



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL

CAMPUS ARAPIRACA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE - PPGAA

MESTRADO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

VANDA DUARTE DE ANDRADE

**APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS DE LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA NA GERMINAÇÃO DE ESPÉCIES UTILIZADAS NA
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: *Chloroleucon dumosum* (Benth.) G. P.**

Lewis

ARAPIRACA

2023

Vanda Duarte de Andrade

Aplicação de substâncias húmicas de lodo de estação de tratamento de água na germinação de espécies utilizadas na recuperação de áreas degradadas: *Chloroleucon dumosum* (Benth.) G.

P. Lewis

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Wander Gustavo Botero

Arapiraca

2023



Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus Arapiraca
Biblioteca Setorial *Campus Arapiraca* - BSCA

A554a Andrade, Vanda Duarte de
Aplicação de substâncias húmicas de lodo de estação de tratamento de água na germinação de espécies utilizadas na recuperação de áreas degradadas [recurso eletrônico]: *Chloroleucon dumosum* (Benth.) G. P. Lewis / Vanda Duarte de Andrade. – Arapiraca, 2023.
51 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Wander Gustavo Botero.
Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, *Campus Arapiraca*, Arapiraca, 2023.
Disponível em: Universidade Digital (UD) / RD- BSCA– UFAL (*Campus Arapiraca*).
Referências: f. 45-51.

1. Resíduos sólidos. 2. Ácidos orgânicos. 3. Germinação. I. Botero, Wander Gustavo. II. Título.

CDU 636

Vanda Duarte de Andrade

Aplicação de substâncias húmicas de lodo de estação de tratamento de água na germinação de espécies utilizadas na recuperação de áreas degradadas: *Chloroleucon dumosum* (Benth.) G.

P. Lewis

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

Data de aprovação: 24/08/2023.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 WANDER GUSTAVO BOTERO
Data: 14/08/2023 15:42:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wander Gustavo Botero
Universidade Federal de Alagoas- UFAL
Campus Arapiraca
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 CICERO GOMES DOS SANTOS
Data: 14/08/2023 15:56:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos
Universidade Federal de Alagoas- UFAL
Campus Arapiraca
(Examinador)

Danielle
Goveta:03669573925
2023.08.14 15:52:10
-03'00'

Prof.^a Dr.^a Danielle Goveia
Universidade Estadual Paulista - UNESP
(Examinadora)

Aos meus pais, Reginaldo e Rosangela, pelo amor incondicional e dedicação que sempre tiveram, fazendo o possível para que eu sempre tivesse educação, pelo seu infinito amor e ensinamentos, dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me proporcionado o dom de viver e por me dar forças para continuar perseverando por meus sonhos.

A Universidade Federal de Alagoas, pela oportunidade e por permitir que eu pudesse participar do curso de pós-graduação em Agricultura e Ambiente.

As agências de fomento e apoio para que a presente pesquisa fosse contemplada: Capes, Fapeal, CNPQ, UFAL.

Ao meu orientador Professor Dr. Wander Gustavo Botero por conceder vaga em suas pesquisas e me acolher como sua orientada, tornando possível a conclusão dessa dissertação.

Por toda paciência e tranquilidade nas explicações.

Ao meu coorientador Me. Alverlan da Silva Araújo pela orientação, ensinamentos e confiança depositada durante toda pesquisa. Saiba que o senhor me ensinou muito, obrigada por todos os conselhos e puxões de orelha quando necessário, te admiro muito. Jamais esquecerei de toda força que me deu, muito obrigada por tudo!

Aos meus pais Reginaldo e Rosangela, pelo amor, incentivo, esperança, e apoio incondicional, por acreditarem em mim, por me ensinar o respeito e os valores necessários para ser uma cidadã de bem e um ser humano de luz, nunca me deixar desistir, saiba que só cheguei até aqui porque tive o apoio de vocês. Amo vocês!

Aos meus irmãos Keilane, Allafi, Richard, Kailane e sobrinha Kaylana Vitória, pela paciência e carinho, pelo amor que me foi dado e por sempre acreditar em mim, sinto muito orgulho da nossa família. Muito obrigada, amo vocês!

Ao meu noivo, Danúbio da Silva pelo companheirismo, incentivo e por sempre estar ao meu lado nos momentos bons e ruins, obrigada por compartilhar a vida comigo. Amo-te!

Meus sinceros, e profundo agradecimento às minhas grandes amigas e primas irmãs Alice Rafaely, Alice Thayla, Kelle Andrade, Keiciane Teles, ao meu amigo Edielson Xavier, muito obrigada pelas risadas, pelos incentivos e por sempre me apoiar e estar do meu lado.

E aos meus primos Ronaldy Oliveira e João Gabriel pela convivência maravilhosa e edificante, vez em quando estressante, mas muito aconchegante a nossa “engebiocasa”, que agora merece um novo nome, a vocês eu agradeço também por todo apoio e força,

As minhas amigas, Aldeci Franca e Bianca Alencar que sempre me apoiaram na minha vida pessoal e profissional. Obrigada por todas as risadas e todos os ensinamentos, sou muito grata a Deus por ter colocado vocês na minha vida.

A todos os meus Professores Mestres e Doutores os quais tive contato ao longo do curso por me proporcionarem o conhecimento e a formação profissional, que de alguma forma se dedicaram a mim, e sei que seus ensinamentos não foram simplesmente para vida profissional, pois muitos destes ensinamentos eu levarei para minha vida pessoal.

Agradeço também a Central Analítica do Núcleo de Ciências Exatas (CA-NCEX) do campus Arapiraca, pelas análises de infravermelho e ultravioleta e ao Adeildo por toda paciência e ensinamentos.

Ao Sivaldo, por toda a ajuda e disponibilidade nas dúvidas e uso do laboratório. Por toda paciência e tranquilidade nas explicações.

Ao Sistema de Abastecimento de Água e Esgoto (SAAE) de Penedo/AL e toda sua equipe que cedeu o material para a pesquisa deste trabalho.

A toda a equipe do Laboratório de Ciências Ambientais do Agreste - LCAA.

Ao professor Dr. Diogenes Meneses pelo apoio e ensinamentos e por toda ajuda na disciplina de estágio.

Ao professor Dr. Cicero Gomes pelos ensinamentos e por conceder seus materiais para que pudesse realizar a pesquisa.

Ao professor Dr. José Vieira, por conceder que uma parte da pesquisa fosse realizada em seu laboratório, obrigada e nunca esquecerei de suas palavras: boa sorte, sucesso e não esqueça de ajudar o próximo.

As minhas amigas e colegas de turma, que benção poder conhecer vocês, foi uma experiência maravilhosa, obrigada por toda ajuda e companheirismo. Sentirei saudades de todas vocês!

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse realizado.

Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O resíduo denominado lodo, gerado nas Estações de tratamentos de água (ETA) que em sua maioria não apresenta destinação sustentável, quando descartado de forma inadequada *in natura* nos corpos hídricos causa danos alarmantes. Os elevados teores de matéria orgânica e a capacidade do lodo em interagir com espécies presentes no ambiente sugerem aplicações em setores tecnológicos e agrícolas. Um dos maiores componentes da matéria orgânica natural são as substâncias húmicas (SH) derivadas da oxidação e polimerização da matéria orgânica natural no qual apresentam variados grupos funcionais em sua estrutura, e desempenham papel fundamental no ambiente, transportando e biodisponibilizando nutrientes para as plantas. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo extrair e caracterizar as substâncias húmicas (SH) presentes em amostras de lodo de Estação de Tratamento de Água da cidade de Penedo - AL, a qual capta água do Rio São Francisco e avaliar o potencial dessas SH na germinação de sementes de *Chloroleucon dumosum*, espécie utilizada na recuperação de áreas degradadas. O estudo contou com técnicas de espectroscopia UV- vis, espectroscopia de infravermelho (FTIR), análises para fins de fertilidade: teor de matéria orgânica e determinação do teor de macro e micronutrientes, além disso foram realizados estudos de germinação com sementes de *Chloroleucon dumosum*. Para isso as sementes foram colocadas para embeber por 48 horas em diferentes concentrações de SH (0 mg/L (controle com água deionizada), 25mg/L, 50mg/L, 100mg/L e 200mg/L), em seguida foram dispostas 16 sementes por placa, totalizando 48 por tratamento. O experimento foi montado em triplicata e as variáveis avaliadas foram o índice de velocidade de germinação, tempo médio de germinação e índice de germinação. Os dados foram submetidos a análise de variância e ao teste de comparação de médias, seguido de análise de regressão pelo software sisvar. Os resultados de espectroscopia UV-vis e FTIR demonstraram que as SH presentes na amostra possuem considerável presença de grupos aromáticos e grupos carboxílicos, caracterizando a presença de sítios hidrofílicos nas amostras. As análises de fertilidade e de matéria orgânica demonstraram que este material apresenta um grande potencial para uso em setores agrícolas. Já para o teste de germinação, houve diferença significativa entre as diferentes concentrações de substâncias húmicas sobre a germinação *C. dumosum*. Observou-se que a concentração de 100 mg/L promoveu os melhores valores médios quanto ao índice de velocidade de germinação (4,0) e tempo médio de germinação (2,73), enquanto que na concentração de 200 mg/L houve um maior índice médio de germinação (58%), sendo estas concentrações com maior potencial para promover a germinação de sementes de Arapiraca. Infere-se que as

substâncias húmicas de lodo de estação de tratamento de água apresentam características estruturais promissoras para a aplicação em setores agrícolas e ambientais, sendo ricas em elementos minerais essenciais a espécies vegetais e com baixo teor de espécies metálicas com exceção do alumínio.

Palavras-chave: resíduos sólidos; ácidos orgânicos; medidas de germinação.

ABSTRACT

The waste called sludge, generated in Water Treatment Stations (WTP) which mostly does not have a sustainable destination, when improperly disposed of in natura in water bodies causes alarming damage. The high levels of organic matter and the ability of the sludge to interact with species present in the environment suggest applications in technological and agricultural sectors. One of the major components of natural organic matter are humic substances (SH) derived from the oxidation and polymerization of natural organic matter, which have various functional groups in their structure, and play a fundamental role in the environment, transporting and bioavailable nutrients to plants. In view of the above, this work aimed to extract and characterize the humic substances (SH) present in sludge samples from the Water Treatment Plant in the city of Penedo - AL, which collects water from the São Francisco River and to evaluate the potential of these SH. on the germination of seeds of *Chloroleucon dumosum*, a species used in the recovery of degraded areas. The study used UV-vis spectroscopy techniques, infrared spectroscopy (FTIR), analysis for fertility purposes: organic matter content and determination of macro and micronutrients content, in addition, germination studies were carried out with seeds of *Chloroleucon dumosum*. For this, the seeds were soaked for 48 hours in different concentrations of SH (0 mg/L (control with deionized water), 25mg/L, 50mg/L, 100mg/L and 200mg/L), then 16 seeds per plate, totaling 64 per treatment. The experiment was set up in triplicate and the evaluated variables were the germination speed index, average germination time and germination index. The data were submitted to analysis of variance and the mean comparison test, followed by regression analysis using the sisvar software. The UV-vis and FTIR spectroscopy results showed that the SH present in the sample had a considerable presence of aromatic groups and carboxylic groups, characterizing the presence of hydrophilic sites in the samples. Fertility and organic matter analyzes showed that this material has great potential for use in agricultural sectors. As for the germination test, there was a significant difference between the different concentrations of humic substances on *C. dumosum* germination. It was observed that the concentration of 100 mg/L promoted the best mean values regarding the germination speed index (4.0) and mean time of germination (2.73), while at the concentration of 200 mg/L there was a higher average germination index (58%), being these concentrations with greater potential to promote the germination of *Arapiraca* seeds. It is inferred that humic substances from water treatment plant sludge have promising structural characteristics for application in

agricultural and environmental sectors, being rich in mineral elements essential to plant species and with a low content of metallic species, with the exception of aluminum.

