concentrações aplicadas no experimento. Foi escolhida a cultura de inverno de trigo para avaliação do potencial agronômico do digestato anaeróbio como biofertilizante. Na Figura 12 é apresentado um resumo gráfico da metodologia.

Figura 12 - Resumo Gráfico da Metodologia

Fonte: Autora (2021)

O experimento foi iniciado na primeira semana de maio, após a estruturação da estufa para condução do teste. A temperatura também foi controlada através de um sistema de exaustor, que era ativado assim que a temperatura ultrapassasse de 22ºC e desativado somente quando a temperatura baixava dos 22ºC.

Em relação às plantas teste foram avaliados alguns critérios como: Percentual de germinação, Estatura das plantas a cada semana até o espigamento, Massa seca e Massa fresca da parte aérea, e ainda contabilizados o número de espiguetas.

Foi avaliado também os substratos após o experimento a fim de comparar o efeito do digestato no solo, para isso todos os tratamentos foram avaliados, bem como o substrato sem nenhum cultivo.

Todos os procedimentos citados acima e outros realizados durante a avaliação estão descritos ao longo da metodologia.

3.1 Estruturação da casa de vegetação

A casa de vegetação será estruturada juntamente com a planta de biogás, onde é gerado o digestato em estudo. A mesma contará com uma estrutura metálica na forma de arcos para moldar o telhado, e vigas de madeira para sustentação em geral. Será utilizado um filme plástico específico para estufas agrícolas (casa de vegetação).

Na Figura 13 pode ser visualizada a estruturação da casa de vegetação onde será executado o presente estudo.

Figura 13 - Estruturação da casa de vegetação

Fonte: Autora (2021).

Antes de iniciar os testes, a temperatura foi monitorada e notou-se que a mesma ficou elevada, faixa de 45ºC por vários períodos durante o dia, principalmente em dias ensolarados, o que seria prejudicial para o cultivo do trigo na casa de vegetação. Diante disso, optou pela abertura de uma janela lateral, conforme mostra anterior (13)

Após a abertura da janela, já com a semeadura e germinação ocorrendo, ainda se notavam temperaturas elevadas nos períodos das 12:00 até 15:00 horas. Como medida resolutiva, optou-se por montar um sistema de circulação de ar através de um exaustor.

O exaustor foi programado para que quando a temperatura interna da casa de vegetação chegasse a 22 ºC, uma ventilação forçada fosse ativada promovendo a circulação do ar até que a temperatura ficasse menor que 22 ºC.

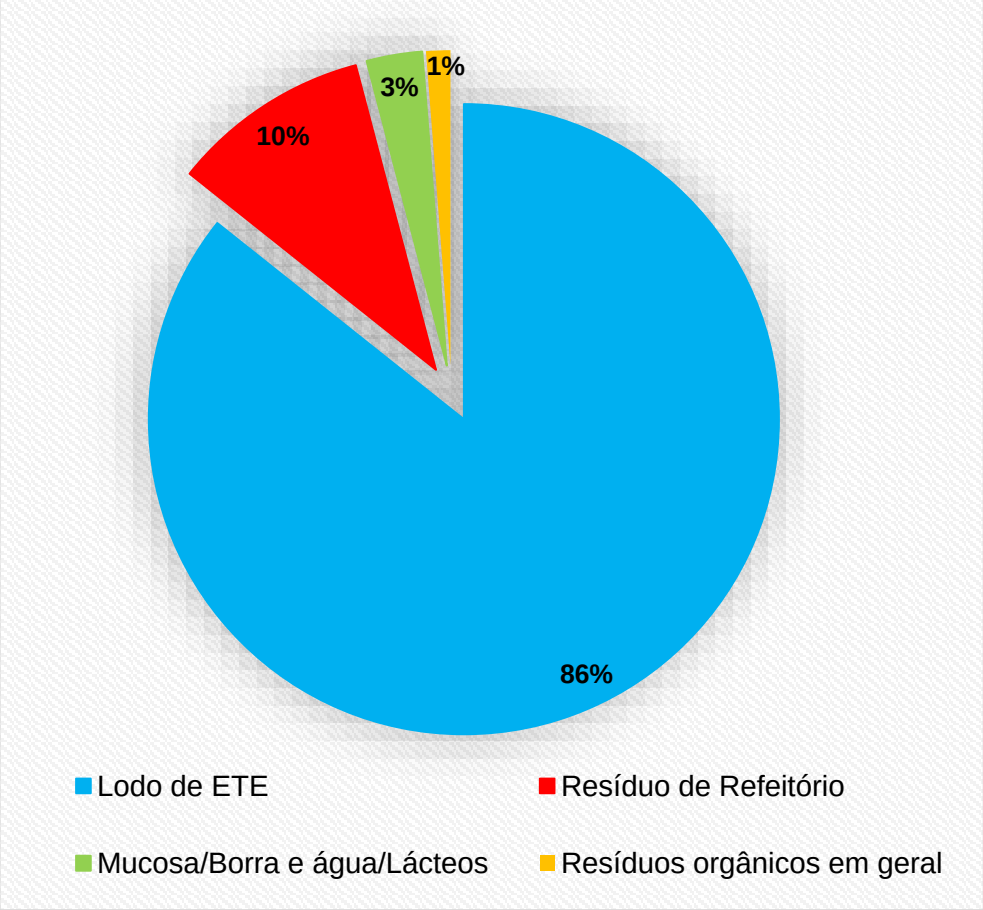
Figura 14 - Sistema de controle térmico da casa de vegetação

Fonte: Autora (2021).

3.2 Digestato anaeróbio (biofertilizante)

O digestato anaeróbio é oriundo de uma planta de biogás que realiza o tratamento de resíduos orgânicos, agroindustriais e alimentícios. Sua composição é basicamente de lodos de estações de tratamento de efluentes de frigoríficos de aves e suínos e de indústrias alimentícias em geral, incluindo restos de processo, resíduos de refeitório, mucosas, entre outras (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Composição do digestato utilizado no experimento



Autora (2021).

O processo de digestão aconteceu em temperatura ambiente, sem aquecimento dos biodigestores, contando apenas com pás agitadoras para homogeneização da biomassa, possuindo um Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) de 45 dias. O pH durante o processo ficou na faixa de 6,0, enquanto o teor de metano em 20%.

Figura 15 - Digestato anaeróbio a ser empregue no cultivo vegetativo do trigo

Fonte: Autora (2021)

3.2.1 Caracterização do digestato

O digestato será caracterizado antes do início dos testes, a fim de quantificar sua composição de macro e micronutrientes, além de metais pesados e contaminantes microbiológicos. O material foi analisado e coletado *in loco* pelo Laboratório Ecocerta, o qual possui certificação pela FEPAM para análises ambientais. No Quadro 3 é apresentado a análise seguido do método utilizado e sua referência.

Quadro 3 - Metodologias de ensaio para caracterização do digestato anaeróbio

PARÂMETRO	METODOLOGIA
Nitrogênio Kjedah	Mapa, 2017 - Macrométodo da liga de Raney
Fósforo Total	Mapa, 2017 - Método espectrofotométrico do ácido molibdovanadofosfórico
Potássio (solúvel em água)	AOAC 2006.03. 21ª edição 2019/EPA 200.7:2001
Carbono Orgânico	Mapa, 2017- Método volumétrico do dicromato de potássio
Relação C/N	Mapa, 2017

Continua

Conclusão

PARÂMETRO	METODOLOGIA
Boro	AOAC 2006.03. 21ª edição 2019/EPA 200.7:2001
Cálcio	AOAC 2006.03. 21ª edição 2019/EPA 200.7:2001
Magnésio	AOAC 2006.03. 21ª edição 2019/EPA 200.7:2001
Sódio	AOAC 2006.03. 21ª edição 2019/EPA 200.7:2001
Zinco	AOAC 2006.03. 21ª edição 2019/EPA 200.7:2001
pH em solução de CaCl2 0,01 mol/L	Mapa, 2017
Umidade a 65 ºC	Mapa,2017
Cobre	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019-Modificada/EPA 200.7:2001
Ferro	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 -Modificada / EPA 200.7: 2001
Manganês	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 -Modificada / EPA 200.7: 2001
Zinco	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 -Modificada / EPA 200.7: 2001
Arsênio Total	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 -Modificada / EPA 200.7: 2001
Cádmio Total	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 -Modificada / EPA 200.7: 2001
Chumbo Total	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 -Modificada / EPA 200.7: 2001
Cromo Hexavalente Total	EPA 3060A:1996 / EPA 7196A:1992
Mercúrio Total	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 -Modificada / EPA 200.7: 2001
Níquel Total	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 -Modificada / EPA 200.7: 2001
Selênio Total	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 -Modificada / EPA 200.7: 2001
Coliformes Termotolerantes	CETESB L5.406 / 2007
Ovos Viáveis de Helmintos	Essential of parasitology 6ª ed., 1995
Salmonella sp	SMWW 23ª 9260 B

Fonte: Autora (2021).

3.3 Escolha do Substrato

O substrato escolhido para a avaliação foi da marca Carolina Soil, que segundo IN nº 5 de 2016 do MAPA (BRASIL, 2016), tem classificação F, ao qual o substrato é

qualificado, indica a origem e os tipos de matérias-primas utilizadas na sua fabricação que são de:

> Origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria isentos de despejos sanitários,onde não sejam utilizados no processo metais pesados tóxicos, elementos ou compostos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura. E, matéria-prima de origem mineral ou sintética, resultando em produto de utilização segura na agricultura (Instrução Normativa nº 5 de 2016).

Portanto, trata-se de um material não inerte que possui nutrição inicial ao desenvolvimento das plantas.

3.4 Taxa de Aplicação de digestato no experimento

A taxa de aplicação levou em conta as necessidades nutricionais da cultura de trigo, citada no capítulo 2, relacionada com a característica do digestato em questão. Na Tabela 1 é apresentado a referência para cálculo de fertilização do solo, levando em conta que se trata de um substrato inerte, contendo apenas características necessárias para o desenvolvimento da planta.

Tabela 1 - Referência para cálculo de fertilização

CULTURA	RR* (ton/ha)	ADUBAÇÃO DE MANUTENÇÃO		
		N	P	K
Trigo	3,0	60+30*(ER-RR)	45+15*(ER-RR)	30+10*(ER-RR)

ER= Eficiência Esperada, RR = Rendimento de referência. Fonte: Adaptado SBCS (2004).

Por se tratar de um substrato inerte, a adubação adequada para a cultura é a de manutenção, que é calculada em função de uma dose de manutenção adicional a ser aplicada de acordo com a expectativa de rendimento, que nesse caso foi de 4 toneladas por hectare. Para atender o rendimento esperado, a necessidade de fertilização é de 90:60:60 (N:P:K).

Os vasos utilizados para o experimento são para cultivo de mudas diversas, com furos para escoamento de água, volume de 2,7 litros e foram preenchidos deixando uma borda de 2 cm, totalizando cerca de 400 gramas de substrato por vaso.

Todos eles foram devidamente identificados. Considerando a área do vaso, através da equação 1 chegou-se a um resultado de 22,70 cm², equivalente à 0,023 m²

$$A\ (m^2)\ =\ \frac{\pi D^2}{4} \qquad (1)$$

Com o resultado do laudo de classificação da Ecocerta, foi realizada uma correlação de quantidade de nutrientes por tonelada de digestato, conforme apresentado na Tabela 1. As numerações das colunas fazem referência à quantidade em toneladas dos nutrientes dispostos nas linhas.

De acordo com a Embrapa (2010) é viável e recomendado que sejam aplicadas até 10 toneladas por hectare, que no caso do digestato, totalizando uma concentração em kg de nutrientes de 22,80:50,40:6,10 (N:P:K). Relacionando a área do vaso chegamos nos seguintes valores:

$$\frac{10.000{,}00\ m^2 = 10\ toneldas}{0{,}023\ m^2 = x} = 23\ gramas \qquad (2)$$

Logo, a quantidade de digestato a ser aplicado, atendendo o limite de 10 toneladas proposto anteriormente, seria de 23 gramas. Considerando a densidade do material, que é de 0,84 gramas/cm³ tem-se um valor de 27,38 mL total de digestato, que dividido pelas 3 aplicações, resulta em 9,13 mL por aplicação.

Considerou-se como base para as aplicações 10 mL, totalizando as quantidades citadas no quadro abaixo. Além dos tratamentos citados, foi utilizado um Tratamento Controle (BRANCO).

Quadro 4 - Nomenclatueas e taxas de aplicação adotadas no experimento

TAXA DE APLICAÇÃO	TOTAL APLICADO	NOMENCLATURA
10 mL	30 mL	C1
15 mL	45 mL	C2
20 mL	60 mL	C3
30 mL	90 mL	C4
45 mL	135 mL	C5
0 mL	0 mL	B

Fonte: Autora (2021).

Desta forma, optou-se por testar diferentes taxas de aplicações, considerando que se o produto for classificado como biofertilizante a sua aplicação poderá se dar com base nos requisitos da planta, e estes serem superiores aos limites aqui testados.

Quadro 5 - Carga nutricional equivalente a cada concentração de digestato aplicada

NOMENCLATURA	TAXA DE APLICAÇÃO (m^3/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
C1	30	50,40	6,10	22,80
C2	45	75,60	9,15	34,20
C3	60	100,80	12,20	45,60
C4	90	151,20	18,30	68,40
C5	135	226,80	27,45	102,60

Fonte: Autora (2021).

A aplicação será de forma parcelada, durante 3 períodos de desenvolvimento do trigo, sendo a primeiros 3 dias antes da semeadura, após a emergência das plantas (25 dias) e no perfilhamento (45 dias), conforme pode ser visto no Quadro 6.

Quadro 6 - Aplicações do digestato durante o experimento

APLICAÇÃO	PERÍODO
1ª	3 dias antes da semeadura
2ª	25 dias após a semeadura
3ª	45 dias a partir da semeadura

Fonte: Autora (2021).

Os 60 vasos foram dispostos sobre as bancadas, na casa de vegetação, em delineamento experimental casualizado, de maneira que todas as concentrações ocupassem todas as posições.

3.5 Semeadura

A cultura escolhida foi a de trigo, pensando na importância da mesma para a agricultura, larga escala de produção e consequentemente, alta demanda de fertilização das áreas a serem cultivadas.

As sementes são da marca Biotrigo Genética, do tipo Audaz (Figura 20), comercializadas pela Agrícola Ferrari Ltda. de Passo Fundo/RS. A semeadura foi feita com base na área do vaso, totalizando em 21 sementes por vaso, a uma profundidade de aproximadamente 2 a 4 cm conforme indicações da Embrapa (2000).

Figura 16 - Sementes de trigo e sua disposição nos vasos

Fonte: Autora (2021).

3.5 Monitoramento do desenvolvimento vegetativo das plantas

Diariamente o desenvolvimento foi avaliado em relação a sua germinação e quantidade de plantas que emergiram até o 10º dia, obtendo assim o Percentual de Germinação (PG). Da mesma forma, foi verificada a Estatura das Plantas (EP) a cada semana, com auxílio de uma régua.

A irrigação foi realizada conforme necessidade verificada *in loco*, garantindo que todas as concentrações recebam a mesma quantidade de água. A Figura 17 ilustra como foram as irrigações.

Figura 17 - Irrigação semanal das plantas teste

Fonte: Autora (2021).

As três aplicações do digestato foram de acordo com o Quadro 6, e seguindo as concentrações do Quadro 5. Para aplicação, o digestato foi retirado da geladeira para ambientação da temperatura e homogeneizado. Em seguida sugado até o volume final da seringa, cuidando para não haver a formação de bolhas, sendo removido o excesso, até restar o volume de aplicação. Após as aplicações o digestato foi acondicionado em geladeira, novamente, para manter suas características.

Figura 18 - Aplicação do digestato nas plantas teste

Fonte: Autora (2021).

