

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO**

LEONARDO SANTIANI

**OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DE FERTILIZANTE FLUIDO OBTIDO COM
EXTRAÇÃO ALCALINA EM CAMA DE AVES COMPARADO À ADUBAÇÃO
MINERAL E ORGÂNICA**

**LAGES
2022**

LEONARDO SANTIANI

**OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DE FERTILIZANTE FLUIDO OBTIDO COM
EXTRAÇÃO ALCALINA EM CAMA DE AVES COMPARADO À ADUBAÇÃO
MINERAL E ORGÂNICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Cassol
Coorientador: Dr. Juliano Corulli Correa

LAGES, SC

2022

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração
automática da Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo autor**

SANTIANI, LEONARDO

OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DE FERTILIZANTE FLUÍDO OBTIDO COM
EXTRAÇÃO ALCALINA EM CAMA DE AVES COMPARADO À
ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA / LEONARDO SANTIANI. - - 2022.
99p.

Orientador: Paulo Cezar Cassol

Co-orientador: Juliano Corulli Correa

Dissertação (Mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Lages, 2022.

1. Avena sativa. 2. Biofertilizantes. 3. Adubação orgânica. 4. Ácidos
húmicos. 5. Ácidos fúlvicos. I. Cassol, Paulo Cezar. II. Correa, Juliano Corulli.
III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

IV. Título.

LEONARDO SANTIANI

**OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DE FERTILIZANTE FLUIDO OBTIDO COM
EXTRAÇÃO ALCALINA EM CAMA DE AVES COMPARADO À ADUBAÇÃO
MINERAL E ORGÂNICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof.º Dr. Paulo Cezar Cassol

Departamento de Solos e Recursos Naturais – CAV/UDESC

Membros:



Prof.º Dr. Alvaro Luiz Mafra

Departamento de Solos e Recursos Naturais – CAV/UDESC



Prof.º Dr. Paulo Hertz

Instituto Federal Catarinense – Campus Concórdia

Lages, 08 de fevereiro de 2022.

Aos meus pais, Nelson e Ivanilde, ao meu irmão Fabio, por fazerem parte desta jornada e me apoiarem em todos os momentos, dedico.

AGRADECIMENTOS

À minha família, meu pai Nelson Antonio Santiani, mãe Ivanilde Inês Marin Santiani que foram minha base e prestaram apoio nestes dois anos de trabalho e, ao meu irmão Fabio Santiani, que sempre me apoiou e foi minha inspiração para a pós-graduação.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Paulo Cezar Casol e Dr. Juliano Corulli Correa, pelos ensinamentos, amizade e disponibilidade para atender e orientar.

Aos colegas e amigos do PPGCS da UDESC pela acolhida, sempre disponíveis por auxiliar mesmo que de longe em todas as vezes que foram necessárias.

Aos colegas e colaboradores da Embrapa Suínos e Aves, pelo apoio e ensinamentos repassados e por ter contribuído para que fosse possível a execução do projeto.

Ao Anildo Cunha Junior, em especial, analista da Embrapa Suínos e Aves, pelo companheirismo e por não medir esforços e tempo para orientar, ensinar e auxiliar em todas as atividades necessárias.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, professores e técnicos pela oportunidade e ensinamentos.

À Embrapa Suínos e Aves pela parceria, infraestrutura e custeio do projeto. À CAPES pela concessão da bolsa e a empresa Ferticel Indústria de Fertilizantes Ltda pelo financiamento.

A todos meus amigos e pessoas que apoiaram acreditaram no meu potencial para que eu chegassem até aqui, com vocês todo trabalho se tornou mais leve e possível.

Gratidão!

“A adversidade desperta em nós capacidades que, em circunstâncias favoráveis, teriam ficado adormecidas”
Horácio

RESUMO

A população mundial cresce anualmente e aumenta a demanda por alimentos, atrelado a isso, a dependência externa do Brasil em fertilizantes, matéria prima essencial na produção de alimentos, leva a necessidade de alternativas para otimizar os recursos. A partir disso, pode-se empregar o uso de substâncias húmicas (SH) extraídas de cama de aves, material abundante em algumas regiões do país. Comumente, são extraídas de turfas, sendo escassos estudos de extração a partir de cama de aves, portanto, o objetivo do estudo foi quantificar as substâncias húmicas extraíveis da cama de aves, definindo extrator e concentração com maior rendimento e, avaliar a eficiência agronômica de um fertilizante fluido (FF) enriquecido com as substâncias, associado a adubação mineral e orgânica. Foram realizados dois experimentos. O primeiro, de extração, em delineamento casualizado, fatorial $3 \times 3 + 1$ com três extratores (hidróxido de sódio (NaOH); hidróxido de potássio (KOH); hidróxido de amônio (NH₄OH) e três concentrações: (0,1; 0,25 e 0,5 mol L⁻¹) + controle. Quantificou-se o carbono orgânico total de ácidos fúlvicos e húmicos. O segundo experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento de blocos casualizados em esquema 3×5 , três adubações (sem adubação, cama de aves, fertilizante mineral) e cinco doses do fertilizante fluido (0; 50; 100; 150 e 200 mg de C-SH kg⁻¹ de solo), com cinco repetições. Foi cultivada aveia branca em um Nitossolo Vermelho e avaliados os índices de rendimento da cultura, exportação de nutrientes e atributos químicos do solo. O destaque na extração se deu para o KOH, que apresentou comportamento linear crescente para o ácido fúlvico e húmico, assim como o NaOH para os ácidos húmicos. Diferentemente do NH₄OH, que sua resposta foi decrescente. No total, o KOH 0,5 mol L⁻¹ apresentou o maior rendimento de SH. A maior solubilidade do fertilizante mineral em relação a cama, permite melhor desenvolvimento da aveia e absorção de nutrientes, exceto ao P. O rendimento de biomassa seca não variou quando as fontes foram combinadas com substâncias húmicas, entretanto, o fertilizante fluido isolado apresenta aumento linear de produtividade e absorção de N, P e K. A cama de aves + FF eleva a eficiência uso de fósforo. O FF com SH permite elevar eficiência de disponibilidade de P e K e maiores índices de P, CTC e V% no solo, quando associado a cama e, do K quando associado ao mineral, o que caracteriza melhor nutrição da aveia. O melhor extrator para SH de cama de aves foi o KOH 0,5 mol L⁻¹, permitindo ainda 1,65% de K na composição do fertilizante e, a sinergia entre o FF com SH e os fertilizantes mineral ou orgânico promove benefícios de absorção de nutrientes na planta e eleva a fertilidade do solo, com maior ênfase ao P e K e, promove benefícios na CTC e V% em conjunto com adubação orgânica.

Palavras-chave: Avena sativa, biofertilizantes, adubação orgânica, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos.

ABSTRACT

The world population grows and the demand for food increases annually, Brazil's external dependence on fertilizers, an essential cousin in food production, leads to the need for alternatives to optimize resources. the use of humic substances (SH) and the use of litter birds of abundant material in some regions of the country. They are commonly extracted from peat, and there are few studies of chicken litter extraction, therefore, the objective of the study was to quantify the extractable humic substances from chicken litter, defining extractor and concentration with higher yield and, to evaluate the agronomic efficiency of a fluid fertilizer (FF) enriched with substances, compared to mineral and organic fertilization. Two experiments were performed. The first, extraction, in a randomized design, 3x3+1 factorial with three extractors (Sodium hydroxide (NaOH); Potassium hydroxide (KOH); Ammonium hydroxide (NH₄OH) and three concentrations: (0.1; 0.25 and 0.5 mol L⁻¹) + control. The total organic carbon of fulvic and humic acids was quantified. The second experiment was carried out in a greenhouse, in a randomized block design in a 3x5 scheme, with three fertilizers (without fertilization, poultry litter, mineral fertilizer) and five doses of fluid fertilizer (0; 50; 100; 150 and 200 mg of C-SH Kg⁻¹ of soil), with five repetitions. White oat was cultivated in Rhodic Kandiudox and crop yield, nutrient export and soil chemical attributes were evaluated. The highlight in the extraction was for KOH, which showed an increasing linear behavior for fulvic and humic acids, as well as NaOH for humic acids. Unlike NH₄OH, whose response was decreasing. In total, 0.5 mol L⁻¹ KOH showed the highest SH yield. The higher solubility of mineral fertilizer on litter allows better oat development and nutrient absorption, with the exception of P. Dry biomass production did not vary when sources were combined with humic substances, however, the fluid fertilizer alone showed a linear increase. on productivity and uptake of N, P and K. Poultry litter + FF increases the efficiency of phosphorus use. FF with SH allows increasing the efficiency of P and K availability and higher levels of P, CEC and V% in the soil when associated with litter, and of K when associated with the mineral, which characterizes better oat nutrition. The best extractor for SH chicken litter was KOH 0.5 mol L⁻¹, still allowing 1.65% of K in the fertilizer composition and the synergy between FF with SH and mineral or organic fertilizers promotes benefits of nutrient absorption in the plant and increases soil fertility, with greater emphasis on P and K, and promotes benefits in CEC and V% in conjunction with organic fertilization.

Keywords: avena sativa, biofertilizers, organic fertilization, humic acids, fulvic acids.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do processo de extração alcalina de ácidos fúlvicos e húmicos de cama de aves.	36
Figura 2 - Proporção de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e outras formas de carbono presentes, em relação ao carbono orgânico total (COT) da cama de aves, extraídos a partir de diferentes extractores e concentrações (mol L ⁻¹).....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química de camas de aves com base de maravalha.....	21
Tabela 2 - Composição química da cama de aves com média de 12 lotes, utilizada nos processos de extração das substâncias húmicas e experimento de eficiência agronômica em casa de vegetação.....	34
Tabela 3- Concentração de carbono total correspondente a fração de ácidos fúlvicos, húmicos e total extraídos a partir de cama de aves, com diferentes extratores e concentrações.	39
Tabela 4- Composição química do fertilizante fluído enriquecido com substâncias húmicas, preparado a partir de cama de aves em solução de hidróxido de potássio 0,5 mol L ⁻¹ .	43
Tabela 5- Caracterização física e química de um Nitossolo Vermelho coletado em Concórdia (SC) antes da implantação do experimento.	46
Tabela 6 - Produção de biomassa seca das raízes (MSRA), biomassa seca da parte aérea (MSPA), biomassa seca total (MSTOT) e número de perfilhos da aveia branca avaliados aos 60 DAE.....	51
Tabela 7- Valores acumulados de nitrogênio por vaso na biomassa seca de raízes, parte aérea e planta inteira da aveia branca aos 60 DAE.....	54
Tabela 8 - Valores acumulados de fósforo e potássio por vaso na biomassa seca de raízes, parte aérea e planta inteira da aveia branca aos 60 DAE.....	58
Tabela 9- Valores acumulados de cálcio e magnésio por vaso, na biomassa seca de raízes, parte aérea e planta inteira da aveia branca aos 60 DAE.....	61
Tabela 10- Valores acumulados de cobre e zinco, na biomassa seca de raízes, parte aérea e planta inteira aveia branca aos 60 DAE.....	63
Tabela 11- Índice de Eficiência (IE) dos nutrientes N, P, K, considerando o acúmulo de massa seca total e a massa absoluta de nutrientes absorvida, de acordo com método de Dobermann (2007).	65
Tabela 12- Eficiência fisiológica (EF) dos nutrientes N, P, K, considerando o acúmulo de massa seca total e a massa absoluta de nutrientes absorvida, restringindo a dose de acordo com método de Dobermann (2007).	67
Tabela 13– Teores de nitrogênio total (mg dm ³), fósforo e potássio disponíveis (mg dm ³) e, cálcio e magnésio trocáveis (cmolc dm ⁻³) no solo, nos tratamentos avaliados após a coleta das plantas de aveia branca aos 60 DAE.....	72

Tabela 14– Teores de carbono orgânico total (COT), CTC pH7, saturação de bases e pH em água, no solo nos tratamentos avaliados após a coleta das plantas de aveia aos 60 DAE.

..... 76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF Ácidos fúlvicos
AH Ácidos húmicos
C SH Carbono de substâncias húmicas
CA Cama de aves
CaO Óxido de cálcio
COT Carbono orgânico total
CTC Capacidade de troca catiônica
DAE Dias após emergência
FAF Fração dos ácidos fúlvicos
FAH Fração dos ácidos húmicos
FF Fertilizante fluído enriquecido com substâncias húmicas
FM Fertilizante mineral
HUM Humina
IHSS International humic substances society (Sociedade internacional de substâncias húmicas)
KOH Hidróxido de potássio
M Molar
MgO Óxido de magnésio
MOS Matéria orgânica do solo
NaOH Hidróxido de sódio
NH₄ Amônio
NH₄OH Hidróxido de amônio
CaO Óxido de cálcio
SH Substâncias húmicas

LISTA DE SÍMBOLOS

Al Alumínio

C Carbono

Ca Cálcio

Cu Cobre

K Potássio

Mg Magnésio

N Nitrogênio

P Fósforo

Zn Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVOS GERAIS	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 CAMA DE AVES	21
3.2 MATÉRIA ORGÂNICA	22
3.3 SUBSTÂNCIAS HÚMICAS	23
3.3.1 Efeitos na disponibilidade de nutrientes.....	25
3.3.2 Efeitos sobre as plantas	27
3.4 EXTRATORES ALCALINOS.....	29
3.5 FERTILIZANTES FLUIDOS	30
3.6 CULTURA DA AVEIA	31
4 CAPÍTULO I - EXTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS A PARTIR DE CAMA DE AVES COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES E EXTRATORES ALCALINOS.....	32
4.1 INTRODUÇÃO.....	32
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.2.1 Obtenção e caracterização da cama de aves	34
4.2.2 Extração de ácidos húmicos e fúlvicos da cama de aves	34
4.2.3 Preparo do fertilizante fluido	36
4.2.4 Caracterização do fertilizante fluido	37
4.2.5 Análise estatística.....	38
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38

4.4 CONCLUSÕES	44
5 CAPÍTULO II – RESPOSTA DA AVEIA BRANCA A APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE FLUIDO ENRIQUECIDO COM SUBSTÂNCIAS HÚMICAS COMBINADO COM ADUBAÇÃO MINERAL OU ORGÂNICA	44
5.1 INTRODUÇÃO	44
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	45
5.2.1 Localização	45
5.2.2 Tratamentos e delineamento experimental	46
5.2.3 Caracterização do solo e adubação	46
5.2.4 Condução do experimento	47
5.2.5 Coleta e preparo de amostras	47
5.2.6 Determinação de nutrientes no tecido vegetal e solo	48
5.2.7 Eficiência agronômica de nutrientes	49
5.2.8 Análise estatística.....	49
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.3.1 Crescimento e acúmulo de nutrientes pela cultura da aveia	49
5.3.2 Eficiência agronômica	64
5.3.3 Disponibilidade de nutrientes e atributos químicos do solo	68
5.4 CONCLUSÕES	77
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1 INTRODUÇÃO

A demanda mundial por alimentos vem crescendo a cada ano, impulsionada pelo aumento da população, que deve ultrapassar a marca de 10 bilhões de pessoas até 2050. Para suprir essa demanda, sem expandir as áreas de plantio, é necessário aumentar a produtividade dos cultivos agrícolas. A utilização de fertilizantes é uma das formas mais eficientes de aumentar a produtividade, entretanto, o Brasil apresenta uma enorme dependência externa nesse setor, que torna imprescindível o desenvolvimento de novos produtos, com matérias primas nacionais para atender essa demanda.

Afim de aumentar a eficiência dos fertilizantes, otimizar o uso de recursos e intensificar a produção, uma das técnicas que podem ser utilizadas é a aplicação de substâncias húmicas (SH). Os benefícios das SH são inúmeros no sistema, e ocorrem principalmente na dinâmica de nutrientes no sistema solo planta. No solo aumenta a disponibilidade de nutrientes, especialmente do fósforo, diminui sua fixação nos colóides e, no caso dos cátions, aumentam a retenção em formas que as plantas têm acesso para absorção. Já na planta, promove benefícios diretos e indiretos, com maior absorção de nutrientes e efeitos hormonais que aumentam a produtividade dos cultivos.

A produção de fertilizantes e/ou bioestimulantes contendo substâncias húmicas, comumente está atrelada à extração a partir de turfeiras ou carvão, fontes finitas de carbono, o qual sua extração além de esgotar as reservas, gera danos ambientais e alterações no ecossistema. Dessa forma, extração a partir de outros materiais potenciais, a exemplo das camas de aves, que geram menores custos e impactos ambientais podem ser uma alternativa vantajosa.

Vários estudos demonstram que resíduos de atividades agrícolas intensivas, como a produção de frangos de corte, apresentam elevado potencial de geração de material para obtenção de SH. A extração pode se dar a partir da cama de aves, composta por excretas e maravalha, utilizada como leito de criação dos animais de produção. O produto final é um fertilizante de alta qualidade e elevado teor de matéria orgânica, que pode se tornar uma opção favorável ao cenário atual, dado que o Brasil é o segundo maior produtor mundial de frangos de corte e gera aproximadamente 10 milhões de toneladas deste resíduo por ano.

Devido a variação nos rendimentos de extração de SH de acordo com o material orgânico e extrator utilizados, é necessário definir o melhor e mais eficiente extrator de SH para a cama de aves nessa condição específica. A Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) indica o uso de hidróxido de sódio (NaOH) $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, porém, o sódio em excesso pode gerar toxicidade para as plantas e comprometer a agregação do solo. Diversos trabalhos

demonstram que outros álcalis, com diferentes concentrações já se mostraram potenciais para extração de SH, com variações no rendimento final. Dentre esses, o hidróxido de potássio (KOH) e o hidróxido de amônio (NH₄OH) se destacam, por conterem nutrientes benéficos para as plantas, como o potássio e Nitrogênio

Desta forma, considerando os benefícios e as transformações químicas que ocorrem no solo e nas plantas, a extração e uso de substâncias húmicas a partir de cama de aves pode melhorar a eficiência dos fertilizantes e otimizar o uso de recursos, contribuindo para o aumento das produtividades agrícolas e o aproveitamento dos resíduos avícolas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Determinar a quantidade de substâncias húmicas extraíveis da cama de aves, bem como o extrator e a concentração mais eficientes e, avaliar a eficiência agronômica de um fertilizante fluido enriquecido com as substâncias extraídas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o desempenho de três diferentes extractores de substâncias húmicas a partir de cama de aves, determinar o efeito da concentração do extrator e quantificar as frações de ácidos húmicos e fúlvicos extraídas.

Producir um fertilizante fluido enriquecido com as substâncias húmicas obtidas a partir cama de aves.

Estimar a eficiência do fertilizante fluido, em associação ou não com a adubação tradicional a partir de fertilizante mineral ou orgânico, no desempenho agronômico da aveia branca e nos atributos do solo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CAMA DE AVES

A produção de frangos cresce a cada ano, passando de 100 milhões de toneladas no mundo e 13,8 milhões de toneladas no Brasil, no ano de 2020, considerado o país, o segundo maior produtor (ABPA,2021). A geração de resíduos do tipo cama de aves é de 0,76 ton de cama em base seca para cada 1 tonelada de carne produzidas (MIGLIAVACCA; YANAGIHARA, 2017), totalizando no ano de 2020 cerca de 76,3 milhoes de toneladas de cama geradas no mundo e cerca de 10,4 milhões de toneladas no Brasil

A cama de aves é um material heterogêneo composto geralmente de maravalha de madeira, fezes, urina, penas e resíduos de ração (GHANIM et al., 2016). Podendo ser descrita também como uma mistura complexa de porções alquil, açúcares, sistemas aromáticos e funcionalidades ácidas (LYNCH et al., 2013). Sua composição química (Tabela 1) apresenta teores que variam conforme a quantidade de lotes de aves alojadas sobre ela e o manejo adotado pelo produtor. A maravalha é o material mais aceito para este fim, devido a qualidade e sanidade, pois possui alta capacidade de absorção e secagem, facilidade de manejo e boa condição microbiológica (ÁVILA et al., 2007).

Tabela 1 - Composição química de camas de aves com base de maravalha.

Autor	pH	C %	N	P	K g k ⁻¹	Ca	Mg
Ávila et al. (2007)	8,58	-	24,4	8,4	-	14,9	-
Valadão et al. (2011)	-	24,3	40,0	37,7	32,0	64,2	7,8
Jindo et al. (2016)	8,2	27,9	29,0	-	-	-	-
Rogerl et al. (2016)	7,8	28,3	22,2	30,0	29,0	-	-
CQFS – RS/SC (2016)	-	27,9	30,0	13,0	30,8	37,9	14,0

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Devido a essa riqueza de nutrientes presentes, esses resíduos orgânicos quando lançados de forma incorreta no ambiente, podem causar poluição do solo e eutrofização da água (AWASTHI et al., 2019). Entretanto, se empregados em quantidades e formas adequadas, os fertilizantes orgânicos podem potencializar e promover benefícios. Em todas regiões do mundo já é comum a aplicação de cama de aves para melhorar a fertilidade do solo (OYEWUMI; SCHREIBER, 2017), podendo ser comercializado como fertilizante natural, atuando como

fonte de nutrientes para o cultivo de hortaliças, grandes culturas e corretivo das condições, químicas, físicas e biológicas do solo (BRONDI et al., 2016), assim como o incremento do carbono orgânico total no solo (COT), que ao sofrer decomposição gera vários compostos orgânicos benéficos (HENTZ et al., 2016).

A compostagem é uma maneira de estabilizar o material, diminuindo um possível impacto ambiental e melhora a qualidade do produto (DUAN et al., 2019). Ela pode ser dividida em duas fases, a termofílica e a mesofílica. Na termofílica ocorrem as reações de oxidação mais intensas, e as temperaturas variam entre 45 e 65°C, onde também ocorrem a eliminação de patógenos e de organismos indesejáveis, (VITORINO; PEREIRA NETO, 1992). Na mesofílica, ou fase de maturação, depois que a maior parte da matéria orgânica foi transformada, a temperatura diminui e a população termofílica é substituída pelos organismos mesofílicos. Aqui, há a predominância de transformações químicas da matéria, como a polimerização das moléculas orgânicas estáveis, que acontece na temperatura ambiente e recebe o nome de humificação, (FERNANDES; SILVA, 1999).

Assim como em diversos outros resíduos orgânicos, a compostagem gera a síntese de substâncias húmicas, que representam parte de sua composição e varia conforme o tempo e manejo do material. Yu et al. (2019) avaliando esterco de frango com 60 dias de compostagem observaram 22 mg g⁻¹ de substâncias húmicas, representando 40% da composição, o que diferiu de Wang et al. (2015), que avaliando material de mesma idade obtiveram menor porcentagem, com cerca de 10,6% do C total de SH, sendo 22,3 g kg⁻¹ de ácidos húmicos e 5,3 g kg⁻¹ de ácidos fúlvicos. Quando as excretas não passam por compostagem e não tem outros materiais incorporados, os teores também são menores, como observado por Brondi et al. (2016) que encontraram 1,7 g kg⁻¹ de ácidos húmicos e 1,6 g kg⁻¹ de ácidos fúlvicos em excretas de frangos.

3.2 MATÉRIA ORGÂNICA

A matéria orgânica consiste em uma variedade de fragmentos orgânicos e produtos microbianos de todos os tamanhos, em vários estágios de decomposição (COTRUFO et al., 2013). No processo de decomposição, como ocorre na compostagem os microrganismos podem transformar os substratos orgânicos em produtos finais estáveis e maduros, em um processo conhecido como humificação (AWASTHI et al., 2019). Em sua definição original, a humificação supõe transformação ou síntese adicional dos produtos de decomposição inicial em grandes compostos de cor escura, com macromoléculas resultantes consideradas ricas em estruturas de carbono e nitrogênio resistentes à decomposição (STEVENSON 1994).

A humificação clássica depende da síntese de grandes moléculas a partir de produtos de decomposição. Alguns materiais orgânicos são preferencialmente mineralizados, deixando para trás produtos de decomposição intrinsecamente estáveis. A decomposição progressiva reflete o conceito de processamento microbiano de grandes biopolímeros em moléculas menores. Um contingente de fragmentos orgânicos é continuamente processado pela comunidade de decompisitores, desde grandes resíduos vegetais e animais até um tamanho molecular menor. Ao mesmo tempo, a maior oxidação dos materiais orgânicos aumenta a solubilidade em água, bem como a oportunidade de proteção contra posterior decomposição por meio de maior reatividade em relação às superfícies minerais e incorporação em agregados (LEHMAN; KLEBER, 2015).

Esse processo também gera precursores de substâncias húmicas que são polimerizados de várias maneiras, incluindo vias de proteína-lignina, vias de polifenóis e reações de Maillard para formar SH. A formação dos precursores da compostagem das SH pode ser dividida em dois aspectos, decomposição e síntese (TAN, 2014), onde o microrganismo pode degradar a matéria orgânica para satisfazer seu crescimento, liberando os precursores e conforme o crescimento dos microrganismos eles começam a sintetizar precursores pelas vias metabólicas secundárias, como a via do ácido chiquímico e do ácido malônico. Os precursores são polimerizados sob a ação de enzimas ou automaticamente para formar SH (TAN, 2014; WU et al., 2017).