Keywords: solid waste; organic acids; germination measurements

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo convencional de tratamento de água	18
Figura 2 – Modelo de ácido húmico proposto por Dragunov (1948).....	21
Figura 3 - Modelo de ácido húmico proposto por Flaig (1964).....	22
Figura 4 - Modelos estruturais para ácido húmico e ácido fúlvico.....	22
Figura 5 - <i>Chloroleucon dumosum</i> (Arapiraca)	30
Figura 6 – Soluções de substâncias húmicas de lodo de ETA em diferentes concentrações....	31
Figura 7 – Sementes de <i>Chloroleucon dumosum</i> submetidas a embebição nas soluções de substâncias húmicas de ETA.....	32
Figura 8 – Caracterização de Ácido Húmicos de Lodo de ETA por Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	34
Figura 9 - Distribuição dos teores de macro, micro-nutrientes (mg/Kg) presentes no de lodo da ETA Penedo de Alagoas.....	38
Figura 10 – Índice de Germinação das sementes de <i>Chloroleucon dumosum</i> geminadas na BOD, após hidroprime de 48 horas em diferentes concentrações de SH.....	41
Figura 11 – Índice de Velocidade de Germinação das sementes de <i>Chloroleucon dumosum</i> geminadas na BOD, após hidroprime de 48 horas em diferentes concentrações de SH.....	41
Figura 12 – Tempo Médio de Germinação das sementes de <i>Chloroleucon dumosum</i> geminadas na BOD, após hidroprime de 48 horas em diferentes concentrações de SH.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Micro, macronutrientes, espécies metálicas e suas respectivas linhas de emissão (em nm).....	29
Quadro 2 - Teor de MO do lodo de ETA no município de Penedo – AL.....	33
Quadro 3 - Caracterização de amostras de substâncias húmicas de amostras extraídas de lodo de ETA.....	34
Quadro 4 - Sinais de espectros em Ácidos Húmicos.....	35
Quadro 5 - Composição do lodo de estação de tratamento de água LETA de Penedo/AL.....	36
Quadro 6 - Valores médios de germinação para as variáveis analisadas em sementes de <i>C. dumosum</i>	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	Objetivos.....	16
2.1	Geral.....	16
2.2	Objetivos Específicos.....	16
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1	Estação de Tratamento de Água (ETA).....	17
3.2	Lodo de Estações de Tratamento de Água.....	18
3.3	Reciclagem do Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA).....	19
3.4	Aplicação de lodo em sistemas ambientais.....	19
3.5	Matéria Orgânica Natural.....	20
3.6	Substâncias Húmicas.....	21
3.7	Extração e Caracterização das Substâncias Húmicas.....	23
3.8	Espectrometria de Absorção da Radiação UV-vis.....	24
3.9	Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier.....	24
3.10	Aplicação de SH na promoção do crescimento vegetal.....	25
3.11	Plantas que Recuperam Áreas Degradadas.....	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1	Coleta e Preparo das Amostras de Lodo de ETA.....	27
4.2	Extração de Substâncias Húmicas das Amostras de Lodo de ETA.....	28
4.3	Determinação do Teor de Matéria Orgânica Presente na Substância Húmica do Lodo de ETA.....	28
4.4	Caracterização de Substâncias Húmicas por Espectroscopia na Região do Ultravioleta-Visível (UV-VIS).....	28
4.5	Caracterização de Substâncias Húmicas por Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	29
4.6	Determinação de Micro, Macronutrientes e Espécies Metálicas.....	29
4.7	Tratamento pré-germinativo de sementes de <i>Chloroleucon dumosum</i> com substâncias húmicas.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1	Avaliação de teor de MO de LETA.....	32
5.2	Caracterização das Substâncias Húmicas.....	33
5.3	Determinação de Micro, Macronutrientes e Espécies Metálicas do Lodo de ETA.....	35

5.4	Avaliação da aplicação de substâncias húmicas na germinação de sementes de Chloroleucon dumosum.....	38
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
	REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

O lodo produzido durante o processo de potabilização da água nas Estações de Tratamentos de Águas (ETA) é um resíduo sólido não perigoso e não inerte, que possui cerca de 90% de matéria orgânica, na qual a sua reciclagem é uma alternativa economicamente viável e ambientalmente vantajosa para o tratamento e disposição final de lodos gerados nas ETAs, o que continua sendo um desafio em vários países, principalmente no Brasil, onde o assunto ainda é recente (MORSELLI *et al.*, 2022). O produto da potabilidade da água nas estações de tratamento de Águas (ETA), recebe a denominação de LETA (Lodo de Estação de Tratamento de Águas), por se tratar de um produto de constituição predominantemente orgânico, apresenta uma grande potencial agrícola e ambiental, que tem um grande conotação sustentável, além disso, ainda pode ser empregado na geração de materiais de construção civil (PINHEIRO; ESTEVÃO; SOUZA, 2014).

De forma simplificada, o uso do LETA para fins agrícolas e ambientais, está tendo uma forte demanda, pois além de fornecer elementos químicos importantes para as plantas, também condiciona as propriedades físicas do solo, devido à grande quantidade de matéria orgânica nele presente (GODOY, 2013; SAMPAIO, 2014). Além do uso do LETA para fins agrícolas e florestais, em plantios comerciais, uma outra alternativa viável é recuperar o solo degradado que sofreu alterações físicas e/ou químicas, através de aplicação direta no solo ou o seu uso na produção de mudas de espécies florestais usadas na recuperação ambiental, como por exemplo do bioma caatinga (NOFFS; GALLI; GONÇALVES, 2000).

Esse composto apresenta ótimas perspectivas de uso no solo para fins agrícolas e ambientais, pois é rico em substâncias húmica (SH), no qual as mesmas potencializam alguns processos importantes, como aumento na mobilidade e absorção de íons, incremento na respiração e na velocidade das reações enzimáticas do ciclo de Krebs, podem complexar espécies metálicas disponíveis em sistemas ambientais, dentre outros e ainda fornece matéria orgânica, macronutrientes e micronutrientes, melhorando a fertilidade do solo e aumentando as produtividades das culturas, especialmente em países de clima tropical como o Brasil, onde os solos são pobres em matéria orgânica e nutrientes em decorrência da grande diversidade climática existente. (SANTOS *et al.*, 2014).

Estudos realizados em ambientes controlados ou em soluções nutritivas demonstraram efeitos positivos das SH na fisiologia da germinação e de espécies vegetais, como por exemplo, no aumento do IVG de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. Como

tratamento pré-germinativo (MOTA *et al.*, 2016), além disso o uso de SH promove o crescimento radicular de espécies, como por exemplo de *Arabidopsis thaliana* L. (Heynh) e de milho (*Zea mays* L.) (CANELLAS *et al.*, 2012). Além da promoção de crescimento vegetal as SH também atuam como agentes quelantes na remediação ambiental de cobre bem como de outros metais potencialmente tóxicos (ROSA *et al.*, 2005).

Tendo em vista o potencial promissor das SH em setores agrícolas e ambientais, as mesmas podem ser utilizadas como possíveis estimuladores da germinação e crescimento de espécies florestais comumente usadas na recuperação de áreas degradadas, como por exemplo a espécie *Chloroleucon dumosum* (Benth) G.P. Lewis., planta pertencente à família Fabaceae, conhecida popularmente como arapiraca, ocorre desde a região setentrional da caatinga (Ceará e Rio Grande Norte) e parte meridional, desde Jacobina (Bahia) até o norte de Minas Gerais. Apesar de possuir dormência física que dificulta a sua germinação, apresenta características de crescimento rápido e rusticidade, além de propriedades ornamentais que a qualificam para arborização de parques e jardins, além disso, possui grande utilidade em reflorestamento heterogêneo destinados à conservação permanente áreas não cultivadas e em programas de recuperação de áreas degradadas por possuir também capacidade simbiótica com microrganismos fixadores de nitrogênio (LORENZI, 2016).

Nesse sentido, tendo em vista a escassez de estudos envolvendo informações científicas das SH oriundas dos resíduos de lodo de estação de tratamento de água e a sua aplicação na promoção de crescimento vegetal e outros parâmetros de interesse ambiental, o objetivo deste trabalho foi caracterizar e aplicar as substâncias húmicas do lodo gerado em estação de tratamento de água no tratamento pré-germinativo de sementes de *Chloroleucon dumosum*

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Caracterizar o lodo da ETA de Penedo/AL, extrair as Substâncias húmicas do LETA e avaliar o potencial das SHs no tratamento pré-germinativo de sementes de *Chloroleucon dusmosum*.