3.6 Avaliação e desenvolvimento das plantas utilizadas no experimento

No final do experimento foram realizadas análises a fim de avaliar o desenvolvimento das plantas e, o efeito da aplicação do digestato nas diferentes concentrações, buscando encontrar a concentração mais adequada. Para isso, foi determinado o Percentual de Germinação (PG), Estatura das Plantas (EP), Massa Fresca da Parte Aérea (MFA) e Massa Seca Parte Aérea (MSA). Além disso, quantificou-se o Número de espiguetas (NE).

3.6.2 Estatura das Plantas (EP) e Percentual de Germinação (PG)

A EP foi realizada de forma intercalada, dia sim, dia não, a partir da germinação das sementes, com auxílio de uma régua, como mostra a Figura 19. Todas as plantas que germinaram foram avaliadas e medidas. Já o PG será contabilizado até o 15º dia após a semeadura, contabilizando todas as plantas que emergiram, sendo todos os vasos contabilizados, também.

Figura 19 - Avaliação semanal da estatura das plantas

Fonte: Autora (2021).

3.6.2 Número de Espiguetas (NE)

Ao final do experimento foi realizado a contagem do NE, por vaso, baseado em Mantai *et al.* (2016). As estruturas observadas estão identificadas e apresentadas no capítulo 2. Seguindo o mesmo padrão, todos os vasos serão contabilizados na avaliação.

3.6.3 Caracterização do substrato final

Também ao final do experimento foi encaminhado ao Laboratório de Solos da Universidade de Passo Fundo, registrado no MAPA, os substratos para avaliar o efeito das aplicações do digestato. Para isso, foi homogeneizado todo substrato das 10 repetições de cada tratamento, coletado, embalado e encaminhado. Para fins de

comparação, avaliou-se o substrato de todos os tratamentos, e o substrato antes do cultivo. Entende-se por substrato o solo utilizado para conduzir este experimento.

Todas as metodologias para determinação dos parâmetros seguiram os protocolos definidos pelo ROLAS (Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina).

Os parâmetros avaliados estão apresentados no quadro abaixo.

Quadro 7- Parâmetros avaliados no substrato (solo após experimento)

PARÂMETRO	**METODOLOGIA**
pH	ROLAS
Índice SMP	ROLAS
Fósforo	ROLAS
Potássio	ROLAS
Matéria Orgânica	ROLAS
Alumínio	ROLAS
Cálcio	ROLAS
Magnésio	ROLAS
Saturação por alumínio	ROLAS
Zinco	ROLAS
Cobre	ROLAS
Mangânes	ROLAS
Boro	ROLAS
Enxofre	ROLAS

Fonte: Autora (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos a partir da aplicação do digestato anaeróbio oriundo do tratamento de resíduos orgânicos de uma planta de biogás, no cultivo agrícola do Trigo (nome científico), como foco no seu potencial de biofertilização.

Iniciado pela caracterização realizada do digestato anaeróbio, comparando com limites esperados para um fertilizante orgânico, já que não existe legislação específica para biofertilizantes provenientes da digestão anaeróbia. Em seguida, são apresentados os dados referentes ao acompanhamento das plantas-testes e as análises realizadas.

4.1. Caracterização do digestato

O digestato anaeróbio utilizado como biofertilizante nos Tratamentos C1, C2, C3, C4 e C5 foi analisado quanto aos seguintes parâmetros físico-químicos: Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio. Enxofre, umidade a 65ºC, Boro, Cobre, Ferro, Manganês, Sódio e Zinco, seguindo as metodologias descritas anteriormente no trabalho. As avaliações apresentaram os resultados expostos na Tabela 2 e serviram como base para caracterização do material. As características obtidas foram comparadas com os trabalhos de Nicoloso (2014), Soares *et al.* (2014) e Jurgutis *et al*. (2021), para avaliar o potencial do digestato analisado no presente estudo.

Tabela 2- Resultados das análises físico-químicas do digestato anaeróbio

PARÂMETROS	UNIDADE DE MEDIDA	DIGESTATO AVALIADO	Nicoloso (2014)	Soares (2014)	Jurgutis (2021)
Carbono Orgânico	%	60,3	-	-	2,7
Enxofre	%	0,4	-	-	-
Nitrogênio	%	3,6	0,25	2,03	0,63
Potássio	%	0,44	0,11	0,6	0,18
Fósforo Total	%	1,63	0,21	0,37	0,13
pH	N/A	5,87	-	-	7,94
Umidade	N/A	86,00	-	-	50,91
Boro	%	0,01	-	-	-
Cálcio	%	1,67	-	-	-
Cobre	%	0,02	-	-	-
Ferro	%	0,29	-	-	-
Magnésio	%	0,24	-	-	-
Manganês	%	0,01	-	-	-
Sódio	%	0,41	-	-	-
Zinco	%	0,06	-	-	-

1: Nicoloso (2014), 2: Soares (2014), 3: Jurgutis (2021). Fonte: Autora (2021)

Nicoloso (2014) avaliou as características do digestato líquido oriundo de uma planta de biogás que tratava dejetos de suínos, carcaças de suínos, resíduo de incubatório de aves, lodo de sistema de tratamento de efluentes de frigorífico e cama de aviário, característica de substratos similares com o em avaliação. Ele chegou em 0,25:0,21:0,11 de NPK em percentual (%) para o digestato líquido.

Soares *et al.* (2014) cita em seu estudo a quantidade de nutrientes associados a alguns resíduos agroindustriais que são utilizados comumente como substrato para digestão anaeróbia, chegando a uma relação NPK (%) de 0,37:0,60:2,03 na vinhaça de cana e 1,40:1,94:0,39, em resíduo de Torta de Filtro. *Jurgutis et al.* (2021) quantificou a concentração NPK de um digestato líquido composto por dejeto de aves diluído, resíduos de alimento e biomassa agrícola de milho e beterraba, chegando ao resultado de 0,63:0,18:0,13.

Comparando os resultados encontrados, o teor de nitrogênio do digestato avaliado ficou ligeiramente maior, sendo que o mais próximo foi o de Soares *et al*. (2014) de 2,03%, ficando 1,57% abaixo do em questão. Em relação aos outros nutrientes, P e K, o comportamento foi o mesmo, no entanto a diferença entre os digestatos ficou menor. Nos teores de P o digestato de Nicoloso (2014) ficou mais próximo, com diferença de 0,33% e de K, diferença de 1,26% entre Soares et al. (2014) e o avaliado neste estudo. Em relação ao Carbono Orgânico, o digestato do estudo ficou cerca de 22 vezes maior que o utilizado por Jurgutis *et al*. (2021), enquanto o pH de Jurgutis *et al*. (2021) encontra-se maior, indicando que a estabilização do material.

Acredita-se que a maior concentração de nutrientes do digestato avaliado em relação aos autores citados acima está relacionado com os substratos utilizados nos processos de digestão anaeróbia, sendo que em sua totalidade o que mais é utilizado são lodos orgânicos de tratamento de efluentes de frigoríficos e indústrias alimentícias, ricos em matéria e orgânica e com maior presença de nutrientes quando comparado a dejetos líquidos de suínos e biomassas agrícolas. Corroborando com Kunz *et al.*, (2019) que cita que o fator limitante para a qualidade do digestato final sempre será o substrato utilizado na planta de biogás, aliado aos controles operacionais necessários.

Analisando o valor de pH de 5,87 podemos concluir que o digestato não estava totalmente estabilizado e equilibrado para uso em solo agrícola, já que o valor ideal deveria ser entre 6,0 e 7,5. Além disso, o pH é um indicativo de que o processo como um todo está equilibrado e que a digestão anaeróbia está ocorrendo de maneira completa em todas as suas fases. Em situações de valores mais baixos, como nesse caso, a tendência é que a quantidade de ácidos produzidos no sistema seja maior, logo, a qualidade do digestato final é menor (LI *et al*.,2019).

A relação C/N também é um indicativo da proporção de Carbono e Nitrogênio encontrada no digestato em estudo e através dela também é possível mensurar a estabilização do mesmo. Na caracterização a proporção encontrada foi de 16,75/1, que de acordo com Siddique e Ab Wahid (2018) quando a relação C/N é menor de 20/1 entende-se que o digestato está pronto para uso agrícola. Vale ressaltar que é

necessário avaliar os demais parâmetros de importância agronômica antes de iniciar a aplicação bem como a necessidade de aplicação do cultivo.

4.1.1. Comparação do digestato com os limites de tolerância do MAPA

Referente aos limites mínimos de macro e micronutrientes estabelecidos na IN 61 (BRASIL, 2020), e os limites máximos de contaminantes da IN 27 (BRASIL, 2016) na Tabela 3 é apresentado uma comparação entre elas e a caracterização do digestato utilizado no estudo.

Tabela 3 - Caracterização do digestato anaeróbio em relação à legislação brasileira

PARÂMETRO	UNIDADE	DIGESTATO	LEGISLAÇÃO
Carbono Orgânico	%	60,3	3,00*
Enxofre	%	0,4	1,00*
Fósforo Total	%	1,63	1,00*
Nitrogênio	%	3,6	1,00*
pH	N/A	5,87	N/A
Umidade	%	86	N/A
Boro	%	<0,5	0,01*
Cálcio	%	1,67	1,00*
Cobre	%	0,02	0,02*
Ferro	%	0,29	0,10*
Magnésio	%	0,24	1,00*
Manganês	%	0,01	0,02*
Potássio	%	0,44	1,00*
Zinco	%	0,06	0,10*
Arsênio Total	mg/kg	<0,5	20,0 **
Cádmio Total	mg/kg	0,2	3,0**
Chumbo Total	mg/kg	1,8	150,0 **
Cromo Hexavalente Total	mg/kg	1,6	2,0 **
Mercúrio Total	mg/kg	<1,0	1,0**

Continua

Conclusão

PARÂMETRO	UNIDADE	DIGESTATO	LEGISLAÇÃO
Níquel Total	mg/kg	7,0	70,0**
Selênio Total	mg/kg	<0,1	80,0**
Coliformes termotolerantes	(NMP/g de MS)***	130	1.000,0**
Ovos viáveis de helmintos	nº em 4g de ST****	<1	1,0*
Salmonella sp	25 UFC/g*****	Ausência	Ausência

*Valores mínimos de acordo com a IN 61 (BRASIL, 2020). **Valores máximos admitidos de metais - IN 27 (BRASI, 2016). Fonte: Autora (2021). *** Número mais provável por grama de matéria seca. **** Número por quatro gramas de matéria seca. ***** Ausência em 25 gramas de matéria seca.

Através da Tabela 3 é possível observar e comparar o digestato com o que está previsto nas legislações pertinentes. Podemos assegurar que todos os contaminantes, orgânicos (Coliformes termotolerantes, Ovos viáveis de helmintos e Salmonella sp) e inorgânicos (Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cromo hexavalente, Mercúrio, Níquel e Selênio) estão dentro do máximo permitido.

Quanto aos valores mínimos, apenas o Magnésio, com concentração de 0,24% está abaixo do mínimo requisitado de 1,0%. No entanto, tal fato não anula a validação do digestato, já que a IN 61 (MAPA, 2020) menciona que somente os macronutrientes (NPK) devem atingir os limites mínimos necessários. Os macronutrientes só devem ter o teor mínimo quando são declarados no produto a ser comercializado, nesse caso, para a validação do digestato, as garantias seriam somente de NPK.

Já o restante dos elementos encontra-se acima do mínimo, dessa forma, é possível afirmar que o digestato anaeróbio pode ser utilizado como um biofertilizante agrícola, lembrando que as legislações utilizadas para comparação se referem a fertilizantes orgânicos, já que não existe uma específica para biofertilizantes provenientes da digestão anaeróbia. Tomou-se o cuidado para compararmos os valores de fertilizantes orgânicos líquidos para aplicação em solo, ou seja, com as mesmas características do digestato anaeróbio e de acordo com a forma de aplicação desse.

4.2. Desenvolvimento vegetativo das plantas de trigo

O acompanhamento das plantas foi feito de forma visual durante sua evolução. A semeadura foi realizada no dia 11 de maio de 2021 e as primeiras germinações foram notadas 6 dias após a semeadura (Figura 20). Na Figura 20 é apresentado através de uma linha de tempo um relatório fotográfico que ilustra o comportamento dos cultivares durante todo o período de avaliação.

Figura 20 - Desenvolvimento das plantas de trigo 6 dias após a semeadura

Fonte: Autora (2021)

Figura 21 - . Evolução mensal do desenvolvimento das plantas de trigo

Fonte: Autora (2021)

Optou-se por fazer as imagens de maneira geral entre períodos diferentes, já que não foi notado discrepância significativa entre elas.

A primeira aplicação do digestato foi no dia 08 de maio, 3 dias antes da semeadura, a segunda no dia 03 de junho e a terceira no dia 05 de julho, conforme figura 22 onde é apresentado na primeira fileira as imagens da aplicação e na segunda fileira, dias após a aplicação. Após a segunda e a terceira aplicação percebeu-se que o digestato aplicado formaram crostas que foram se desfazendo conforme as irrigações iam acontecendo. Acredita-se que tal fato não prejudicou em nada o desenvolvimento das plantas.

Figura 22 - Aplicações de digestato realizadas durante o experimento

Fonte: Autora (2021)

A avaliação das plantas foi finalizada a aproximadamente 120 dias do início do experimento, sendo que na etapa final de espigamento e início de maturação notou-se o ataque de um fungo, como pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 -Aplicações de digestato realizadas durante o experimento

Fonte: Autora (2021)

Os primeiros focos do fungo foram notados no início do mês de agosto, de forma muito tímida, apenas em algumas folhas aleatórias. Aos poucos foi evoluindo de forma generalizada. Optou-se por seguir com o experimento até a fase final.

O fungo foi identificado como Oídio, de nome científico *Blumeria graminis f.sp. tritici*, através da semelhança e características em comum. De acordo com Casa e Reis (2016) o Oídio ou cinza do trigo, como é conhecido popularmente, é uma doença biótica originada de um parasitismo de um microrganismo patogênico sobre a planta. A doença é caracterizada pela presença dos sinais do patógeno na superfície dos tecidos verdes do hospedeiro, sobre os quais são encontradas estruturas vegetativas e reprodutivas do fungo, tais como micélio, conidióforos e conídios, o que justifica o nome popular de cinza.

O fungo sobrevive em plantas de trigo voluntárias e podem sobreviver como micélio dormente ou cleistóticos nos restos culturais, sendo as plantas a principal fonte de inóculo do fungo. O vento é o principal agente de disseminação dos conídios do fungo, podendo causar danos severos, determinando até a morte das folhas jovens, bem como parasitar a espiga (CASA E REIS, 2016).

Os conídios não requerem molhamento foliar como estímulo à germinação, e a temperatura ótima para o Oídio é entre 15 e 22 ºC associado a umidade elevada. Portanto, acredita-se que a irrigação frequente, aliada ao microclima característico da estufa tenha contribuído para a proliferação do fungo (CASA E REIS, 2016).

Tal fato também foi observado por Mallmann (2019), que avaliou o digestato oriundo de dejeto de aves e efluente de ovos, no cultivo de Aveia em uma casa de vegetação. Portanto, acredita-se que para avaliações futuras, seja considerada a hipótese de uma escala piloto.

Conforme Lau, Martins e Sbalcheiro (2021), os níveis dos danos provocados pela doença variam de acordo com o estádio de desenvolvimento dos cultivares. Quando a doença ocorre nos estádios mais tardios, como é o caso, o número e tamanho dos grãos é diretamente afetado, além da diminuição em cerca de 10% do conteúdo de amino e proteína dos mesmos. Enquanto a respiração da planta é aumentada consideravelmente, impactando em desajustes fisiológicos e à diminuição do vigor e do porte. A principal medida de controle é o uso de cultivares resistentes e aplicação de fungicidas específicos.

Nas plantas-testes avaliadas, estima-se que os danos no preenchimento dos grãos foram em torno de 80%, já que o ataque foi de forma severa e generalizada.

4.2.1. Percentual de Germinação

A análise do número de plantas germinadas levou em consideração a média dos dez vasos adotados para cada tratamento, obtendo-se o percentual de germinação e o desvio padrão. A Figura 20, apresentada anteriormente, ilustra o período inicial de germinação das plantas-teste.