Essas substâncias são um dos compostos mais complexos da compostagem e têm efeito importante na melhoria da fertilidade do solo, pois são ricas em matéria orgânica madura. Além disso, a estrutura supramolecular complexa de SH tem capacidade de ligação universal com metais pesados, compostos aromáticos polares e corantes orgânicos (HE et al., 2015; SMILEK et al., 2015).

3.3 SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

As substâncias húmicas (SH) são encontradas em abundância na natureza, entretanto, em relação a sua complexidade e heterogeneidade no que diz respeito à sua estrutura química, o conhecimento é ainda limitado. São definidas como macromoléculas complexas, polidispersas e heterogêneas, produzidas pela biodegradação de resíduos vegetais e animais (NEBBIOSO et al., 2015; TADINI et al., 2015). Suas características em termos de composição, estrutura, peso molecular e posição dos grupos funcionais variam de acordo com a origem e idade (SHAHBAZI; MARZI; TABAKHIAN, 2019). Naturalmente, a composição elementar

das SHs contém de 40–60% de carbono, 30–50% de oxigênio, 4–5% de nitrogênio, 1–2% de enxofre e 0–3% de fósforo (SUTZKOVER-GUTMAN et al., 2010).

São divididas em três frações principais de acordo com a solubilidade em meios alcalinos e ácidos, incluindo, ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM). Os AF são compostos de maior solubilidade por apresentar maior polaridade e menor tamanho molecular, sendo solúveis em água e qualquer faixa de pH, com pesos moleculares menores que 2.000 Dalton (Da); o comprimento e o diâmetro médios das macromoléculas são de 2-60 nm e estão entre os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo (BENITES et al., 2003; SUTZKOVER -GUTMAN et al., 2010; KATSUMI et al., 2016).

O AH é um polímero macromolecular formado por meio de processos físicos, químicos e biológicos de longo prazo, sendo um dos componentes multifásicos mais ativos no solo, com estrutura química complexa (SONG et al., 2017), que contém vários tipos de grupos funcionais, como grupo fenol, cetona, carboxila, quinino, hidroxil, carboxílico e amina, que podem fornecer muitos locais disponíveis para a ligação de íons metálicos e, portanto, afetam o crescimento de plantas e microorganismos. Apresentam pesos moleculares variando aproximadamente de 2.000 a 5.000 Da (BENITES et al., 2003; SUTZKOVER -GUTMAN et al., 2010; KATSUMI et al., 2016).

Os AH são parcialmente solúveis em água e apresentam baixa solubilidade em meio ácido, ficando insolúveis com pHs inferiores a dois, e solúveis em álcali (pH básico). Os processos de reação que ocorrem nos diferentes meios são os seguintes: Em meios alcalinos, os grupos fenólicos e carboxílicos são desprotonados e a repulsão desses grupos carregados negativamente faz com que as moléculas assumam uma configuração alongada. Ao diminuir o pH, os grupos funcionais são protonados e os efeitos de repulsão são minimizados, fazendo com que a molécula adote uma estrutura enrolada e compacta. Nesta etapa, as porções hidrofóbicas estão no interior da estrutura, e as porções hidrofílicas estão em contato com o meio aquoso. Este comportamento é responsável pelas características detergentes dos AHs, sua organização micelar e a diminuição da tensão superficial. Essas moléculas formam agregados em um nível intramolecular, seguido por agregação intermolecular e, finalmente, precipitação (DE MELO et al., 2016; VON WANDRUSZKA, 2000).

Como os AHs são um polieletrólico fraco, eles podem existir na água como moléculas dissolvidas e na forma dissociada, correspondente à fração solúvel. A fração insolúvel interage com o meio ambiente através da superfície e atua como um trocador de íons, liberando íons H^+ na solução enquanto os ânions permanecem insolúveis (KLUCAKOVÁ; PEKAR, 2005; DE MELO et al., 2016).

A humina é a fração que apresenta peso molecular e teores de carbono mais elevados e está fortemente associada à matriz mineral, o que a torna insolúvel em qualquer faixa de pH. Diferente dos ácidos húmicos e fúlvicos, que são submetidos a transformações químicas, a humina é altamente refratária. Além disso, sabe-se que a sua composição inclui biopolímeros inalterados e menos alterados, como lignina, polissacarídeos e lipídeos ligados a minerais e materiais semelhantes a ácidos húmicos (RICE; MACCARTHY, 1990), querogênio e carbono negro. Também contém segmentos de estrutura ácido-hidrolisável, carboidratos, proteínas e ésteres que podem ser removidos por tratamento ácido (SONG; PENG; HUANG, 2002). Por definição, a humina consiste no resíduo sólido que permanece após a centrifugação do extrato alcalino da amostra, e para separá-la da matriz inorgânica (principalmente argilas e óxidos), o resíduo é geralmente submetido a remoção de poeira e o tratamento ideal deve ser capaz de dissolver uma proporção substancial da matriz mineral sem alterar significativamente a estrutura química dos compostos orgânicos (CALACE et al., 2007).

Os diferentes tamanhos das frações, tem influência na bioatividade das moléculas. A fração de tamanho molecular é mais bioativa, seguida, pela ordem do ácido húmico original e das frações de tamanho maior. Esse efeito ocorre pela maior flexibilidade da menor fração de tamanho, conferida pelo maior conteúdo de componentes hidrofílicos (NARDI et al., 2007). Tanto a flexibilidade conformacional quanto a hidrofilicidade dessa fração húmica de pequeno porte, devem facilitar a liberação de sua estrutura supramolecular por ação de ácidos orgânicos exsudados por raízes de moléculas húmicas com atividade de estimulação vegetal. A difusão de tais moléculas bioativas em solução é mais difícil a partir de matrizes húmicas com conformações maiores e mais compactas (CANELLAS et al., 2010; CANELLAS et al., 2011; PIZZEGHELLO et al., 2012).

O tamanho molecular aparente é explicado pela estrutura supramolecular que destaca a associação de pequenas moléculas unidas por interações não covalentes. Os ácidos fúlvicos são pequenas micelas dispersas pela repulsão eletrostática das cargas negativas originadas da dissociação de grupos ácidos presentes. As micelas dos ácidos húmicos apresentam estruturas hidrofóbicas estabilizadas em pH 7 por forças dispersivas hidrofóbicas, possibilitando a aproximação gradual do pH até a precipitação, onde o pH influencia na estrutura devido a protonação da molécula e aumento das ligações de hidrogênio (SANTOS et al., 2015).

3.3.1 Efeitos na disponibilidade de nutrientes

As SH atuam na fertilidade do solo e podem ser utilizadas como fertilizantes e estimulantes de crescimento de plantas, contribuindo para o aumento da produção agrícola com potencial para intensificar a produção em escala e otimizar o uso de recursos (CANELLAS et al., 2015; YU et al., 2019). Através dos grupamentos fenólicos e carboxílicos principalmente, presentes na sua estrutura molecular, têm a propriedade de formar cargas elétricas predominantemente negativas, que são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais. A densidade de carga dos ácidos fúlvicos tem CTC que varia de 900 a 1400 cmolc dm⁻³ contra 500 a 870 cmolc dm⁻³ presentes nos ácidos húmicos (STEVENSON, 1994). Além disso, contribui de diferentes formas, por meio da interação com metais na retenção de outras substâncias orgânicas e por meio de interação das SH com argilas complexas estáveis, favorecendo a agregação das partículas, atuando na melhoria da penetração, infiltração e retenção água, reduzindo a erodibilidade do solo (CHOTZEN et al., 2016; WEBER et al., 2018).

A interação de SH com metais, proporciona a formação de complexos com diferentes características e estabilidade, capazes de controlar a disponibilidade de nutrientes no meio (SANTOS et al., 2018). O papel dos íons metálicos em solução é similar ao dos íons H⁺, atuando na neutralização de carga, o qual a maior carga, promove maior eficácia do cátion na formação de pseudo-micelas. Os cátions multivalentes interagem com grupos fenólicos e carboxílicos em cadeias adjacentes, aumentando os domínios pseudo-micelares e promovendo efeito detergente. A interação entre as moléculas de AHs e os cátions metálicos é inicialmente inteiramente eletrostática, e os cátions se movem para seus locais termodinamicamente preferidos dentro da estrutura (VON WANDRUSZKA, 2000; DE MELO et al., 2016).

O uso de SHs é uma estratégia para reduzir a adsorção de P em solos tropicais (WANG et al., 2016), a dinâmica é favorecida pois podem competir com micronutrientes metálicos, enquanto o fósforo compete pelos sítios de adsorção dos hidróxidos de Fe e Al, melhorando a disponibilidade e solubilidade desses nutrientes (ANTELO et al., 2007). As SHs tem capacidade de formação de complexos SH-cátion-P e interagir com o fosfato por meio da formação de pontes metálicas (GERKE, 2010), o qual o P se liga a matéria orgânica de forma similar com que é adsorvido pelos oxihidróxidos de Fe e Al. Esses complexos orgânico-metálico-P podem ser formados por diferentes cátions, como Fe, Al, Ca e Mg, com estabilidade química distinta, sendo estáveis e solúveis em condições muito semelhantes às das soluções do solo (URRUTIA et al., 2013; URRUTIA et al., 2014).

Dessa forma, as SH podem afetar a disponibilidade do P ao bloquear sítios de adsorção de P dos hidróxidos de Fe e Al; competir com sítios de adsorção da fração mineral pelo P

solúvel; e deslocando parte do P adsorvido pela fração mineral (ANDRADE et al., 2003; WANG et al., 2016). Esses mecanismos reduzem a afinidade do P com a superfície mineral de solos altamente intemperizados e podem diminuir a capacidade tampão de P do solo (MALUF et al., 2016). Maluf et al. (2016) observaram que a aplicação de 332 mg kg¹ de ácidos húmicos reduziu em 16% a capacidade máxima de adsorção de fósforo, evitando a adsorção de 198 kg ha¹ de P nos coloides do solo, deixando-o assim disponível para as plantas.

3.3.2 Efeitos sobre as plantas

Nas plantas as substâncias húmicas exercem efeito principalmente sobre a taxa de absorção de nutrientes, que ocorre através de três principais mecanismos: a) interação direta entre as substâncias húmicas e os carreadores protéicos da membrana responsáveis pelo transporte dos íons, b) influência das substâncias húmicas sobre a matriz fosfolipídica da membrana plasmática, devido à penetração destas substâncias nela, com mudanças na permeabilidade passiva da membrana e no ambiente lipídico ao redor das proteínas da membrana e, c) efeitos indiretos sobre o transporte, gerado por mudanças nos processos metabólicos que regulam a taxa de absorção nas células das raízes (MAGGIONI et al. 1987; ZANIN et al., 2019).

Entre os efeitos diretamente ligados à nutrição em diferentes espécies de plantas está a capacidade de estimular a atividade da H⁺-ATPase da raiz (CANELLAS et al., 2015) e a absorção de alguns nutrientes como N, P, S e Fe (ZANIN et al., 2018). As H⁺-ATPases são enzimas transmembranares capazes de hidrolisar ATP, gerando energia e gradiente eletroquímico para o transporte de íons na membrana plasmática e aumento da plasticidade da parede celular para possibilitar o processo de crescimento e divisão da célula vegetal (CANELLAS; FAÇANHA, 2004; ZANIN et al., 2019). Sua ativação ocorre pela presença de moléculas ou unidades bioativas nas SH semelhantes as auxinas, que estimulam o enraizamento das plantas (ALSHAAL et al., 2017). As SHs induzem o aumento da produção de exsudatos, que aumentam uma infinidade de compostos químicos para a interface da raiz, que são liberados para a solução do solo por simples variação do pH na rizosfera provocado por eles (CANELLAS et al., 2019a).

Nos fertilizantes fosfatados, as SH podem otimizar a eficiência de absorção, ao liberar H⁺ na rizosfera e aumentando a absorção de fosfato pelas plantas (DE AZEVEDO et al., 2019). Em complexos de SH-Metal-Fosfato, as plantas podem absorver tanto o metal quanto o fosfato,

quando aplicados à raiz na forma líquida ou sólida (URRUTIA et al., 2013; URRUTIA et al., 2014).

Na interação com o nitrogênio, a aplicação de SH à rizosfera ou às folhas causa melhorias significativas na absorção de N pela raiz e assimilação adicional dentro da planta. E esse aumento na absorção de N pela raiz, na forma de nitrato, está associado a aumentos significativos na atividade da membrana plasmática da raiz H^{+} ATPase (ROSE et al., 2014). Efeitos na elevação da concentração foliar de nitrogênio, podem ser observados pela capacidade de quelação do elemento N (DEHSHEIKH et al., 2020) e pela alta absorção líquida de nitrato através do sistema de transporte de baixa afinidade, com melhor eficiência de absorção de N tanto em forma de $N-NO_3^-$ quanto no $N-NH_4^+$, e maior produção de biomassa (TAVARES et al., 2019).

A absorção de N, P e K pode elevar em até 60% o peso seco das plantas de milho com doses de até 20 mg C L⁻¹ de ácidos húmicos em solução (JING et al., 2020). A combinação de ácidos húmicos (50 mg kg⁻¹) e disponibilidade de boro no solo incrementa a produção de MS total do tomateiro (MOSCHINI; SILVA, 2018). Mais recentemente, Sandepogu et al. (2019) relatou que aplicação exógena de SH promoveu a crescimento inicial de alface e espinafre e redução perdas de rendimento comercializável durante a fase de armazenamento. No tomateiro observaram aumento de área foliar e produtividade, com a aplicação de 20 mg L⁻¹ de C-AH (OLIVARES et al. 2015).

Em soja, Catuchi et al. (2016), aplicando ácido húmico verificaram aumento no número de vagens por planta e da produtividade total e a aplicação de ácido húmico melhorou a disponibilidade de nutrientes e absorção pelas plantas de milho através da melhoria das estruturas da comunidade fúngica/bacteriana (LIU et al., 2019). Em feijão, foram observadas melhorias nas respostas de crescimento, pigmentos fotossintéticos, quantidade e qualidade da produção de sementes (DAWOOD et al., 2019), além de aumento dos parâmetros de crescimento das plantas e composição química das folhas (FAIYAD et al., 2019), assim como aumento na absorção de NPK e rendimento de peso seco (SAMIE et al., 2018).

Os efeitos das substâncias húmicas no metabolismo das plantas dependem da origem do material, método de extração, concentração, composição do extrato húmico e quantidade de fertilizantes presentes ou adicionados ao solo. Solos com baixos teores de matéria orgânica apresentam resultados melhores, uma vez que altos teores de MOS produzem níveis significantes de SH, já solos com alta fertilização, não demonstram efeitos positivos da ação de ácidos húmicos e fúlvicos. Plantio em condições de estresse, seja nutricional ou climático também demonstram efeitos mais significativos, além da espécie cultivada, o estágio de

desenvolvimento e o ambiente de cultivo podem influenciar nos efeitos (CHEN; AVIAD, 1990; NARDI et al., 2009; HARTZ; BOTTOMS, 2010).

3.4 EXTRATORES ALCALINOS

As substâncias húmicas foram definidas com base em métodos específicos de fracionamento, e esta definição operacional leva ao fato de que o conteúdo de AH e AF é dependente do tipo de extração. A quantidade extraível de substâncias húmicas e seus produtos característicos dependem de vários fatores, que incluem os tipos de materiais orgânicos do qual é extraído, temperatura, tamanho da partícula, frequência de extração, agente de extração, resistência ao procedimento e secagem (ASING et al., 2009). As condições específicas em qualquer método de isolamento que afeta o comportamento químico dos materiais húmicos podem levar a mudanças na classificação dessas substâncias, em termos das frações de AH e AF (STEVENSON, 1994).

A extração de SH pode ser realizada por diferentes extratores, entretanto, o uso de soluções alcalinas para esse fim é o método clássico e mais utilizado, o qual resulta na maior quantidade de SH obtidas (SHAHBAZI; MARZI; TABAKHIAN, 2019). O processo de extração alcalina compreende a ionização dos grupos ácidos, causando expansão e repulsão de cargas da macromolécula húmica e resultando na transferência das SH da fase sólida para a solução. Consequentemente, a solubilidade das SH e a distribuição do tamanho molecular dos compostos solúveis é dependente do pH, força iônica e natureza dos íons eletrolíticos (SWIFT 1989; CLAPP et al., 1993). O extrator mais apropriado para este fim, deve ter a maior capacidade de transferir SH da fase sólida para a solução sem alterar as características físico químicas, sendo também economicamente viável e ter grande disponibilidade de materiais orgânicos em que pode ser utilizado e não ser um contaminante ambiental (STEVENSON, 1994; CANELLAS et al., 2005).

O método proposto pela International Humic Substances Society (IHSS), promove resultados satisfatórios e é prático de ser executado, consiste no procedimento de extração em 4 horas com solução de NaOH a 0,1 mol L⁻¹ e temperatura ambiente, com a razão composto extrator de 1:10 (m/v), sob atmosfera de nitrogênio. O hidróxido de sódio (NaOH), é considerado o extrator alcalino mais forte usado para extraer SH, que são separadas por precipitação em pH baixo (IHSS, 2018), obtendo rendimento de grande quantidade de SH. Entretanto, possui risco de degradação parcial na estrutura molecular, pois contribui para a contaminação do produto final com compostos indesejáveis (ARANGANATHAN et al., 2019).

Além disso, o NaOH pode ser nocivo ao desenvolvimento vegetal, devido à adição de sódio decorrente da formação de humatos de sódio (SANTOS JUNIOR, 2003), podendo gerar toxicidade às plantas.

Diversos estudos apontam outros extractores eficazes para remoção de SHs provenientes de materiais orgânicos, como utilização de hidróxido de potássio (KOH), o qual a solução extratora KOH na concentração de 0,5 mol L⁻¹ apresenta vantagens em relação ao NaOH por promover maior rendimento de extração e redução de contaminantes no processo (ROSA; ROCHA; FURLAN, 2000), além de fornecer teores de potássio ao fertilizante final, benéfico para o desenvolvimento das plantas (SAITO; SECKLER, 2014). O menor tamanho do K⁺ permite maior expansão e interação das cargas intra e intermoleculares dentro das substâncias húmicas, com maior capacidade para expor grupos mais ácidos ao ataque pelo extrator alcalino e recuperar grandes quantidades de SH (ROCHA; ROSA; FURLAN, 1998).

Assim como a solução extratora KOH, que fornece potássio para as plantas, o hidróxido de amônio (NH₄OH) também pode ser um álcali com potencial, pois pode disponibilizar nitrogênio às plantas na forma de amônio (NH₄) (ERNANI, 2016).

A concentração do extrator também é um fator importante a ser considerado pois pode alterar a extração total de SH (ROMARÍS-HORTAS; MOREDA-PIÑEIRO; BERMEJO-BARRERA, 2007). O aumento da concentração de KOH pode ser proporcional ao aumento dos teores carbono de SH extraído, ocasionado pelas características dos íons potássio (raio de hidratação e mobilidade iônica) que influenciam no processo de solvatação dos grupos ionizados de substâncias húmicas e, consequentemente, no rendimento de extração (ROSA; ROCHA; FURLAN, 2000; ROMARÍS-HORTAS; MOREDA-PIÑEIRO; BERMEJO-BARRERA, 2007). A quantidade de ácidos húmicos e fúlvicos dentro dessa fração também pode ser influenciada pela concentração do extrator, o aumento da concentração de base de 0,1 para 1 mol L⁻¹ pode levar à diminuição da extração de AH e aumento da extração de AF (ROSA; ROCHA; FURLAN (2000).

3.5 FERTILIZANTES FLUIDOS

O desenvolvimento e a produção de novos fertilizantes são estratégicos para o agronegócio brasileiro, devido à alta demanda e dependência da agricultura (GROHSKOPF et al., 2020). As diversas denominações mostram que os fertilizantes orgânicos e organominerais fluidos podem ser classificados como: fertilizante mineral fluido para aplicação via solo, fertilizante organomineral fluido para aplicação via solo, fertilizante mineral para aplicação

foliar, fertilizante orgânico e organomineral para aplicação foliar (MAPA, 2009). No tocante à eficiência agronômica dos fertilizantes fluidos, pouco é conhecido. Entretanto, esses produtos geralmente apresentam eficiência semelhante aos fertilizantes sólidos, quando utilizados nas mesmas doses de nutrientes e condições de aplicação (SCIVITTARO et al., 1997).

De modo geral, podem apresentar vantagens em relação ao custo de produção, facilidade de armazenamento e aplicação, maior uniformidade de aplicação, minimização de perdas, versatilidade de formulações, menor consumo de mão-de-obra, redução do custo da adubação, maior rendimento operacional e o baixo risco de poluição ambiental durante o processo de produção (REHM; LAMB, 2009; WINKER et al., 2009).

Quanto à forma de aplicação, podem ser aplicados diretamente no solo, superficialmente ou em profundidade, misturados ou não com herbicidas (quando houver compatibilidade), pulverizados nas folhas ou utilizados na fertirrigação, dependendo do ciclo da cultura e do manejo (PIO et al., 2008).

3.6 CULTURA DA AVEIA

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é uma gramínea anual que pertence à família Poaceae, subfamília Pooideae, tribo Avenea e gênero *Avena*. É a principal espécie cultivada em todo o mundo, com gene hexaploide formada a partir da agregação de três genomas de espécies diploides ancestrais (CHAFFIN et al., 2016). É uma gramínea do tipo C3, autógama e atinge até 1 metro de altura, apresentando raízes fasciculadas com dois sistemas radiculares, um seminal e outro de raízes permanentes. A inflorescência é do tipo panícula e as folhas inferiores apresentam bainha, lígula e margem denticulada (FONTANELLI et al., 2012).

A aveia é uma das principais culturas de que compõem as safras de inverno cultivadas no mundo, ocupando o sexto lugar em produção. A maior parte da área cultivada se encontra em países do hemisfério Norte, em regiões como a União Europeia (60% da produção mundial), América do Norte e Federação Russa, o que representa 97% da produção mundial (FAOSTAT, 2016; CONSTANDINOU et al., 2018). No Brasil, destaca-se como a segunda safra de inverno mais importante, com área 425 mil ha em 2020, atrás somente do trigo. O estado do Rio Grande do Sul é responsável por mais de 70% dessa área de produção (CONAB, 2020), explicado pela localização geográfica do estado, que favorece a cultura, fato da aveia ser cultivada entre 19° e 65° de latitude Norte e 21° e 45° de latitude Sul, como é o caso do Sul do Brasil (NAVA et al., 2016).

Um dos principais fatores que têm favorecido a expansão da área de cultivo de aveia no Brasil é a possibilidade de utilização de forragem para alimentação animal, como pastejo, produção de feno e silagem, além de servir como cobertura de solo e rotação de culturas em sistema de plantio direto (TAFERNABERRI et al., 2012). Seu uso pode ser ainda na forma de grãos para consumo animal e humano e como matéria prima para a produção de cosméticos e insumos destinados à indústria química (NUNES et al., 2011).

A cultura da aveia tem por característica a adaptação a uma ampla variedade de tipos de solo em comparação com outros cereais de grãos pequenos e, melhor desempenho em solos ácidos, mais comuns no sul do país (RATAN, SINGH; PANDEY, 2016). É cultivada majoritariamente em clima temperado, mas adapta-se bem em regiões subtropicais e tropicais com temperaturas que não excedam 32 °C, principalmente na época de florescimento da cultura. No Sul do Brasil, a recomendação de semeadura é de março a maio para pastagem, e maio a julho para o cultivo de grãos (FONTANELLI et al., 2012).

A aveia branca é uma cultura exigente em fósforo e nitrogênio, com respostas favoráveis à aplicação desses elementos (NAKAGAWA; ROSOLEM, 2005). A deficiência de P é a limitação nutricional mais generalizada ao desenvolvimento de forrageiras em solos das regiões tropicais (GARCIA et al., 2011), dado que o processo de adsorção de fósforo pelos óxidos, hidróxidos e oxidróxidos de Fe e Al é um dos principais fatores envolvidos na imobilização desse nutriente em solos tropicais (POZZA et al., 2008). Já a adubação nitrogenada tem destaque pois o N é o elemento mais absorvido, participando como constituinte estrutural de várias moléculas e é responsável por uma série de funções metabólicas na planta (SILVA et al., 2016)

4 CAPÍTULO I - EXTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS A PARTIR DE CAMA DE AVES COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES E EXTRATORES ALCALINOS

4.1 INTRODUÇÃO

Produtos à base de substâncias húmicas (SH) podem apresentar grande potencial para intensificar a produção agrícola e otimizar o aproveitamento de nutrientes pelas plantas (CANELLAS et al., 2015). Entre os efeitos das SH diretamente ligado à nutrição em diferentes espécies de plantas está a capacidade de estimular a atividade da H⁺-ATPase da raiz (ZANDONADI et al., 2007; CANELLAS et al., 2015) e a absorção de alguns nutrientes como N, P, S e Fe, que consequentemente aumentam os níveis de rendimento (ZANIN et al., 2018).