2.2 Específicos

- Determinar o teor de matéria orgânica presente nos lodos da ETA do município de Penedo/AL, in natura;
- Extrair substâncias húmicas do lodo de ETA;
- Caracterizar as substâncias húmicas extraídas;
- Analisar o efeito de diferentes doses de substâncias húmicas no tratamento pré-germinativo de sementes de *Chloroleucon dumosum* (Arapiraca).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Estação de Tratamento de Água (ETA)

O tratamento da água é um dos serviços oferecidos pelo saneamento básico, para que a água chegue nas residências, prédios, estabelecimentos comerciais ou qualquer outro lugar, ela passa por várias etapas nas Estações de Tratamento de água (ETA) que retiram as impurezas e matam microrganismos patogênicos ali presentes.

Conforme Ramirez (2015), após a água ser bombeada de um rio ou represa, ela é conduzida pelas seguintes etapas:

1ª Coagulação - A água recém-chegada e ainda contendo muitas impurezas recebe substâncias, para que sejam formados coágulos, os coagulantes mais usados neste processo são sais de alumínio ou ferro. No Brasil o coagulante mais utilizado é sulfato de alumínio, e a coagulação irá depender da temperatura, pH, cor, turbidez, sólidos totais dissolvidos, força iônica, tamanho das partículas, etc.

2ª Floculação - Ocorre imediatamente após a coagulação. Consiste no agrupamento das partículas eletricamente desestabilizadas (coágulos) de forma a gerar flocos, suscetíveis a serem removidos nas etapas de decantação e filtração.

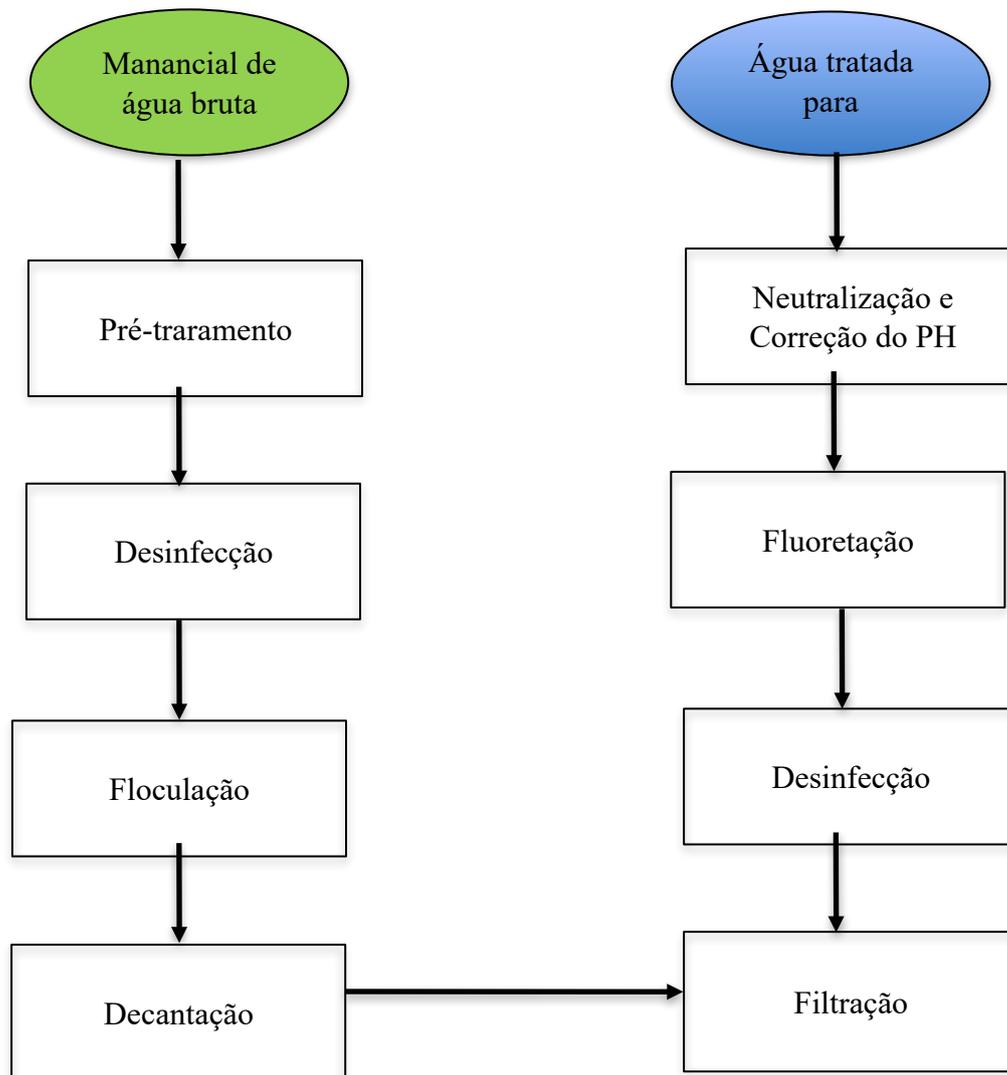
3ª Decantação – Nesta etapa, ocorre a separação das partículas suspensas mais pesadas devido a ação da gravidade. Estas que foram formadas na etapa anterior, irão sofrer um movimento descendente depositando-se no fundo, formando um lodo que é removido periodicamente.

4ª Filtração - Compreende o processo de remoção das partículas suspensas, colóides e microrganismos presentes na água que escoam através de um meio filtrante, sendo as impurezas ali retidas. Este sistema de filtros é frequentemente constituído de um meio poroso e granular composto por pedras, areia e carvão antracito.

5ª Desinfecção - É habitualmente realizada por métodos no qual vai ser utilizado um agente físico ou químico (desinfetante) com a finalidade de remover ou inativar microrganismos patogênicos presentes na água. Normalmente no Brasil se usa o cloro ou ozônio gasoso.

6ª Fluoretação - Nesta etapa, há a adição de compostos a base de flúor às águas de abastecimento públicos, com o intuito de fornecer uma maior saúde dental aos seus usuários, diminuindo em até 60% a incidência de cárie dentária, sendo a medida obrigatória nos locais onde exista Estação de Tratamento de Água – ETA pela lei (Lei nº 6.050/1974).

Figura 1 – Processo convencional de tratamento de água



Fonte: Adaptado de Natanael Barros (2022).

3.2 Lodo de Estações de Tratamento de Água

O lodo é um resíduo sólido gerado no processo de transformação da água bruta, captada principalmente em rios e reservatórios, em água potável para consumo humano nas Estações de Tratamentos de Águas (ETA) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Geralmente, o lodo é composto por substâncias diversas, como sólidas, orgânicas e inorgânicas, provenientes da água bruta e de coagulantes e floculantes utilizados no tratamento ((BITTECOURT, *et al.*, 2009).o lodo da ETA é removido periodicamente dos decantadores e filtros para garantir a eficiência do tratamento de água, que, em geral, segue as

seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluorentação (BITTECOURT *et al.*, 2012).