Na Tabela 4 são apresentados os percentuais de germinação obtidos de cada tratamento no experimento. Para isso, já que algumas plantas tiveram germinação mais tarde, considerou-se o número de plantas do final do experimento.

Tabela 4 - Percentual de germinação das plantas-teste ao final do experimento nos diferentes tratamentos

TRATAMENTO	% GERMINAÇÃO	DESVIO PADRÃO
BRANCO	93%	8,02%
C1	95%	7,28%
C2	89%	6,67%
C3	81%	6,91%
C4	89%	6,91%
C5	75%	7,53%

Fonte: Autora (2021)

A partir destes dados, é possível constatar que o maior percentual de germinação foi encontrado no C1, com 95%, seguido pelo BRANCO. As concentrações C2 e C4 obtiveram o mesmo percentual, enquanto que o C5 apresentou apenas 75% de germinação, representando 25% de quebra na quantidade das sementes. Tal fato deve ser observado na tomada de decisão de aplicação do mesmo, considerando os custos desta quebra.

As perdas observadas no tratamento C5 pode estar associada com o que Silva *et al.* (2014) avaliou, aplicando diferentes doses (0, 50, 100 e 150 m^3 ha^{-1}) de biofertilizante de aves sobre a produção de forragem de cultivares de *Brachiaria brizantha*, verificou em seu trabalho que taxas de aplicação muito altas (100 e 150 m^3 ha^{-1}) de biofertilizantes podem causar a morte do cultivar avaliado. E, Matos *et al.* (2015), afirma que taxas baixas não têm interferência e não apresentam melhoras no desenvolvimento das plantas-teste.

Em nível nacional ainda não existem bioensaios em relação a fitotoxicidade do digestato, bem como legislações, normativas ou regulamentos. De acordo com o Decreto Legislativo 75/2010 da legislação italiana (ITÁLIA, 2010), percentuais de germinação maiores ou iguais a 60% são considerados aceitáveis para o uso agronômico do digestato, não havendo problemas fitotóxicos. A fitotoxicidade é um fenômeno que pode ser evidenciado nas diversas etapas do desenvolvimento de um vegetal e é causada por substâncias encontradas em sais, metais, defensivos

agrícolas ou ainda, alta concentração de acidez volátil e baixos valores de pH. Nesse caso, de acordo com os percentuais encontrados, todos eles ultrapassam o limite mínimo da legislação italiana.

O autor Belo (2011) propôs em seu estudo faixas de classificação da fitotoxicidade do digestato correlacionando com o percentual de germinação das plantas, sendo estas apresentadas no Quadro 8, abaixo.

Quadro 8 - Faixas de fitoxicidade de digestatos anaeróbios

FAIXA	**CARACTERÍSTICA**
<30%	Muito fitotóxicos
entre 30 e 60%	Fitotóxicos
entre 80 e 100%	Moderadamente fitotóxicos
acima de 100%	Fitoestimulantes

Fonte: Adaptado Belo (2011).

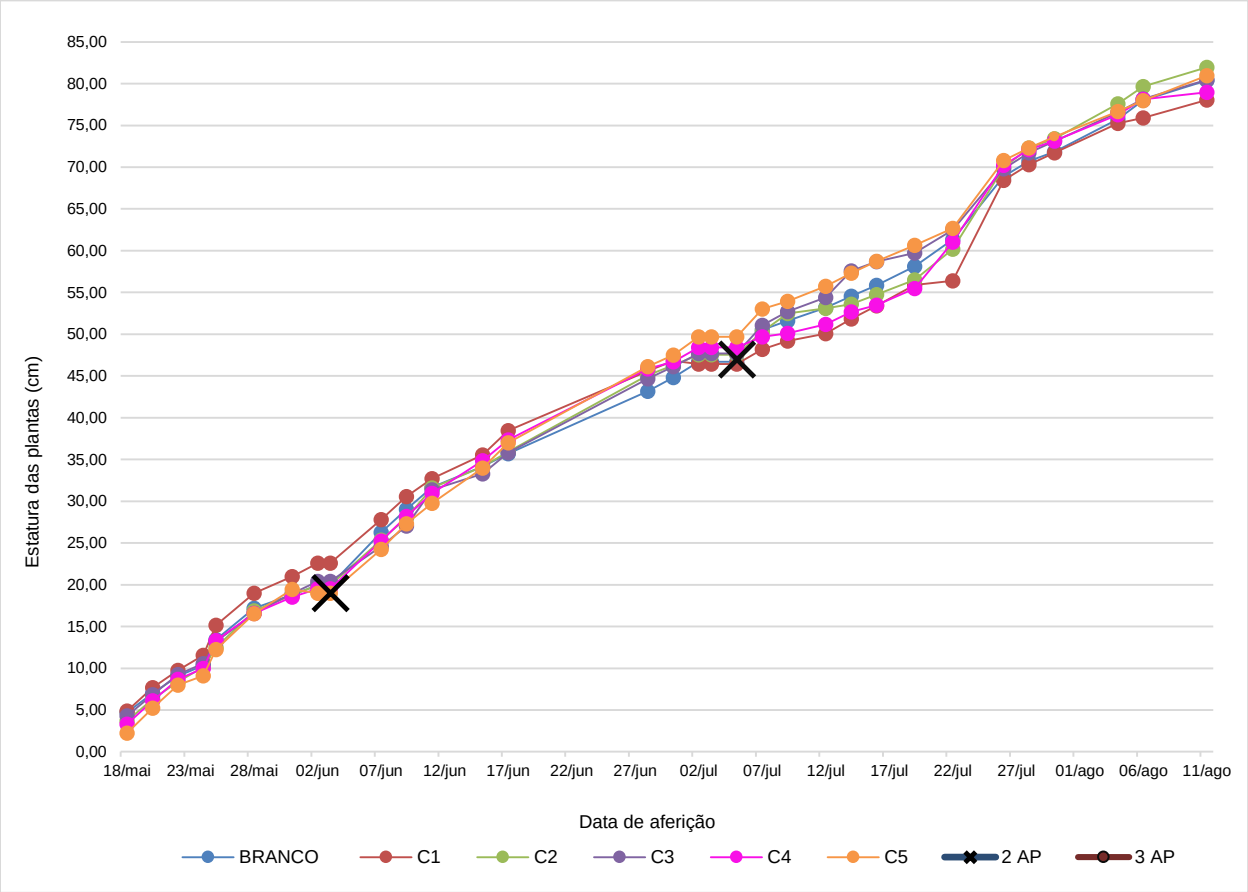
Conforme as faixas de classificação de Belo (2011) a aplicação de C5 é moderadamente fitotóxica, podendo ser o principal fator na quebra de 25% do percentual de germinação. Em contrapartida, também não foi observado nenhum acima de 100%, ou seja, não foi notado nenhum tratamento com característico fitoestimulante.

Desta forma, é possível concluir que o tratamento com maior concentração de biofertilizante aplicado, não necessariamente será o de melhor resultado. Isso pode ser confirmado através dos dados acima descritos, que indicam o tratamento C1 (de menor concentração de aplicação) com melhor resultado no percentual de germinação das plantas.

4.2.2. Monitoramento do crescimento vegetativo das plantas de trigo

A estatura das plantas foi aferida 3 vezes por semana, durante 14 semanas onde foi constatado o espigamento de todas as plantas. Todos os tratamentos foram comparados com o BRANCO, que não teve nenhuma aplicação.

Gráfico 2 - Gráfico geral da evolução da estatura das plantas de trigo



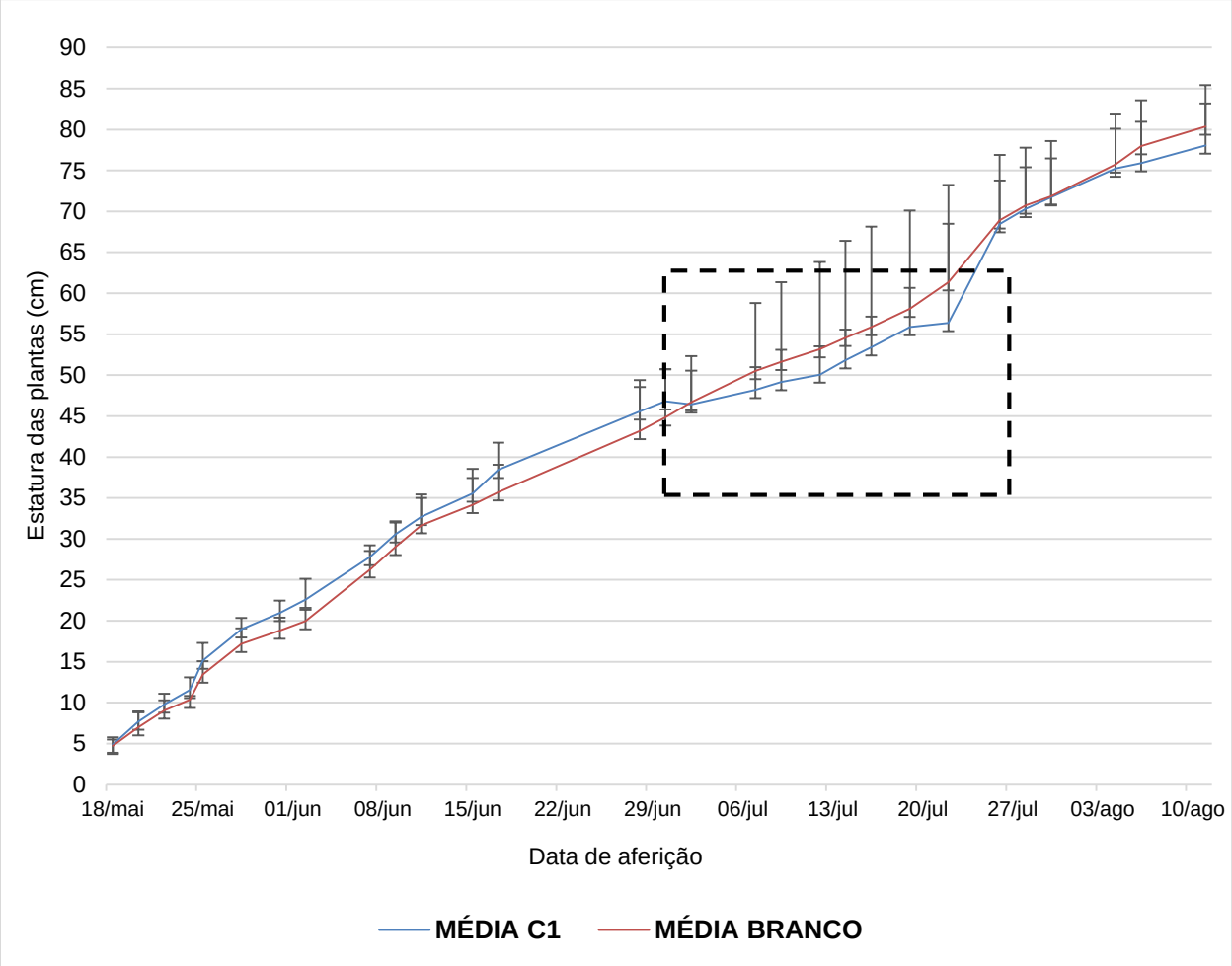
2 AP: Segunda aplicação de digestato (03/06/2021). 3 AP: Terceira Aplicação de digestato (05/07/201).
Fonte: Autora (2021)

De maneira geral os tratamentos seguiram comportamento similar, com as estaturas seguindo sempre uma proximidade nas aferições. As maiores discrepâncias foram vistas nas semanas 7, 8 e 9, chegando a ser de 5,48 cm na fase de transição de emborrachamento e espigamento. Ao final do experimento o tratamento com maior estatura foi o C2 com 81,96 cm, seguido pelo C5 de 80,96 cm, C3 80,46 cm, BRANCO 80,37 cm, C4 78,97 cm e C1 com 78,06 cm.

Silva *et al.* (2014) avaliou a resposta da cultura de trigo em relação a adubação orgânica com dejetos suínos na proporção de 10:15:15 (%) de NPK, na estatura das plantas, chegando em um valor de 51,25 cm. Já Junior *et al*. (2018) avaliou o comportamento do trigo com a adubação orgânica proveniente de cama aviária 2,3:3,7:2,3 (%) de NPK, chegando a estatura de 95 cm. O autor associou tal fato à fertilidade do solo e qualidade das sementes.

Nos gráficos a seguir é apresentado as comparações entre os diferentes 5 tratamentos

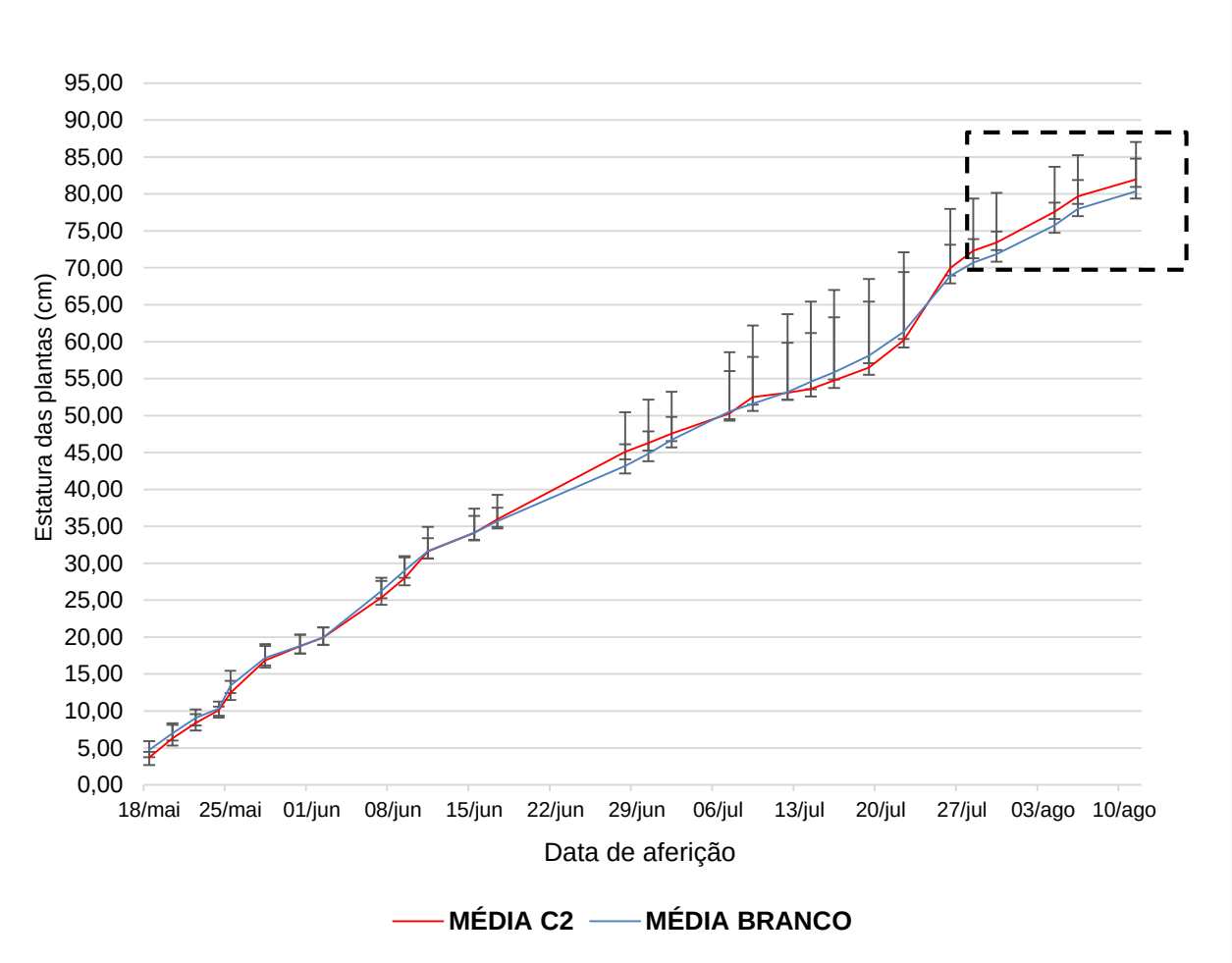
Gráfico 3 - Comparação do BRANCO com o tratamento C1



Fonte: Autora (2021)

No desenvolvimento do C1 foi possível observar que no início do experimento o crescimento sempre foi maior que o BRANCO. A partir do dia 02 de julho, fase de alongamento do colmo, o BRANCO teve crescimento maior até a fase de espigamento/florescimento no dia 22 de julho, se igualando ao C1 nos próximos dias e ficando 2,31 cm maior na estatura final.