Atualmente a produção de fertilizantes fluídos com substâncias húmicas tem como matérias primas principais carvão e turfa, que são fontes não renováveis de carbono, consideradas finitas pelo processo de extração (DE MELO et al., 2016), e que gera desestabilização do ecossistema e impactos ambientais. Entretanto, diversos resíduos orgânicos podem ser fontes de substâncias húmicas (YU et al., 2019), com destaque resíduos orgânicos animais, com potencial de fornecimento de nutrientes (FERNANDES et al., 2015).

Desta forma, pode-se produzir fertilizante fluído enriquecido com SH extraídas a partir de cama de aves, sugerindo uma alternativa sustentável de destinação desse resíduo. O sistema de produção de aves por ser confinado, apresenta característica que facilita a utilização deste material. Além disso, o setor avícola demonstra grande potencial na produção de adubo orgânico, que gera mais de 10 milhões de toneladas por ano, produzindo 0,76 ton de cama a cada tonelada de carne (MIGLIAVACCA; YANAGIHARA, 2017). Esse expressivo volume gerado se dá em razão do Brasil ser o segundo maior produtor mundial de carne de frango, com 13,8 milhões de toneladas ano (ABPA, 2021).

A extração de SH da cama de aves pode apresentar especificidades em função do manejo e tipo de material utilizado no sistema. Isso se deve à complexidade e heterogeneidade das substâncias húmicas, pois suas características em termos de composição, estrutura, peso molecular e posição dos grupos funcionais variam de acordo com sua origem e idade do substrato orgânico (SHAHBAZI; MARZI; TABAKHIAN, 2019). É notória a necessidade de caracterizar e definir o mais eficiente extrator alcalino para as substâncias desse material.

Extratores alcalinos contendo hidróxidos e carbonatos de sódio são eficazes para remover SH se usados sequencialmente, entretanto vários fatores influenciam no procedimento de extração, dentre eles, o extrator e a respectiva concentração (ROSA et al., 2000). A Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) indica uma metodologia baseada em 4 horas de extração com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol/L à temperatura ambiente e razão composto/extrator de 1:10 (m/v) sob. Já outros autores indicam que a solução com Hidróxido de potássio (KOH) é um ótimo extrator, extraíndo quantidades maiores que o NaOH e fornecendo teores de potássio ao fertilizante final, sendo benéfico para as plantas (SAITO; SECKLER, 2014). Outro extrator alcalino é o hidróxido de amônio (NH₄OH), que pode disponibilizar nitrogênio às plantas na forma de amônio (NH₄).

Desta forma, dada a contribuição das SH para a agricultura e a necessidade de caracterizá-las devido sua complexidade e heterogeneidade, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de três diferentes extratores alcalinos de substâncias húmicas de cama de aves e, sua melhor concentração, determinando as frações de ácidos húmicos e fúlvicos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Obtenção e caracterização da cama de aves

As amostras de cama de aviário, utilizadas para a extração das SH foram obtidas em uma indústria de produção de fertilizantes orgânicos, que segue as normas de qualidade do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). O material é composto por serragem de madeira e excretas de frangos de corte, proveniente de granjas com média 12 lotes de frangos, o que corresponde a aproximadamente dois anos, situadas na região do Alto Uruguai Catarinense. Na indústria, o material passa por processo de fermentação e secagem, proporcionando ao final do processo um produto homogêneo. Para caracterização do material, coletou-se uma amostra obtida a partir da combinação de 10 subamostras de um mesmo lote de produção.

Tabela 2 - Composição química da cama de aves com média de 12 lotes, utilizada nos processos de extração das substâncias húmicas e experimento de eficiência agronômica em casa de vegetação.

pH	MS %	COT	N	P	K g k ⁻¹	Ca	Mg
8,69	82,3	27,9	30,0	13,0	30,8	37,9	14,0

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

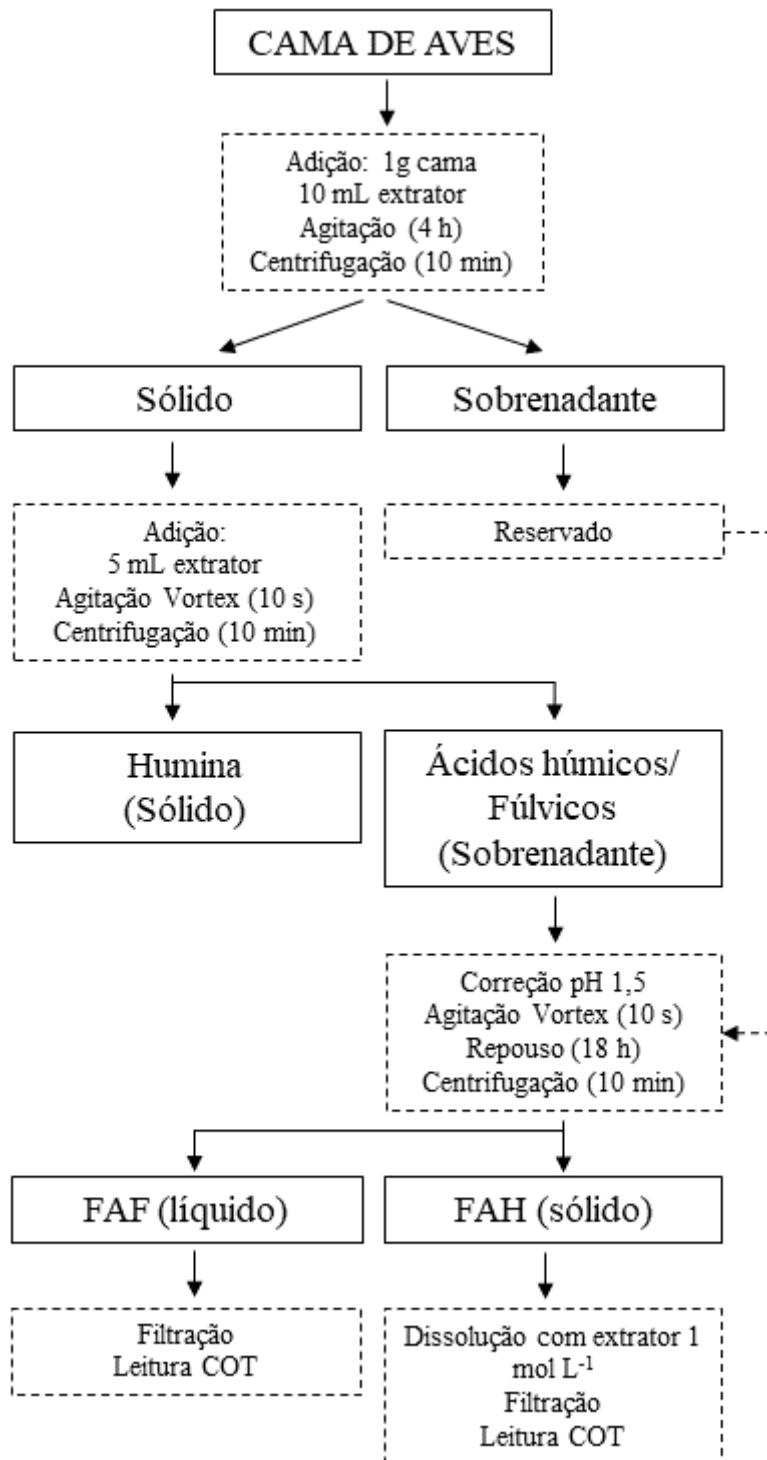
4.2.2 Extração de ácidos húmicos e fúlvicos da cama de aves

Os tratamentos foram constituídos de um esquema fatorial 3x3+1 (3 extratores e 3 concentrações) + um tratamento adicional (testemunha), com 7 repetições organizados em delineamento experimental inteiramente casualizado. Os tratamentos consistiram dos seguintes extratores alcalinos: hidróxido de sódio (NaOH); hidróxido de potássio (KOH); hidróxido de amônio (NH₄OH); com diferentes concentrações: 0,1; 0,25 e 0,5 mol L⁻¹ e um tratamento testemunha concentração zero com água ultrapura (testemunha).

O procedimento de extração (Figura 1) das SH foi realizado de acordo com metodologia adaptada de Sanchez-Monedero et al. (1996) e Benites et al. (2003). Em tubo cônico de 50 mL, pesou-se 1 g de cama de aves finamente moída (base seca), seguido da adição de 15 mL da solução extratora. A amostra foi submetida a agitação rotatória por 4 horas a 21°C. Então, o

sólido foi decantado por centrifugação durante 10 minutos a 5.340 x g (15 °C) em centrífuga Hettich Universal 320 (Hettich, GmbH, Tuttlingen, Alemanha). O sobrenadante foi transferido para outro tubo de 50 mL e a fração sólida re-extraída com mais 5 mL da solução do respectivo extrator por rápida agitação em vórtex Biomixer QL-901 (Biomixer Ltda., Morumbi, São Paulo, Brasil). A amostra foi centrifugada novamente sob as condições anteriores, combinando-se os sobrenadantes para posterior ajuste de pH ($\geq 1,5$) com adição de H₂SO₄ 20% (v/v). A solução foi agitada em vórtex por 10 segundos e, permaneceu em repouso sob refrigeração entre 4-8 °C por 18 horas. O extrato foi centrifugado por 10 minutos a 5.340 g e o sobrenadante foi transferido para outro tubo. O volume foi corrigido para 15 mL com água ultrapura, resultando no extrato contendo a fração de ácidos fúlvicos (FAF). A fração sólida foi dissolvida em 5 mL da solução extratora e seu volume corrigido para 15 mL com água ultrapura resultando no extrato contendo a fração dos ácidos húmicos (FAH). Os extratos foram filtrados em membrana de celulose (0,45 um) para posterior quantificação do carbono orgânico total (COT em mg L⁻¹) em analisador Shimadzu TOC (TOC-LCPH / CPN, Shimadzu, Kyoto, Japão).

Figura 1 – Fluxograma do processo de extração alcalina de ácidos fúlvicos e húmicos de cama de aves.



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

4.2.3 Preparo do fertilizante fluido

O fertilizante fluído foi preparado em escala de bancada a partir da extração com KOH 0,5 mol L⁻¹ conforme procedimento modificado de Saito (2012). Em um recipiente cilíndrico de 20 L, adicionou-se 1 kg de cama de aves finamente moída e 15 litros da solução KOH 0,5 mol L⁻¹. A suspensão permaneceu sob agitação mecânica (agitador Fisaton 713 com hélice tipo Ribbon) por 4 horas. Posteriormente, o extrato foi transferido para um decantador cônico, onde permaneceu em repouso por 18 horas. A fração sólida correspondente a humina, foi descartada. A fração líquida, correspondente ao fertilizante fluído, foi transferida para um recipiente e seu pH ajustado para 7,5 com adição de H₂SO₄ (conc.). O fertilizante fluido foi estocado em temperatura ambiente até sua aplicação.

4.2.4 Caracterização do fertilizante fluido

Para a caracterização química do fertilizante fluido (Tabela 4), os conteúdos de carbono e nitrogênio total foram determinados por injeção direta do fertilizante fluido em analisador Shimadzu TOC (TOC-LCPH / CPN, Shimadzu, Kyoto, Japão).

Para quantificação do carbono como ácidos fúlvicos ou húmicos, uma alíquota de 10 mL (triplicata) do fertilizante fluido foi transferida para um tubo cônico de 50 mL. O sólido foi decantado por centrifugação durante 10 minutos a 5.340 x g (15 °C) em centrífuga Hettich Universal 320 (Hettich, GmbH, Tuttlingen, Alemanha). O sobrenadante foi transferido para outro tubo para posterior ajuste de pH ($\geq 1,5$) com adição de H₂SO₄ 20% (v/v). A solução foi agitada em vórtex por 10 segundos e, permaneceu em repouso sob refrigeração entre 4-8 °C por 18 horas. O extrato foi centrifugado por 10 minutos a 5.340 g e o sobrenadante foi transferido para outro tubo. O volume foi corrigido para 15 mL com água ultrapura, resultando no extrato contendo a fração de ácidos fúlvicos (FAF). A fração sólida foi dissolvida em 5 mL da solução extratora e seu volume corrigido para 15 mL com água ultrapura resultando no extrato contendo a fração dos ácidos húmicos (FAH). Os extratos foram filtrados em membrana de celulose (0,45 um) para posterior quantificação do carbono orgânico total (COT em mg L⁻¹) em analisador Shimadzu TOC (TOC-LCPH / CPN, Shimadzu, Kyoto, Japão).

Para a determinação dos demais elementos (P, K, Ca, Mg, Cu e Zn) o fertilizante fluido foi submetido a calcinação (550°C, 4 horas) seguida de solubilização em HCl 6 mol L⁻¹ sob aquecimento a 80-90 °C. O P foi quantificado em espectrofotômetro UV-VIS Varian Cary 50 Probe (Melbourne, Vic Australia), com base no método AOAC 958.01. A quantificação de K, Cu e Zn na solução da amostra foi realizada em um ICP-OES Perkin-Elmer Optima 8300

(Perkin-Helmer, Waltham, MA, EUA). Ca e Mg trocáveis foram quantificados em um espectofotômetro de absorção atômica Varian SpectrAA 220 (Melbourne, Vic Austrália).

4.2.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância para o modelo do delineamento inteiramente ao acaso em um fatorial 3x3+1. O detalhamento do efeito de concentrações e tratamentos foi realizado por meio do teste F. A análise foi seguida pelo teste de Tukey para comparação múltipla de médias e de análise de regressão, empregando-se o PROC GLM do Statistical Analysis System© (SAS, 2012).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A extração da fração ácido fúlvico (AF) (Tabela 3) foi distinta entre os extractores, com comportamento linear crescente da quantidade extraída pelo KOH, indicando que o aumento da concentração eleva os rendimentos de extração de AF com a maior quantidade na concentração 0,50 mol L⁻¹. Para o NH₄OH, o comportamento da regressão foi quadrático, que mostra que para esse extrator pode haver um efeito de saturação, onde o maior rendimento foi estimado na concentração 0,40 mol L⁻¹. O extrator KOH na concentração de 0,50 mol L⁻¹, mostra eficiência próxima do NH₄OH na concentração de 0,50 mol L⁻¹, porém com valores inferiores, condição que permite inferir na capacidade de extração.

As concentrações de AF com o NaOH foram similares ao tratamento controle, não havendo influência da concentração do extrator. Esse comportamento pode ser explicado pela maior solubilidade dos ácidos fúlvicos, que por apresentar maior polaridade e menor tamanho molecular, são solúveis em água a qualquer faixa de pH, o que pode garantir altos valores de extração mesmo com a utilização somente de água (BENITES et al., 2003; SUTZKOVER - GUTMAN et al., 2010; KATSUMI et al., 2016).

Tabela 3- Concentração de carbono total correspondente a fração de ácidos fúlvicos, húmicos e total extraídos a partir de cama de aves, com diferentes extratores e concentrações.

Extrator	Concentrações do extrator (mol L ⁻¹).				Regressão
	0	0,10	0,25	0,50	
	(mg L ⁻¹)				
.....Ácidos fúlvicos.....					
NaOH	4506±95	4432±67 ^B	4537±31 ^B	4508±72 ^B	$\hat{y} = 4496$
KOH	4506±95 ^b	4330±92 ^{Bb}	4558±66 ^{Bb}	5100±161 ^{Aa}	$\hat{y} = 4336+1355**x$ $R^2=0,66$
NH ₄ OH	4506±95 ^c	5113±40 ^{Ab}	5413±196 ^{Aab}	5555±84 ^{Aa}	$\hat{y} = 4550+5384*x-6796x^2$ $R^2=0,97$
.....Ácidos húmicos					
NaOH	841±59 ^b	517±54 ^{Bc}	1877±43 ^{Aa}	1956±14 ^{Aa}	$\hat{y} = 705+2790**x$ $R^2=0,82$
KOH	841±59 ^c	1640±45 ^{Ab}	1874±40 ^{Aa}	2009±30 ^{Aa}	$\hat{y} = 1165+2006**x$ $R^2=0,81$
NH ₄ OH	841±59 ^a	585±48 ^{Bbc}	617±37 ^{Bb}	457±9 ^{Bc}	$\hat{y} = 760-634**x$ $R^2=0,67$
.....Total.....					
NaOH	5348±69 ^c	4950±63 ^{Bb}	6414±38 ^{Aa}	6465±67 ^{Ba}	$\hat{y} = 5185+2860**x$ $R^2=0,78$
KOH	5348±69 ^d	5971±95 ^{Ac}	6433±92 ^{Ab}	7109±152 ^{Aa}	$\hat{y} = 5501+3362**x$ $R^2=0,90$
NH ₄ OH	5348±69 ^b	5698±42 ^{Aab}	6031±222 ^{Ba}	6012±108 ^{Ca}	$\hat{y} = 5346+4127**x-5587x^2$ $R^2=0,99$

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p\leq 0,05$); Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p\leq 0,05$). Regressão: **1% de significância, * 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Os ácidos húmicos (AH) apresentaram comportamento linear crescente com a concentração para os extratores NaOH e KOH e, decrescente para o NH₄OH, que foi inferior aos demais em todas as concentrações. O crescimento linear para AH obtido no NaOH, pode ser explicado pela ocorrência do aumento da tensão superficial com a concentração de Na⁺, que indica que o soluto húmico é mais aniónico e, portanto, hidrofílico na maior molaridade, liberando os compostos no extrato (YATES; VON WANDRUSKA, 1999). As maiores extrações de AF nas concentrações menores de NH₄OH fez com que houvessem menores concentrações de AH, enquanto na última concentração pode ter ocorrido saturação e/ou dissolução dessas substâncias. A baixa recuperação de AH em NH₄OH pode ser causada por uma maior ruptura das forças intermoleculares que ligam os ácidos fúlvicos aos ácidos húmicos, como a ligação H ou possivelmente ligações éster, alterando assim a fração extraída dos ácidos fúlvico e húmico (STEVENSON 1982).

O NaOH, mesmo similar ao controle, mostrou aumento de extração a partir da concentração de 0,25 quanto a AH, sendo sua maior eficiência extratora observada na concentração de 0,50 mol L⁻¹, para esse ácido de maior peso molecular. O total extraído no controle, que reflete a similaridade com o NaOH, ocorre por influência do pH alcalino da cama de aves, de 8,68 (Tabela 2), que possibilita a extração de uma parcela dos ácidos húmicos, que apresentam alta solubilidade em meios alcalinos (BENITES et al., 2003; KATSUMI et al., 2016).

Na soma de ácidos húmicos e fúlvicos (fração total), representada como substâncias húmicas (SH), os extratores KOH e NaOH apresentaram comportamento linear crescente de rendimento de extração, enquanto no NH₄OH foi quadrático. A extração pelo KOH foi superior aos demais na concentração 0,50 mol L⁻¹ e destaca-se pela eficiência de extração já na concentração de 0,1 mol L⁻¹, elevando sua eficiência até a concentração 0,50 mol L⁻¹. Isso indica que essa deve ser a concentração indicada para extração, conforme ocorreu para AF na mesma concentração agora e em consequência na fração total. Esses resultados corroboram com Assing et al. (2009) que observaram maior rendimento de SH a partir de concentrações de KOH de 0,25 mol L⁻¹, sendo de três a quatro vezes superior ao rendimento obtido a partir da concentração 0,10 mol L⁻¹.

O pico de extração para SH em NH₄OH ocorreu com 0,37 mol L⁻¹ e veio a decrescer. O que demonstra que pode haver instabilidade do processo de transformação desses ácidos de baixo peso molecular, denotado pela sua dissolução com o excesso dessa base, transformando grande parte deste carbono em CO₂ e/ou CH₄, que foram perdidos para a atmosfera. A menor extração de SH obtida pela maior concentração de NH₄OH (0,50 mol L⁻¹), em relação aos

demais extractores, pode ser explicada por ele ser uma base mais fraca em relação aos demais extractores, o que confere menor poder de elevação de pH, capacidade de ionização e menor caráter anfifílico às moléculas e atinge o máximo em atividade de superfície (YATES; VON WANDRUSKA, 1999).

A variação observada nos rendimentos de extração, ocorre em função das diferentes concentrações e características dos extractores, tais como o raio de hidratação e mobilidade iônica dos contra íons, que influenciam no processo de solvatação dos grupos ionizados e, consequentemente, no rendimento da extração (ROSA et al., 2000). Os contraíons Na^+ , K^+ e NH_4^+ , responsáveis pela interação e solvatação das cargas negativas dissociadas da macromolécula húmica, apresentam comportamentos distintos em meio aquoso (ATKINS, 1994), onde o raio iônico hidratado do K^+ é de 300 nm, enquanto o do Na^+ e NH_4^+ são maiores, com 360 e 330 nm respectivamente (ALMEIDA et al., 2010).

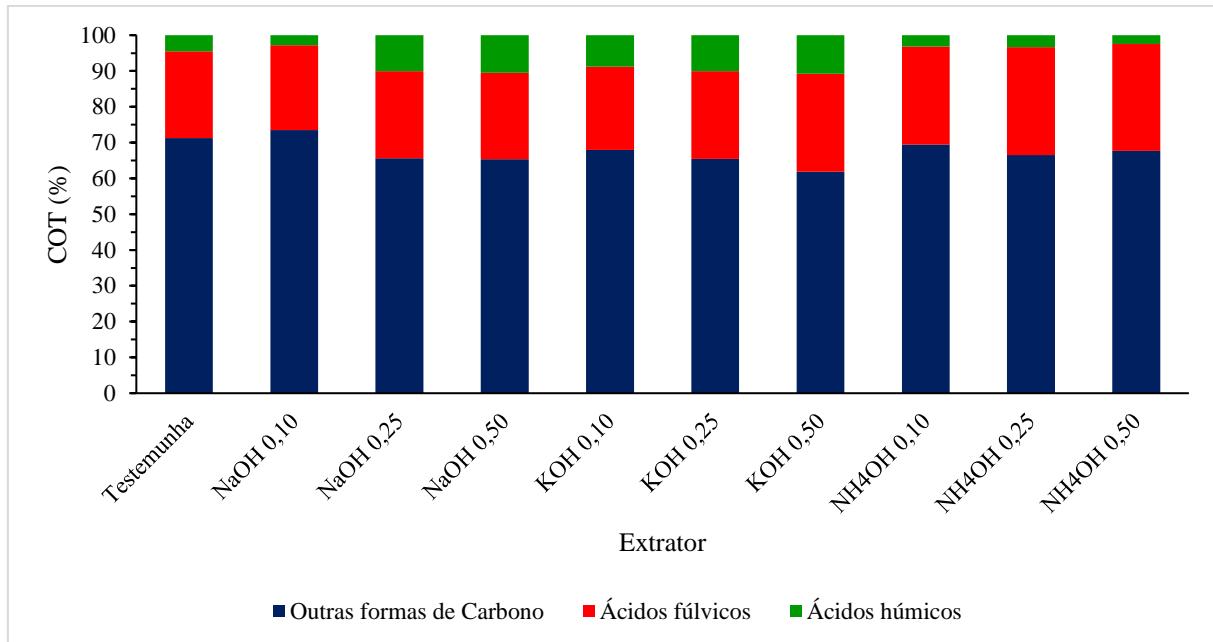
No extrator KOH, o menor raio iônico do K^+ em relação ao Na^+ e o NH_4^+ permite uma maior eficiência na expansão da macromolécula, no contrapeso e na capacidade de interação das cargas intra e intermoleculares presentes nas substâncias húmicas. Essa eficiência contribuiu significativamente para a solvatação e o aumento dos rendimentos de extração com KOH (ROCHA et al., 1998). O KOH promoveu rendimentos superiores, com 9,1% em relação ao NaOH e 15,5% em relação ao NH_4OH nas concentrações equivalentes de 0,50 mol L⁻¹. Os resultados de NH_4OH corroboram com Lukyanov et al., (2016) extraíndo substâncias húmicas com KOH, NaOH e NH_4OH em concentrações equivalentes de 0,2 mol L⁻¹, onde observaram que o KOH e NaOH extraíam quantidades similares, enquanto o NH_4OH extraí 25% menos SH.

Quando comparados ao controle, as eficiências de extração para SH foram superiores, com os maiores resultados chegando 32,9% para o KOH (0,50 mol L⁻¹), 20,8% para o NaOH (0,50 mol L⁻¹) e 11,1% com NH_4OH (0,50 mol L⁻¹). Outras pesquisas também revelaram maior eficiência de extração com KOH, estabelecendo que ele é o extrator mais eficiente, além de conter K que é um nutriente exiado em grande quantidade pelas plantas (YATES; VON WANDRUSKA, 1999; FONG et al., 2006; ASSING et al., 2009).

A figura 2 representa o percentual extraído de AF e AH em relação ao carbono orgânico total (COT) da cama de aves, onde observou-se a seguinte ordem decrescente de extração para AF: $\text{NH}_4\text{OH } 0,25 > \text{NH}_4\text{OH } 0,50 > \text{KOH } 0,50 > \text{NH}_4\text{OH } 0,10 > \text{KOH } 0,25 > \text{NaOH } 0,25 > \text{Controle} > \text{NaOH } 0,50 > \text{NaOH } 0,10 > \text{KOH } 0,10$, sendo o maior percentual de 30,1% e o menor de 23,2%. Já, a ordem decrescente de extração para AH segue conforme representado a seguir: $\text{KOH } 0,50 > \text{NaOH } 0,50 > \text{KOH } 0,25 > \text{NaOH } 0,25 > \text{KOH } 0,10 > \text{Controle} > \text{NH}_4\text{OH } 0,25 >$

NH_4OH 0,10 > NaOH 0,10 > NaOH 0,50, sendo que o maior percentual foi de 10,8% e o menor, de 2,5% em relação ao COT. O maior percentual de extração de C de SH foi 38,2% no KOH 0,50, enquanto o menor percentual foi 26,6% no NaOH 0,10.