Ferreira *et al.* (2022), relata que, geralmente, no Brasil ainda são lançados lodos das ETAs em corpos hídricos sem o devido tratamento, o que ocasiona alguns problemas ambientais devido o LETA conter espécies metálicas tóxicas, por isso, deveria ser tratado antes de ser lançado em um corpo aquático ou usado em culturas vegetais. Vale destacar ainda que, o volume de lodo derivado dos decantadores da ETA corresponde de 60% a 95% do total do lodo gerado. Já na lavagem dos filtros, os valores são de 5% a 40% (CHÁVEZ PORRAS, 2007).

3.3 Reciclagem do Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA)

Dentre as alternativas de disposição final do LETA tem-se a incorporação em materiais de construção civil (SOUZA, 2010), a disposição em aterros sanitários e a aplicação controlada no solo (MOTA *et al.*, 2005). Esta última em expansão, visto que os compostos em maior proporção no LETA, os óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, argilas silicatadas e matéria orgânica, são constituintes de solo. No entanto, para que esta prática seja considerada uma alternativa viável, faz-se necessário comprovar que não cause impactos negativos no solo receptor.

3.4 Aplicação de lodo em sistemas ambientais

Geralmente para destinação final do lodo são utilizados os aterros sanitários e aplicação controlada no solo, na qual pode ser utilizado na recuperação de áreas degradadas (MOTTA *et al.*, 2005), alguns estudos vislumbram sua aplicação como insumo agrícola, fertilizante, trazendo como principais benefícios a incorporação dos macronutrientes nitrogênio e fósforo, e dos micronutrientes zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio, este resíduo ainda pode ser aplicado na construção civil (SOUZA, 2010)

Segundo Kitamura *et al.* (2008), a utilização do LETA na recuperação de áreas degradadas pode ser utilizada em conjunto com o lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), ambos são resíduos orgânicos e material de elevado potencial agrônômico. Destacando que, apesar desse material ser rico em matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo, necessitam ser tratados antes de ser usado nos variados solos. O lodo de esgoto, quando higienizado por processo alcalino, apresenta também potencial para corrigir a acidez de solo.

O conhecimento da potencialidade do LETA como alternativa para a adubação orgânica é crescente, revelando-se como um importante insumo agrícola, uma vez que suas características o tornam mais similar ao solo que os lodos de esgotos, principalmente na recomposição de solos degradados, bem como na fertilização das culturas, de preferência aquelas que não são de consumo direto pelos seres humanos (MOREIRA *et al.*, 2009). O reflorestamento, por não ser uma atividade que envolve produtos para consumo alimentar e pelo fato de poder ser instalado em áreas distantes de núcleos urbanos, com acesso restrito a pessoas e animais, possui grande vantagem em relação às culturas comerciais no tocante ao uso de LETA. Além disso, o nitrogênio e a matéria orgânica contida neste resíduo são, em geral, mais estáveis, menos reativos e em menores concentrações, o que o torna mais indicado na recuperação de solos degradados (ABREU JUNIOR *et al.*, 2005).

3.5 Matéria Orgânica Natural

A matéria orgânica do solo é originária de resíduos animais e vegetais em diversos estágios de decomposição é constituída por compostos de carbono em diferentes graus de associação com as fases minerais do solo (ZHAO *et al.*, 2013). A matéria orgânica apresenta capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, além de ser fonte de nutrientes, e, em virtude de sua alta reatividade, regula a disponibilidade de vários nutrientes, principalmente os micronutrientes e ainda a atividade de elementos potencialmente fitotóxicos como Al^{3+} e Mn^{2+} , em solos ácidos, e metais pesados (PICCOLO, 2012).

Vale destacar que, a contribuição da MOS para as características do solo não se limita apenas à sua quantidade, mas também depende da sua qualidade. Levando em conta a composição química, a fração mais recalcitrante da MOS, que é constituída principalmente por estruturas denominadas hidrofóbicas, exibe maior resistência à decomposição e pode permanecer no solo até milhares de anos (CHANG *et al.*, 2014). No entanto, estruturas do tipo carboidratos são mais lábeis e preferivelmente consumíveis pelos microrganismos, podendo ser degradadas em até dois meses (ZHAO *et al.*, 2013)

Nesse contexto, composição da MOS é constituída de substâncias não húmicas, que são substâncias com características químicas e físicas bem definidas (carboidratos, aminoácidos, proteínas, ácidos orgânicos de baixa massa molecular, etc.) e a maior parte da MOS consiste em substâncias húmicas (SH) (SANTOS, 2014).

3.6 Substâncias Húmicas

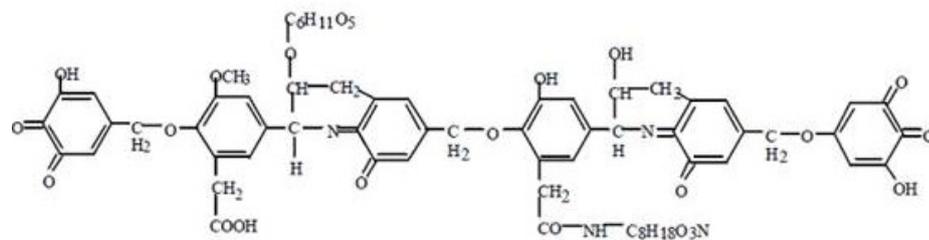
As Substâncias Húmicas (SH) formadas por meio do processo de humificação podem ser separadas em três frações distintas. Com base em sua solubilidade em meio aquoso, as substâncias húmicas são comumente divididas em três categorias: ácidos fúlvicos (AF), solúveis em pH ácido ou alcalino; ácidos húmicos (AH), solúveis em pH alcalino; e humina (HU), insolúvel em qualquer pH, relatando ainda que o acúmulo de carbono orgânico no solo pode aumentar pela aplicação de compostos orgânicos no solo (LIMA 2011).

Conforme a Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (International Humic Substances Society – IHSS), as SH são um aglomerado de misturas complexas e heterogêneas de materiais dispersos formados por reações bioquímicas e químicas que advêm da decomposição e transformação de restos vegetais e microbianos, processo designado de humificação (IHSS, 2007).

Estruturalmente as SH podem ser definidas como uma série de polímeros amorfos de coloração amarela, marrom a preta, de peso molecular relativamente alto e formado por reações de sínteses secundárias, bióticas e abióticas, usualmente classificados em relação a sua solubilidade em álcali e ácido (IHSS, 2007).