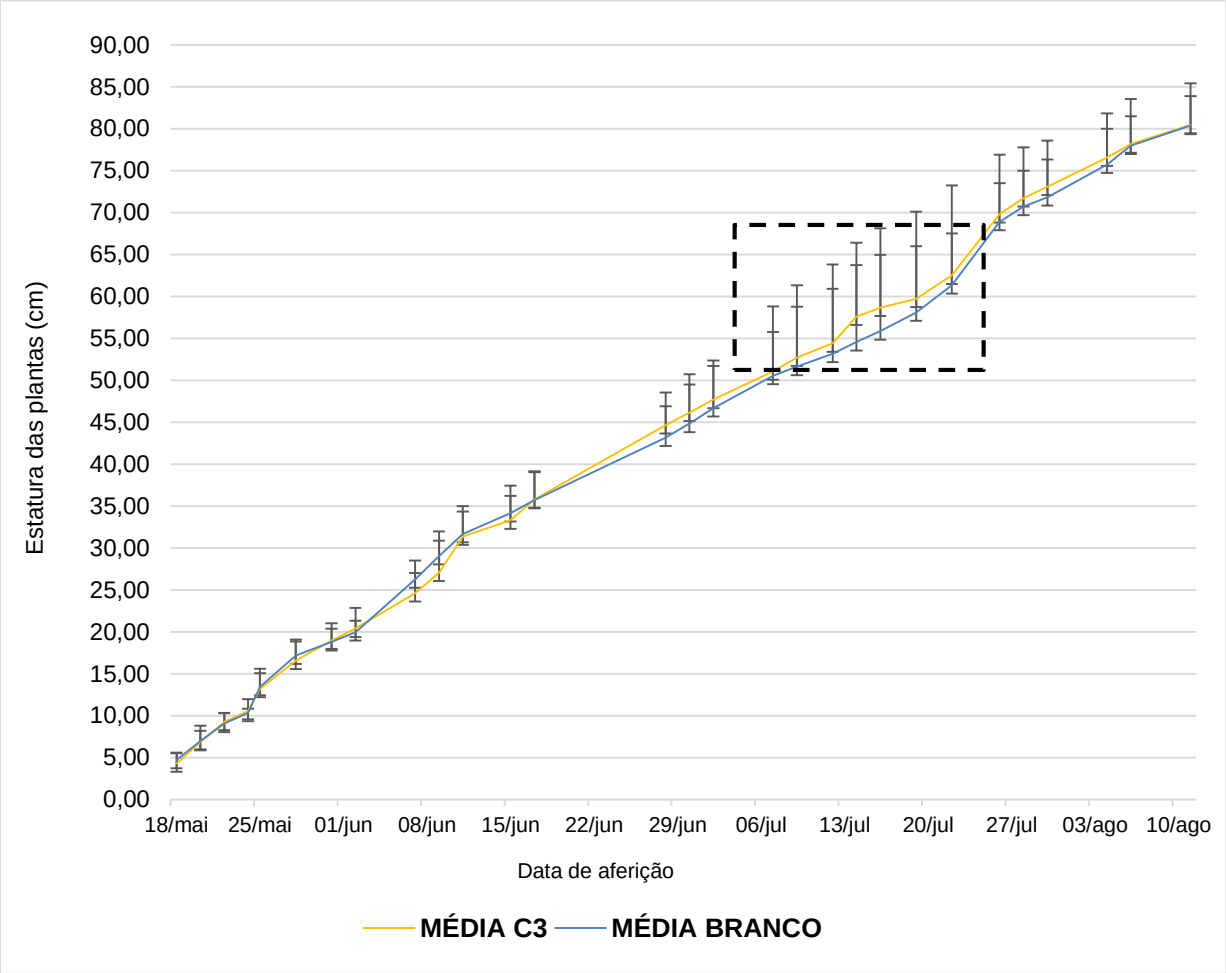
Gráfico 4 - Comparação do BRANCO com o tratamento C2



Fonte: Autora (2021)

No tratamento C2 observou-se uma semelhança no desenvolvimento vegetativo das plantas, onde até o dia 28 de junho a diferença entre as estaturas não ultrapassaram 2 cm. As maiores diferenças foram entre os dias 07 à 22 de julho, onde as diferenças chegaram a 8,09 cm. No final do plantio, o tratamento resultou em média 81,96 cm, sendo 1,59 cm maior que o BRANCO de 80,37 cm.

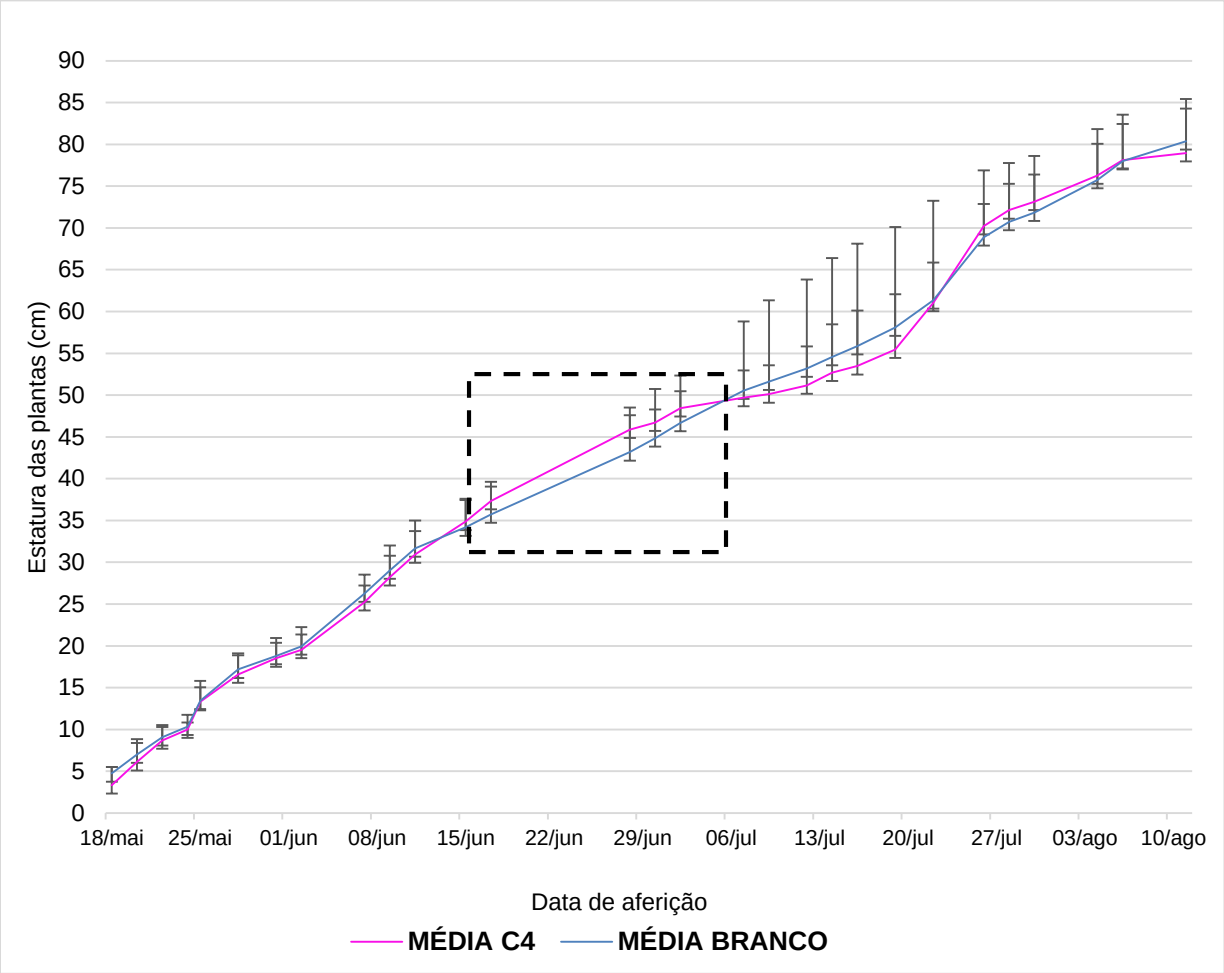
Gráfico 5 - Comparação do BRANCO com o tratamento C3



Fonte: Autora (2021)

Os tratamentos C3 e BRANCO mantiveram-se sempre muito próximos durante o experimento, sendo que a maior diferença entre eles foi de 3,04 cm na oitava semana de desenvolvimento vegetativo das plantas. No final do experimento a diferença entre os tratamentos foi de 0,09 cm, com 80,46 cm no C3 e 80,37 cm o BRANCO.

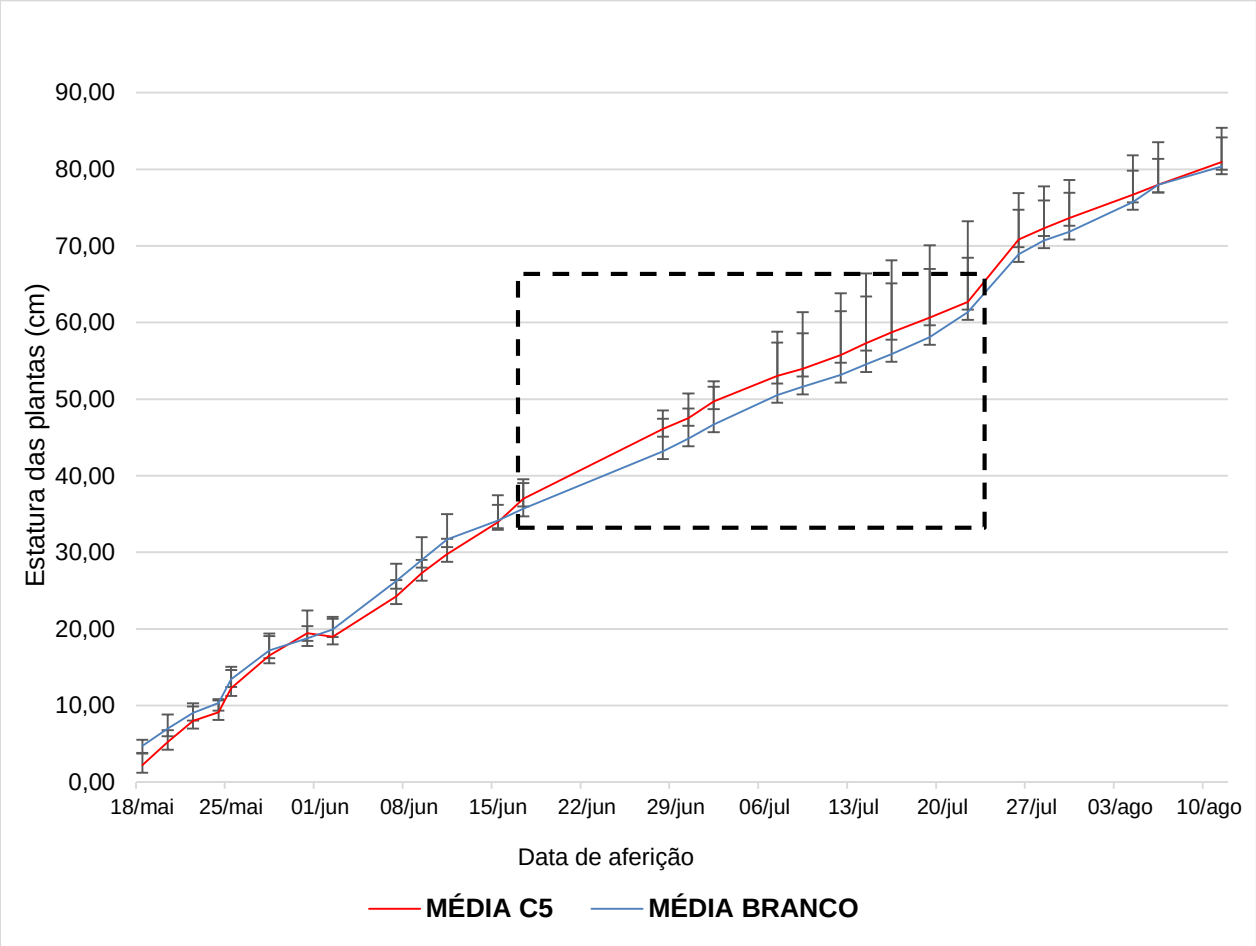
Gráfico 6 - Comparação do BRANCO com o tratamento C4



Fonte: Autora (2021)

De maneira similar aos outros tratamentos, quando comparado o C4 com o BRANCO tiveram crescimento regular e sempre com proximidade, sendo a maior diferença entre eles de 2,64 cm no dia 19 de julho. Até o dia 11 de junho (4ª semana), fase de afilhamento, o BRANCO esteve com estatura maior, do dia 12 de junho até o dia 07 o C4 se manteve maior, logo após, inverteu novamente e os tratamentos terminaram com diferença de 1,40 cm, sendo o BRANCO com 80,37 cm e o C4 com 78,97 cm.

Gráfico 7 - Comparação do BRANCO com o tratamento C5



Fonte: Autor (2021)

No desenvolvimento dos tratamentos C5 e BRANCO as estaturas também ficaram próximas, no entanto no dia 28 de junho as plantas do C5 seguiram maiores até o final do experimento. As estaturas finais foram de 80,96 e 80,37, com o C5 ficando maior que o BRANCO 0,59 cm.

No primeiro estádio de desenvolvimento (afilhamento) verificou-se o surgimento das primeiras folhas e nas maiores concentrações de digestato aplicado (C4 e C5), o surgimento de focos de fungos. Tal fato pode atribuído ao substrato utilizado, visto que ele não é estéril e combinado com o digestato, rico em matéria orgânica, tornando o local propício para seu desenvolvimento.

O fungo foi formado somente na parte superficial do solo e só apareceu após as aplicações de digestato e nas maiores concentrações (C4 e C5). Acredita-se, que pela semelhança e característica, seja um gênero P*enicillium,* que segundo Dresh,

Lana e Maciel (2019) é um fungo comum em solos de propriedades orgânicas, participando ativamente dos processos de biodegradação da matéria orgânica no solo, transformando-a em substâncias capazes de enriquecer o local.

No entanto, a contaminação generalizada (não verificada neste estudo), deste fungo pode acarretar na deterioração dos alimentos ou grãos colhidos, que pode vir a tornar um problema pertinente na produção agrícola.

Figura 24 - Surgimento dos fungos após a segunda aplicação do digestato

Fonte: Autora (2021)

Figura 25 - Surgimento de fungos após a terceira aplicação do digestato

Fonte: Autora (2021).

4.2.3. Massa Seca e Massa Fresca da parte aérea

A partir dos dados apresentados na Tabela 5, é possível observar as médias e desvio padrão dos critérios de MFA e MSA avaliados nas plantas teste ao final do desenvolvimento vegetativo das mesmas. Foi coletada toda a massa aérea para analisar a MFA e MSA.

Tabela 5 - Massa seca e massa fresca da parte aérea das plantas testes

TRATAMENTO	MASSA FRESCA (GRAMAS)	MASSA SECA (%)
BRANCO	16,05 ± 1,41	54,05 ± 6,24
C1	16,40 ± 1,01	60,40 ± 3,75
C2	16,30 ± 2,52	59,00 ± 3,95
C3	15,33 ± 1,57	60,81 ± 8,84
C4	18,18 ± 3,07	62,63 ± 5,43
C5	17,45 ± 2,33	67,20 ± 6,97

Fonte: Autora (2021)

Na MFA destacam-se os tratamentos C4 e C5 com 18,18 e 17,45 (%), seguidos pelo C1, C2, BRANCO e C3, respectivamente. Seguindo uma lógica muito próxima ao critério anterior, na MSA os tratamentos que também se destacaram foram o C5 e C4, 67,20 e 62,63 (%), na devida ordem. Subsequente a estes, C3, C1, C2 e o BRANCO.