Figura 2 - Proporção de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e outras formas de carbono presentes, em relação ao carbono orgânico total (COT) da cama de aves, extraídos a partir de diferentes extractores e concentrações (mol L^{-1}).



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Valores similares foram encontrados extraíndo SH em cama de aves com NaOH 0,5 mol L^{-1} , com 35,2% de carbono de SH, sendo 32,9% de C-AF e 2,3% C-AH (RIFFALDI; LEVIMINZI; SAVIOZZI, 1983). Yu et al. (2019) avaliando esterco de frango com 60 dias de compostagem observaram 22 mg g^{-1} de substâncias húmicas, representando 40% da COT, já Wang et al. (2015), obtiveram uma porcentagem menor, com cerca de 10,6% do C total de SH.

A quantidade de ácidos fúlvicos foi maior em relação aos ácidos húmicos, explicado pelo tempo de formação, onde os ácidos fúlvicos são compostos menos estáveis e com menor tempo de formação e, os AH são mais estáveis e maduros, com longo tempo de formação, onde parte dos ácidos fúlvicos vão se transformando em húmicos (SONG et al., 2017; YU et al., 2019). Quando comparado a extração a partir de turfa, mais comumente utilizada para esse fim, o rendimento chega a 39 % do carbono de SH, sendo 19% de ácidos húmicos e 10% de fúlvicos quando extraído com KOH. Na turfa, diferente da cama, o material tem maior tempo de humificação, invertendo a proporção de ácidos fúlvicos e húmicos, com maior produção de

ácidos húmicos em relação aos fúlvicos dentro de um total de COT presente na turfa de 50,8% (SANTOS JUNIOR, 2003).

O fertilizante fluido preparado a partir de escala de bancada (Tabela 4) apresentou resultados de carbono de substâncias húmicas similares à extração em tubos. A manutenção desses valores indica que o potencial da cama para extração se mantém quando é alterado para escala industrial, demonstrando a eficácia da metodologia de extração e preparo. .

Apesar da pequena a quantidade de C-SH extraídas, 6,86 g L⁻¹, está de acordo com os processos de extração para este tipo de material. Como afirma Mosa et al. (2020), a extração tradicional alcalina de substâncias húmicas, requerem grandes quantidades de soluções, gerando enormes quantidades de resíduos e demanda de material, com atenção necessária na realização de métodos adicionais modificados para minimizar o lodo/descartes gerados. Dessa forma, observa-se que a maior aplicabilidade desse produto pode-se dar em condução de cultivos em vaso ou hidroponia, devido a limitação de quantidade de aplicação se utilizado em cultivos de campo em larga escala.

A presença de 1,65% de potássio no fertilizante, nutriente de grande importância para as culturas, devido a quantidade demandada e os efeitos fisiológicos gerados na planta, constitui o FF uma excelente fonte de potássio. Esse, de forma solúvel, está prontamente disponível para as plantas e constitui fácil aplicação, que corrobora Saito; Seckler. (2014) extraíndo SH de turfa com hidróxido de potássio, fornecendo quantidades consideráveis de K na forma de KOH.

Tabela 4- Composição química do fertilizante fluído enriquecido com substâncias húmicas, preparado a partir de cama de aves em solução de hidróxido de potássio 0,5 mol L⁻¹.

Atributo	Unidade	Valores
C em ácidos fúlvicos (C-AF)		5,18
C em ácidos húmicos (C-AH)		1,68
C em substância húmicas (C-SH)		6,86
Carbono orgânico total (COT)		8,22
Nitrogênio (N)		1,01
Fósforo (P)	g L ⁻¹	0,35
Potássio (K)		16,56
Cálcio (Ca)		0,29
Magnésio (Mg)		0,17
Cobre (Cu)		0,03
Zinco (Zn)		0,01
pH em água inicial		13,5
pH em água corrigido		7,5

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

4.4 CONCLUSÕES

A cama de aves apresenta potencial para ser empregada como fonte de substâncias húmicas para preparo de fertilizante fluido, com vantagens em relação à turfa e o carvão por ser uma fonte mais sustentável de extração, diminuindo os impactos ambientais.

A natureza do extrator alcalino influencia no rendimento de extração de SH de cama de aves, destacando-se o KOH na concentração 0,5 mol L⁻¹ com maior potencial para extração, devido ao maior rendimento das SH totais e a presença de potássio, que é exigido em grandes quantidades pelas plantas.

O preparo de um fertilizante fluído enriquecido com substâncias húmicas em escala de bancada é viável e mantém os aspectos quantitativos e qualitativos observados na extração em tubos, demonstrando a eficácia da mesma quando aplicada em maiores volumes de produção.

5 CAPÍTULO II – RESPOSTA DA AVEIA BRANCA A APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE FLUIDO ENRIQUECIDO COM SUBSTÂNCIAS HÚMICAS COMBINADO COM ADUBAÇÃO MINERAL OU ORGÂNICA

5.1 INTRODUÇÃO

A população mundial cresce anualmente, com perspectivas de alcançar 9,7 bilhões em 2050, levando a um aumento da demanda por alimentos de até 60% nas próximas décadas (FAO, 2021). Essa lacuna deve ser preenchida pela agricultura, com o aumento da produtividade, devido à limitação para expansão das áreas de plantio (CANELLAS et al., 2015). Além disso, o crescimento da agricultura brasileira tornou a produção interna de fertilizantes minerais insuficiente para suprir a demanda, fazendo com o que o país importe cerca de 70% de nitrogênio (N), 50% de fósforo (P₂O₅) e mais de 90% do potássio (K₂O) total consumido (ANDA, 2017).

Nesse cenário, é indispensável a implementação de estratégias visando aumentar a eficiência e o aproveitamento dos nutrientes aplicados nas adubações e o aumento da produtividade das culturas (FERNANDES et al., 2015). Entre essas estratégias, destaca-se o uso de produtos à base de substâncias húmicas que possuem ampla disponibilidade e baixo custo, principalmente quando extraídas a partir resíduos, como a cama de aves, que contém de

10 a 40% do seu carbono composto por substâncias húmicas (WANG et al., 2015; YU et al., 2019; MOSA et al., 2020). Esse material é disponível em grandes quantidades, visto que o Brasil é o segundo maior produtor mundial de frangos, com destaque para o Sul do país, gerando mais 10,4 milhões de toneladas de cama por ano (0,76 ton de cama/tonelada de carne (MIGLIAVACCA; YANAGIHARA, 2017; ABPA, 2021).

As substâncias húmicas podem atuar na melhoria da fertilidade do solo e como estimulantes do crescimento das plantas para aumentar a produção agrícola (CANELLAS et al., 2015; YU et al., 2019). Através de reações e interações as SH proporcionam a formação de complexos com capacidade de aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo (SANTOS et al., 2018). Nas plantas promove o estímulo da atividade da H^{+} ATPase da raiz e a liberação de H^{+} na rizosfera (CANELLAS et al., 2015; DE AZEVEDO et al., 2019) que elevam a absorção de nutrientes como N, P, S e Fe, proporcionando aumento da produtividade das culturas (ZANIN et al., 2018).

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é uma planta teste que se adapta bem ao cultivo de vasos e responde ao aumento na disponibilidade de nutrientes no solo. O Sul do país se destaca pela maior área plantada dessa cultura (CONAB, 2020), principalmente para uso como forragem na alimentação animal nas cadeias da pecuária, sendo uma das principais culturas que compõem as safras de inverno (TAFERNABERRI et al., 2012). A aveia é altamente exigente em fertilidade do solo (FONTANELLI et al., 2012) e o uso de fertilizantes contendo SH da cama de aves pode aumentar a disponibilidade de nutrientes para essa gramínea, refletindo no aumento da produtividade. Entretanto, estudos sobre resposta à aplicação de SH ainda são escassos. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de um fertilizante fluído com SH, associado à fertilização tradicional com fertilizante mineral ou orgânico, sobre o desempenho agronômico da aveia e os atributos do solo.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Localização

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no período de 13 de abril de 2021 a 17 de junho de 2021 no Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), no município de Concórdia, SC ($27^{\circ} 18' 48''$ S e $51^{\circ} 59' 34''$ W). A altitude é de 548 m e o clima subtropical úmido do tipo Cfa, de acordo com

classificação climática de Köppen, com temperatura média anual de 20,1 °C e pluviosidade anual média de 1900 mm (EMBRAPA, 2021).

5.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento avaliou 15 tratamentos em esquema 3x5, que incluiu três adubações e em cinco doses do fertilizante fluido, com cinco vasos replicados para cada dose, com arranjo em blocos completos casualizados. Assim, no total, o experimento incluiu 75 unidades experimentais (3x5x5). Os tratamentos de adubação aplicados foram os seguintes: solo sem adubação de base, onde foram aplicadas as doses do fertilizante fluido (FF) enriquecido com substâncias húmicas (Sem Adubação-SA); solo com adubação orgânica (cama de aves), que também recebeu as doses do FF enriquecido com substâncias húmicas (Cama-CA); e, solo com adubação mineral, também tratado com as doses do FF enriquecido com substâncias húmicas (Fert. Mineral-FM). As doses do FF foram correspondentes: 0; 50; 100; 150 e 200 mg de C-SH kg⁻¹ de solo.

5.2.3 Caracterização do solo e adubação

O solo utilizado foi um Nitossolo Vermelho distroférrico (SANTOS et al., 2018), coletado em área sob vegetação natural. A caracterização dos atributos foi realizada conforme van Raij et al. (2001) (Tabela 5). Após peneirar em malha de 4 mm, 8 dm³ do solo foram acondicionados em cada um dos vasos de polietileno.

O pH do solo foi elevado até 6,0 com a adição de 2,3 g kg⁻¹ (4,62 ton ha⁻¹) de calcário magnesiano com 29% de CaO e 20% de MgO, considerando PRNT 75%, de acordo com Manual de Calagem e Adubação para os Estado de RS e SC (Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016). Após a mistura do calcário, o solo foi umedecido até atingir capacidade de campo de 70% mantido em incubação durante um período de 15 dias para possibilitar a reação do calcário com o solo.

Tabela 5- Caracterização física e química de um Nitossolo Vermelho coletado em Concórdia (SC) antes da implantação do experimento.

Atributos	Valores
MO (%)	1,12
pH - H ₂ O	5,15
Índice SMP	5,81
Ca (cmolc dm ⁻³)	1,94

Mg (cmolc dm ⁻³)	2,58
H + Al (cmolc dm ⁻³)	5,42
N total (mg dm ⁻³)	1100
P Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	0,33
K Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	31
Saturação por bases V (%)	46,0
CTC pH 7,0 (cmolc dm ⁻³)	10,0
Argila (g kg ⁻¹)	460
Silte (g kg ⁻¹)	250
Areia (g kg ⁻¹)	290

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

No tratamento com adubação orgânica foram adicionados 8,3 g kg⁻¹ de cama de aves, correspondentes a 250 mg kg⁻¹ de N, 105 mg kg⁻¹ de P e 250 mg kg⁻¹ de K, destacando que na fonte orgânica a liberação dos nutrientes ocorre de forma gradual de acordo com índices de mineralização. Nos tratamentos com fertilizante mineral foram adicionados 0,53 g kg⁻¹ de ureia (45% N); 0,4 g kg⁻¹ de cloreto de potássio (60% K₂O) e 0,22 g kg⁻¹ de superfosfato triplo (46 % P₂O₅), correspondentes a 250 mg kg⁻¹ de N, 45 mg kg⁻¹ de P e 250 mg kg⁻¹ de K. Foram adicionadas as doses de fertilizantes fluidos com SH, nas quantidades de 7,3 mL dm³ para a dose 50 mg de C-SH kg de solo (0,12 g kg⁻¹ de solo de K); 14,6 mL dm³ para a dose 100 (0,24 g kg⁻¹ de solo de K); 21,8 mL dm³ para a dose 150 (0,35 g kg⁻¹ de solo de K) e 29,1 mL dm³ para a dose 200 (0,48 g kg⁻¹ de solo de K), o qual a composição total do fertilizante fluido está descrita na tabela 4.

5.2.4 Condução do experimento

Para as avaliações de solo e planta a cultura da aveia branca cultivar ucraniana (*Avena sativa*) foi semeada no dia 13 de abril de 2021. O desbaste foi realizado quando as plantas atingiram aproximadamente 5 cm de altura, deixando-se 15 plantas por vaso. Durante a condução do experimento foram realizados os seguintes tratos fitossanitários; aplicação de inseticida de contato e ingestão do grupo químico dos piretroides, na dose de 1 mL L⁻¹, para controle de lagarta rosca (*Agrotis ipsilon*) e, aplicação de fungicida mesostêmico e sistêmico dos grupos químicos estrobilurina e triazol, na dose de 5 mL L⁻¹ para controle de oídio (*Blumeria graminis*).

5.2.5 Coleta e preparo de amostras

A coleta de material vegetal e a contagem de perfilhos de cada planta foram realizadas aos 60 dias após emergência (DAE). Inicialmente, a parte aérea foi cortada na base do colmo e todo o conteúdo foi transferido para a embalagem de pré-secagem. Em seguida, as raízes foram devidamente separadas para posterior remoção do excesso de solo sob água corrente. Todo conteúdo da raiz foi acondicionado em embalagem de pré-secagem. Tanto as amostras de parte aérea ($n=75$) quanto de raiz ($n=75$) foram submetidas a secagem a 65 °C por 72 horas em estufa de circulação e renovação de ar. As amostras foram pesadas e processadas imediatamente em moinho Retsch SM 300 (Retsch GmbH, Haan, Alemanha).

Amostras de solo foram coletadas em cada um dos vasos e, acondicionadas para secagem ao ar (TFSA). Em seguida o solo foi moído e peneirado em malha 0,56 mm.

5.2.6 Determinação de nutrientes no tecido vegetal e solo

A concentração de N no tecido vegetal foi determinada por injeção da amostra em um analisador Leco FP-528 (Leco Corp., St. Joseph, MI, EUA). Para a determinação dos demais elementos, as amostras de tecido vegetal foram submetidas previamente a digestão nítrico-perclórica de acordo com procedimento adaptado do método AOAC 975.03 (AOAC, 1995). A quantificação de P, K, Ca, Mg, Cu e Zn na solução da amostra foi realizada em um ICP-OES Perkin –Elmer Optima 8300 (Perkin-Helmer, Waltham, MA, EUA).

As concentrações de C e N no solo foram determinadas simultaneamente em um analisador elementar Thermo-Scientific™ Flash 200 CHNS/O (Waltham, MA, EUA). Para determinação de P disponível e K trocável, as amostras de solo foram extraídas com solução de Mehlich-1 de acordo com o método descrito por van Raij et al. (2001). O P foi quantificado em espectrofotômetro UV-VIS Varian Cary 50 Probe (Melbourne, Vic Australia), seguindo o método de Murphy e Riley, (1962). A quantificação de K na solução da amostra foi realizada em um ICP-OES Perkin –Elmer Optima 8300 (Perkin-Helmer, Waltham, MA, EUA). Ca e Mg trocáveis foram extraídos com solução KCl 1 mol l⁻¹ de acordo com o método descrito por van Raij et al. (2001). Os elementos foram quantificados em um espectrofotômetro de absorção atômica Varian SpectrAA 220 (Melbourne, Vic Austrália).

A estimativa de acidez potencial (H + Al) no solo baseou-se na medida de pH SMP de acordo com o método descrito por van Raij et al. (2001). Os índices de soma de bases (SB), CTC pH7 e saturação por bases (V%) foram estimados de acordo com van Raij et al. (2001).

5.2.7 Eficiência agronômica de nutrientes

Os índices de eficiência dos nutrientes nos tratamentos foram calculados por diferentes métodos dispostos na literatura de acordo com Dobermann (2007). O índice de eficiência de utilização interna de um nutriente (mg de rendimento por mg de absorção do nutriente) (EI) foi calculado através da seguinte equação:

$$EI = \frac{PT}{AN}$$

PT= Produção da colheita (mg/vaso)

AN= Acúmulo total de nutrientes (mg/vaso).

A eficiência fisiológica (mg mg^{-1}) (EF) foi calculado através da seguinte equação:

$$EF = \frac{PTcf - PTsf}{ANcf - ANsf}$$

PTcf = Produção total com fertilizante;

PTsf = Produção total sem fertilizante;

ANcf = Acúmulo de nutrientes com fertilizante;

ANsf = Acúmulo de nutrientes sem fertilizante.

5.2.8 Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análise da variância para o modelo do delineamento em blocos ao acaso com tratamentos dispostos no esquema fatorial, 3 adubações X 5 doses de fertilizante fluído. A análise da variância foi ponderada pelo inverso da variância de tratamento e/ou doses de fertilizante fluído, devido a heterogeneidade de variâncias detectada na maioria das variáveis. O detalhamento da análise para tratamentos e doses foi realizado por meio do teste de Tukey, comparando-se as médias duas a duas, sempre que o teste F detectou diferenças significativas ($p \leq 0,05$). O detalhamento do efeito das doses também foi realizado por meio da análise de polinômios ortogonais. A análise foi realizada, usando o PROC GLM do Statistical Analysis System© (SAS, 2012).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Crescimento e acúmulo de nutrientes pela cultura da aveia

O desenvolvimento inicial da aveia até 60 DAE (Tabela 6), sofreu alterações em relação ao tipo de fertilizante aplicado, bem como da aplicação do fertilizante fluido com substâncias húmicas. Observa-se maior crescimento de biomassa da parte aérea (MSPA), biomassa total da planta (MSTOT) e número de perfilhos quando se utiliza fontes mais solúveis de nutrientes, representado pelo fertilizante mineral, sendo este superior ao fertilizante orgânico, representado pela cama.

A menor produtividade encontrada na cama de aves foi relacionada com a presença das frações orgânicas de N e P que reduzem a solubilidade do fertilizante, resultando em uma liberação mais gradual desses nutrientes no solo. Os fertilizantes orgânicos são conhecidos por trazer algumas vantagens biológicas para o crescimento da planta em relação aos minerais, mas não necessariamente refletem em aumentos de produtividade (GROHSKOPF et al., 2019). Outros trabalhos, entretanto, encontraram rendimentos similares entre adubação mineral e cama de aves com diferentes níveis, no sul do Brasil, indicando que ambos fertilizantes podem apresentar desempenho semelhante (CORRÊA et al., 2018; MUMBACH et al., 2020).

Ambas as formas de fertilizante se mostram superiores ao fertilizante fluido, que não disponibiliza grande parte dos nutrientes (macro e micro), embora apresente em sua composição 1,65% de potássio. A biomassa seca da raiz (MSRA) não apresentou diferença entre as formas de fertilizante (mineral ou orgânico), embora estas sejam superiores ao fertilizante fluido, sendo a justificativa a mesma mencionada para as variáveis anteriores da planta.

Para o fertilizante fluido, observou-se relação linear crescente entre doses e crescimento da aveia, para massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MSTOT) (Tabela 6). Na maior dose de fertilizante fluido (200 mg de C kg de solo) houve incremento de eficiência na ordem de 237% para MSPA e 191% para MSTOT, na condição em que não houve a disponibilidade de fertilizante de base, ou seja, condição que expressa somente a resposta do fluido. Isto pode ser atribuído a presença de nutrientes e aos ácidos húmicos e fúlvicos disponíveis no fertilizante nas concentrações até 200 mg de C kg de solo.

Tabela 6 - Produção de biomassa seca das raízes (MSRA), biomassa seca da parte aérea (MSPA), biomassa seca total (MSTOT) e número de perfilhos da aveia branca avaliados aos 60 DAE.

Adubação de base	Doses de fertilizante fluido (mg C-SH/kg de solo)					Regressão
	0	50	100	150	200	
..... MSRA (g vaso ⁻¹)						
Cama	9,1±0,5 ^A	7,6±1,0 ^A	9,3±1,1 ^A	9,9±1,1 ^A	8,8±0,9 ^A	ŷ = 8,97
Fert. Mineral	9,6±1,3 ^A	8,3±1,0 ^A	8,9±1,0 ^A	8,1±0,8 ^A	8,3±1,6 ^A	ŷ = 8,68
Sem adubação	1,1±0,0 ^B	1,1±0,0 ^B	1,0±0,0 ^B	1,3±0,1 ^B	1,7±0,2 ^B	ŷ = 1,30
..... MSPA (g vaso ⁻¹)						
Cama	15,0± 0,5 ^B	15,3± 0,8 ^B	15,9± 1,30 ^B	15,8± 1,71 ^B	16,1± 1,3 ^B	ŷ = 15,65
Fert. Mineral	27,4± 3,8 ^A	28,2± 4,7 ^A	30,2± 3,4 ^A	27,8± 2,5 ^A	26,6± 3,9 ^A	ŷ = 28,06
Sem adubação	0,9±0,1 ^{Cb}	0,8±0,0 ^{Cb}	1,1±0,0 ^{Cb}	1,5±0,2 ^{Cab}	2,3±0,3 ^{Ca}	ŷ = 0,69+0,006**x R ² =0,79
..... MSTOT (g vaso ⁻¹)						
Cama	24,1± 1,0 ^B	22,9± 1,6 ^B	25,3± 2,3 ^B	25,7± 2,8 ^B	24,9± 2,2 ^B	ŷ = 24,63
Fert. Mineral	37,1± 5,1 ^A	36,6± 5,8 ^A	39,1 ± 4,4 ^A	35,9± 3,3 ^A	34,9± 5,5 ^A	ŷ = 36,75
Sem adubação	2,1±0,1 ^{Cb}	1,9±0,1 ^{Cb}	2,1±0,0 ^{Cb}	2,9±0,3 ^{Cab}	4,1±0,5 ^{Ca}	ŷ = 1,69 + 0,009**x R ² =0,76
..... Número de perfilhos vaso						
Cama	39,8±1,2 ^B	41,0± 1,4 ^B	47,2± 2,4 ^B	45,2± 2,6 ^B	44,2± 1,6 ^B	ŷ = 43,48
Fert. Mineral	70,6±2,7 ^A	66,2± 7,3 ^A	70,6± 5,0 ^A	74,2± 5,4 ^A	61,0± 4,9 ^A	ŷ = 68,52
Sem adubação	15,0±0,0 ^C	15,0± 0,0 ^C	15,0± 0,0 ^C	15,0± 0,0 ^C	16,0± 0,6 ^C	ŷ = 15,20

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p\leq 0,05$); Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p\leq 0,05$). Regressão: **1% de significância, * 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Diversos estudos indicam que substâncias húmicas promovem aumentos no crescimento das plantas, com aplicação na faixa de 50 a 500 mg kg⁻¹ (ATIYEH et al., 2002). Humatos extraídos de vermicomposto produzido com esterco bovino e com mistura de bagaço de cana-de açúcar proporcionaram acréscimos de 180 e 190 % na área radicular, e de 150 e 140 % no comprimento total radicular, respectivamente, em relação ao controle, em plântulas de alface (RODDA et al., 2006).

Em milho, pode ser observado aumento de até 60% no peso seco das plantas (JING et al., 2020), enquanto na parte aérea de aveia preta (*Avena strigosa*) esse aumento pode chegar a 170% com doses de até 30 mg L⁻¹ de SH em solução nutritiva (SILVA et al., 2000). No tomateiro houve aumento de área foliar e produtividade, com a aplicação de 20 mg L⁻¹ de C-AH (OLIVARES et al. 2015). Em soja, Catuchi et al. (2016), aplicando ácido húmico verificaram que houve aumento no número de vagens por planta e da produtividade total, assim como a aplicação de até 8 mL L⁻¹ de ácido fúlvico em alface americana (*Lactuca sativa L.*) promoveu o crescimento do sistema radicular (BORCIONI; MÓGOR; PINTO, 2016).

Entretanto, nas condições onde foram disponibilizados nutrientes, na forma orgânica ou mineral, não houve sinergismo, entre fertilizantes de base e o fertilizante fluido com substâncias húmicas. Corroborando Moschini e Silva (2018) em trabalhos que demonstraram não haver incrementos de massa seca com utilização de doses de substâncias húmicas, o que varia em função do solo e quantidade de nutrientes alocados.

É importante ressaltar que por ser condição de experimento de vasos, foram utilizadas doses superiores ao recomendado para a cultura, indicadas para garantir o adequado desenvolvimento da cultura até os 60 DAE. O baixo teor de fósforo no solo (0,33mg dm³), condiz ao menor desenvolvimento no tratamento controle negativo, o qual não recebe adição de fertilizante ou o aditivo, condição que impediu o fertilizante fluido de obter maiores respostas, uma vez que o crescimento da planta se limitava na ausência deste nutriente, ocasionando deficiências, principalmente de P, inibindo o crescimento das raízes (SILVEIRA et al., 2018).