Em seus estudos Ales (2014), demonstrou o modelo de ácido húmico proposto por Dragunov em 1948, no qual anéis aromáticos eram substituídos por grupos hidroxilas e quinonas, constituindo as substâncias húmicas; os anéis aromáticos eram ligados por grupos formaldeído (-CH₂O-) e cianeto CN-. Ainda foi demonstrado que ligados a carbonos estariam carboidratos e peptídeos que uniriam os anéis aromáticos aos grupos CH₂ que estão diretamente ligados aos anéis (COLOMBO, 2005 e ALES 2014). (Figura 1).

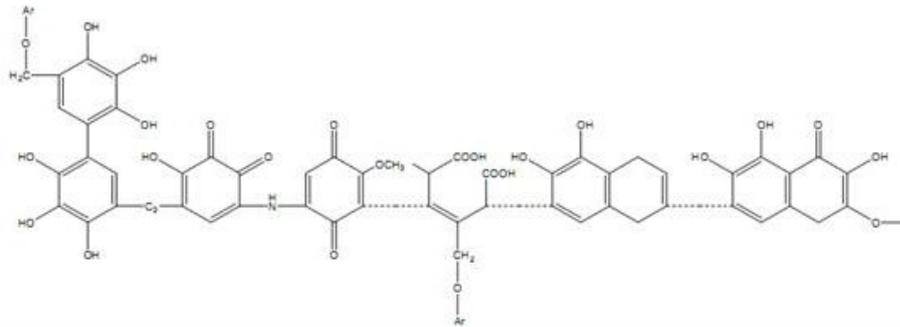
Figura 2 - Modelo de ácido húmico proposto por Dragunov (1948)



Fonte: Ales (2014).

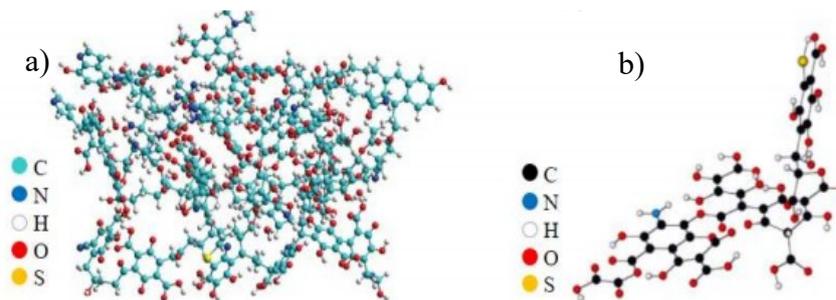
Em seus estudos, Colombo (2005) demonstrou o modelo de Flaig de 1964, na qual a estrutura apresentava anéis aromáticos e quinonas que eram substituídas por grupos hidroxilas, carbonilas e metoxilas (Figura 2).

Figura 3 - Modelo de ácido húmico proposto por Flaig (1964)



Fonte: Novotny (2002).

Figura 4 - Modelos estruturais para a) ácido húmico e b) ácido fúlvico



Fonte: Schaumann e Thiele-Bruhn (2011).

As SH desempenham influência estritamente reconhecida nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e, por conseguinte, no crescimento das plantas (CANELLAS, 2015). De forma complementar, as SH melhoram a estrutura do solo, auxiliam na produtividade e a qualidade dos cultivos, disponibilizam fósforo adsorvido na fração argila, aumentam a superfície específica, a CTC e o efeito tampão, fornecendo maior estabilidade ao solo e atuando como reservatório de N, P, S e micronutrientes. Neste contexto, as SH participam como reguladoras funcionais dos processos químicos e biológicos do solo e das plantas, representando, por isso, um forte fator para a sustentabilidade dos diversos ecossistemas terrestres (ARSLAN; PEHLIVAN, 2008; ROCHA; ROSA, 2020).

Conforme Pinheiro *et al.* (2010), as SHs têm poder redutor suficiente para transformar Fe^{3+} em Fe^{2+} , forma em que serão absorvidas pelas plantas. Os AF desempenham importante papel na complexação de metais polivalentes, além de alterarem as reações de sorção e

disponibilidade de P. Lembrando ainda que combina-se com os óxidos de Fe e de Al, argilas e outros compostos orgânicos. Possuem propriedades redutoras e formam complexos estáveis com Fe, Cu, Ca e Mg (ROSA, 2020).

As SH podem desempenhar papel importante no meio ambiente, contribuindo para a retenção de calor, devido à sua coloração escura nos solos e sedimentos, fato que estimula a germinação de sementes e o desenvolvimento de raízes; atua contra a erosão, evitando o escoamento, pois, por apresentar agregados oriundos da combinação com argilas, possuem alta capacidade de retenção de água; ao mesmo tempo estimulam o crescimento do fitoplâncton em ambientes aquáticos, visto que governam a produtividade primária; além disso, em águas superficiais participam de reações que são induzidas pela luz, fotoquímicas (OLIVEIRA, 2011; PRIMO; MENEZES; SILVA, 2011).

A quantidade de água disponível é um dos componentes mais importantes de um solo fértil. Solos que apresentam altas concentrações de substâncias húmicas são capazes de reter água, possibilitando o uso desse elemento durante os períodos de seca; dessa forma, produtores que integram práticas de produção que preservam substâncias húmicas e utilizam fertilizantes que apresentam humatos em sua composição podem colher uma boa safra durante períodos de tempo seco (LÓPEZ *et al.*, 2013).

Além das características já citadas, as substâncias húmicas são também consideradas as principais reguladoras de troca catiônica (CTC) e formam complexos com íons micronutrientes de plantas, permitindo que eles migrem, o que os torna biodisponíveis (PRIMO; MENEZES; SILVA, 2011).

3.7 Extração e Caracterização das Substâncias Húmicas

Existem vários métodos para a extração de substâncias húmicas dos solos, lodos de Estações de Tratamento de Água (ETA), lodos de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), Turfa e etc., um dos procedimentos que mais tem sido publicado é o que utiliza a solução de hidróxido de sódio. Esses métodos são bastante eficazes e produzem resultados comparáveis e têm sido considerados pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) aceitável para a extração de substâncias húmicas de solos (IHSS, 2007).

Segundo a IHSS (2007) o método descrito não é considerado recomendado ou aprovado, mas reconhecido como adequado para os vários tipos de solos e tem facilidade de ser conduzido na maioria dos laboratórios. Este método proporciona a extração de altas quantidades de substâncias húmicas, é realizado da seguinte forma: 4 horas de extração com

solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ à temperatura ambiente na razão solo/extrator 1:10 (m/v) em atmosfera inerte por 4 horas sob agitação (ROSA *et al.*, 2005).