Mallmann (2019), testando digestato de dejeto de aves e efluente de ovos na cultura de Aveia, não encontrou diferença estatística entre as aplicações de 30, 60 e 120 m³/ha, somente entre elas e o tratamento testemunho.

4.2.4. Número de espiguetas

Com relação ao número de espiguetas, foi realizada a contagem de cada uma, conforme metodologia é apresentado os valores médios e de desvio padrão.

Tabela 6 - Número de espiguetas obtidos em cada tratamento

TRATAMENTO	MÉDIA
BRANCO	18,43 ± 1,99
C1	16,57 ± 3,41
C2	18,00 ± 3,46
C3	18,67 ± 3,01
C4	18,14 ± 2,27
C5	17,71 ± 3,40

Fonte: Autora (2021)

Relacionando o número de espiguetas com o percentual de germinação, chega-se em um resultado de aproximadamente 1 espiga por planta, que conforme Borém e Scherer (2003) é o esperado para a cultura de trigo. Observou-se também que o número de espiguetas do C2, C3 e C4 ficaram bastante próximos, inclusive do BRANCO. Somente o C3 teve um resultado maior que o BRANCO, ou seja, neste quesito não houve incremento no número de espiguetas com a aplicação do digestato.

Os menores rendimentos em relação ao número de espiguetas foram nas concentrações C1 e C5, respectivamente. Provavelmente no tratamento C1 não houveram condições de fertilidade suficientes, enquanto no C5, possivelmente a questão da fitotoxicidade possa ter afetado tal desenvolvimento.

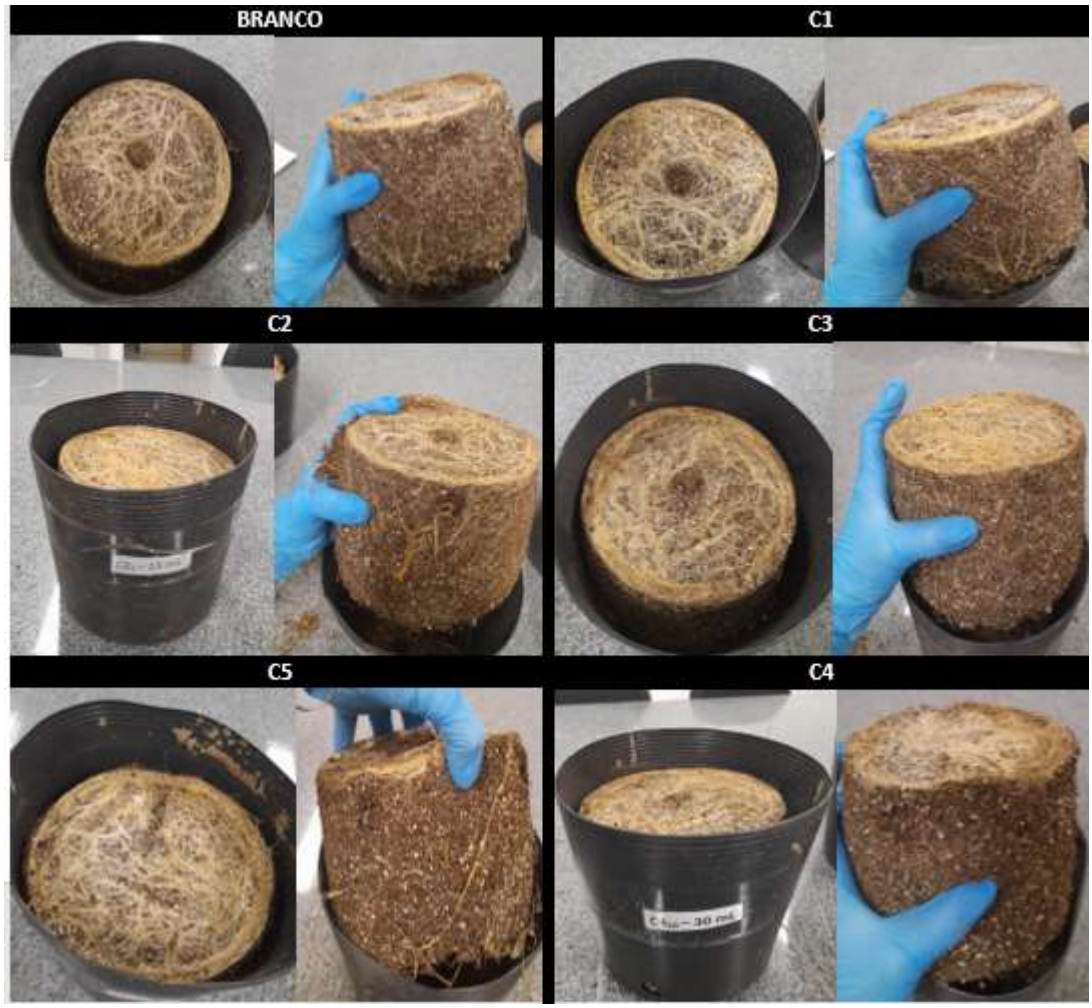
Mesmo com o número de espiguetas próximo ao recomendado pela literatura, as mesmas não produziram os grãos da maneira desejada e um dos principais fatores foi o ataque severo do fungo Oídio. Outro fator limitante para o desenvolvimento da cultura tritícola na região Sul do Brasil, conforme Fioreze *et al*. (2018) são as altas temperaturas nos estádios de desenvolvimento das espiguetas, sendo provocado um stress térmico nas plantas, afetando a indução floral e a redução do ciclo. Em

decorrência a tal fato, constata-se que a combinação do fungo, beneficiado com as altas temperaturas, também teve impacto no número e principalmente qualidade das espiguetas.

4.2.5. Análise visual das raízes

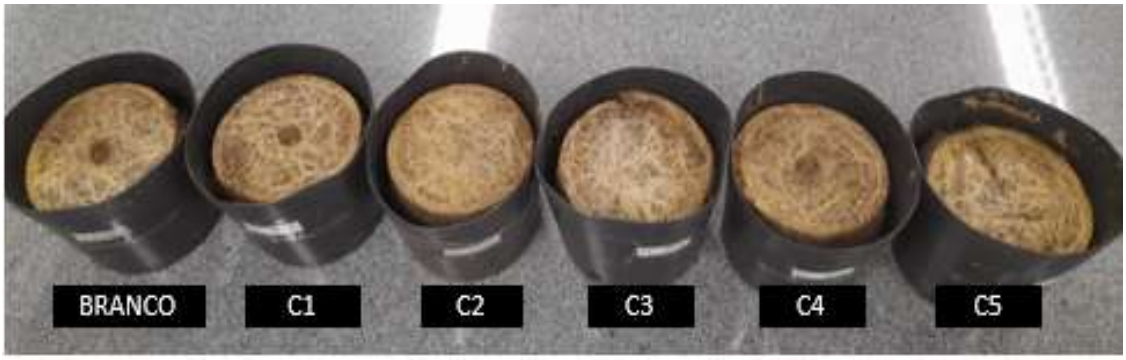
A análise visual das raízes ocorreu no final do experimento e por conta do enraizamento ter atingido toda área do vaso de forma bastante intensa, ficou impossibilitada a determinação do volume de maneira precisa. Nas Figuras 26 e 27 é apresentada a comparação entre os tratamentos.

Figura 26 - Análise visual das raízes nos diferentes tratamentos



Fonte: Autora (2021)

Figura 27 - Comparação visual das raízes nos diferentes tratamentos



Fonte: Autora (2021)

Através das figuras apresentadas acima notou-se uma maior densidade aparente e estruturação de raízes, conforme maior a dose de digestato mais. Ressalta-se que a parte que está aparecendo nas Figuras é da parcela inferior do vaso, já que na superior não era possível notar as mesmas.

Pegoraro (2011), da mesma maneira, comprovou a eficiência da adição de biofertilizante, proveniente da suinocultura, no cultivo de nabo forrageiro, através da avaliação do volume de raiz. Os maiores volumes de raiz estavam associados às maiores dosagens de biofertilizante. Cruz et al (2008), também avaliou o uso de água residuária proveniente da suinocultura, entretanto aplicou no cultivo de maracujá. Encontrando resultados positivos nos seguintes critérios de avaliação: altura das mudas, comprimento da raiz, número de folhas e área foliar. Portanto, a qualidade da raiz teve valores favoráveis ao tratamento testemunho.

Scaglia *et al*. (2015) comparou frações de compostos orgânicos com digestatos produzidos na cadeia agropecuária, verificando que o digestato demonstrou um comportamento fitoestimulante no desenvolvimento das raízes, favorecendo a absorção de água, sais e nutrientes que são encontrados na fração dissolvida da matéria orgânica.

4.2.6. Caracterização do substrato (solo do experimento pós plantio)

Na finalização do experimento, conforme descrito na metodologia, o substrato onde foram cultivadas as plantas de trigo foram coletados, homogeneizados e

encaminhados para caracterização. Na Tabela 7 é apresentado os resultados da caracterização.

Tabela 7 - Caracterização do substrato pós experimento

PARÂMETROS	UNIDADE	S	B	C1	C2	C3	C4	C5
pH	-	5,70	6,10	5,70	6,10	5,80	5,80	5,30
Índice SMP	-	5,80	5,70	6,50	5,90	6,50	6,20	6,30
Fósforo	mg/dm³	>50,30	46,70	>50,30	>50,30	>50,30	>50,30	>50,30
Potássio	mg/dm³	158,00	51,00	55,00	85,00	59,00	48,00	51,00
MO	%	5,10	7,70	7,60	6,90	7,20	7,10	9,20
Alumínio	cmolc/dm³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
Cálcio	cmolc/dm³	5,59	6,13	6,77	6,23	5,46	5,55	7,61
Magnésio	cmolc/dm³	2,96	2,99	3,14	2,97	2,98	2,98	3,03
SPA	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
Zinco	mg/dm³	2,49	2,78	3,98	6,68	5,87	6,49	13,89
Cobre	mg/dm³	0,87	0,83	2,16	2,19	1,46	1,59	2,66
Manganês	mg/dm³	12,30	9,60	8,80	10,00	15,50	9,10	12,80
Boro	mg/dm³	0,80	0,60	0,80	0,90	1,00	0,70	0,60
Enxofre	mg/dm³	>46,60	>46,60	>46,60	>46,60	>46,60	>46,60	>46,60

S: Substrato. B: Branco. MO: Matéria Orgânica. SPA: Saturação por Alumínio. Fonte: Autora (2021).

Em relação ao pH, não houveram variações significativas a ponto de acidificar o substrato (solo) a ponto de que o mesmo precisasse de uma calagem ou algo do tipo após o uso do digestato. Geralmente adubações nitrogenadas, como uréia com cerca de 45% são responsáveis pela formação de amônio no solo, que acaba resultando na reação de acidificação do meio, reforçando o que Matos *et al*. (2020) constatou, em que o pH elevado ocasiona liberação de amônia na fase inicial da mineralização da matéria orgânica.

Ainda, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem do RS e SC (SBSC, 2016), o pH indicado para a cultura de trigo é de 6,00. Contudo, há tolerâncias para pHs abaixo do de referência, e avaliando este parâmetro isolado, o único solo que

precisaria de correção após o cultivo seria o C5. Ao encontro disso está o Índice SMP, e a Saturação por Alumínio. Quanto maior o índice SMP, que é a capacidade tampão do solo, menor será a quantidade de calcário a ser aplicada na área. Isto posto, segue abaixo a tabela relacionando a quantidade de calcário necessária para elevar o pH até o valor de referência, de acordo com o Índice SMP.

Tabela 8 - Quantidade de calcário a ser aplicada conforme o Índice SMP

TRATAMENTO	ÍNDICE SMP	t calcário/há
S	5,80	4,2
BRANCO	5,70	4,8
C1	6,50	1,1
C2	5,90	3,7
C3	6,50	1,1
C4	6,20	2,2
C5	6,30	1,8

Fonte: Autora (2021)

Através da tabela verifica-se que havia necessidade de calagem antes do experimento para potencializar o efeito do digestato nas plantas. Um efeito positivo é que em todas as aplicações de digestato, a quantidade de calcário foi menor quando comparada com o S e o BRANCO, que não tiveram aplicação. Esse efeito de neutralização também foi notado por Matos *et al*. (2020), que atribui tal fato pela liberação de amônia durante a fase inicial de mineralização da matéria orgânica.

Uma das preocupações na aplicação de digestato anaeróbio é a contaminação do solo por algum metal, como por exemplo Zinco, Cobre e Manganês. Ambos metais não possuem limites estabelecidos na IN 27 (BRASIL, 2020), que estabelece os limites de concentrações máximas de contaminantes em fertilizantes orgânicos. Para fins de comparação utilizou-se a legislação alemã específica para uso de digestato RAL-GZ 251 e o CONAMA 375 (BRASIL, 2006), que define os critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de estações de tratamento de efluentes.

Tabela 9 - Comparação dos resultados obtidos com a legislação pertinente

PARÂMETROS (mg/kg)	S	B	C1	C2	C3	C4	C5	Limites RAL-GZ	CONAMA 375
Zinco	2,49	2,78	3,98	6,68	5,87	6,49	13,89	400,00	2.800,00
Cobre	0,87	0,83	2,16	2,19	1,46	1,59	2,66	100,00	1.500,00
Manganês	12,30	9,60	8,80	10,00	15,50	9,10	12,80	50,00	-

Fonte: Autora (2021)

Verificando os limites do RAL-GZ e da CONAMA 375 dos parâmetros avaliados, é possível concluir que o digestato encontra-se em conformidade com a legislação. Ressalta-se que devem ser avaliados os demais parâmetros da legislação para confirmação de tal fato.

O Alumínio (Al), apesar de não ter nenhum limite estabelecido em legislação, tanto brasileira quanto europeia, é considerado por Zhou *et al.* (2015) um dos principais fatores limitantes da produtividade agrícola. Os principais danos associados ao acúmulo de Al são no sistema radicular, provavelmente devido à absorção limitada dos nutrientes (FERREIRA, MOREIRA e RASSINI, 2006; BORGES *et al.*, 2020). Nos tratamentos BRANCO, C1, C2, C3 e C4 não houve detecção do elemento e no C5 o teor é de 0,20, sendo considerada pelos autores acima uma concentração não nociva.

Corroborando com o fato da concentração de Al no C5 ser nociva é o rendimento das raízes, apresentado nas Figuras 26 e 27, onde conforme maior a aplicação do digestato, maior a concentração de raízes. Outro parâmetro que pode ser relacionado é a Saturação por Alumínio, que foi de 0,20% no C5, considerada baixa e não prejudicial conforme escala de Ribeiro *et al*. (1999), sendo nociva a partir de 16%, ou seja, uma concentração 80 vezes maior que a encontrada no substrato C5.

Corroborando com os fatos citados no parágrafo anterior, acredita-se que o C5 não é o mais indicado para larga escala, tendo em vista que há probabilidade de uma saturação do solo como previamente notado neste experimento. Temos teores, mesmo que dentro da legislação, ligeiramente maiores de Zinco, Manganês e Cobre e que podem vir a se acumular no solo após algumas aplicações. Da mesma maneira,

é possível que essa acumulação também aconteça com os teores de Alumínio, também só observados no tratamento C5.

Nos percentuais de matéria orgânica no solo, percebe-se um aumento quando comparado ao substrato sem nenhuma aplicação. O tratamento C5 destacou-se com teor de 9,20%, aspecto positivo conforme Slepetiene *et al*. (2021) que diz que os digestatos são caracterizados pela presença de matéria orgânica mais estável, já que os compostos orgânicos já estão degradados e mineralizados. Outra característica é que a matéria orgânica é uma importante ferramenta para estabilização e sequestro de Carbono Orgânico, além de ser considerada por Kunz *et al*. (2019) elemento fundamental na construção da fertilidade do solo.