O maior número de perfilhos observado com o fertilizante mineral é similar ao comportamento observado na produtividade de massa seca, uma vez que ambos, tem relação. O número de perfilhos é uma característica ligada à população de plantas da área, onde geralmente a quantidade sofre alterações para compensar a falta ou o excesso de plantas (ORSO et al., 2014). Entretanto, diversos trabalhos observaram que o conteúdo de nutrientes aplicados ou disponíveis, afeta o desenvolvimento de perfilhos, especialmente o nitrogênio, o qual o aumento da dose, tem relação com o maior número de perfilhos em cereais (BARZOTTO et

al., 2018; WROBEL et al., 2017). Dessa forma, o maior perfilhamento está relacionado a maior solubilidade do Nitrogênio no fertilizante mineral, fornecendo maior quantidade do nutriente.

Em ambas as fontes de fertilizante houve aporte de nutrientes, sendo que no mineral estas formas são solúveis, enquanto na cama parte dos nutrientes se encontram na forma orgânica (CQFS - RS / SC, 2016). A importância do conhecimento desta dinâmica reflete nos valores acumulados de N, na raiz, parte aérea e consequentemente na planta inteira (Tabela 7). Nas raízes o acúmulo pode chegar ao dobro quando os nutrientes estão em formas solúveis, podendo expressar até o triplo de acúmulo na parte aérea, local onde este nutriente é mais exigido, principalmente por fazer parte da molécula de clorofila, dentre outras estruturas e metabolismos para produção de aminoácidos e proteínas.

A menor absorção de N no tratamento com adubação orgânica, representado pela cama de aves, ocorre devido a quantidade de material lenhoso (maravalha), presente neste insumo. Do total, cerca de 10 a 60% do N está na forma inorgânica, geralmente na forma de amônio, que está prontamente disponível para as plantas. Já a fração orgânica presente, é encontrada na forma de proteínas, ácidos nucleicos e outros compostos orgânicos derivados de tecidos vegetais ou animais, que constituem até de 40-90% do N (CHADWICK et al., 2000; LIN et al., 2016). Ele se torna disponível apenas após a mineralização por meio da atividade microbiana do solo (MA et al., 1999). Portanto, é incerto prever quanto de N da fração orgânica estará disponível para absorção e utilização pelas plantas durante a estação de crescimento (LIN et al., 2016).

O aporte de N nos tratamentos mineral e cama (250 mg N kg^{-1} de solo), restringe o sinergismo destes com o fertilizante fluido contendo substâncias húmicas até a dose de 200 mg kg^{-1} de solo. Diversos autores destacam este efeito, onde, condições com alta fertilização ou altos teores de MOS não demonstram efeitos positivos da ação de ácidos húmicos e fúlvicos (CHEN; AVIAD, 1990; NARDI et al., 2009; HARTZ; BOTTOMS, 2010).

Tabela 7- Valores acumulados de nitrogênio por vaso na biomassa seca de raízes, parte aérea e planta inteira da aveia branca aos 60 DAE.

Adubação de base	Doses de fertilizante fluido (mg C-SH/kg de solo)					Regressão
	0	50	100	150	200	
..... Nitrogênio raiz (mg vaso⁻¹)						
Cama	110± 9,1 ^B	88±9,4 ^B	117±12,1 ^B	117±12,3 ^B	112±9,0 ^B	$\hat{y} = 109,28$
Fert. Mineral	254±23,8 ^A	212±19,8 ^A	222±21,5 ^A	221±18,2 ^A	215±32,6 ^A	$\hat{y} = 225,26$
Sem adubação	16±2,0 ^C	17±2,0 ^C	14±0,9 ^C	21±2,3 ^C	30±4,9 ^C	$\hat{y} = 13,4 + 0,063^{**}x \ R^2 = 0,57$
..... Nitrogênio parte aérea (mg vaso⁻¹)						
Cama	250±8,2 ^B	286±27,9 ^B	289±19 ^B	293±29,3 ^B	304±21,8 ^B	$\hat{y} = 256,61$
Fert. Mineral	961±89,9 ^A	996±126 ^A	1063±77,7 ^A	1065±78,6 ^A	969±97 ^A	$\hat{y} = 1010,8$
Sem adubação	26±3,3 ^C	22±2,4 ^C	29±1,2 ^C	43±4,1 ^C	64±10,4 ^C	$\hat{y} = 17,7 + 0,194^{**}x \ R^2 = 0,73$
..... Nitrogênio planta inteira (mg vaso⁻¹)						
Cama	361±14,1 ^B	374±21,8 ^B	407±27,1 ^B	410±39,4 ^B	417±26,9 ^B	$\hat{y} = 394,02$
Fert. Mineral	1215±113,2 ^A	1208±145,8 ^A	1286±97,1 ^A	1287±96,3 ^A	1185±128,5 ^A	$\hat{y} = 1236,2$
Sem adubação	42±4,3 ^C	39±4,3 ^C	43±2,0 ^C	64±6,5 ^C	94±14 ^C	$\hat{y} = 31,1 + 0,258^{**}x \ R^2 = 0,70$

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Regressão: **1% de significância, * 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

No entanto, há incremento de absorção de N com as doses de FF no tratamento sem adubação, representado pelo comportamento linear crescente em parte aérea, raiz e planta inteira, onde a maior dose foi responsável pelo incremento acumulado de N na ordem de 85,1 e 144% para raiz e parte aérea. Diversos autores observaram aumento dos teores absorvidos quando elevam as doses aplicadas, que podem estar associados com a influência benéfica das SHs na atividade de enzimas envolvidas na metabolismo e absorção desse nutriente, como observado na cultura da soja (PRADO et al., 2016). Onde também, maiores absorções podem ser ocasionadas pela influência das SH no metabolismo do carbono e nitrogênio em plantas, observado em cana de açúcar (LEITE et al., 2020). Cacco et al. (2000) verificaram que frações húmicas de baixo peso molecular aumentaram a taxa de absorção de nitrato.

Na interação com o nitrogênio, a aplicação de SH à rizosfera ou às folhas causa melhorias significativas na absorção de N pela raiz e assimilação adicional dentro da planta, esse aumento na absorção de N pela raiz, na forma de nitrato, está associado a aumentos significativos na atividade da membrana plasmática da raiz H^{+} ATPase (ROSE et al., 2014). Efeitos na elevação da concentração foliar de nitrogênio, podem ser observados pela capacidade de quelação do elemento N, (DEHSHEIKH et al., 2020) e pela alta absorção líquida de nitrato através do sistema de transporte de baixa afinidade, melhorando a eficiência de absorção de N tanto em forma de $N-NO_3^-$ quanto no $N-NH_4^+$ gerando maior produção de biomassa (TAVARES et al., 2019).

O maior acúmulo de N em aveia, principalmente na forma mais solúvel deste nutriente (mineral), reflete na maior produção de biomassa seca (Tabela 6), o que indica que a planta é bastante eficiente e responsável a fertilização nitrogenada e demonstrando a necessidade de haver a disponibilidade deste macro antes dos 60 dias para essa cultura. O nitrogênio é o nutriente mais absorvido pelas forrageiras, sendo ele o mais limitante para a produção da forragem, que, quando aplicado nas culturas aumenta o valor nutritivo, proteína bruta, digestibilidade e alongamento foliar, que consequentemente refletem em maior produtividade de massa seca (SILVEIRA et al., 2014; OBUOR et al., 2019; DELEVATTI et al., 2019).

A melhoria dos aspectos agronômicas gerados pelo nitrogênio provém de uma série de processo fisiológicos que o nutriente desencadeia e promove. Dada a importância do nitrogênio, como principal constituinte de clorofilas, proteínas, aminoácidos, enzimas e estando presente em compostos de carbono distribuídos por toda planta (TAIZ et al., 2017; DELEVATTI et al., 2019). Desempenha ainda papel essencial na fotossíntese, promovendo aumento da produtividade fotossintética e fluorescência da clorofila, que refletem em melhores rendimentos

de grãos, biomassa e demais componentes, onde qualquer deficiência deste elemento, rapidamente interrompe alguns processos e inibe o crescimento vegetal (SONG et al., 2019).

Os fertilizantes mineral ou orgânico, foram similares e, superiores ao tratamento sem adubação quanto aos teores de P acumulados na raiz, parte aérea e planta inteira (Tabela 8). Semelhante ao observado para a absorção de N nas plantas da aveia (Tabela 7), o P não demonstrou sinergismo entre o fertilizante fluido e as formas solúveis ou orgânicas de fertilizante, no entanto, houve comportamento linear crescente quanto a presença de SH, permitindo a absorção de P pelas plantas.

A adubação fosfatada na condição de vasos segue padrões com aporte de grandes doses, para garantir o bom desenvolvimento da planta, condição que pode explicar a falta de interação entre o fertilizante fluido com SH e as formas minerais ou orgânicas. Esses resultados corroboram Hartz; Bottoms, (2010) onde demonstram que associação de substâncias húmicas com fontes de fertilizantes fosfatados não refletem em aumentos de absorção deste nutriente.

Embora houvesse menor dosagem de P da forma mineral (45 mg kg^{-1} de solo) em relação ao orgânico (105 mg kg^{-1} de solo), a maior solubilidade dessa primeira permitiu que a absorção fosse semelhante entre elas, resultado que corrobora Mumbach et al. (2020) onde observaram maior absorção da forma solúvel em relação a orgânica. O bom suprimento de P na planta em formas capazes de serem absorvidas é essencial, pois exerce funções vitais na planta, principalmente nos processos de armazenamento de energia como ATP e na respiração. A ligação fosfatada com alta energia é o principal intermediário nas transferências que se dão na célula viva. No DNA o P tem função vital na formação da ponte estrutural entre os nucleosídeos (THEODOROU; PLAXTON, 1993).

Vale ressaltar que a menor absorção de P pela aveia no fertilizante fluido foi ocasionada justamente em razão da menor disponibilidade deste nutriente no solo ($0,33 \text{ mg dm}^{-3}$) e por não haver aporte do mesmo ocasiona o não desenvolvimento da planta. No entanto, é possível notar que a medida que se elevam as doses de fertilizante fluido, ocorre a maior absorção de P, essa condição, embora modesta, permite a maior produção de biomassa seca da aveia. O P é um dos nutrientes mais limitantes para o crescimento das plantas e sua tem um efeito negativo no rendimento da cultura (HAWKESFORD et al., 2012). Dado que ele é responsável por 0,05–0,5% da matéria seca total da planta, dependendo das espécies de cultivo (VANCE et al., 2003).

A, embora modesta, absorção de P na ausência de adubação de base esta relacionada com a presença de SH no fertilizante fluido, pois estes ácidos orgânicos de baixo peso molecular reduzem a adsorção de P, deixando mais fosfato os livre na solução do solo para absorção pelas plantas (PRADO et al., 2016; BORGES et al., 2019), condição que, somado ao P presente no

FF, permite explicar o comportamento linear crescente às doses desse fertilizante. Nos fertilizantes fosfatados, as SH podem otimizar a eficiência de absorção, promovendo a liberação de H^+ na rizosfera e aumentando a absorção de fosfato pelas plantas (DE AZEVEDO et al., 2019). Em complexos de SH-metal-fosfato, as plantas podem absorver tanto o metal quanto o fosfato, quando aplicados à raiz na forma líquida ou sólida (URRUTIA et al., 2013; URRUTIA et al., 2014). A combinação de substâncias húmicas extraídas de cama de aves e esterco bovino alterou o desempenho de plantas de milho melhorando os atributos agronômicos e a absorção de P (DE MELO et al., 2015).

Tabela 8 - Valores acumulados de fósforo e potássio por vaso na biomassa seca de raízes, parte aérea e planta inteira da aveia branca aos 60 DAE.

Adubação de base	Doses de fertilizante fluido (mg C-SH/kg de solo)					Regressão
	0	50	100	150	200	
..... Fósforo raiz (mg vaso⁻¹)						
Cama	12,2± 1,5 ^A	9,4±1,3 ^A	14,6± 1,9 ^A	15,5± 1,9 ^A	14,4± 1,75 ^A	ŷ = 13,25
Fert. Mineral	11,4± 0,81 ^A	8,6±0,63 ^A	9,7±1,2 ^A	10,0± 0,53 ^A	9,9±1,3 ^A	ŷ = 9,94
Sem adubação	0,31±0,01 ^{Bab}	0,27±0,02 ^{Bb}	0,28±0,01 ^{Bab}	0,34±0,03 ^{Bab}	0,54±0,07 ^{Ba}	ŷ = 0,24 +0,001**x R ² = 0,57
..... Fósforo parte aérea (mg vaso⁻¹)						
Cama	48,7± 2,9 ^A	48,2± 3,9 ^A	45,0± 4,7 ^A	41,4± 5,6 ^A	37,0± 5,34 ^A	ŷ = 44,106
Fert. Mineral	34,9± 3,6 ^A	37,6± 5,6 ^A	41,8± 3,7 ^A	44,5± 4,3 ^A	45,5± 5,26 ^A	ŷ = 40,91
Sem adubação	0,57±0,13 ^{Bab}	0,43±0,04 ^{Bb}	0,63±0,04 ^{Bab}	1,03±0,14 ^{Bab}	1,9±0,43 ^{Ba}	ŷ = 0,26+0,006**x R ² = 0,74
..... Fósforo planta inteira (mg vaso⁻¹)						
Cama	61,0± 3,4 ^A	57,6± 5,2 ^A	59,6± 5,8 ^A	56,99± 7,3 ^A	51,5± 6,98 ^A	ŷ = 57,06
Fert. Mineral	46,3±4,2 ^A	46,2±6,2 ^A	51,5±4,5 ^A	54,59±4,7 ^A	55,5±6,16 ^A	ŷ = 50,85
Sem adubação	0,88±0,14 ^{Bab}	0,71±0,06 ^{Bb}	0,91±0,04 ^{Bab}	1,37±0,18 ^{Bab}	2,44±0,50 ^{Ba}	ŷ = 0,51+ 0,007**x R ² = 0,72
..... Potássio raiz (mg vaso⁻¹)						
Cama	66,4± 7,3 ^{Ab}	83,0±16,9 ^{Aab}	94,0±13,4 ^{Aab}	110,3±2,9 ^{Aa}	108,7± 9,1 ^{Aa}	ŷ = 70,1+ 0,223**x R ² = 0,92
Fert. Mineral	63,5± 7,9 ^A	56,3± 5,9 ^A	65,3± 8,7 ^A	69,1± 5,1 ^A	80,6±19,6 ^A	ŷ = 67,01
Sem adubação	2,6±0,81 ^{Bb}	3,0±0,45 ^{Bb}	3,1±0,30 ^{Bb}	5,2±0,81 ^{Bab}	13,0±5,01 ^{Bab}	ŷ = 0,83 + 0,046*x R ² = 0,68
..... Potássio parte aérea (mg vaso⁻¹)						
Cama	495± 12 ^B	547± 54 ^B	617± 46 ^B	624± 76 ^B	653± 83,8 ^A	ŷ = 508 +0,788*x R ² = 0,92
Fert. Mineral	1048±142 ^A	1182±262 ^A	1175±126 ^A	1019± 74 ^A	839± 83,3 ^A	ŷ = 1052,7
Sem adubação	19± 3,5 ^{Cb}	19± 2,8 ^{Cb}	26± 2,3 ^{Cab}	41± 4,0 ^{Cab}	65±12,45 ^{Ba}	ŷ = 11,4 + 0,230**x R ² = 0,85
..... Potássio planta inteira (mg vaso⁻¹)						
Cama	562± 15 ^{Bb}	630± 66 ^{Bab}	711± 57 ^{Bab}	735± 82 ^{Aab}	762± 91 ^{Aa}	ŷ = 578 +1,01**x R ² = 0,94
Fert. Mineral	1112±149 ^A	1210±105 ^A	1240±131 ^A	1088± 76 ^A	920,0±102,0 ^A	ŷ = 1113,9
Sem adubação	22± 3,7 ^{Cc}	22± 3,1 ^{Cc}	29± 2,5 ^{Cbc}	46± 4,7 ^{Bb}	78±17,3 ^{Ba}	ŷ = 12,2+0,276**x + R ² = 0,82

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,05); Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,05). Regressão: **1% de significância, * 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

O fertilizante fluido apresentou interação com a cama de aves, proporcionando maior absorção de potássio na cultura da aveia branca (Tabela 8), o que não ocorreu com o N e P neste tratamento (Tabela 7 e 8). Sendo que as maiores absorções de potássio ocorreram na dose 200 nos tratamentos cama e fertilizante fluido. A interação entre o fertilizante fluido e a cama proporcionou os maiores efeitos de absorção de K nas raízes com incrementos de 63,7% quando aplicadas a maior dose, enquanto na parte aérea o rendimento foi 32% maior com a mesma dose.

Essas respostas podem ser justificadas pela quantidade de K fornecida pelo fertilizante fluido, que continha 1,65% de potássio em sua composição, resultado que corrobora Prado et al., (2016). A importância de haver esse sinergismo entre os fertilizantes para K traz consigo os benefícios deste nutriente auxiliar no transporte de nutrientes para as plantas e nos produtos de fotossíntese, aumenta a atividade enzimática e afeta positivamente o crescimento e desenvolvimento principalmente das raízes das plantas, além de aumentar mutuamente a eficiência do nitrogênio (ASHRAF et al., 2013; WANG et al., 2013) desempenha papel importante no turgor da planta, com ação biofísica na abertura e fechamento dos estômatos (TONEY et al., 1993).

Entre as adubações, o fertilizante mineral apresentou superioridade na absorção de potássio em relação a cama até a dose 150 para parte aérea e, até a dose 100 para a planta inteira, não havendo diferença entre a forma solúvel e a orgânica para teor deste nutriente nas raízes, sendo ambos superiores ao sem adubação (Tabela 8). Essa maior absorção de K, da mesma forma que ocorreu com o N (Tabela 7), contribuiu para o maior aporte de biomassa total da aveia no fertilizante mineral em relação ao orgânico (Tabela 6). A diferença de absorção pode estar relacionada com a menor solubilidade da fonte orgânica, a qual a cama pode proporcionar uma liberação mais lenta a curto prazo, (MUMBACH et al., 2020;) sendo necessário maior tempo de permanência das plantas no solo para o completo aproveitamento do nutriente.

O fertilizante fluido demonstrou efeito linear crescente para absorção de K em todas as partes da planta. Onde aplicado sem a presença de outra adubação, os ganhos chegaram a 400% de absorção na raiz e 240% na parte aérea. A interação de SH com metais, proporciona a formação de complexos com diferentes características e estabilidade, capaz de controlar a disponibilidade de nutrientes no meio (SANTOS et al., 2018). Nas plantas tem capacidade de estimular a atividade da H⁺-ATPase da raiz (CANELLAS et al., 2015) e a absorção de alguns nutrientes como N, P, K S e Fe (ZANIN et al., 2018). Induzem o aumento da produção de exsudatos, que aumentam a infinidade de compostos químicos na interface da raiz, que são

liberados para a solução do solo por simples variação do pH na rizosfera provocado por eles (CANELLAS et al., 2019).

Em trabalhos com trigo, a aplicação de 40 mg kg⁻¹ de solo de substâncias húmicas, elevaram a absorção de potássio (DINÇSOY; SONMEG. 2019). Costa (2001) observou alterações nos parâmetros cinéticos de absorção de K e P em plantas de cebola utilizando substâncias húmicas extraídas de vermicomposto comercial. Em plantas de milho, Olk et al. (2021) notaram efeitos em partes da planta de milho em diferentes safras, enquanto outro estudo observou efeito quadrático na absorção de K por plantas de milho, (JING et al., 2020). Estudos com batatas indicam que a ação de substâncias húmicas eleva os teores de N, P, K em tubérculos e brotos (SELLADURAI; PURAKAYASTHA 2016).

As taxas acumuladas de Ca e Mg (Tabela 9) apresentaram comportaram similar para os dois nutrientes em todas as partes da planta. Assim como para o N e P, não houve sinergismo entre os fertilizantes cama e mineral com as doses de fertilizante fluido, entretanto, houveram aumentos significativos de absorção onde o fertilizante fluido foi aplicado isolado, no tratamento sem adubação, apresentando comportamento linear crescente para todas as partes da planta em ambos elementos.

Na condição de resposta entre as fontes de fertilizante, mineral ou orgânica, os rendimentos de absorção foram similares para todas as doses, condição que pode indicar que o Ca e Mg não contribuíram para diferença de produtividade de biomassa da aveia. A similaridade de resposta entre a cama e o mineral foram ocasionadas pelas grandes quantidades de cálcio e magnésio fornecidas na calagem, com aplicação de calcário dolomítico previamente ao plantio, a fim de elevar o pH para 6,0, condição ideal para o cultivo. Esse ambiente rico em Ca e Mg também foi favorável para não haver sinergismo com a ação do fertilizante fluido com substâncias húmicas.

Os aumentos proporcionados no tratamento sem adubação de base foram de grande significância, com incremento de 70% na absorção de cálcio e até 80% na absorção de magnésio na planta inteira. Diversos trabalhos observaram esses incrementos, a aplicação de 40 mg Kg de solo⁻¹ de substâncias húmicas elevaram a absorção de Ca e Mg em plantas de trigo (DINÇSOY; SONMEG. 2019). Já Verlinden et al. (2009) relataram aumento da absorção de magnésio, enquanto para o cálcio não teve efeitos marcantes.

Tabela 9- Valores acumulados de cálcio e magnésio por vaso, na biomassa seca de raízes, parte aérea e planta inteira da aveia branca aos 60 DAE.

Adubação de base	Doses de fertilizante fluido (mg C-SH/kg de solo)					Regressão
	0	50	100	150	200	
..... Cálcio raiz (mg vaso ⁻¹)						
Cama	28,6± 4,0 ^A	14,8± 2,2 ^A	27,6± 4,8 ^A	26,5± 3,8 ^A	22,1± 4,50 ^A	$\hat{y} = 23,96$
Fert. Mineral	14,5± 1,8 ^A	12,3± 1,8 ^A	14,6± 2,8 ^A	12,4± 0,9 ^A	12,8± 2,18 ^A	$\hat{y} = 1,76$
Sem adubação	1,4±0,10 ^B	1,4±0,08 ^B	1,6±0,06 ^B	1,8±0,19 ^B	2,3±0,20 ^B	$\hat{y} = 1,3 + 0,004**x \ R^2 = 0,84$
..... Cálcio parte aérea (mg vaso ⁻¹)						
Cama	54,1± 1,2 ^A	51,7± 2,9 ^A	54,2± 7,5 ^A	52,1± 6,5 ^A	48,8± 6,56 ^A	$\hat{y} = 52,20$
Fert. Mineral	88,0±12,0 ^A	87,1±14,6 ^A	89,7± 9,6 ^A	94,4±12,5 ^A	85,8±15,1 ^A	$\hat{y} = 89,06$
Sem adubação	5,0±0,38 ^B	4,6±0,21 ^B	4,8±0,26 ^B	6,1±0,8 ^B	8,6±1,64 ^B	$\hat{y} = 4,11 + 0,017*x \ R^2 = 0,68$
..... Cálcio planta inteira (mg vaso ⁻¹)						
Cama	82,8± 4,9 ^A	66,6± 4,8 ^A	81,9±11,5 ^A	78,6± 9,7 ^A	70,96±10,5 ^A	$\hat{y} = 76,17$
Fert. Mineral	102,6± 13,4 ^A	99,4±16,2 ^A	104,4± 12,1 ^A	106,9± 13,3 ^A	98,6±17,2 ^A	$\hat{y} = 102,41$
Sem adubação	6,5±0,44 ^{Bb}	6,1±0,27 ^{Bb}	6,4±0,27 ^{Bb}	7,9±0,97 ^{Bab}	11,0± 1,83 ^{Ba}	$\hat{y} = 5,44 + 0,021*x \ R^2 = 0,71$
..... Magnésio raiz (mg vaso ⁻¹)						
Cama	14,7± 1,6 ^A	10,6± 1,3 ^A	15,1± 2,07 ^A	16,2±1,9 ^A	14,8± 2,2 ^A	$\hat{y} = 14,38$
Fert. Mineral	15,0± 1,7 ^A	11,8± 1,3 ^A	14,0± 2,5 ^A	12,9± 1,0 ^A	13,6± 2,4 ^A	$\hat{y} = 13,50$
Sem adubação	1,29±0,29 ^B	1,32±0,20 ^B	1,14±0,11 ^B	1,50±0,17 ^B	2,50±0,52 ^B	$\hat{y} = 1,03 + 0,005*x \ R^2 = 0,60$
..... Magnésio parte aérea (mg vaso ⁻¹)						
Cama	55,5± 1,0ns ^A	52,9± 3,5 ^A	54,9± 7,9 ^A	54,6± 6,4 ^A	49,3± 6,9 ^A	$\hat{y} = 53,47$
Fert. Mineral	79,1±12,4 ^A	78,1±14,3 ^A	85,0± 9,8 ^A	81,4±11,0 ^A	76,8±13,48 ^A	$\hat{y} = 80,12$
Sem adubação	4,7±0,19 ^{Bb}	4,2±0,34 ^{Bb}	4,5±0,26 ^{Bb}	5,7±0,71 ^{Bab}	8,38±1,58 ^{Ba}	$\hat{y} = 3,77 + 0,017*x \ R^2 = 0,68$
..... Magnésio planta inteira (mg vaso ⁻¹)						
Cama	70,3± 2,6 ^A	63,6± 4,6 ^A	70,0± 9,9 ^A	70,9± 8,1 ^A	64,1± 9,1 ^A	$\hat{y} = 67,82$
Fert. Mineral	94,2±13,8 ^A	90,0±15,5 ^A	99,0±12,3 ^A	94,4±11,9 ^A	90,5±15,5 ^A	$\hat{y} = 93,63$
Sem adubação	6,0±0,36 ^{Bab}	5,5±0,50 ^{Bb}	5,7±0,26 ^{Bb}	7,3±0,87 ^{Bab}	10,8± 2,0 ^{Ba}	$\hat{y} = 4,81 + 0,023*x \ R^2 = 0,66$

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Regressão: **1% de significância, * 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Os teores de cobre e zinco não apresentaram sinergismo entre as doses de fertilizante fluído e a adubação com cama e mineral. Em tratamentos com altos níveis de adubação é esperado que os teores de Cu e Zn absorvidos não se alterem com a aplicação do fertilizante fluido, pois esses nutrientes são demandados em pequena quantidade, como já observado em trabalhos avaliando raízes, brotos e tubérculos de batata (MARTINS et al., 2020).