Para a extração de substâncias húmicas de solos, são consideradas duas classes de extratores: moderados e alcalinos. Alguns pesquisadores fazem a extração com extratores moderados, tendo como finalidade diminuir a ocorrência de alterações estruturais no material orgânico. Outros preferem a extração mais completa das SH utilizando álcalis, mesmo havendo risco de alterações estruturais das SH. Os principais extratores moderados são pirofosfato de sódio (Na₄P₂O₇), agentes complexantes orgânicos em meio aquoso (acetilacetona e 8-hidroxiquinolina), ácido fórmico, misturas ácidas e solventes orgânicos de vários tipos (MENDONÇA, 2010)

Caracterizar as SH é fundamental para se obter uma maior compreensão dos processos de perda da matéria orgânica. Todavia, trabalhos com fracionamento químico das SH em solos orgânicos em regiões de clima tropical ainda são poucos estudados (VALLADARES *et al.*, 2007).

3.8 Espectrometria de Absorção da Radiação UV-vis

A espectroscopia de UV-vis é bastante útil na caracterização das SHs. Radiações UV-Vísivel causam transições eletrônicas dentro das moléculas e assim fornecem informações importantes (SAAB; MARTIN-NETO, 2007).

A espectroscopia na região de UV-VIS é usada, especialmente, para determinar a relação E₄/E₆ (razão entre a absorbância em 465 nm e 665 nm) indicando a presença de grupos aromáticos e distribuição de massa molecular (SAAB; MARTIN-NETO, 2007).

3.9 Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier

Radiações IV causam vibrações moleculares e é utilizada para caracterizar as SH fornecendo informações estruturais e funcionais das moléculas que as compõem. Na região de IV é possível acessar a funcionalidade das SH, especialmente de grupos oxigenados, proteínas, polissacarídeos e proporção de grupos aromáticos/alifáticos e hidrofílicos/hidrofóbicos. Essa técnica permite analisar a natureza química, a reatividade e arranjo estrutural de grupos funcionais contendo Oxigênio (CANELLAS *et al.*, 2004).

É notável a presença de substâncias húmicas a partir da análise da região entre 1.400 e 900 cm⁻¹ conhecida como “fingerprint, na qual, nenhum composto ou substância apresenta o mesmo espectro (CANELLAS *et al.*, 2004).

3.10 Aplicação de SH na promoção do crescimento vegetal

As substâncias húmicas possuem potencial para uso agrícola devido às suas propriedades de alta capacidade de troca iônica e, principalmente, devido à sua composição, que favorece e estimula respostas equivalentes aos hormônios vegetais auxina, giberelina e citocinina, além de auxiliarem positivamente a estrutura física e química do solo (SILVA *et al.*, 2011).

Os efeitos das substâncias húmicas no metabolismo das plantas estão relacionados com o aumento na absorção de nutrientes, devido à influência na permeabilidade da membrana celular e ao poder quelante, bem como à fotossíntese, à formação de ATP, aminoácidos e proteínas. As substâncias húmicas alteram diretamente o metabolismo bioquímico das plantas e, por consequência, podem trazer benefícios no seu crescimento e desenvolvimento (ROSA *et al.*, 2009).

Considerando o uso de substâncias húmicas no cultivo de soja e milho, existem alguns estudos que comprovam o benefício na produtividade destas culturas, assim como outros que não foram favoráveis. Bowden *et al.* (2010) verificaram efeitos positivos para a cultura da soja quando manejada em solos orgânicos compostos de substâncias húmicas.

Já em estudos com Petúnia em cultivo protegido, o uso de substâncias húmicas promoveu o aceleração do processo de germinação das sementes e aumentou o crescimento e florescimento, ressaltando que o aumento da germinação das sementes é proporcional à quantidade de substâncias húmicas aplicadas (ARANCON *et al.*, 2008).

Estudos realizados na Bélgica demonstraram que, o uso da mistura líquida húmica com ácidos húmicos, em solos para o cultivo de batata promoveu maior absorção de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio pelas plantas (VERLINDEN *et al.*, 2009)

3.11 Plantas que Recuperam Áreas Degradadas

Os processos de degradação dos ecossistemas naturais avançam com o passar dos anos, isso se deve a grande expansão da fronteira agrícola, pecuária e crescimento informal nos centros urbanos. Com o uso intensivo ao longo do tempo, vários problemas ambientais estão sendo desencadeados, tornando essas áreas susceptíveis à compactação do solo, redução da biodiversidade, extinção de espécies animais e vegetais, perda da fertilidade natural e, portanto, degradação ambiental, necessitando da adoção de práticas sustentáveis que visem a sua recuperação e redução dos problemas ambientais (MELO *et al.*, 2013; BRANCALION *et al.*, 2015).

O surgimento de áreas degradadas aumenta consideravelmente ao longo dos anos, no Brasil a preocupação com o meio ambiente começou a ter destaque na década de 60 e sendo mais evidente na década de 70, com a participação do Governo Brasileiro em Convenções internacionais para tratar dos inúmeros prejuízos ao meio ambiente. Área degradada pode ser definida como um ambiente alterado por uma obra de engenharia ou submetido a processos erosivos intensos que o modificam, tornando difícil o seu retorno ao seu estado anterior pelo processo natural, exigindo, assim, a intervenção do homem para sua recuperação (NOFFS; GALLI; GONÇALVES, 2000 e RUSSO, 2014).

As plantas auxiliam no processo de recuperação de áreas degradadas neutralizando processos erosivos, recobrando o solo, facilitando a infiltração de água, etc., por isso, tal cenário de degradação dessas áreas, torna-se indiscutível a prioridade em recuperar e reabilitar suas funções. O uso de espécies nativas de rápido crescimento é indicado para a recuperação dessas áreas, as plantas nativas são as espécies que compõem o grupo ecológico das pioneiras e, em um período curto de tempo, elas podem proporcionar melhores condições ao solo, além de fornecerem alimento para a fauna. (MARTÍNEZ-GARZA; BONGERS; POORTER, 2013; VALE; COSTA; MIRANDA, 2014; BRANCALION *et al.*, 2015).

Existe um potencial grande entre as espécies nativas, porém, para uma restauração florestal eficaz, é imprescindível a compreensão do crescimento das plantas e os requisitos nutricionais de espécies vegetais nativas, empregadas para tal finalidade, evitando assim a aquisição de mudas de procedência duvidosa e de espécies exóticas (SEDDON *et al.*, 2014; CARVALHO *et al.*, 2018). De modo geral, as áreas que sofreram processos de degradação em solos brasileiros apresentam pouca fertilidade, o que é um fator limitante para o crescimento vegetal na fase inicial e conseqüentemente inviabiliza as diversas formas de vida que ali pudesse existir (GRANT *et al.*, 2001; BARROS; NEVES; NOVAIS, 2004).

Estudos realizados pela Embrapa (2011) demonstram que a recuperação de áreas degradadas tem o intuito de restaurar a funcionalidade ambiental com base na seleção e na introdução de leguminosas arbóreas e arbustivas, espécies com potencial de crescer sob condições adversas, a eficácia nessa tecnologia está na associação entre planta, rizóbios e fungos micorrízicos, permitindo o desenvolvimento rápido das espécies mesmo na independente da disponibilidade de nitrogênio.