O potássio é considerado um dos nutrientes mais móveis do solo, o que o torna altamente suscetível à lixiviação e esta é proporcional ao volume de irrigação aplicado no local (DE MALTA *et al*., 2019). Tal fato, pode explicar a diminuição da concentração do nutriente comparado ao substrato inerte, de 158 mg/dm³, para os tratamentos, variando de 48,00 (C4) a 85,00 mg/dm³ (C2). Já o fósforo não conseguiu ser quantificado de maneira precisa com a metodologia utilizada, ultrapassando o limite máximo de quantificação de 50,30 mg/dm³. Para uma comparação mais precisa, é necessário adotar uma metodologia com maior faixa de quantificação.

Outro nutriente de importância para o desenvolvimento das plantas é o Cálcio, exercendo funções bioquímicas, tais como mensageiro secundário na regulação metabólica (TAIZ, *et al*.2017). Na caracterização dos substratos verificou-se que o BRANCO, C1, C2 e C5 ficaram maiores que S, considerado inicial, enquanto C3 e C4 ficaram menores. Novamente, Matos *et al*. (2020), verificou redução dos teores de Cálcio após o experimento, atribuindo a absorção deste nutriente pela planta ou retenção do mesmo pela fração orgânica humificada.

Nos teores de Magnésio observou-se proximidade entre os tratamentos, ficando todos eles maiores que o substrato inerte, sendo que o C1 e o C5 destacaram-se com valores de 3,20 e 3,03, respectivamente. Da mesma maneira que o Cálcio, o Magnésio é caracterizado pela alta mobilidade no solo, novamente confirmando o aspecto positivo da aplicação do digestato. De acordo com Schallemberger et al. (2019), quando a classe de disponibilidade de Magnésio for MÉDIA, já é suficiente para o bom desenvolvimento das plantas.

Já nos teores de Enxofre, da mesma forma com que os de Fósforo, ultrapassaram os limites de quantificação da metodologia adotada e para maior precisão, deveria ser adotada metodologia com faixa de detetecção maior.

De acordo com o Manual de Adubação e Calagem do RS e SC (SBSC, 2016), há uma classe de disponibilidade de nutrientes que se relacionam, que é o caso do Cálcio, Magnésio e o Enxofre e é apresentada abaixo na Tabela 10.

Tabela 10 - Relação entre os teores de Cálcio, Magnésio e Enxofre com a classe de disponibilidade.

TRATAMENTO	Enxofre (mg/dm³)	CLASSE	Cálcio (cmolc/dm³)	CLASSE	Magnésio (cmolc/dm³)	CLASSE
S	>46,60	ALTO	5,59	ALTO	2,96	ALTO
B	>46,60	ALTO	6,13	ALTO	2,99	ALTO
C1	>46,60	ALTO	6,77	ALTO	3,14	ALTO
C2	>46,60	ALTO	6,23	ALTO	2,97	ALTO
C3	>46,60	ALTO	5,46	ALTO	2,98	ALTO
C4	>46,60	ALTO	5,55	ALTO	2,98	ALTO
C5	>46,60	ALTO	7,61	ALTO	3,03	ALTO

Fonte: Autora (2021)

Através da classificação verifica-se uma alta taxa de disponibilidade de nutrientes, no entanto, deve ser considerado que o substrato onde foi cultivado já tinha a mesma classificação. No entanto, como os nutrientes são facilmente absorvidos pela planta, destaca-se a baixa mobilidade e lixiviação dos nutrientes no solo, sendo considerado um efeito positivo das aplicações do digestato em todas suas concentrações.

Outro nutriente avaliado foi o Boro, e segundo o Manual de Adubação e Calagem do RS e SC (SBSC, 2016), raramente são observadas deficiências de Boro nos solos dos respectivos estados, quando a classificação do solo em relação aos nutrientes é ALTA ou MÉDIA. Geralmente ele é mais demandado em solos onde os teores de matéria orgânica são baixos, que não é o caso em questão.

Verificou-se que os teores de Boro mantiveram proximidade ao substrato inerte e maiores que o B que não teve aplicação nenhuma, com exceção do C5, que ficou igual ao B. Alguns autores citam que teores mais baixos de Boro frequentemente são encontrados em solos com pH menor, que é o caso do C5, que terminou o experimento com um pH de 5,3, podendo ser um fator para diminuição do nutriente em questão.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados analisados, os seguintes critérios: percentual de germinação, estatura das plantas, massa seca e massa fresca da parte aérea e número de espiguetas, não apresentaram diferença os tratamentos C2, C3 e C4, enquanto o C5 apresentou 25% de perda no percentual de germinação, apresentando uma característica fitotóxica. No número de espiguetas, os menores rendimentos foram encontrados no C1 e C5, atribuindo ao C1 falta de condições de fertilidade suficiente e no C5, novamente, a questão da fitoxocidade.

Nas raízes notou-se um efeito positivo da aplicação do digestato, mostrando uma maior densidade visual gradativo conforme foram aumentadas as concentrações de digestato aplicado e consequentemente, um sistema radicular saudável.

Entre as concentrações aplicadas neste estudo, verificou-se que a C4 e a C3 seriam as mais indicadas, por conta da carga nutricional do digestato nessa situação, percentual de germinação e demais parâmetros avaliados no solo após o experimento. Possivelmente, a aplicação do C5 em larga escala ocasionaria a saturação e acumulação de metais no solo utilizado, o que não é interessante do ponto agronômico e ambiental. Já nas concentrações menores, possivelmente não haveriam condições suficientes de fertilidade o suficiente para o desenvolvimento das plantas.

Em relação ao digestato, foi possível verificar um potencial uso dele como um biofertilizante, já que todos os parâmetros nutricionais e de contaminantes estavam em conformidade com a legislação vigente. Portanto, para plantas de biogás, é um aspecto interessante pensando no possível retorno econômico. demanda de balanço

de entrada e saída de material, viabilizando assim a operação. Além disso, favorecendo o solo para cultivo agrícola, como é o caso desta avaliação e com potencial para um

De maneira geral, o solo pós experimento mostrou-se favorável a aplicação do digestato, com teores elevados de nutrientes, como Fósforo, Potássio, Magnésio, Cálcio, Boro e Enxofre, além da Matéria Orgânica, que é elemento fundamental na fertilidade do solo. Também não foram encontradas contaminações por metais ou toxidez pelo Alumínio, confirmando o efeito positivo do uso do digestato.

Acredita-se que a escala de bancada, por mais que tenha vantagens em controles operacionais, acabou favorecendo o desenvolvimento do Oídio, fungo que atacou severamente as plantas cultivadas, impossibilitando uma avaliação de produtividade da cultura com a aplicação do digestato.

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação do cultivo em escala piloto, testando em uma lavoura e com culturas de desenvolvimento mais rápido para avaliação de mais parâmetros, tais como a lixiviação do digestato para recursos hídricos, além de permitir a repetições do experimento, validando o efeito residual positivo do uso de digestatos anaeróbios.

REFERÊNCIAS

ALBURQUERQUE, J.A; DE LA FUENTE, C; CAMPOY, M; CARRASCO, L; NÁJERA, I; BAIXAULI, C; CARAVACA, F; ROLDÁN, A; CEGARRA, J; BERNAL, M.P. Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. **Europan Journal Agronomy,** v.43, 119-128, novembro 2012.

AL SAEDI, T., LORENZEN, J. IEA Bioenergy Task 37 Energy from Biogas: Denmark Country Report -2019. **IEA Bioenergy**: 2019

AQUINO, Sérgio F; CHERNICHARO, Carlos A.L; Acúmulo de Ácidos Graxos Voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle. **Eng. sanit.ambient.** v.2, 152-161, Fevereiro, 2005.

BELO, S. R. S. **Avaliação de fitotoxicidade através de Lepidium sativum no âmbito de processos de compostagem**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidadede Coimbra, Coimbra, 2011

BIOTRIGO GENÉTICA. **Informações técnicas para trigo e triticale/ Safra 2020/ 13ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Tricale.** 1 ed. Passo Fundo/RS 2020.

BORÉM, Aluízio; SCHEEREN, Pedro Luiz. **Trigo do plantio à colheita.** Universidade Fedral de Viçosa. 1 ed. Viçosa, 2015.

BORGES, Carolina Eggers; CAZETTA, Jairo Osvaldo; DE SOUSA, Francisco Bruno Ferreira; OLIVEIRA, Kamilla Silva. Aluminum toxicity reduces the nutritional efficiency of macronutrients and micronutrients in sugarcane seedlings. **Ciência e Agrotecnologia.** Agosto/2020.

BGK (Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.) (2017d): Qualitätsanforderungen für Fertigkompost. Available at: Disponível em: <https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/ > Acesso em 22 de novembro de 2021.

BRASIL. **Lei n. o 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm> Acesso em: 02/06/2021

BRASIL. **Lei n.o 12.890, de 10 de dezembro de 2013.** Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm#art2> Acesso em: 02/06/2021

BRASIL. Presidência da República – casa civil. **Decreto Nº 4.954**, de 14 de janeiro de 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D4954.htm>. Acesso em: 10 de junho de 2021.

BRES, Patricia; BEILY, María Eugenia; YOUNG, Brian Jonatahan; GASULLA, Javier; BUTTI, Mariano; CRESPO, Diana; CANDAL, Roberto; KOMIIS, Dimitrios. Performace of semi-continuos anaerobic co-digestion of poultry manure with fruit and vegetable waste and analysis of digestate quality: A bench sclae study. **Waste Management.** v.82. 276-284, Dezembro 2018.

CAVALEIRO, A.J., ALVES, M.M. Digestão anaeróbica. **Revista de ciência elementar.** v.8, n.1, 2020.

CASA, Ricardo Trezzi; REIS, Erlei Melo. Doenças do trigo: guia de campo para identificação e controle. **2.ed.rev.atual.** Lages: Graphel, 2016.

CORRÊA, Juliano Corulli; BARILLI, Juliana; REBELLATTO, Agostinho; DA VEIGA, Milton. **Aplicação de Dejetos de Suínos e as Propriedades do solo.** Circular Técnica Embrapa. Concórdia/SC, 2011.

CHERNICHARO, C.A.L. de. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 2.ed. Belo Horizonte, 2007.

CRUZ, Maria do Céu Monteiro da. et al. Utilização de Água residuária de suinocultura na produção de mudas de maracujazeiro-azedo cv redondo amarelo. **Revista Brasileira Fruticultura Jaboticabal - SP**, v. 30, n. 4, p. 1107-1112, Dezembro 2008.

CRUZ, Nilson Roberto Figueiredo Junior; MUMBACH, Gilmar Luiz. DE BONA, Fabiano Daniel; GABRIEL, Camila Adaime; GATIBONI, Luciano Colpo. Diferentes fontes de adubação apresentam resposta similar no rendimento de trigo. **Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo.** Xanxerê, 2018.

DA SILVA, Rafael Gustavo; BORSOI, Augustinho; LIMA, Paulo Ricardo; PINTO, Juliana de Souza; DANIEL, Cintia; LAVRATTI, Mauricio Belaver. Adubação orgânica e química na cultura de trigo. **Revista Cultivando o Saber,** v.12, n.3, p. 54-61. 2019

DAHLIN, Johannes; NELLES, Michael; HERBES, Carsten. Biogas digestate management: Evaluating the attitudes and perceptions of German gardeners towards digestate-based soil amendments. **Resources, Conservation and Recycling,** v.118, 27-38, março 2017.

DALPAZ, Ricardo; KONRAD, Odorico; CYRNE, Carlos Cândido da Silva; BARZOTTO, Henrique Panis; HASAN, Camila; FILHO, Marildo Guerini. Using biogas for energy cogeneration: An analysis of eletric and thermal energy generation from agro-industrial waste. **Sustainable Energy Technologies and Assessments,** v.40, 100774, Agosto 2020.

DE MALTA, Altamiro Oliveira; PEREIRA, Walter Esfrain; TORRES, Mariana Neves Nóbrega; DE MALTA, Alan Oliveira; DA SILVA, Edgley Soares; DA SILVA, Samuel Inocêncio Alves. Atributos físico e químicos do solo cultivado com gravioleira, sob adubação orgânica e mineral. **Revista PesquisAgro,** v.2, n.1, Junho 2019.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FUR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ). **Digestate as Fertilizer.** 1 ed. Novembro/2018. Disponível em:<https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/BJHCPA-DE-Digestate-as-Fertilizer> Acesso em: 09 de junho de 2021

DIAMANTIS, Vasileios; EFTAXIAS, Alexandros; STAMATELATOU, Katerina; NOUTSOPOULOS, Constantinos; VLACHOKOSTAS, Christos; AIVASIDIS, Alexandros.

Bioenergy in the era of circular economy: Anaerobic digestion technological solutions to produce biogas from lipid-rich wastes. **Renewable Energy,** v.168, 438-447, maio 2021.

DRESH, Fabíola; LANA, Daiane Flores Dalla; MACIEL, Mônica Jachetti. Avaliação das comunidades fúngicas encontradas em amostras de solo: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.6, p.67-76, 2019.

FATRITOL BALLOTIN MÁQUINAS. **Distribuidores de adubos orgânicos com bombas à vácuo de anel líquido.** Disponível em: <http://www.fatritol.com.br/detalhes/1-distribuidores_de_adubos_organicos_com_bombas_a_vacuo_de_anel_liquido.html> Acesso em 10 de junho de 2021.

FERREIRA, Ronaldo de Paula; MOREIRA, Adônis; RASSINI, Joaquim Bartolomeu. Toxidez de alumínio em culturas anuais. **São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste**, 2006.

FIOREZE, Samuel Luiz; VACARI, Jonathan; TUREK, Thais Lemos; MICHELON, Luiz Henrique; DRUN, Robson Pelissari. Componentes produtivos do trigo em função da temperatura no período de diferenciação de espiguetas. **Revista de Ciências Agroveterinárias** v.18. 2019.

GERMAN ENVIRONMENT AGENCY. **Quality assurance of compost and digestate: Experiences from Germany.** Julho, 2017. Disponível em:<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen> Acesso em 02 de junho de 2021.

GTECH SOLUÇÕES AMBIENTAIS. **Indústrias alimentícias: quais os tipos de resíduos gerados?.** Março, 2019. Disponível em: <https://gtechsolucoes.com.br/industrias-alimenticias-quais-os-tipos-de-residuos-gerados/> Acesso em 02/06/2021

HASAN, Camila.,FEITOSA, Kariny Anny., SILVA, M.C. De Almeida. et al. Produção de biogás a partir de resíduos agroindustriais: análise dos teores de sólidos totais, voláteis e fixos em amostras pré e pós digestão anaeróbias. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.8, n.1, p. 257-273, 2019.

HASAN C.; LEITE, L. C. S.; PALLAORO, R. B.; MALLMANN, F.; VICINIESCKI, R. P.; HOEHNE, L.; KONRAD, O. Redução das cargas orgânicas de biomassas residuais de uma

indústria alimentícia por meio de tratamento anaeróbio. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental** (RG&SA), v. 7, n. 2, 2018.

HE, Lin; ZHU, Yanwei; CHEN, Chenghan; HE, Mingxiong; TAN, Furong. Irrigation digestate to improve cadmiun phytoremediation potential of *Pennisetum hybridum.* **Chermosphere.** v.279, setembro 2021.

ITÁLIA. DECRETO LEGISLATIVO 29 aprile 2010, n. **75 Riordino e revisione della disciplina in matéria di fertilizzanti, a norma dell'articolo 13 della. legge**7 luglio 2009, n. 88. Gazzetta Ufficiale, Italy, n. 121 26 maggio 2010.

JURGUTIS, Linas; SLEPETIENE, Alvyra; VOLUNGE, Kristina Amaleviciute; VOLUNGEVICIUS, Jonas; SLEPETYS, Jonas. The effect of digestate fertilisation on grass biogas yield and soil properties in field-biomass-biogas-field renewable energy production approach in Lithuania. **Biomass and Bioenergy,** v.153, Outubro/2021.