Na presença da cama de aves, a absorção de cobre e zinco na raiz diminuiu em relação ao aumento das doses do fertilizante fluido aplicadas. Esse fenômeno pode estar relacionado com a presença desses micronutrientes e SH fornecidos pela cama, que faz com que quando em doses elevadas, diminuem os teores nas plantas (PRADO et al., 2016). Essa diminuição se dá em razão de que a complexação desses elementos depende de seu teor e pH do solo, que os torna menos solúveis e disponíveis para as plantas (ZANDONADI et al., 2014).

Entretanto, no tratamento sem adubação, as doses apresentaram efeitos, onde o zinco apresentou comportamento linear crescente na parte aérea e planta inteira, e quadrático na raiz e, no cobre, o comportamento foi quadrático em todas as partes da planta. Diferente dos tratamentos com adubação, em solos com baixas concentrações de nutrientes, os efeitos são mais marcantes, dessa forma, as substâncias húmicas podem formar estáveis complexos com cátions divalentes, como Cu, Mn e Zn, facilitando seu transporte e disponibilidade para as plantas, favorecendo a absorção de micronutrientes (PRADO et al., 2016).

Tabela 10- Valores acumulados de cobre e zinco, na biomassa seca de raízes, parte aérea e planta inteira aveia branca aos 60 DAE

Adubação de base	Doses de fertilizante fluido (mg C-SH/kg de solo)					Regressão
	0	50	100	150	200	
..... Cobre raiz (mg vaso⁻¹)						
Cama	641±112 ^{Aa}	322± 39 ^{Ac}	560±117 ^{Aab}	466± 68 ^{Aab}	356± 67 ^{Abc}	$\hat{y} = 449,40$
Fert. Mineral	202± 22 ^B	164± 23 ^B	264± 45 ^B	243± 21 ^B	270± 62,6 ^A	$\hat{y} = 228,7$
Sem adubação	24,7± 3,2 ^C	20,2± 2,5 ^C	18,4± 0,81 ^C	22,7± 2,3 ^C	29,5± 3,60 ^B	$\hat{y} = 24,8 + 0,0008x^2 - 0,14*x R^2 = 0,99$
..... Cobre parte aérea (mg vaso⁻¹)						
Cama	103± 2,5 ^B	107± 10,2 ^B	115± 6,8 ^B	137± 27,1 ^A	108± 7,7 ^A	$\hat{y} = 114,25$
Fert. Mineral	303± 45,4 ^A	299± 51,5 ^A	278± 22,9 ^A	249± 32,3 ^A	241± 44,1 ^A	$\hat{y} = 274,54$
Sem adubação	14,3± 1,7 ^{Cab}	10,7± 1,2 ^{Cb}	12,0± ,64 ^{Cab}	15,1± 1,6 ^{Bab}	23,9± 3,45 ^{Ba}	$\hat{y} = 14,3 + 0,0008**x^2 - 0,104x R^2 = 0,99$
..... Cobre planta inteira (mg vaso⁻¹)						
Cama	744±111 ^{Aa}	329± 33,5 ^{Ab}	675±119,0 ^{Aa}	604± 78,4 ^{Aa}	464± 71,0 ^{Ab}	$\hat{y} = 563,65$
Fert. Mineral	505± 66,4 ^A	463± 73,4 ^A	543± 63,5 ^A	493± 52,3 ^A	512±1061 ^A	$\hat{y} = 503,54$
Sem adubação	39± 4,2 ^B	31± 3,2 ^B	30± 1,4 ^B	37,± 3,9 ^B	53± 6,9 ^B	$\hat{y} = 39,1 + 0,0016*x^2 - 0,244x R^2 = 0,99$
..... Zinco raiz (mg vaso⁻¹)						
Cama	427± 94,9 ^{Aa}	167± 27,8 ^{Ab}	365±73 ^{Aab}	304± 50 ^{Aab}	230± 41 ^{Aab}	$\hat{y} = 298,93$
Fert. Mineral	127± 19,3 ^B	92±13,9 ^A	116± 16,4 ^B	110± 9,3 ^B	130± 28,1 ^A	$\hat{y} = 115,71$
Sem adubação	23,1± 3,6 ^{Cab}	18,9± 2,0 ^{Bab}	15,7± 1,0 ^{Cb}	20,4± 2,3 ^{Cab}	24,2± 2,46 ^{Ba}	$\hat{y} = 23,1 + 0,0007x^2 - 0,13*x R^2=0,91$
..... Zinco parte aérea (mg vaso⁻¹)						
Cama	233± 8,6 ^A	256± 23,6 ^A	252± 29,0 ^A	259± 32,8 ^B	250± 23,8 ^B	$\hat{y} = 250,54$
Fert. Mineral	353± 48,3 ^A	477± 73,8 ^B	500± 52,4 ^B	438± 43,2 ^A	435± 74,6 ^A	$\hat{y} = 440,94$
Sem adubação	19± 2,8 ^{Bb}	14± 1,0 ^{Cb}	17± 1,3 ^{Cb}	27± 3,5 ^{Cab}	47±12,3 ^{Ca}	$\hat{y} = 11,0 + 0,139*x R^2 = 0,69$
..... Zinco planta inteira (mg vaso⁻¹)						
Cama	769±129 ^A	424± 23,8 ^A	618± 93,4 ^A	563± 65,9 ^A	480± 61,1 ^A	$\hat{y} = 571,25$
Fert. Mineral	560±106 ^A	570± 87,7 ^A	616± 68,4 ^A	548± 51,9 ^A	566±100,8 ^A	$\hat{y} = 572,41$
Sem adubação	41,9± 5,8 ^{Bb}	33,1± 2,2 ^{Bb}	33,3± 2,2 ^{Bb}	47,8± 5,6 ^{Bab}	71,2±14,5 ^{Ba}	$\hat{y} = 30,8 + 0,146*x R^2 = 0,54$

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas

linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Regressão: **1% de significância, * 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

5.3.2 Eficiência agronômica

O índice de eficiência reflete a influência dos nutrientes absorvidos tanto do solo como dos fertilizantes para a produção de biomassa (Tabela 11). Enquanto a eficiência de absorção fisiológica dos nutrientes N, P e K (Tabela 12) determina a habilidade da planta de transformar o nutriente absorvido dos fertilizantes em biomassa seca. Desta forma, ambos os índices apresentados, refletem o grau de eficiência de resposta do fertilizante orgânico ou mineral, bem como se há interação com o fertilizante fluído.

É de se esperar que os valores de eficiência, em ambos os índices, diminuam com o aumento da absorção de nutrientes, uma vez que a produção de biomassa se aproxima gradualmente de um teto. Essa limitação ocorre pela capacidade genética da planta ou escassez de nutrientes no solo, como o fósforo já caracterizado no trabalho. Esse fato foi observado no tratamento sem adubação de base para o nutriente P, que superestima a eficiência do uso do fertilizante fluído, corroborando Dobermann (2007), onde caracteriza valores muito altos de eficiência, sugerem a deficiência do nutriente.

A eficiência da cama para o nitrogênio, tanto no IE quanto EF em relação ao mineral, demonstra melhor aproveitamento deste nutriente para a produção de biomassa seca da aveia, ainda, uma das justificativas para este resultado se dá por haver menor produção de biomassa seca da parte aérea e total da aveia no fertilizante orgânico em relação ao mineral (Tabela 6). Quanto maior o índice, mais eficiente a planta é naquelas condições, com ressalvas para sinais de deficiência quando da ocorrência de altos valores (DOBERMANN, 2007; RESTELATTO et al., 2014).

Enquanto para o fósforo, o comportamento foi inverso, onde a fonte mineral que apresenta maior solubilidade, adicionada em menor dose, refletiu em maior eficiência do nutriente. Quando há menor disponibilidade deste nutriente no solo, ocorre maior resposta do nutriente e consequentemente eleva seus índices de eficiência na planta (FRAZÃO et al., 2019).

Tabela 11- Índice de Eficiência (IE) dos nutrientes N, P, K, considerando o acúmulo de massa seca total e a massa absoluta de nutrientes absorvida, de acordo com método de Dobermann (2007).

Adubação de base	Doses de fertilizante fluido (mg C-SH/kg de solo)					Regressão
	0	50	100	150	200	
(mg rendimento. mg de absorção ⁻¹)						
		 IE N			
Cama	66±0,70 ^A	62±5,2 ^A	62±4,6 ^A	62,4,0 ^A	59±3,6 ^A	$\hat{y} = 62,64$
Fert. Mineral	30±1,5 ^C	30±1,2 ^C	30±1,2 ^C	28±0,88 ^C	28±1,5 ^C	$\hat{y} = 29,28$
Sem adubação	51±1,2 ^B	51±2,4 ^B	50±1,0 ^B	46±1,3 ^B	44±1,5 ^B	$\hat{y} = 52,3 - 0,038*x$ $R^2 = 0,63$
		 IE P			
Cama	400± 26,9 ^{Cb}	401± 7,8 ^{Cb}	429± 33,2 ^{Ca}	458± 14,8 ^{Ca}	498± 40,2 ^{Ca}	$\hat{y} = 386,7 + 0,50**x$ $R^2 = 0,92$
Fert. Mineral	796± 73,3 ^{Ba}	783± 39,5 ^{Ba}	758± 49,3 ^{Ba}	657± 22,2 ^{Bb}	617± 39,0 ^{Bb}	$\hat{y} = 819,7 - 0,96**x$ $R^2 = 0,91$
Sem adubação	2547±199 ^{Aab}	2829±136 ^{Aa}	2381± 71 ^{Ab}	2210±184 ^{Ab}	1576± 92 ^{Ac}	$\hat{y} = 2821 - 5,12**x$ $R^2 = 0,73$
		 IE K			
Cama	43± 2,11 ^B	37± 1,4 ^B	35± 1,5 ^B	35± 3,51 ^B	33± 1,95 ^B	$\hat{y} = 41,0 - 0,04*x$ $R^2 = 0,79$
Fert. Mineral	34± 3,76 ^B	32± 4,5 ^B	32± 2,67 ^B	33± 3,15 ^B	37± 3,28 ^{AB}	$\hat{y} = 33,8$
Sem adubação	104± 10,4 ^{Aa}	94± 9,6 ^{Aab}	75± 4,2 ^{Aab}	64± 6,5 ^{Aab}	56± 5,5 ^{Ab}	$\hat{y} = 103,8 - 0,24**x$ $R^2 = 0,97$

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas

linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Regressão: **1% de significância, * 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

O resultado de eficiência mais expressivo pela atuação das substâncias húmicas para uso de P foi observado com o fertilizante orgânico (cama) com comportamentos crescentes lineares para IE e EF (Tabelas 11 e 12). Desta forma é possível inferir que doses de fertilizante fluido acima de 200 mg de SH responderiam ao uso de P para se produzir mais biomassa seca de aveia.

A resposta de sinergia entre o fertilizante fluido com SH e cama para IE e EF no nutriente P, pode ser atribuído a ação das SH nas bombas de H^+ , pois as H^{+-} ATPases permitem hidrolisar ATP, gerando energia e gradiente eletroquímico que está diretamente envolvido em dois mecanismos fundamentais para o desenvolvimento e crescimento vegetal: Energização de sistemas secundários de translocação de íons fundamentais para a absorção de nutrientes, e aumento da plasticidade da parede celular para possibilitar o processo de crescimento e divisão celular (RODDA et al., 2006). Outro fenômeno que contribui para esses resultados é a teoria do crescimento ácido, que descreve que o aumento da saída de prótons gerido pela atividade das H^{+-} ATPase promove a acidificação do apoplasto, que ativa enzimas que atuam sobre a parede celular, aumentando a plasticidade e permitindo o alongamento da célula (RAYLE; CLELAND, 1992).

A redução da eficiência de P no fertilizante mineral com a adição de substâncias húmicas ocorre pela maior solubilidade da fonte disponível, resultados que corroboram RAJENDIRAN; PURAKAYASTHA. (2016) onde observaram que doses de fertilizante fluido com SH elevaram a eficiência do P na cama de aves e diminuíram no fertilizante mineral. De forma geral, a aplicação de SH permitiu que o P tivesse protagonismo no desenvolvimento da aveia em ambos os índices (IE e EF).

A eficiência do potássio no fertilizante mineral e cama de aves foi similar, estando de acordo com o esperado, uma vez que a disponibilidade de K em ambas as fontes é similar (MUMBACH et al., 2020). Entretanto, na ausência da adubação de base o comportamento linear decrescente ocorre pelo aumento do fornecimento de K no fertilizante, que de acordo com Dobermann (2007), o aumento da disponibilidade diminui sua eficiência.

Tabela 12- Eficiência fisiológica (EF) dos nutrientes N, P, K, considerando o acúmulo de massa seca total e a massa absoluta de nutrientes absorvida, restringindo a dose de acordo com método de Dobermann (2007).

Adubação de base	Doses de fertilizante fluido (mg C-SH/kg de solo)					Regressão	
	0	50	100	150	200		
(mg rendimento. mg de absorção ⁻¹)							
..... EF N							
Cama	69±0,9 ^A	63±5,6 ^A	63±5,4 ^A	64±4,2 ^A	60±3,9 ^A	$\hat{y} = 64,0$	
Fert. Mineral	29±1,6 ^B	29±1,4 ^B	29±1,4 ^C	27±1,0 ^B	28±1,7 ^C	$\hat{y} = 28,46$	
Sem adubação	-	38±2,9 ^B	42±5,4 ^B	38±4,4 ^B	41±4,7 ^B	$\hat{y} = 39,65$	
..... EF P							
Cama	369±24 ^b	367±4,1 ^{Cb}	398±33,1 ^{cab}	423±12,7 ^{ca}	461±37,4 ^{ca}	$\hat{y} = 356 + 0,47**x \ R^2 = 0,92$	
Fert. Mineral	763±77,5 ^a	748±41,9 ^{Ba}	726±50,2 ^{Ba}	626±24,2 ^{Bb}	584±43 ^{Bb}	$\hat{y} = 786 - 0,95**x \ R^2 = 0,95$	
Sem adubação	-	2596±676 ^{Aa}	2100±187 ^{Aa}	1313±127 ^{Ab}	1037±136 ^{Ab}	$\hat{y} = 3128 - 10,93**x \ R^2 = 0,97$	
..... EF K							
Cama	40±2,1	34±1,3 ^B	33±1,6 ^B	33±3,6	31±1,9	$\hat{y} = 38 - 0,040*x \ R^2 = 0,78$	
Fert. Mineral	32±3,8	31±4,5 ^B	30±2,7 ^B	32±3,2	36±3,5	$\hat{y} = 33 + 0,0004x^2 - 0,06**x \ R^2 = 0,99$	
Sem adubação	-	87±13,2 ^{Aa}	75±32,1 ^{Aa}	32±7,9 ^b	32±2,8 ^b	$\hat{y} = 108 - 0,41*x \ R^2 = 0,87$	

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Regressão: **1% de significância, * 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

5.3.3 Disponibilidade de nutrientes e atributos químicos do solo

Os teores de nitrogênio total no solo variaram em função da fonte desse nutriente e o fertilizante fluido aplicados, o qual o mineral foi inferior ao observado na cama de aves (Tabela 13). Os maiores valores de N no solo encontrados na cama ocorrem em razão da menor produção de biomassa total da aveia (Tabela 6), bem como do menor acúmulo de nutrientes (Tabela 7). Embora houvesse maiores eficiências (Tabela 11), todos esses resultados são atribuídos à parte do N encontrar-se na forma orgânica, disponibilizado gradativamente ao meio, por intermédio de mineralização por microrganismos (MA et al., 1999). Já os teores de N no tratamento sem adubação, mantiveram-se estáveis a condição original do solo (1100 mg dm⁻³), com excessão da dose de 200 mg, onde houve pequeno crescimento de biomassa seca da aveia e consequentemente maior absorção (Tabelas 6 e 7).

Em experimentos de curto prazo, como de casa de vegetação, esse processo lento de solubilização e mineralização, impedem que o nutriente esteja todo disponível em tempo hábil para a absorção das plantas durante o ciclo de cultivo (ROGERI et al., 2016; CQFS - RS / SC, 2016), ficando acumulado no solo em formas não disponíveis. Tal resultado corrobora Chadwick et al., (2000), observando maior teor de N total no solo e menor teor de N inorgânico em tratamentos com cama de aves, ocasionados pelo fato de 2/3 do N estar presente como N orgânico (incluindo N orgânico complexo e N orgânico lábil) e menos de 1/3 como N inorgânico que está disponível para absorção pelas culturas. Entretanto, o analisador elementar utilizado para quantificar os teores de N total no solo, mede todas as formas de N presentes, mesmo a fração não disponível em formas solúveis para as plantas, o que superestima os valores de N disponíveis às plantas de aveia.

O incremento de 50% quanto a permanência do N no solo entre a dose zero e a dose 200 mg de SH no tratamento mineral, reflete que a planta precisa absorver menores concentrações para obter o mesmo desenvolvimento (Tabela 6). Esse resultado permite inferir que o fertilizante fluido com SH, associado a mineral melhora o aproveitamento de N no solo para o desenvolvimento da aveia.

O fertilizante mineral apresentou sinergismo com o fertilizante fluido, com comportamento linear crescente. As SH presentes no fertilizante fluido promovem alterações na atividade da enzima uréase, que por sua vez modifica a dinâmica de N no solo (LI et al., 2019). A atividade catalítica desta enzima está envolvida em muitos processos bioquímicos importantes no solo, o qual o nível da atividade enzimática pode refletir na disponibilidade,

absorção e utilização do N, aumentando sua disponibilidade, e maior crescimento das plantas (WANG et al., 2009; FLOCH et al., 2009; LI et al., 2019).

Os maiores níveis de P no solo foram observados no tratamento com cama de aves (Tabela 12), proporcionado pelas maiores quantidades adicionadas ao solo (105 mg kg^{-1}) em relação ao mineral (45 mg kg^{-1}). Assim como observado para o nitrogênio, o P na fração orgânica presente na cama de aves não é liberado totalmente no primeiro cultivo, ficando parte presente no solo. Vale ressaltar, também, que o método de extração por Melich-1 proporciona a dissolução do P orgânico, superestimando o P disponível no solo, o qual precisa ser mineralizado, em sua grande parte, para o aproveitamento da aveia. E, assim como o N, o maior teor de P no solo para cama pode estar relacionado com o maior crescimento da aveia no tratamento mineral (Tabela 6), embora as formas foram eficientes para disponibilizar (Tabela 8) e propiciar transformação para geração de biomassa (Tabela 12). Resultados corroboram Frazão et al. (2019) e Mumbach et al. (2020) que observam que ambas as fontes (mineral ou orgânica), são eficientes para nutrição das culturas.

Outra importante contribuição é o sinergismo denotado pelo comportamento linear crescente entre o fertilizante fluido com SH e a cama, para o teor de P no solo (Tabela 12). Assim, o incremento das doses de SH, permitem conservar e promover maiores teores de P disponível no solo, semelhante como ocorreu com o N. Esses maiores teores são justificados em razão da planta ter maior eficiência quanto ao aproveitamento, uma vez que não houve alteração quanto ao desenvolvimento da aveia, sendo esse incremento na ordem de 39,8%, entre a dose zero e a dose de 200 mg de SH no tratamento cama.

A contribuição das SH quando aplicadas com cama para elevar os teores de P no solo, pode ser explicado em razão das SH se ligarem ao Ca^{2+} , evitando assim a formação de Ca-P e posterior lixiviação, fator que melhora a sua mobilidade e aumenta sua disponibilidade (ZHOU et al., 2015; XU et al., 2021). Outra contribuição que permite explicar a maior eficiência é que os SH reduzem 16% a capacidade máxima de absorção de fósforo (MALUF et al., 2016; XU et al., 2021), uma vez que as formas solúveis de C e P competem pelos mesmos sítios de adsorção (HUE et al. 1999).

Importante destacar que na cama de aves também há a ocorrência de substâncias húmicas, dessa forma, a associação da cama com fertilizante fluido permite elevar ainda mais a presença de SH no solo, bloqueando os sítios de adsorção de P dos hidróxidos de Fe e Al; competindo com os sítios de adsorção da fração mineral pelo P solúvel; e deslocando parte do P adsorvido pela fração mineral (WANG et al., 2016). As SH quando associadas a adubação com cama permite melhor eficiência de disponibilidade para P. Além disso, a fração ácida

destes compostos exerce efeito na liberação do P orgânico na cama de aves, acelerando a dissolução do elemento fortemente ligado nas frações orgânicas estáveis.

A adição de SH pode diminuir a fixação de fosfato, assim, a disponibilidade de fósforo é aumentada (XU et al., 2021). A ação desses componentes tem capacidade de reduzir a quantidade de P adsorvido nas partículas dos colóides do solo, uma vez devido ao processo em que as formas solúveis de carbono e P competem por locais de adsorção (Hue, 1991), deixando-o mais disponível. Esse mecanismo já é uma estratégia utilizada para reduzir a adsorção de P. Melhora a mobilidade do P e, por fim, aumentam a disponibilidade de P no solo (ZHOU et al., 2015; XU et al., 2021). A aplicação de ácidos húmicos e fúlvicos pode reduzir em até 16% a capacidade máxima de adsorção de fósforo, evitando a adsorção de 198 kg ha¹ de P nos coloides do solo (MALUF et al., 2016).

A presença de 1,65% de potássio na concentração de FF com SH permite elevar, consideravelmente, o teor desse nutriente nos solos em razão do aumento de doses até 200 mg de SH, resultado que foi caracterizado com a significância das três regressões lineares crescentes para cada fertilizante em questão (Tabela 12). Assim, pode-se inferir que o FF com SH quando produzido a partir de KOH se caracteriza como excelete fonte desse nutriente a cultura da aveia branca, sendo que nesse experimento pode-se fornecer até 3.828 mg de K na dose de 200 mg de SH. No preparo do fertilizante fluído, parte do K fica disponível no produto, que é benéfico para as plantas (SAITO; SECKLER, 2014) e possui funções essenciais principalmente no metabolismo e fisiologia da cultura.

Os teores de potássio no solo foram similares entre as fontes de fertilizantes mineral ou orgânica até a dose de 100 mg de SH e, a partir de 150 mg de SH, a cama de aves mostra-se superior (Tabela 2). De acordo com CQFS - RS / SC (2016), a liberação deste nutriente entre as duas fontes é similar, estando prontamente disponível para a absorção das plantas em ambos os fertilizantes. Entretanto, por apresentar maior volume de biomassa seca de aveia no tratamento com fertilizante mineral (Tabela 6), o K extraído (Tabela 8) consequentemente também foi maior, refletindo em menores teores residuais no solo para o tratamento mineral.

Ambas as fontes de nutrientes (mineral e orgânica) apresentaram sinergismo em razão das doses do FF com SH, com comportamento linear crescente. Esse aumento na disponibilidade de K no solo, decorre em grande parte do potássio presente na solução com Hidróxido de potássio (KOH) utilizado para a extração.

Ainda, a aplicação de SH aumenta diretamente a capacidade de armazenamento de K⁺ no solo e modifica a dinâmica padrão de suprimento de potássio (XU et al., 2021). Elas exercem efeito regulatório sobre as formas de nutrientes em fertilizantes e pode reagir com K⁺ para

formar K^+ humato, que não é facilmente perdido com água e, a presença de K humato fornece ao sistema a capacidade de liberar potássio lentamente (LIU et al., 2006).

Os ácidos húmicos e fúlvicos desempenham um papel importante na liberação do K fixo, em especial, pela montmorilonita e ilita, ocasionado pelo poder quelante das substâncias húmicas, em termos de porcentagem total do K fixado, foram liberados de 9 a 28% (TAN, 1978). O destaque do aumento da liberação ocorre principalmente em solos marrons, como Nitossolos e Argissolos (LAN et al., 2016), sendo esse primeiro, o solo utilizado no experimento. As quantidades de adsorção de K total, K fixo e K trocável foram aumentadas pela adição de SH em comparação com aquelas sem adição (XU et al., 2021).