KONRAD, O.; GUERINI FILHO, M.; LUMI, M.; HASAN, C. **Atlas das biomassas do RS para produção de biogás e biometano.** 1. ed. Lajeado: Ed. da Univates, 2016a.

KONRAD, O.; HASAN C.; HICKMANN E. V.; MARDER M.; FILHO M. G.; SILVA M. C. de A., **Produção de biogás a partir de biomassas provenientes do setor agroindustrial: boletim técnico.** Laboratório de Biorreatores/Tecnovates. Lajeado, 2018.

KARLSSON, T.; KONRAD O.; LUMI M.; SCHMEIER N. P.; MARDER M.; CASARIL C. E.; KOCH F. F.; PEDROSO A. G. **Manual Básico de Biogás**. Editora Univates. Lajeado, 2014.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, R. L. Radis; DO AMARAL, A. Cestonaro et al.. **Fundamentos da Digestão Anaeróbia, Purificação do Biogás, Uso e Tratamento do Digestato**. 1ª edição. Sbera: Embrapa Suínos e Aves. Concórdia, PR. 2019.

LAU, Douglas; MARTINS, Flávio Chupel; SBALCHEIRO, Cheila Cristina; SANTANA, Flávio; MACIEL, João Leodato Nunes; FERNANDES, José Maurício Cunha; COSTAMILAN, Leila Maria; LIMA, Maria Imaculada Pontes Moreira; KUHNEM, Paulo; CASA, Ricardo Trezzi. Principais doenças do trigo no sul do Brasil: diagnóstico e manejo. **Comunicado Técnico 375,** Embrapa, 2020.

LI, Y.; CHEN, Y.; WU, J. Enhancement of methane production in anaerobic digestion process: A review. **Applied Energy**, v. 240, p. 120-137, 2019.

MAFACIOLLI, Débora. **Produção de biogás através do processo de digestão anaeróbia utilizando dejetos de aves de postura com suplementação de glicerina bruta.** Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. Lajeado, 2012.

MALLMANN, Fernanda. **Avaliação do potencial de uso de um digestato anaeróbio composto por resíduos orgânicos de indústria alimentícia, como biofertilizante em cultivo agrícola.** Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. Lajeado, 2019.

MANTAI, Rubia D. et al. **A tecnologia de manejo do nitrogênio nas relações de cauda efeito sobre a produtividade de grãos pelos componentes das panículas de aveia voltada a alimentação**. Relatório técnico-científico. VI Seminário de Inovação e Tecnologia – Salão do conhecimento. Unijuí, 2016.

MARDER, Munique. **Identificação e caracterização de microrganismos visando maior eficiência na produção de biogás.** Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade do Vale do Taquari Univates, Lajeado, fev. 2020.

MATOS, Camila Ferreira; PINHEIRO, Flávia Machado; DE CAMPOS, David Vilas Boas; STAFANATO, Juliano Bahiense; DURÃO, Suelen Marques de Oliveira; DO CARMO, Christine Barros Sanchez; MARINHO, Lucas Rego Mendonça. Efeitos da aplicação de digestato bovino nas características do solo Planossolo Háplico no município de Seropédica-RJ. **RedBioLac**, v.4, 17-21.

MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28 projeções de longo prazo: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. – Brasília: MAPA/ACE.

MINISTÉRIO DE ESTADO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Decreto n° 86.955**, de 18 de fevereiro de 1982. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da

produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-86955-18-fevereiro-1982-436919-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 09 de junho de 2021.

MINISTÉRIO DE ESTADO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Instrução Normativa (IN) Nº 3,** 15 de janeiro de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-53-2013-com-as-alteracoes-da-in-3-de-15-01-2020.pdf> Acesso em: 09 de junho de 2021.

MINISTÉRIO DE ESTADO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Instrução Normativa (IN) Nº 5,** 16 de março de 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-5-de-15-de-marco-de-2021-308532112> Acesso em: 09 de junho de 2021.

MINISTÉRIO DE ESTADO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Instrução Normativa (IN) Nº 27,** 05 de junho de 2006. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf> Acesso em: 09 de junho de 2021.

MINISTÉRIO DE ESTADO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Instrução Normativa (IN) Nº 53,** 23 de outubro de 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-53-2013-com-as-alteracoes-da-in-3-de-15-01-2020.pdf> Acesso em: 09 de junho de 2021.

MINISTÉRIO DE ESTADO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Instrução Normativa (IN) Nº 61,** 08 de julho de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf> Acesso em: 09 de junho de 2021.

NETO, Eoroclito A. T. **Relatório de Pesquisa - Biofertilizantes: Caracterização química, qualidade sanitária e eficiência em diferentes concentrações na cultura do alface.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná UFPR. Curitiba, dez. 2006.

NICOLOSO, R. S. **Estudo técnico da destinação do fertilizante orgânico sólido produzido em uma usina de biogás no município de Concórdia-SC**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2014. 54 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 170).

PEIXOTO, M. S. F. P. et al. Ação do Trifluralin na micorrização e crescimento de plantas de amendoim (Arachis hypogaea). **Planta Daninha,** Viçosa - MG, v. 28, n. 3, p. 609-614, 2010.

PEGORARO, Thaisa. **Uso de efluente de biodigestor da suinocultura no cultivo de nabo forrageiro**. 2011. 83 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Cascavel-PR. 2011.

PIVATO, Alberto; VANIN, Stefano; RAGA, Roberto; LAVAGNOLO, Maria Cristina; BARAUSSE, Alberto; RIEPLE, Antonia; LAURENT, Alexis; COSSU, Rafaello. Use of digestate from a decentralized on-farm biogas plant as fertilizer in soils: An ecotoxicological study for future indicators in risk and life cycle assessment. **Waste Management,** v.49, 378-389, março 2016.

PRABHU, Vijin A; SIVARAM, A.R; PRABHU, N; SUNDARAMAHALINGAM, A. A study of enhancing the biogas production in anaerobic digestion. **Materialstoday: proceedings.** v 45, 7994-7999, 2021.

REVISTA CULTIVAR. **Primeiro biofertilizante registrado no Brasil é destaque na 26ª Hortitec.** Junho, 2019. Disponível em:<https://www.grupocultivar.com.br/noticias/primeiro-biofertilizante-registrado-no-brasil-e-destaque-na-26o-hortitec> Acesso em: 02 de junho de 2021.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.** Viçosa, MG, 1999. 359p.

ROS C.; LIBRALATO G.; GHIRARDINI A. V.; RADAELLI M.; CAVINATO C. Assessing the potential phytotoxicity of digestate from winery wastes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, n. 150, p. 26–33, 2018.

SIDDIQUE, MD. N. I.; AB. WAHID, Z. Achievements and perspectives of anaerobic co-digestion: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 194, p.359-371, 2018.

SILVA, F.M., JUNIOR, J. L., BENINCASA, Mário., et al. Desempenho de um aquecedor de água a biogás. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.25, n.3, p. 608- 614, 2005.

SISTEMAS DE PRODUÇÃO EMBRAPA. **Cultivo de Trigo.** 2 ed. abril/2014. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3704&p_r_p_-996514994_topicoId=3047> Acesso em: 09/06/2021.

SOARES, M. R., CASAGRANDE, J. C., NICOLOSO, R. S. Uso da vinhaça da canade-açúcar como fertilizante: eficiência agronômica e impactos ambientais. In: Palhares, J.C.P.; Gebler, L. (Org.). **Gestão Ambiental na Agropecuária**. 1ed. Brasília: Embrapa, 2014, v. 2, p. 145-198.

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. **Manual de adubação e calagem: para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Comissão de Química e Fertilidade do solo - RS/SC. 11a edição. Porto Alegre, 2016.

SCAGLIA, B.; POGNANI, M.; ADANI, F. Evaluation of hormone-like activity of the dissolved organic matter fraction (DOM) of compost and digestate. **Science of the Total Environment**, 514 (2015) 314–321.

SCHALLEMBERGER, Juliana Barden; MATSUOKA, Marcia; PAVEGLIO, Sandi Siqueira; LAZZARETTI, Giuvana; BETTIO, Ivana; DA ROS, Clovis Orlando. Efeito da utilização de cama aviário como adubo orgânico na qualidade química e microbiológica do solo. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ,** v.42, p.580-592, janeiro 2019.

SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L.; CAIERÃO, E. **Botânica, morfologia e descrição fenotípica.** Embrapa Trigo, 2015.SLEPETIENE, Alvyra; VOLUNGEVICIUS, Jonas; JURGUTIS, Linas; LIAUDANSKIENE, Inga; VOLUNGE, Kristina Amaleviciute; SLEPETYS, Jonas; CESEVICIENE, Jurgita. The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of Lithuania. **Waste Management,** v.102, 441-451, fevereiro 2020.

SLEPETIENE, Alvyra; VOLUNGEVICIUS, Jonas; JURGUTIS, Linas; LIAUDANSKIENE, Inga; VOLUNGE, Kristina Amaleviciute; SLEPETYS, Jonas; CESEVICIENE, Jurgita. The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of Lithuania. **Waste Management,** v.12, p. 441-451. Feb/2021.

TALLOU, Anas; SALCEDO, Francisco Pedrero; HAOUAS, Ayoub; JAMALI, Mohammed Yasser; ATIF, Khadija; AZIZ, Faissal; AMIR, Soumia. Assessment of biogas and biofertilizer produced from anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with municipal wastwater and cow dung. **Enviromental Technology e Innovation,** v.20, novembro 2020.

TAMBONE, Fulvia; ORZI, Valentina; D'IMPORZANO, Giuliana; ADANI, Fabrizio. Solid and liquid fractionation of digestate: Mass balance, chemical characterization, and agronomic and environmental value. **Bioresource Technology.** v.243, 1251-1256, novembro, 2017.

TERA. **Tratamento de efluentes e reciclagem de resíduos: descubra as vantagens para a indústria alimentícia.** Novembro, 2020. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/tratamento-de-efluentes-colabora-com-operacoes-industrias-alimenticias> Acesso em 10 de junho de 2021.

VERONEZE, Maria Luiza; SCHWANTES, Daniel; JUNIOR, Affonso Celso Gonçalves; RICHART, Alfredo; MANFRIN, Jéssica; SCHILLER, Andréia da Paz; SCHUBA, Thiago Bana. Production of biogas and biofertilizer using anaerobic reactors with swine manure and glycerin doses. **Journal of Cleaner Production.** v.213, 176-184. Março, 2019.

VGRESÍDUOS. **Como destinar e tratar efluentes e resíduos orgânicos da indústria alimentícia.** 24 abr. 2018. Disponível em:<https://www.vgresiduos.com.br/blog/efluentes-e-residuos-organicos-da-industria-alimenticia/>. Acesso em: 02 de junho de 2021.

ZENZEN, Ivan L. et al. Área Foliar e Volume do Sistema Radicular em Plantas de Soja Inoculadas com Estirpes de Bradyrhizobium e Submetidas ao Alagamento. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 1092-1094, jul. 2007.

ZHOU, Xin-Xing; YANG, Lin-Tong; QI, Yi-Ping; GUO, Peng; CHEN, Li-Song. Mechanisms on boron-induced alleviation of aluminum-toxicity in citrus grandis seedlings at a transcriptional level revealed by cDNA-AFLP analysis. **Plos one**. 2015.

ANEXOS

EcoCerta
Laboratório de Análises Ambientais

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 2056/21

FRQ-022 Rev.02

FOLHITO INDUSTRIA E COMERCIO DE ADUBOS ORGANICOS LTDA Orçamento Nº: 0638/2021

EST ARROIO DO OURO, S/N - DELFINA - Estrela/RS - CEP 95880-000

CNPJ/CPF: 00.234.266/0006-03

Contato: Marciana Cechin Fone: (51) 3011-2222

ANÁLISE EM LODO

Identificação da Amostra	*Número da Amostra*
Lodo	2056/21

Amostragem realizada por: Marco Antonio Brancher - EcoCerta **Recebimento da amostra:** 27/01/2021

Ponto de amostragem: LODO **Período de análise:** 27/01/2021 até 16/02/2021

Condição meteorológica: Tempo Nublado **Emissão do Relatório:** 17/02/2021

Físico-Química

Ensaio	Resultado	Unidade	L.Q.	Metodologia
Capacidade de troca de cátios (CTC)	784,22	mmolc/kg	0,03	MAPA, 2017
Carbono orgânico (CO)	60,3	%m/m	3	MAPA, 2017 - Método volumétrico do dicromato de potássio
Enxofre	0,4	%m/m	0,3	MAPA, 2017 - Método gravimétrico do sulfato de bário
Fósforo total (P2O5)	1,63	%m/m	0,01	MAPA, 2017-Método espectrofotométrico do ácido molibdovanadofosfórico
Nitrogênio Kjeldahl (formas não amoniacais de N)	3,6	%m/m	0,3	MAPA, 2017 - Macrométodo da liga de Raney
pH em solução de CaCl2 0,01 mol/L	5,87	-	-	MAPA, 2017
Cálculo da relação CTC/C	13,0	mmolc.10-1/ mg de C	-	MAPA, 2017
Umidade a 65 °C (U65)	86,0	%m/m	0,3	MAPA, 2017

Metais

Ensaio	Resultado	Unidade	L.Q.	Metodologia
Boro	< 5,00	mg/kg	5,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001
Cálcio	16682,9	mg/kg	50,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001
Cobre	159,1	mg/kg	0,9	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001
Ferro	2914,3	mg/kg	5,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001
Magnésio	2397,2	mg/kg	50,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001
Manganês	119,2	mg/kg	1,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001
Potássio (solúvel em água)	4378,0	mg/kg	50,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001
Sódio	4075,2	mg/kg	50,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001

Ensaio	Resultado	Unidade	L.Q.	Metodologia
Zinco	571,0	mg/kg	5,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001

Legenda:
Ensaios em negrito seguem a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017.
* Ensaios terceirizados L.Q. - Limite de Quantificação UFC - Unidade formadora de colônias
SMWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*
EPA - *Environmental Protection Agency* ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ROLAS - Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina

Observações específicas dos ensaios: -

Observações gerais:
Amostragens realizadas pela EcoCerta: seguem o PGQ-017 e o Plano de Amostragem com o mesmo nº do Orçamento.
Amostragens realizadas pelo Cliente: Procedimento e Plano de amostragem sob responsabilidade do mesmo, sendo as amostras analisadas confo rme recebidas.
A limpeza dos frascos, o manuseio e a preservação dos itens de ensaios (amostras) seguem o PGQ-018.
As informações de Conformidade/ Não Conformidade aos requisitos e/ou especificações de coleta e transporte dos itens de ensaio foram enviadas por e-mail no momento do Recebimento da Amostra, conforme FRQ-023.
Os resultados obtidos referem-se exclusivamente à amostra analisada.
Este documento só pode ser reproduzido na íntegra e sem alterações.

Ana Cristina Atti dos Santos
Responsável Técnica
CRQ 053 02072

Marcelo Rossato
Responsável Técnico
CRBio 25888 03D

Código de Segurança: DFCF9DE78D861E044A8319901145FD04

EcoCerta
Laboratório de Análises Ambientais

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 2056/21

Ensaio	Resultado	Unidade	L.Q.	Metodologia
				Modificada / EPA 200.7: 2001
Mercúrio	< 1,0	mg/kg	1,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001
Níquel	7,0	mg/kg	1,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 / EPA 200.7: 2001
Potássio (solúvel em água)	2609,0	mg/kg	50,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001
Selênio	< 0,1	mg/kg	0,1	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 / EPA 200.7: 2001
Sódio	1492,2	mg/kg	50,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001
Zinco	429,6	mg/kg	5,0	AOAC 2006.03 21ª Edição, 2019 - Modificada / EPA 200.7: 2001
Cromo hexavalente	1,6	mg/kg	0,4	EPA 3060A:1996 / EPA 7196A:1992

Microbiologia

Ensaio	Resultado	Unidade	L.Q.	Metodologia
Ovos viáveis de helmintos (embrionados)	< 1	Ovos/g MS	1,0	Essential of parasitology 6ª ed., 1995
Contagem de coliformes termotolerantes	$1,3 \times 10^2$	NMP/100g	1,8	CETESB L5.406 / 2007
Salmonella spp.	Ausência	UFC/g	Ausência em 25 g	SMWW 23ª 9260 B

Legenda:
Ensaios em negrito seguem a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017.
* Ensaios terceirizados L.Q. - Limite de Quantificação UFC - Unidade formadora de colônias
SMWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*
EPA - *Environmental Protection Agency* ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ROLAS - Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina

Observações específicas dos ensaios: -

Observações gerais:
Amostragens realizadas pela EcoCerta: seguem o PGQ-017 e o Plano de Amostragem com o mesmo nº do Orçamento.
Amostragens realizadas pelo Cliente: Procedimento e Plano de amostragem sob responsabilidade do mesmo, sendo as amostras analisadas conforme recebidas.
A limpeza dos frascos, o manuseio e a preservação dos itens de ensaios (amostras) seguem o PGQ-018.
As informações de Conformidade/ Não Conformidade aos requisitos e/ou especificações de coleta e transporte dos itens de ensaio foram enviadas por e-mail no momento do Recebimento da Amostra, conforme FRQ-023.
Os resultados obtidos referem-se exclusivamente à amostra analisada.
Este documento só pode ser reproduzido na íntegra e sem alterações.

Ana Cristina Atti dos Santos
Responsável Técnica
CRQ 053 02072

Marcelo Rossato
Responsável Técnico
CRBio 25888 03D

Código de Segurança: DFCF9DE78D861E044A8319901145FD04

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
LABORATÓRIO DE SOLOS
Rodovia BR 285 - Bairro São José - Campus I - Cx. Postal 611 - Passo Fundo-RS
CEP: 99001-970 - Fone: 5433168166 - E-mail: labsolos@upf.br

Cliente: FOLHITO IND. E COM. DE ADUBOS ORGÂNICOS LTDA - ESTRELA **CPF / CNPJ:** 00.234.266/0006-03
Endereço: - ESTRELA/RS **Área:**
Item Ensaiado: SOLO **Local de Coleta:**
Recebimento: 26/10/2021 **Emissão:** 08/11/2021 **Matrícula:**

RESULTADO(S) DO(S) ENSAIO(S)
LAB. DE SOLOS
ANÁLISE DE SOLO QUÍMICA COMPLETA

Ensaio	Unidade	Amostras 1762/2021 BRANCO
TEOR DE ARGILA	%	12
POTENCIAL DE HIDROGÊNIO (pH)		6,1
ÍNDICE SMP		5,7
FÓSFORO	mg/dm³	46,7
POTÁSSIO	mg/dm³	51
MATÉRIA ORGÂNICA	%	7,7
ALUMÍNIO	cmolc/dm³	0
CÁLCIO	cmolc/dm³	6,13
MAGNÉSIO	cmolc/dm³	2,99
ACIDEZ POTENCIAL (H+Al)	cmolc/dm³	6,2
CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC)	cmolc/dm³	15,5
SATURAÇÃO POR BASES	%	60
SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO	%	0
SATURAÇÃO POR POTÁSSIO	%	0,8
ZINCO	mg/dm³	2,78
COBRE	mg/dm³	0,83
MANGANÊS	mg/dm³	9,60
BORO	mg/dm³	0,6
ENXOFRE	mg/dm³	>46,6

Observações
- 1762/2021 - PROTOCOLO: 1115/2021.

SELO DE QUALIDADE
ANÁLISE BÁSICA +MICRONUTRIENTES
ROLAS 2021

JACKSON KORCHAGIN
Eng. Agr. CREA-RS 183514
RN 221161599-6
Responsável Técnico

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
LABORATÓRIO DE SOLOS
Rodovia BR 285 - Bairro São José - Campus I - Cx. Postal 611 - Passo Fundo-RS
CEP: 99001-970 - Fone: 5433168166 - E-mail: labsolos@upf.br

Cliente: FOLHITO IND. E COM. DE ADUBOS ORGÂNICOS LTDA - ESTRELA **CPF / CNPJ:** 00.234.266/0006-03
Endereço: - ESTRELA/RS **Área:**
Item Ensaiado: SOLO **Local de Coleta:**
Recebimento: 26/10/2021 **Emissão:** 08/11/2021 **Matrícula:**

RESULTADO(S) DO(S) ENSAIO(S)
LAB. DE SOLOS
ANÁLISE DE SOLO QUÍMICA COMPLETA

Ensaio	Unidade	Amostras 1763/2021 SUBSTRATO INERTE
TEOR DE ARGILA	%	12
POTENCIAL DE HIDROGÊNIO (pH)		5,7
ÍNDICE SMP		5,8
FÓSFORO	mg/dm³	>50,3
POTÁSSIO	mg/dm³	158
MATÉRIA ORGÂNICA	%	5,1
ALUMÍNIO	cmolc/dm³	0
CÁLCIO	cmolc/dm³	5,59
MAGNÉSIO	cmolc/dm³	2,96
ACIDEZ POTENCIAL (H+Al)	cmolc/dm³	5,5
CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC)	cmolc/dm³	14,5
SATURAÇÃO POR BASES	%	62
SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO	%	0
SATURAÇÃO POR POTÁSSIO	%	2,8
ZINCO	mg/dm³	2,49
COBRE	mg/dm³	0,87
MANGANÊS	mg/dm³	12,30
BORO	mg/dm³	0,8
ENXOFRE	mg/dm³	>46,6

Observações
- 1763/2021 - PROTOCOLO: 1115/2021.

SELO DE QUALIDADE
ANÁLISE BÁSICA +MICRONUTRIENTES
ROLAS 2021

JACKSON KORCHAGIN
Eng. Agr. CREA-RS 183514
RN 221161599-6
Responsável Técnico

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
LABORATÓRIO DE SOLOS
Rodovia BR 285 - Bairro São José - Campus I - Cx. Postal 611 - Passo Fundo-RS
CEP: 99001-970 - Fone: 5433168166 - E-mail: labsolos@upf.br

Cliente: FOLHITO IND. E COM. DE ADUBOS ORGÂNICOS LTDA - ESTRELA **CPF / CNPJ:** 00.234.266/0006-03
Endereço: - ESTRELA/RS **Área:**
Item Ensaiado: SOLO **Local de Coleta:**
Recebimento: 26/10/2021 **Emissão:** 08/11/2021 **Matrícula:**

RESULTADO(S) DO(S) ENSAIO(S)
LAB. DE SOLOS
ANÁLISE DE SOLO QUÍMICA COMPLETA

Ensaio	Unidade	Amostras 1764/2021 C1
TEOR DE ARGILA	%	12
POTENCIAL DE HIDROGÊNIO (pH)		5,7
ÍNDICE SMP		6,5
FÓSFORO	mg/dm³	>50,3
POTÁSSIO	mg/dm³	55
MATÉRIA ORGÂNICA	%	7,6
ALUMÍNIO	cmolc/dm³	0
CÁLCIO	cmolc/dm³	6,77
MAGNÉSIO	cmolc/dm³	3,14
ACIDEZ POTENCIAL (H+Al)	cmolc/dm³	2,5
CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC)	cmolc/dm³	12,6
SATURAÇÃO POR BASES	%	80
SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO	%	0
SATURAÇÃO POR POTÁSSIO	%	1,1
ZINCO	mg/dm³	3,98
COBRE	mg/dm³	2,16
MANGANÊS	mg/dm³	8,80
BORO	mg/dm³	0,8
ENXOFRE	mg/dm³	>46,6

Observações
- 1764/2021 - PROTOCOLO: 1115/2021.

SELO DE QUALIDADE
ANÁLISE BÁSICA +MICRONUTRIENTES
ROLAS 2021

JACKSON KORCHAGIN
Eng. Agr. CREA-RS 183514
RN 221161599-6
Responsável Técnico

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
LABORATÓRIO DE SOLOS
Rodovia BR 285 - Bairro São José - Campus I - Cx. Postal 611 - Passo Fundo-RS
CEP: 99001-970 - Fone: 5433168166 - E-mail: labsolos@upf.br

Cliente: FOLHITO IND. E COM. DE ADUBOS ORGÂNICOS LTDA - ESTRELA **CPF / CNPJ:** 00.234.266/0006-03
Endereço: - ESTRELA/RS **Área:**
Item Ensaiado: SOLO **Local de Coleta:**
Recebimento: 26/10/2021 **Emissão:** 08/11/2021 **Matrícula:**

RESULTADO(S) DO(S) ENSAIO(S)
LAB. DE SOLOS
ANÁLISE DE SOLO QUÍMICA COMPLETA

Ensaio	Unidade	Amostras 1765/2021 C2
TEOR DE ARGILA	%	12
POTENCIAL DE HIDROGÊNIO (pH)		6,1
ÍNDICE SMP		5,9
FÓSFORO	mg/dm³	>50,3
POTÁSSIO	mg/dm³	85
MATÉRIA ORGÂNICA	%	6,9
ALUMÍNIO	cmolc/dm³	0
CÁLCIO	cmolc/dm³	6,23
MAGNÉSIO	cmolc/dm³	2,97
ACIDEZ POTENCIAL (H+Al)	cmolc/dm³	4,9
CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC)	cmolc/dm³	14,3
SATURAÇÃO POR BASES	%	66
SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO	%	0
SATURAÇÃO POR POTÁSSIO	%	1,5
ZINCO	mg/dm³	6,68
COBRE	mg/dm³	2,19
MANGANÊS	mg/dm³	10,00
BORO	mg/dm³	0,9
ENXOFRE	mg/dm³	>46,6

Observações
- 1765/2021 - PROTOCOLO: 1115/2021.

SELO DE QUALIDADE
ANÁLISE BÁSICA +MICRONUTRIENTES
ROLAS 2021

JACKSON KORCHAGIN
Eng. Agr. CREA-RS 183514
RN 221161599-6
Responsável Técnico

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
LABORATÓRIO DE SOLOS
Rodovia BR 285 - Bairro São José - Campus I - Cx. Postal 611 - Passo Fundo-RS
CEP: 99001-970 - Fone: 5433168166 - E-mail: labsolos@upf.br

Cliente: FOLHITO IND. E COM. DE ADUBOS ORGÂNICOS LTDA - ESTRELA **CPF / CNPJ:** 00.234.266/0006-03
Endereço: - ESTRELA/RS **Área:**
Item Ensaiado: SOLO **Local de Coleta:**
Recebimento: 26/10/2021 **Emissão:** 08/11/2021 **Matrícula:**

RESULTADO(S) DO(S) ENSAIO(S)
LAB. DE SOLOS
ANÁLISE DE SOLO QUÍMICA COMPLETA

Ensaio	Unidade	Amostras 1766/2021 C3
TEOR DE ARGILA	%	12
POTENCIAL DE HIDROGÊNIO (pH)		5,8
ÍNDICE SMP		6,5
FÓSFORO	mg/dm³	>50,3
POTÁSSIO	mg/dm³	59
MATÉRIA ORGÂNICA	%	7,2
ALUMÍNIO	cmolc/dm³	0
CÁLCIO	cmolc/dm³	5,46
MAGNÉSIO	cmolc/dm³	2,98
ACIDEZ POTENCIAL (H+Al)	cmolc/dm³	2,5
CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC)	cmolc/dm³	11,1
SATURAÇÃO POR BASES	%	77
SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO	%	0
SATURAÇÃO POR POTÁSSIO	%	1,4
ZINCO	mg/dm³	5,87
COBRE	mg/dm³	1,46
MANGANÊS	mg/dm³	15,50
BORO	mg/dm³	1,0
ENXOFRE	mg/dm³	>46,6

Observações
- 1766/2021 - PROTOCOLO: 1115/2021.

SELO DE QUALIDADE
ANÁLISE BÁSICA +MICRONUTRIENTES
ROLAS 2021

JACKSON KORCHAGIN
Eng. Agr. CREA-RS 183514
RN 221161599-6
Responsável Técnico

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
LABORATÓRIO DE SOLOS
Rodovia BR 285 - Bairro São José - Campus I - Cx. Postal 611 - Passo Fundo-RS
CEP: 99001-970 - Fone: 5433168166 - E-mail: labsolos@upf.br

Cliente: FOLHITO IND. E COM. DE ADUBOS ORGÂNICOS LTDA - ESTRELA **CPF / CNPJ:** 00.234.266/0006-03
Endereço: - ESTRELA/RS **Área:**
Item Ensaiado: SOLO **Local de Coleta:**
Recebimento: 26/10/2021 **Emissão:** 08/11/2021 **Matrícula:**

RESULTADO(S) DO(S) ENSAIO(S)
LAB. DE SOLOS
ANÁLISE DE SOLO QUÍMICA COMPLETA

Ensaio	Unidade	Amostras 1767/2021 C4
TEOR DE ARGILA	%	12
POTENCIAL DE HIDROGÊNIO (pH)		5,8
ÍNDICE SMP		6,2
FÓSFORO	mg/dm³	>50,3
POTÁSSIO	mg/dm³	48
MATÉRIA ORGÂNICA	%	7,1
ALUMÍNIO	cmolc/dm³	0
CÁLCIO	cmolc/dm³	5,55
MAGNÉSIO	cmolc/dm³	2,98
ACIDEZ POTENCIAL (H+Al)	cmolc/dm³	3,5
CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC)	cmolc/dm³	12,2
SATURAÇÃO POR BASES	%	71
SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO	%	0
SATURAÇÃO POR POTÁSSIO	%	1,0
ZINCO	mg/dm³	6,49
COBRE	mg/dm³	1,59
MANGANÊS	mg/dm³	9,10
BORO	mg/dm³	0,7
ENXOFRE	mg/dm³	>46,6

Observações
- 1767/2021 - PROTOCOLO: 1115/2021.

SELO DE QUALIDADE
ANÁLISE BÁSICA +MICRONUTRIENTES
ROLAS 2021

JACKSON KORCHAGIN
Eng. Agr. CREA-RS 183514
RN 221161599-6
Responsável Técnico

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
LABORATÓRIO DE SOLOS
Rodovia BR 285 - Bairro São José - Campus I - Cx. Postal 611 - Passo Fundo-RS
CEP: 99001-970 - Fone: 5433168166 - E-mail: labsolos@upf.br

Cliente: FOLHITO IND. E COM. DE ADUBOS ORGÂNICOS LTDA - ESTRELA **CPF / CNPJ:** 00.234.266/0006-03
Endereço: - ESTRELA/RS **Área:**
Item Ensaiado: SOLO **Local de Coleta:**
Recebimento: 26/10/2021 **Emissão:** 08/11/2021 **Matrícula:**

RESULTADO(S) DO(S) ENSAIO(S)
LAB. DE SOLOS
ANÁLISE DE SOLO QUÍMICA COMPLETA

Ensaio	Unidade	Amostras 1768/2021 C5
TEOR DE ARGILA	%	12
POTENCIAL DE HIDROGÊNIO (pH)		5,3
ÍNDICE SMP		6,3
FÓSFORO	mg/dm³	>50,3
POTÁSSIO	mg/dm³	51
MATÉRIA ORGÂNICA	%	9,2
ALUMÍNIO	cmolc/dm³	0,2
CÁLCIO	cmolc/dm³	7,61
MAGNÉSIO	cmolc/dm³	3,03
ACIDEZ POTENCIAL (H+Al)	cmolc/dm³	3,1
CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC)	cmolc/dm³	13,9
SATURAÇÃO POR BASES	%	77
SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO	%	2
SATURAÇÃO POR POTÁSSIO	%	0,9
ZINCO	mg/dm³	13,89
COBRE	mg/dm³	2,66
MANGANÊS	mg/dm³	12,80
BORO	mg/dm³	0,6
ENXOFRE	mg/dm³	>46,6

Observações
- 1768/2021 - PROTOCOLO: 1115/2021.

SELO DE QUALIDADE
ANÁLISE BÁSICA +MICRONUTRIENTES
ROLAS 2021

JACKSON KORCHAGIN
Eng. Agr. CREA-RS 183514
RN 221161599-6
Responsável Técnico