Assim, pode-se afirmar que a nutrição potássica para aveia quando associados FF com SH com fertilizantes mineral ou orgânico, eleva a eficiência de disponibilidade desse nutriente no solo, afirmação justificada em razão do sinergismo entre FF com SH e cama quanto ao acúmulo de K para aveia (Tabela 8).

Os valores de cálcio e magnésio trocáveis no solo foram similares na cama e fertilizante mineral. A adição de calcário dolomítico para a correção do solo, anteriormente à implantação do experimento, inibiu variações, dada a quantidade expressiva adicionada a fim de elevar o pH do solo a 6,0, faixa ótima de absorção de nutrientes. Apesar da possibilidade de aumento dos teores desses elementos no solo pela adubação orgânica, oriunda da produção animal, devido a sua presença nas dietas, em experimentos de vasos essas quantidades acabam sendo inexpressivas considerando apenas uma safra de cultivo, não alterando os valores encontrados em ambos os tratamentos (OREOLUWA et al., 2020).

Tabela 13– Teores de nitrogênio total (mg dm³), fósforo e potássio disponíveis (mg dm³) e, cálcio e magnésio trocáveis (cmolc dm⁻³) no solo, nos tratamentos avaliados após a coleta das plantas de aveia branca aos 60 DAE.

Adubação de base	Doses de fertilizante fluido (mg C-SH/kg de solo)					Regressão
	0	50	100	150	200	
..... Nitrogênio (mg dm³).....						
Cama	900±40 ^A	960±21 ^A	920±39 ^A	980±29 ^A	920±22 ^A	$\hat{y} = 936,0$
Fert. Mineral	520±21 ^{Bb}	580±50 ^{Bb}	700±33 ^{Bab}	740±42 ^{Bab}	780±29 ^{Ba}	$\hat{y} = 0,52 + 0,001^{**}x \ R^2 = 0,95$
Sem adubação	980±42 ^{Aa}	980±32 ^{Aa}	980±23 ^{Aa}	920±19 ^{Aa}	840±41 ^{ABb}	$\hat{y} = 1,0 - 0,0007*x \ R^2 = 0,76$
..... Fósforo (mg dm³).....						
Cama	5,3±0,15 ^{Ab}	5,9±0,46 ^{Aab}	7,1±0,34 ^{Aa}	6,4±0,20 ^{Aa}	7,1±0,64 ^{Aa}	$\hat{y} = 5,64 + 0,007^{**}x \ R^2 = 0,64$
Fert. Mineral	3,2±0,51 ^B	3,1±0,32 ^B	3,1±0,40 ^B	2,7±0,25 ^B	2,8±0,29 ^B	$\hat{y} = 3,01$
Sem adubação	0,62±0,02 ^C	0,66±0,02 ^C	0,60±0,01 ^C	0,6±0,02 ^C	0,69±0,03 ^C	$\hat{y} = 0,62$
..... Potássio (mg dm³).....						
Cama	134± 9,4 ^{Ac}	237± 9,2 ^{Ac}	411± 18,5 ^{Ab}	568± 16,3 ^{Aa}	610± 9,7 ^{Aa}	$\hat{y} = 135 + 2,565^{**}x \ R^2 = 0,97$
Fert. Mineral	68±16,2 ^{ABd}	175± 22,1 ^{ABC}	333± 22,1 ^{Ab}	428± 35,9 ^{Bab}	490± 31,3 ^{Ba}	$\hat{y} = 79,8 + 2,192^{**}x \ R^2 = 0,97$
Sem adubação	28±3,6 ^{Be}	114± 7,1 ^{Bd}	214± 14,1 ^{Bc}	306± 11,1 ^{Cb}	412± 23,2 ^{Ba}	$\hat{y} = 23 + 1,922^{**}x \ R^2 = 0,99$
..... Cálcio (cmolc dm³).....						
Cama	4,2±0,15 ^A	4,1±0,08	4,3±0,15 ^A	4,2±0,13 ^A	4,1±0,09 ^A	$\hat{y} = 4,21$
Fert. Mineral	4,0±0,09 ^A	3,8±0,13	3,9±0,09 ^A	3,8±0,12 ^A	3,8±0,12 ^A	$\hat{y} = 3,88$
Sem adubação	3,6±0,08 ^B	3,5±0,09	3,5±0,10 ^B	3,4±0,10 ^B	3,3±0,10 ^B	$\hat{y} = 3,50$
..... Magnésio (cmolc dm³)						
Cama	3,7±0,08	3,7±0,06 ^A	3,8±0,05 ^A	3,7±0,06 ^A	3,7±0,04 ^A	$\hat{y} = 3,72$
Fert. Mineral	3,4±0,07	3,4±0,10 ^B	3,5±0,05 ^A	3,4±0,09 ^A	3,4±0,08 ^A	$\hat{y} = 3,44$
Sem adubação	3,2±0,06	3,3±0,07 ^B	3,2±0,09 ^B	3,1±0,10 ^B	3,1±0,07 ^B	$\hat{y} = 3,3 - 0,001*x \ R^2 = 0,84$

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas

linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

A aplicação do FF com SH não contribui para o incremento de COT no solo, entretanto, a associação com fontes orgânicas ou mineral elevam o teor em 33,3% na presença da cama e em 9,4% com mineral, ambos na dose de 200 mg de SH (Tabela 14). Esse resultado corrobora DINÇSOY e SONMEZ (2019) que relataram aumento nos teores COT com a aplicação de substâncias húmicas associado a adubação mineral e discorda de GUMUS e SEKER (2015) que relatam aumento de COT no solo apenas com aplicação de SH.

A maior contribuição para elevar o COT do solo, nos fertilizantes mineral cama, em relação ao FF com SH, está relacionado em partes a maior produção de raízes nesses tratamentos (Tabela 6). Os maiores valores de biomassa seca podem ter contribuído com maior exudação de aminoácidos, proteínas, ácidos de baixo peso molecular e graxos, bem como maior desenvolvimento da microbiota da rizosfera, valores que são computados como carbono na leitura pelo analisador elementar. A contribuição do FF com SH para o vaso em COT é de 1,9 g na dose de 200 mg de SH, considerada muito pequena para elevar o teor no solo, e o que justifica não haver regressão para essa variável quando é aplicado isolado no solo. A contribuição da cama para COT no solo é 18,52 g para cada vaso de 8 kg, ou seja, colabora 2,3 g dm⁻³, sendo detectado incremento de 2,0 g dm⁻³ de COT entre o solo que não recebeu cama e o que recebeu a cama com 200 mg de SH.

A cama de aves apresenta os maiores teores de COT no solo em relação aos demais tratamentos, que tem relação com a expressiva quantidade de carbono presente nesse fertilizante orgânico aplicado, onde, em média 28% da composição da cama de aves é composta carbono orgânico (ROGERI et al., 2016; JINDO et al., 2016). Essa quantidade é digna de contribuir com o incremento do carbono orgânico no solo, e corrobora com demais autores, em experimentos variados de campo e casa de vegetação, onde, para experimentos de campo o efeito não é observado no primeiro ano de cultivo, dada a magnitude do experimento, mas em sucessivas aplicações ocorre gradativo incremento (HENTZ et al., 2016; LOURENZI et al., 2016; OREOLUWA et al., 2020).

A adubação orgânica, representada pela cama de aves, se destacou também para proporcionar os maiores valores de CTC pH 7 ainda, apresentou sinergismo com o fertilizante fluido para o aumento da CTC pH7, exibindo comportamento linear crescente. A razão para esta correlação positiva é que o fertilizante fluído e a cama de aves, possuem um grande número de grupos funcionais que podem ser hidrolisados para produzir cargas negativas; essas cargas negativas são capazes de adsorver cátions trocáveis (SHEKOFTEH et al., 2017).

A presença de diferentes frações de C e elementos químicos nas adubações orgânicas, podem trazer benefícios ao solo, como aumento da saturação de bases. Pois, promove aumento

do COT que por consequência reflete no aumento da MOS e CTC (MIELNICZUK et al., 2005). O maior grau de oxidação da matéria orgânica, juntamento com a maior área superficial específica, refletem em maior quantidade de sítios de adsorção de cátions (LIANG et al., 2006).

Já os grupamentos fenólicos e carboxílicos presentes na estrutura molecular das SH, tem a propriedade de formar cargas elétricas, predominantemente negativas e que são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica (STEVENSON, 1994). Como as substâncias húmicas se comportam como polieletrólitos de ácidos fracos, a ocorrência de sítios carregados aniónicos é responsável pela capacidade de reter cátions como K^+ e Mg^{2+} e aumentar a capacidade de troca catiônica do solo (VERLINDEN et al., 2009; OREOLUWA et al., 2020) também observaram esses efeitos de aumento de CTC e saturação por bases e correlacionaram com as melhores condições de pH do solo. Silveira Júnior et al. (2015) observaram um aumento de 96% na CTC do solo em comparação com os valores do fertilizante mineral.

Na saturação por bases (SB) houve a participação ativa da presença do K do fertilizante fluido (1,65%) para elevar os valores dessa variável no solo com o incremento das doses, sendo que na última dose pode-se observar eficiência de 3,3% em FF, 9,7 % no mineral e 15,4% para a cama (Tabela 14). Nota-se que a SB inicial do solo foi de 45% e, com a calagem, foi possível elevar para 51%, visto que não houve crescimento das plantas no tratamento com dose zero de FF, uma vez que o crescimento das plantas gera maior extração de nutrientes no solo, e tende a diminuir a SB. A menor contribuição da saturação de bases no fertilizante mineral em relação à cama de aves ocorre em razão da maior absorção de nutrientes do tratamento mineral, levando ao um esgotamento dos nutrientes no solo. O fertilizante fluido apresentou maior sinergismo com a cama de aves para o aumento da saturação de bases, com resposta linear crescente.

Na cama de aves, a elevação da saturação por bases é condizente com o acréscimo nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} proporcionado pela aplicação da adubação orgânica, a qual continha 3,8% de cálcio e 1,4% de magnésio, que corrobora Barcellos et al., (2015), evidenciando seu potencial em elevar os teores de vários nutrientes e em consequência a saturação por bases a 68%, atribuído ao aumento dos níveis de MOS, que contribui para a adsorção de cátions no solo, bem como à adição de Ca e Mg nas aplicações de adubação orgânica. No fertilizante fluido, os compostos orgânicos presentes beneficiam a adsorção de cátions trocáveis (Ca, Mg, K) por trocas com H^+ de grupos funcionais orgânicos, aumentando a saturação por bases no complexo coloidal (ROSA et al, 2019).

O pH do solo não foi alterado em razão da adubação mineral ou orgânica e pelas doses crescentes de FF, assim como esperado, devido a adição de $2,3\text{ g kg}^{-1}$ ($4,62\text{ ton ha}^{-1}$) de calcário Magnesiano (29% de CaO e 20% de MgO) a fim de elevar o pH do solo para 6,0. Embora não

houvesse alterações em relação ao FF, o pH do solo no tratamento com adubação orgânica aumentou 0,4 unidades em relação ao controle negativo. Esse pequeno incremento condiciona melhoria da saturação de bases, que por consequência condiciona maior quantidade de cátions na cultura subsequente. Esse ligeiro aumento pode ser atribuído à presença de carbonato de cálcio utilizado como suplemento na ração das aves de corte e pela adsorção de íons H^+ ocasionada pela presença de compostos orgânicos nos resíduos (LOURENZI et al., 2016; MUMBACH et al., 2019).

Os cátions básicos presentes na cama de aves podem potencialmente forçar o Al^{3+} para fora dos locais de troca e, posteriormente, formar complexos com moléculas orgânicas, diminuindo a toxicidade para as plantas (AZEEZ; VAN AVERBEKE, 2012). Outro mecanismo que leva ao aumento do pH do solo é devido à respiração por microrganismos presentes na cama, que podem elevar o conteúdo de carbonato do solo, aumentando o pH (AZEEZ; VAN AVERBEKE, 2012). Estudos indicam a cama de aves como um material com potencial de calagem para solos ácidos, podendo elevar o pH de 4 a 8% (OREOLUWA et al., 2020).

Importante destacar que diversos trabalhos com substâncias húmicas são desenvolvidos em hidroponia, organoponia, promovendo resultados mais marcantes em relação a experimentos de campo e casa de vegetação, devido a magnitude dos experimentos e quantidade de carbono presente no solo, que tem influencia, como observado por Silva et al. (2000) em trabalhos similares com aveia.

Tabela 14– Teores de carbono orgânico total (COT), CTC pH7, saturação de bases e pH em água, no solo nos tratamentos avaliados após a coleta das plantas de aveia aos 60 DAE.

Adubação de base	Doses de fertilizante fluido (mg C-SH/kg de solo)					Regressão
	0	50	100	150	200	
..... COT (g dm ⁻³)						
Cama	7,5±0,27 ^A	8,1±0,24 ^A	7,8±0,38 ^A	8,5±0,33 ^A	8,5±0,29 ^A	$\hat{y} = 7,4 + 0,0058 \cdot x$ $R^2 = 0,67$
Fert. Mineral	6,4±0,10 ^B	6,4±0,17 ^B	6,8±0,08 ^B	6,9±0,10 ^B	7,0±0,22 ^B	$\hat{y} = 6,3 + 0,0036 \cdot x$ $R^2 = 0,88$
Sem adubação	6,5±0,36 ^B	6,4±0,26 ^B	6,3±0,24 ^B	6,6±0,35 ^B	6,3±0,30 ^B	$\hat{y} = 6,44$
..... CTC pH 7 (cmolc dm ⁻³)						
Cama	15,1± 0,25 ^{Ac}	15,2± 0,16 ^{Abc}	15,9±0,24 ^{Aab}	16,2± 0,21 ^{Aa}	16,2± 0,13 ^{Aa}	$\hat{y} = 15 + 0,005 \cdot x$ $R^2 = 0,73$
Fert. Mineral	14,3± 0,19 ^B	14,2± 0,25 ^B	14,8± 0,16 ^B	14,9± 0,20 ^B	14,9± 0,19 ^B	$\hat{y} = 14 + 0,004 \cdot x$ $R^2 = 0,86$
Sem adubação	13,8± 0,15 ^B	13,9± 0,18 ^B	14,0± 0,21 ^B	13,9± 0,21 ^B	14,0± 0,20 ^B	$\hat{y} = 14$
..... Saturação por bases (%)						
Cama	55,4± 0,84 ^{Ab}	55,7± 0,40 ^{Ab}	57,5±0,57 ^{Aab}	58,0± 0,57 ^{Aab}	58,8± 0,31 ^{Aa}	$\hat{y} = 55 + 0,018 \cdot x$ $R^2 = 0,95$
Fert. Mineral	53,3± 0,57 ^{AB}	53,5± 0,70 ^{AB}	55,4± 0,43 ^{AB}	55,9± 0,44 ^B	55,9± 0,51 ^B	$\hat{y} = 53 + 0,015 \cdot x$ $R^2 = 0,87$
Sem adubação	51,0± 0,39 ^B	51,9± 0,53 ^B	52,6± 0,74 ^B	52,4± 0,73 ^C	52,7± 0,83 ^C	$\hat{y} = 51 + 0,007 \cdot x$ $R^2 = 0,76$
..... pH em água						
Cama	6,8±0,01 ^A	6,7±0,01 ^A	7,0±0,00 ^A	6,8±0,00 ^A	6,7±0,01 ^A	$\hat{y} = 6,80$
Fert. Mineral	6,4±0,03 ^B	6,6±0,04 ^{AB}	6,5±0,03 ^B	6,3±0,00 ^C	6,4±0,03 ^B	$\hat{y} = 6,44$
Sem adubação	6,4±0,02 ^B	6,4±0,04 ^B	6,6±0,01 ^B	6,6±0,00 ^B	6,5±0,02 ^B	$\hat{y} = 6,50$

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

5.4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento da aveia é influenciado pela fonte do fertilizante aplicado, na forma mineral ou orgânica, com vantagens para o mais solúvel.

O fertilizante fluído não aumenta o rendimento de biomassa da aveia quando em associação com adubação de base nas formas mineral ou orgânica (cama de aves), entretanto, eleva a absorção de P e K na planta e aumenta a eficiência de utilização dos nutrientes e os teores de P, K, CTC e V% do solo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em razão da grande quantidade de cama de aves produzidas no Brasil, sua utilização como matéria prima para produção de fertilizantes fluidos com substâncias húmicas se mostrou promissora, com viés de sustentabilidade ambiental, por reutilizar o resíduo de produção avícola.

A extração das SH a partir de cama de aves é maior com o extrator o KOH na concentração de $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, além de permitir teor de 1,65% de K na composição química do fertilizante fluido, em relação ao NaOH e NH₄OH.

A maior solubilidade de nutrientes no fertilizante mineral, com especial ênfase para N, permite maior absorção desse nutriente e consequente maior desenvolvimento da aveia branca até 60 dias após a emergência.

A deficiência de P no solo limita o desenvolvimento da aveia branca, quando não se utiliza adubação fosfatada nas formas orgânicas ou minerais.

A maior solubilidade do nitrogênio no fertilizante mineral permite maior acúmulo tanto na parte aérea como nas raízes de aveia branca e a associação do FF com SH com fertilizante mineral permite elevar eficiência de disponibilidade para N no solo o que possibilita melhor nutrição a aveia branca.

O acúmulo de P na aveia branca ocorre de forma similar entre ambas as fontes e a associação do FF com SH com o fertilizante orgânico permite elevar eficiência de disponibilidade para P no solo o que possibilita melhor nutrição a aveia branca.

Para potássio, o maior acúmulo na planta ocorre até a dose de 150 mg de SH no mineral em relação ao orgânico, sendo que há sinergismo entre o FF com SH e a cama para este nutriente e a associação do FF com SH com fertilizantes mineral ou orgânico eleva a eficiência de disponibilidade de K no solo o que possibilita melhor nutrição a aveia branca.

A adubação orgânica permite elevar a eficiência (IE e EF) quando se utiliza FF com SH, quanto ao uso de fósforo e potássio transformando-os em biomassa.

O FF com SH quando produzido a partir de KOH se caracteriza como excelente fonte desse potássio para cultura da aveia branca.

A sinergia entre o FF com SH e os fertilizantes mineral ou orgânico eleva os teores de COT, com maior ênfase ao fertilizante composto por cama de aves.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA. **Associação Brasileira de Proteína Animal, em 2021.** Disponível em: <http://abpa-br.com.br>. Acesso em: 04 de out. 2021.

ALMEIDA, K.A., MARTINS, L., CARDOSO, D. Preparation and properties of faujasite zeolites containing ammonium cations. **Química Nova**, v. 33, n. 05, p. 1077-1081, 2010.

ALSHAAL, T., *et al.* The rhizosphere and plant nutrition under climate change. In: **Essential plant nutrients**. Springer, Cham, 2017. p. 275-308.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO NACIONAL DE ADUBOS – ANDA. (2017). **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 2017.

ANDRADE, F.V. *et al.* Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1003-1011, 2003.

ANTELO, J. *et al.* Adsorption of a soil humic acid at the surface of goethite and its competitive interaction with phosphate. **Geoderma**, v.138, p.12-19, 2007.

ARANGANATHAN, L. *et al.* Comparison of molecular characteristics of Type A humic acids derived from fish waste and sugarcane bagasse co-compost influenced by various alkaline extraction protocols. **Microchemical Journal**, v. 149, p. 104038, 2019.

ASHRAF, M.Y. *et al.* Effect of supplemental potassium (K^+) on growth, physiological and biochemical attributes of wheat grown under saline conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v.36 n.3 p:443–58, 2013.

ASING, J., WONG, N. C., LAU, S. Optimization of extraction method and characterization of humic acid derived from coals and composts. **Journal of Tropical Agriculture and Food Science**, v. 37, n. 2, p. 211-223, 2009.

ATIYEH, R. M. *et al.* The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. **Bioresource technology**, v. 84, n. 1, p. 7-14, 2002.

ATKINS, P.W. **Physical Chemistry.**, Butler & Tanner: Oxford, 1994, 5^a Ed. p.841.

ÁVILA, V. S. *et al.* **Boas práticas de produção de frangos de corte**. Embrapa Suínos e Aves-Circular Técnica (INFOTECA-E), 28 p., 2007.

AZEEZ, J. O.; VAN A. VERBEKE, W. Dynamics of soil pH and electrical conductivity with the application of three animal manures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 43, n. 6, p. 865-874, 2012.

AWASTHI, M. K. *et al.* A critical review of organic manure biorefinery models toward sustainable circular bioeconomy: technological challenges, advancements, innovations, and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 111, p. 115-131, 2019.

BARCELLOS, M. *et al.* Atributos químicos de Latossolo sob plantio direto adubado com esterco de bovinos e fertilizantes minerais. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 3, p. 263-273, 2015.

BARZOTTO, G. R. *et al.* Adubação nitrogenada e inoculação com Azospirillum brasiliense em cevada. **Nativa**, v. 6, n. 1, p. 01-08, 2018.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, PLO de A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Embrapa Solos-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2003.

BORCIONI, E.; MÓGOR, A. F.; PINTO, F. Aplicação de ácido fúlvico em mudas influenciando o crescimento radicular e produtividade de alface americana. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n.3, p. 509-515, 2016.

BORGES, B. M. *et al.* Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. **Geoderma**, v. 339, p. 20-30, 2019.

BRONDI, A. M. *et al.* Quantification of Humic and Fulvic Acids, Macro-and MicroNutrients and C/N Ratio in Organic Fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 22, p. 2506-2513, 2016.

CACCO, G. *et al.* Effect of nitrate and humic substances of different molecular size on kinetic parameters of nitrate uptake in wheat seedlings. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.163, p. 313-320, 2000.

CALACE, N. *et al.* A new analytical approach for humin determination in sediments and soils. **Talanta**. v.71, p. 1444-1448, 2007.

CANELAS, L.P.; FAÇANHA, A.R. Relationship between nature of soil humified fractions and their bioactivity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.2, p.233-240, 2004.

CANELAS L. P. *et al.* Probing the hormonal activity of fractionated molecular humic components in tomato auxin mutants. **Annals of Applied Biology**, v. 159, n. 2, p. 202-211, 2011.

CANELAS, L. P. *et al.* A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 15-27, 2015.

CANELAS, L. P. *et al.* Humic acids increase the maize seedlings exudation yield. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 6, p. 1–14, 2019.

CANELAS L. P. *et al.* Chemical composition and bioactivity properties of size-fractions separated from a vermicompost humic acid. **Chemosphere**, v. 78, n. 4, p. 457-466, 2010.

CATUCHI, T. A. *et al.* Desempenho produtivo da cultura da soja em razão da aplicação ácido húmico e fúlvico na semeadura e via foliar. **Colloquium Agrariae**, v. 12, n. Especial, p. 36-42, 2016.

CHADWICK, D. R. *et al.* Plant uptake of nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: a laboratory experiment. **The Journal of Agricultural Science**, v. 134, n. 2, p. 159-168, 2000.

CHAFFIN, A. S. *et al.* A consensus map in cultivated hexaploid oat reveals conserved grass synteny with substantial subgenome rearrangement. **The plant genome**, v. 9, n. 2, p 1-21, 2016.

CHEN, Y.; AVIAD, T. **Effects of humic substances on plant growth.** In: MacCarthy, P., Clapp, C.E., Malcolm, R.L., Bloom, P.R. *Humic Substances in Soil and Crop Science: Selected Readings.* American Society of Agronomy Inc., Soil Science of America, p.161-186, 1990.

CHOTZEN, R.A. *et al.* Adsorption of soil derived humic acid by seven clay minerals: a systematic study. **Clay Clay Mineral.** v. 64 (5), p. 628-638, 2016.

CLAPP, C. E.; HAYES, M. H. B.; SWIFT, R. S. In: **Organic substances in soil and water: Natural constituents and their influences on contaminant behaviour.** Beck, A. J.; Jones, K. C.; Hayes, M. H. B.; Mingelgrin, U. Eds.; Royal Society of Chemistry; Cambridge, p.31, 1993.

CLAIR, S. B. LYNCH, J. P. The opening of Pandora's Box: climate change impacts on soil fertility and crop nutrition in developing countries. **Plant and Soil**, v. 335, n. 1, p. 101-115, 2010.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: terceiro levantamento**, dezembro 2020 – safra 2020/2021. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2013. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 24 fev. 2021.

CONSTANDINOU, S. *et al.* Genetic diversity of *Avena ventricosa* populations along an ecogeographical transect in Cyprus is correlated to environmental variables. **Plos One**, v. 13, n. 3, p. 1-13, 2018.

CORRÊA, J. C. *et al.* Soil fertility and agriculture yield with the application of organomineral or mineral fertilizers in solid and fluid forms. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p.633–640, 2018.

COSTA, C.N. **Efeito das substâncias húmicas no desenvolvimento radicular da cebola, *Allium cepa L.*, e na cinética de absorção de fósforo e potássio**, Tese (Doutorado em agronomia), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas 2001.

COTRUFO, M. F. *et al.* The Microbial Efficiency-M atrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter?. **Global change biology**, v. 19, n. 4, p. 988-995, 2013.

CQFS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 376p., 2016.

DAWOOD, M. G., *et al.* Enhancement quality and quantity of faba bean plants grown under sandy soil conditions by nicotinamide and/or humic acid application. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 43, n. 1, p. 1-8, 2019.

DE AZEVEDO, I. *et al.* Humic acids and *Herbaspirillum seropedicae* change the extracellular H⁺ flux and gene expression in maize roots seedlings. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2019.

DEHSHEIKH, A. B. *et al.* Changes in soil microbial activity, essential oil quantity, and quality of Thai basil as response to biofertilizers and humic acid. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, p. 120439, 2020.

DELEVATTI, L.M. *et al.* Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2019.

DE MELO, B. *et al.* Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. **Materials Science and Engineering** v. 62, p. 967-974, 2016.

DE MELO, R. O., BALDOTTO, M. A., BALDOTTO, L. E. B. Corn initial vigor in response to humic acids from bovine manure and poultry litter. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 1863-1874, 2015.

DIAS, B. de O. **Compostagem de esterco de galinha: composição química da matéria orgânica e extração de substâncias húmicas**. 2009. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

DINÇSOY, M., SÖNMEZ, F. The effect of potassium and humic acid applications on yield and nutrient contents of wheat (*Triticum aestivum* L. var. *Delfii*) with same soil properties. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 20, p. 2757-2772, 2019.

DOBERMANN, A., "Nutrient use efficiency – measurement and management". **Agronomy & Horticulture** -- Faculty Publications. p.1442 2007.

DUAN, M. *et al.* Changes in antibiotic resistance genes and mobile genetic elements during cattle manure composting after inoculation with *Bacillus subtilis*. **Bioresource technology**, v. 292, p. 122011, 2019.

EDWARDS, D. R., DANIEL, T. C Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal—A review. **Bioresource technology**, v. 41, n. 1, p. 9-33, 1992.

EMBRAPA. **Estação Agrometeorológica da Embrapa Suínos e Aves**. 2021. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/meteor/>. Acesso em: 13 jul. 2021.

ERNANI, Paulo Roberto. **Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes**. 2. ed. Lages, 2016. 230 p.

FAIYAD, R., BADOR, A., EL-MAHDY, R. Maximizing utilization of some organic fertilizers to produce the highest yield of cowpea. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 59, n. 1, p. 53-66, 2019.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The state of food security and nutrition in the world 2020: transforming food systems for affordable healthy diets. Rome: **Food & Agriculture Org.**, 2021.

FAOSTAT **Global Area and Production of Oats**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em 23 fev. 2021.

FERNANDES, D. M. *et al.* Fósforo na solução do solo em resposta a aplicação de fertilizantes fluidos mineral e organomineral. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 14-27, 2015.

FERNANDES, F.; DA SILVA, S. M. C. P. PROSAB-Programa de pesquisa em saneamento básico. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. ABES-Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 1999.

FLOCH, C., CAPOWIEZ, Y., CRIQUET, S. Enzyme activities in apple orchard agroecosystems: How are they affected by management strategy and soil properties. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 41, p. 61–68, 2009.

FONG, S. S. *et al.* Characterization of the coal derived humic acids from Mukah, Sarawak as soil conditioner. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 17, n. 3, p. 582-587, 2006.

FONTANELI, R. S.; DOS SANTOS, H. P., FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração** **lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira.** Embrapa Trigo-Livro científico (ALICE), Passo Fundo, 2012.

FRAZÃO, J. J. *et al.* Agronomic effectiveness of a granular poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer in tropical soils: Soil phosphorus fractionation and plant responses. **Geoderma**, v. 337, p. 582– 593, 2019.

GARCIA *et al.* Desenvolvimento da aveia branca e disponibilidade de fósforo em razão da aplicação de silicato de potássio. **Revista Ceres**. v. 58, n. 6, p. 831-837, 2011.

GERKE, J. Complexos húmicos (matéria orgânica) -Al (Fe) -fosfato: uma forma de fosfato subestimada nos solos e fonte de fosfato disponível para as plantas. **Ciência do solo** , v. 175, n. 9, p. 417-425, 2010.

GHANIM, B. M., KWAPINSKI, W., LEAHY, J. J. Hydrothermal carbonisation of poultry litter: Effects of initial pH on yields and chemical properties of hydrochars. **Bioresouce technology**, v. 238, p. 78-85, 2017.

GROHSKOPF, M. A. *et al.* Phosphate fertilization with organomineral fertilizer on corn crops on a Rhodic Kandiudox with a high phosphorus content. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p.1– 9, 2019.

GROHSKOPF, M. A. *et al.* Eficiência de fertilizante fluido organomineral com dejeto suíno na disponibilidade de nitrogênio e fósforo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 1, p. 84-93, 2020.

GÜMÜŞ, İ., ŞEKER, C. CEVDET. Influence of humic acid applications on soil physicochemical properties. **Solid Earth**, v. 7, p. 2481-500, 2015.

HAWKESFORD, M. *et al.* Chapter 6 - Functions of Macronutrients. In: H. Marschner und P. Marschner (Hg.): **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. Amsterdam, Boston, MA: Academic Press, S. p.135-189, 2012.

HARTZ, T.; BOTTOMS, T. Humic substances generally/ ineffective in improving vegetable crop nutrient uptake or productivity. **HortScience**, v.45, n.6, p.906- 910, 2010.

HE, X. S.*et al.* Composition, removal, redox, and metal complexation properties of dissolved organic nitrogen in composting leachates. **Journal of hazardous materials**, v. 283, p. 227-233, 2015.

HENTZ, P. *et al.* Poultry litter and pig slurry applications in an integrated croplivestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 40, 2016.

HUE, N. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, v. 152, p.463–471, 1991.

IHSS, International Humic Substances Society, **What are humic substances**, <http://humic-substances.org/what-are-humic-substances>, 2018.

JINDO, K. *et al.* Influence of biochar addition on the humic substances of composting Manures. **Waste management**, v.49, p.545-552, 2016.

JING, J. *et al.* Combining humic acid with phosphate fertilizer affects humic acid structure and its stimulating efficacy on the growth and nutrient uptake of maize seedlings. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2020.

KATSUMI, N. *et al.* Characterization of soil organic matter with different degrees of humification using evolved gas analysis-mass spectrometry. **Talanta**, v. 155, p. 28-37, 2016.

KIMETU, J. M. *et al.* Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. **Ecosystems**, v. 11, n. 5, p. 726-739, 2008.

KLUCÁKOVÁ, M.; PEKAR, M. Solubility and dissociation of lignitic humic acids in water suspension. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 252, n. 2-3, p. 157-163, 2005.

LAN X. *et al.* The effect of humus acids on fixation and release of potassium in meadow soil. **Chinese Journal of Soil Science**. v. 47, p. 949–953.

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, v. 528, n. 7580, p..60-68, 2015.

LEITE, J. M. *et al.* Co-addition of humic substances and humic acids with urea enhances foliar nitrogen use efficiency in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Heliyon**, v. 6, n. 10, p. 05-10, 2020.

LI, Y. *et al.* Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: a three-year experiment. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2019.

LIANG, B., J. *et al.* Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 5, p. 1719-1730, 2006.

LIN, Y., VAN SANTEN, E., WATTS, D. The effect of poultry litter application on agricultural production: A meta-analysis of crop yield, nutrient uptake and soil fertility. **Conference on Applied Statistics in Agriculture**. 2016.

LIU F. *et al.* Characteristics of adsorption of K⁺ on humic acid extracted from brown coal. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 22, n. 8, p. 27-31, 2006.

LIU, M., *et al.* Maize (*Zea mays*) growth and nutrient uptake following integrated improvement of vermicompost and humic acid fertilizer on coastal saline soil. **Applied Soil Ecology**, v. 142, p. 147-154, 2019.

LOURENZI, C. R. *et al.* Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1827-1836, 2011.

LOURENZI, C. R. *et al.* Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejeto líquido de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.3, p.233-242, 2016.

LUTZOW, M. V. *et al.* Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions—a review. **European journal of soil science**, v. 57, n. 4, p. 426-445, 2006.

LUKYANOV, N. V. *et al.* Extraction of humic acids from Kansko-Achinsk lignite. **Coke and Chemistry**, v. 59, n. 2, p. 48-53, 2016.

LYNCH, D. *et al.*. Utilisation of poultry litter as an energy feedstock. **Biomass and bioenergy**, v. 49, p. 197-204, 2013.

MA, B., L., DWYER, LM, GREGORICH, EG. Soil nitrogen amendment effects on seasonal nitrogen mineralization and nitrogen cycling in maize production. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 6, p. 1003-1009, 1999.

MAGGIONI, A. *et al.* Action of soil humic matter on plant roots: stimulation of ion uptake and effects on (Mg²⁺ + K⁺) ATPase activity. **The Science of the Total Environment**, v. 62, p. 355-363, 1987.

MALUF, H. J. *et al.* Adsorption and availability of phosphorus in response to humic acid rates in soils limed with CaCO₃ or MgCO₃. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 1, p. 7-20, 2018.

MARTINS, J. D., SORATTO, R. P., FERNANDES, A. M. The Effect of Humic Substances and Phosphate Fertilizer on Growth and Nutrient Uptake of the Potato. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 11, p. 1525-1544, 2020.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In YAMADA, T., ROBERTS, T. Potássio na Agricultura Brasileira. Piracicaba: **Instituto da Potassa e fosfato**, p.165-178, 2005.

MIGLIAVACCA, A.; YANAGIHARA, J. I. Mass balance applied to brazilian conventional broiler houses during one production cycle. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 19, p. 75-86, 2017.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. 2009. **Instrução Normativa n 25 de 2009**. 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf/view> Acesso em em 24 de fevereiro de 2021.

MOREIRA, F.V. *et al.* Avaliação de aveia preta cv Iapar 61 submetida a níveis crescentes de nitrogênio em área proveniente de cultura de soja. **Acta scientia animal**, v. 23, p. 815-821, 2008.

MOSA, A. *et al.* Agro-environmental Applications of Humic Substances: A critical review. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 60, n. 3, p. 211-229, 2020.

MOSCHINI, B. P.; SILVA, C. A. Nutrição e crescimento do tomateiro em função da interação ácido húmico-boro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 81-90, 2018.

MUMBACH, G. L. *et al.* Agronomic efficiency of organomineral fertilizer in sequential grain crops in southern Brazil. **Agronomy Journal**, v.112, p. 3037-3049, 2020.

NAKAGAWA J., ROSOLEM C., A. Teores de nutrientes nas folhas e nos grãos de aveia-preta em função da adubação com fósforo e potássio. **Bragantia**, v.64, p. 441-445, 2005.

NARDI, S. *et al.* **Biological activities of humic substances**. In: SENESI, N.; XING, B.; HUANG, P.M. (Eds.). Biophysico-chemical process involving natural nonliving organic matter in environmental systems. New Jersey, Wiley, 2009, p.305-339.

NARDI, S. *et al.* Relationship between molecular characteristics of soil humic fractions and glycolytic pathway and krebs cycle in maize seedlings. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 12, p. 3138-3146, 2007.

NAVA, I.C; PACHECO, M.T; FEDERIZZI, L.C. Altiva – a new oat cultivar with high agronomic performance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 16, n. 3, p. 254-260, 2016.

NEBBIOSO, A. Unveiling the molecular composition of the unextractable soil organic fraction (humin) by humeomics. **Biology and fertility of soils**, v. 51, n. 4, p. 443-451, 2015.

NUNES, A. D. S., SOUZA, L. C. F. D., MERCANTE, F. M. Adubos verdes e adubação mineral nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 432-438, 2011.

OBOUR, A. K, *et al.* Seeding rate and nitrogen application effects on oat forage yield and nutritive value. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 13, p. 1452-1460, 2019.

OLIVARES, F. L. *et al.* Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. **Scientia Horticulturae**, v. 183, p. 100-108, 2015.

OLK, D. C. *et al.* Maize Growth and Grain Yield Responses to a Micronized Humic Product Across Soil Types and Annual Weather Patterns in Central Iowa, United States. **Frontiers in plant science**, v. 12, p. 838, 2021.

OREOLUWA, T. A. Effect of Biochar and Poultry Litter Application on Chemical Properties and Nutrient Availability of an Acidic Soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 12, p. 1670-1679, 2020.

ORSO, G. *et al.* Comportamento da cultura do trigo sob efeito fontes e doses de nitrogênio. **Cerrado Agrociências**, v. 5, p. 44-52, 2014.

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

PIO, L. C.; ABDALLA, S. R. S.; PROCHNOW, L. Panorama atual do setor de fertilizantes fluidos e foliares: equipamentos e tecnologia de aplicação para fertilizantes fluidos. **International Plant Nutrition Institute**, v. 123, p. 15-16, 2008.

PIZZEGHELLO, D. *et al.* Isopentenyladenosine and cytokinin-like activity of different humic substances. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 129, p. 70-75, 2013.

POZZA A. A. A. *et al.* Retenção e dessorção competitivas de ânions inorgânicos em gibsita natural de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1627-1633, 2008.

PRADO, M. R. *et al.* Liquid organomineral fertilizer containing humic substances on soybean grown under water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 408-414, 2016.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 285 p. 2001.

RAYLE, D.L., CLELAND, R.E. The acid growth theory of auxin-induced cell elongation is alive and well. **Plant Physiology**, v. 99, p.1271-1274, 1992.

RATAN, N.; SINGH, U. N.; PANDEY, H. C. Yield and quality of oat (*Avena sativa* L.) as influenced by nitrogen and varieties in Bundelkhand region (UP) India. **Agricultural Science Research Journal**, v. 6, n. 1, p. 27-30, 2016.

REHM, G. W.; LAMB, J. A. Corn response to fluid fertilizers placed near the seed at planting. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.73, n. 4, p. 1427-1434, 2009.

RETELATTO, R. *et al.* Nitrogen Efficiency and Nutrient Absorption by a Sorghum-Oats Forage Succession. **Advances in Agriculture**, v. 2015, p.1– 12, 2014.

RICE; J.A., MACCARTHY, P. A model of humin. **Environmental Science and Technology**. v. 24, p. 1875-1877, 1990.

RIFFALDI, R., LEVI-MINZ, R., SAVIOZZI, A. Humic fractions of organic wastes. **Agriculture, Ecosystems and environment**. v.10, p.353-359, 1983.

ROGERI, D. A. *et al.* Composition of poultry litter in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

ROMARÍS-HORTAS, V., MOREDA-PINEIRO, A., BERMEJO-BARRERA, P. (2007). Application of microwave energy to speed up the alkaline extraction of humic and fulvic acids from marine sediments. **Analytica chimica acta** n. 602, v. 2, p. 202-210, 2007.

ROSA, A. H. *et al.* Substâncias húmicas de turfa: estudo dos parâmetros que influenciam no processo de extração alcalina. **Química Nova**, v. 23 n. 4, p. 472-476, 2000.

ROSA, C. D. *et al.* Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris L.* **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 959-967, 2009.

ROSA, D. M. *et al.* Physical and chemical properties of an oxisol after maize cropping on rotation with leguminous plants. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 4, 2019.

ROSE, M. T. *et al.* Uma meta-análise e revisão da resposta do crescimento das plantas às substâncias húmicas: implicações práticas para a agricultura. **Academic Press**, 2014. p. 37-89.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; FURLAN, M.. An alternative methodology for the extraction of humic substances from organic soils. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 9, n. 1, p. 51-56, 1998.

RODDA, M., R., C. *et al.* Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alfalfa tratadas com humatos de vermicomposto. I - Efeito da concentração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.649-656, 2006.

SAITO, B. **Avaliação do processo de extração de substâncias húmicas da turfa através de extração alcalina para produção de fertilizante organomineral para solo.** 2012. Dissertação (Mestrado em processos industriais). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2012.

SAITO, B.; SECKLER, M. M. Alkaline extraction of humic substances from peat applied to organic-mineral fertilizer production. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 31, n. 3, p. 675-682, 2014.

SAMIE, I. *et al.* Implications of Humic, Fulvic and K-Humate Extracted from each of Compost and Biogas Manures as well as their Teas on Faba Bean Plants Grown on a Typic Torripsamment soil and Emissions of Soil CO₂. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 58, n. 3, p. 275-289, 2018.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. *et al.* A microanalysis method for determining total organic carbon in extracts of humic substances. Relationships between total organic carbon and oxidable carbon. **Bioresource technology**, v. 57, n. 3, p. 291-295, 1996.

SANDEPOGU, M., *et al.* Combination of *Ascophyllum nodosum* extract and humic acid improve early growth and reduces post-harvest loss of lettuce and spinach. **Agriculture**, v. 9, n. 11, p. 240, 2019.

SANTOS, A. M. *et al.* New organomineral complex from humic substances extracted from poultry wastes: synthesis, characterization and controlled release study. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, n. 1, p. 140-150, 2018.

SANTOS, C. H. *et al.* Performance evaluation of a portable laser induced fluorescence spectroscopy system for the assessment of the humification degree of the soil organic matter. **Journal Brazilian Chemical Society**, v. 26, n.4, p. 775-783, 2015.

SANTOS JÚNIOR, L. F. dos. **Estudos das frações obtidas no processo de extração alcalina de substâncias húmicas da turfa.** Dissertação (Mestrado em Metalúrgica e Materiais) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SAS INSTITUTE INC. **System for Microsoft Windows, Release 9.4**, Cary, NC, USA, 2002-2012. (cd-rom).

SCIVITTARO, W. B.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados fluidos e sólidos. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 21, n. 3, p. 505-511, 1997.

SELLADURAI, R., PURAKAYASTHA, T. P. Efeito de fertilizantes multinutrientes de ácido húmico no rendimento e na eficiência do uso de nutrientes da batata, **Journal of Plant Nutrition**, n. 39: v. 7, p. 949-956, 2016

SHAHBAZI, K.; MARZI, M.; TABAKHIAN, S. The comparative evaluation of humic acid determining methods in humic-based commercial fertilizers. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, n. 12, p. 1720-1732, 2019.

SHEKOFTEH, H., RAMAZANI F., SHIRANI, H. Optimal feature selection for predicting soil CEC: comparing the hybrid of ant colony organization algorithm and adaptive network-based fuzzy system with multiple linear regression. **Geoderma**, v. 298, p. 27-34, 2017.

SILVA, J. A. *et al.* Nitrogen efficiency in oats on grain yield with stability. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.12, p.1095-1100, 2016.

SILVA, R. *et al.* Desenvolvimento radicular e produção de aveia preta até o estágio de grão pastoso, cultivada em solução nutritiva completa com adição de substâncias húmicas. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 6, n. 1, 2000.

SILVEIRA JÚNIOR, O. *et al.* Implantação de pastagens sob sistema monocultivo e integrado com lavoura utilizando biofertilizante de cama de aviário como adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 16, n. 3, p. 499-512, 2015.

SILVEIRA, M. L. *et al.* Soil-fertility principles for warm-season perennial forages and sustainable pasture production. **Forage & Grazinglands**, v. 12, n. 1, p. 1-9, 2014.

SILVEIRA, T. C. *et al.* Sorghum yield after liming and combinations of phosphorus sources. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 243– 248, 2018.

SMILEK, J. *et al.* On the role of humic acids' carboxyl groups in the binding of charged organic compounds. **Chemosphere**, v. 138, p. 503-510, 2015.

SONG, J., PENG, P., HUANG, W. Black carbon and kerogen in soils and sediments. 1. Quantification and characterization. **Environmental Science and Technology**, v. 36, P. 3960-3967, 2002.

SONG, S. *et al.* Simultaneous removal of U(VI) and humic acid on defective TiO_{2-x} investigated by batch and spectroscopy techniques. **Chemical Engineering Journal**, v.325, p. 576-587, 2017.

SONG X. *et al.* Nitrogen Application Improved Photosynthetic Productivity, Chlorophyll Fluorescence, Yield and Yield Components of Two Oat Genotypes under Saline Conditions. **Agronomy**. v.9, n. 3 p.115, 2019.

STEVENSON, F. J. **Húmus química: gênese, composição, reações**. John Wiley & Sons, 1994.

SUTZKOVER-GUTMAN, I.; HASSON, D.; SEMIAT, R. Humic substances fouling in ultrafiltration processes. **Desalination**, v. 261, n. 3, p. 218-231, 2010.

SWIFT, R. S.; In: **Humic substances II: in search of structure**. Hayes, M. H. B.; Maccarthy, P.; Malcolm, R. L.; Swift, R. S. (Eds.) Wiley; New York, 1989; p.450.

TADINI, A. M. *et al.* The importance of humin in soil characterisation: a study on Amazonian soils using different fluorescence techniques. **Science of the Total Environment**, v. 537, p. 152-158, 2015.

TAFERNABERRI, V. *et al.* Avaliação agronômica de linhagens de aveia branca em duas regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, N. 1, P. 41-51, 2012.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MOLLER, I. M., MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**.6^a ed. Porto Alegre: Artmed, 848p., 2017.

TAN, K. H. Effects of humic and fulvic acids on release of fixed potassium. **Geoderma**, v. 21, n. 1, p. 67-74, 1978.

TAN, K. H. **Humic matter in soil and the environment: principles and controversies**. CRC press, 2014.

TAVARES, O. C. H. *et al.* Humic acid as a biotechnological alternative to increase N-NO₃-or N-NH₄⁺ uptake in rice plants. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 20, p. 101-226, 2019.

THEODOROU, M. E.; PLAXTON, W. C. Metabolic adaptations of plant respiration to nutritional phosphate deprivation. **Plant physiology**, v. 101, n. 2, p. 339-344, 1993.

TONEY, M., D. *et al.* Dalkyglycine descarboxilase structure: bifunctional active site and álcali metal sites. **Science**, v.261, p. 756-759, 1993.

URRUTIA, O. *et al.* Physico-chemical characterization of humic-metal-phosphate complexes and their potential application to the manufacture of new types of phosphate-based fertilizers. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, n. 2, p. 128-136, 2014.

URRUTIA, O. *et al. et al.* Theoretical chemical characterization of phosphate-metal-humic complexes and relationships with their effects on both phosphorus soil fixation and phosphorus availability for plants. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 2, p. 293-303, 2013.

VALADÃO, F. C. A. *et al.* Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2073-2082, 2011.

VANCE, C. P. *et al.* Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New phytologist**, v. 157, n. 3, p. 423-447, 2003.

VERLINDEN, G. *et al.* Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, n. 9, p. 1407-1426, 2009.

VITORINO, K. M. N.; PEREIRA NETO, J. T. Estudo da compostabilidade dos resíduos da agricultura sucroalcooleira. In: **Conferência Sobre Agricultura e Meio Ambiente**. 1992. p. 121-32.

VON WANDRUSZKA, R. Humic acids: Their detergent qualities and potential uses in pollution remediation. **Geochemical Transactions**, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2000.

XU, J. *et al.* Effect of Humic Acid Addition on Buffering Capacity and Nutrient Storage Capacity of Soilless Substrates. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021.

ZANDONADI, D., B.; CANELLAS, L., P.; FAÇANHA, A., R. Indoleacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. **Planta**, p.1583-1595, 2007.

ZANDONADI, D. B. *et al.* J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v.32, p.14-20, 2014.

ZANIN, L., *et al.* Humic substances contribute to plant iron nutrition acting as chelators and biostimulants. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 675, 2019.

ZANIN, L. *et al.* Water-extractable humic substances speed up transcriptional response of maize roots to nitrate. **Environmental and Experimental Botany**, v. 147, p. 167–178, 2018.

ZHOU, S., QILIMOGE, T. J. Strategies in efficient utilization of soil NPK nutrients with humic acid amendments. **Humic Acid**, v. 2, p. 1-8, 2015.

WEBER, J. *et al.* Preface: humic substances in the environment. **Journal of Soils and Sediments** v.18, p.2665, 2018.

WANG, L. B. & WANG, Y. X. Effects of humic acid fertilizer on soil nutrients and microbial activity. **Humic Acid**. v.4, p. 6–9 2019).

WANG, H. *et al.* Phosphate adsorption on uncoated and humic acid-coated iron oxides. **Journal of Soils and Sediments**, v. 16, n. 7, p. 1911-1920, 2016.

WANG, K. *et al.* Transformation of organic matters in animal wastes during composting. **Journal of hazardous materials**, v. 300, p. 745-753, 2015.

WANG, M. *et al.* The critical role of potassium in plant stress response. **International journal of molecular sciences**, v. 14, n. 4, p. 7370-7390, 2013.

WINKER, M. *et al.* Fertilizer products from new sanitation systems: Their potential values and risks. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 4090-4096, 2009.

WROBEL, F. L. *et al.* Características produtivas e nutricionais do feno de trigo cultivado em dois níveis de adubação nitrogenada e estádios de colheita. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, p. 725-732, 2017.

WU, J. *et al.* Identifying the key factors that affect the formation of humic substance during different materials composting. **Bioresource technology**, v. 244, p. 1193-1196, 2017.

YU, H. *et al.* Driving effects of minerals on humic acid formation during chicken manure composting: Emphasis on the carrier role of bacterial community. **Bioresource technology**, v. 294, p. 122239, 2019.

YATES, L. M.; VON WANDRUSZKA, R. Effects of pH and metals on the surface tension of aqueous humic materials. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 6, p. 1645-1649, 1999.