Atualmente existem mais de cem espécies de leguminosas arbóreas e arbustivas recomendadas para plantio nos biomas Mata Atlântica, Cerrado, Amazônia e Caatinga. Vale destacar que, para cada bioma é indicado determinada espécie vegetal nativa da região (EMBRAPA, 2011).

Trabalhos realizados no semiárido brasileiro de fitossociologia, demonstraram quais espécies são importantes para a restauração ecológica nessa região, são elas: juremas (*Mimosa* sp., Mart), umburana de cambão (*Commiphora leptophloeos*, Mart.), baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.), pinhão (*Jatropha* sp., L), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), aroeira (*Myracrodruon urundeuva*, Engl.), angico (*Anadenanthera macrocarpa*, Benth.), dentre outras, como as mais importantes da caatinga. Muitas dessas espécies possuem informações ecológicas e silviculturais para trabalhos de reflorestamento na região, todavia, informações a respeito da maioria ainda são escassas (LIMA, 2004).

Técnicos e biólogos apontam o reflorestamento com plantas nativas como a solução mais viável para esse problema. A espécie Arapiraca, *Chloroleucon dumosum* (Benth) é um exemplo de leguminosa do semiárido nordestino, nativa da região semiárida, que auxilia e melhora as propriedades físicas do solo da região. Pois, protege o solo contra a erosão; ameniza o clima e diminui a incidência dos raios solares, mantendo, assim, a umidade do solo (IZIDRO SOBRINHO *et al.*, 2016). A craibeira é o nome comum mais conhecido na Caatinga para a espécie *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. e Hook. F., espécie heliófita, ou seja, adaptada ao crescimento em ambiente aberto ou exposto à luz direta, é também decídua perdendo as folhas em determinada época do ano. Ecologicamente, pertence ao grupo das espécies secundárias iniciais e também importante na recuperação de solos degradados (LORENZI, 2009).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Coleta e Preparo das Amostras de Lodo de ETA

A coleta foi realizada em agosto de 2022, no período de retirada do lodo da Estação de Tratamento de Água no município de Penedo, em seguida as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Ciências Ambientais do Agreste (LCAA). Destacamos que o Lodo da ETA se refere a águas do Rio São Francisco entre Alagoas e Sergipe. As amostras de lodo de ETA foram transferidas para bandejas de plástico com medidas de 40 x 25 cm, e submetidas à secagem, em seguida desagregadas em peneiradas a 2mm.

4.2 Extração de Substâncias Húmicas das Amostras de Lodo de ETA

As substâncias húmicas (SH) das amostras de lodo estação de tratamento de água foram extraídas conforme procedimento adotado pela maioria dos pesquisadores associados à International Humic Substances Society (IHSS), utilizando NaOH 0,1mol L⁻¹ como extrator, na razão: extrator 1:10 (m:v) em atmosfera inerte por 4 horas sob agitação (BOTERO *et al.*, 2010).

De início foi realizado a pesagem de 100g de LETA e colocado em um Becker, em seguida 4g de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1mol L foi solubilizado em 1L de água destilada. O NaOH 0,1mol L diluído foi misturado com 100g do LETA e posteriormente foram para a mesa agitadora por 4hrs a 1005rpm. Passado as 4hrs a mistura permaneceu em repouso para que a separação de ácidos húmicos e humina. Ficando evidente que a parte líquida são ácidos húmicos e a sólida humina.

4.3 Determinação do Teor de Matéria Orgânica Presente na Substância Húmica do Lodo de ETA

O teor de matéria orgânica foi determinado em triplicata pelo método de calcinação contendo 1,0 g de amostra seca em mufla a 750 °C por 4 h. (SANTOS *et al.*, 2008). Em seguida, as amostras foram acondicionadas em dessecador e posteriormente pesadas. O teor de MO foi obtido pela diferença de massa entre a amostra calcinada com a amostra in natura, o qual foi expresso em relação à quantidade de amostra inicial, ((Amostra *in natura* – Amostra calcinada) x 100%), (ROSA *et al.*, 2000).

4.4 Caracterização de Substâncias Húmicas por Espectroscopia na Região do Ultravioleta-Visível (UV-VIS)

A partir da dissolução de 100 mg de cada amostra em 5mL de solução 0,05 mol L⁻¹ de NaHCO₃, foram feitas leituras nos comprimentos de ondas de 250 nm, 270 nm, 365 nm, 407 nm, 465 nm, e 665 nm no Espectrômetro UV-Vis Global Trade, e em seguida foram determinadas as razões E₄₆₅ /E₆₆₅ , E₂₅₀ /E₃₆₅ e E₂₇₀/E₄₀₇.

4.5 Caracterização de Substâncias Húmicas por Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) foram coletados em um espectrofotômetro Nicolet IR200, utilizando pastilhas de KBr secas a 150°C, prensadas e contendo 2 % de amostra. As análises foram realizadas no modo de transmissão na faixa de 4.000 - 400 cm⁻¹ , com resolução de 8 cm⁻¹ e acumulação de 64 varreduras. As análises foram realizadas no laboratório de Química analítica na UFAL, Campus Arapiraca.

4.6 Determinação de Micro, Macronutrientes e Espécies Metálicas

Os micros, macronutrientes e espécies metálicas foram determinados nas amostras de lodo de ETA por espectroscopia de emissão atômica com plasma induzido por microondas (MP-AES).

Os micro, macronutrientes e espécies metálicas foram determinadas nas amostras de solos por Espectroscopia de Emissão Atômica com Plasma induzido por microondas (MP-AES) na Universidade Federal de São Carlos-Campus Sorocaba com limites de detecção e quantificação na ordem de µg L⁻¹.

Quadro 1 - Micro, macronutrientes, espécies metálicas e suas respectivas linhas de emissão (em nm).

Espécies metálicas	Linhas de emissão
Al	396,152
Ba	455,403
Cd	228,802
Co	340,512
Cr	425,433
Cu	327,395

Mn	403,076
Mo	379,825
Ni	352,454
Pb	405,781
Sr	407,771
Zn	213,857

Fonte: A autora (2023).

4.7 Tratamento pré-germinativo de sementes de *Chloroleucon dumosum* com substâncias húmicas

As sementes de *Chloroleucon dumosum*, conhecida popularmente como Arapiraca foram fornecidas pela Mineradora Vale Verde, onde foram coletadas em uma área de caatinga localizada no município de Craíbas, e em seguida enviadas para o Laboratório de Ciências Ambientais do Agreste – LCAA da UFAL *Campus* de Arapiraca - AL, onde foram beneficiadas, retirando-se as sementes com sinais de injúrias causadas por insetos brocas e/ou com sintomas de algum patógeno, deixando-se apenas aquelas fisicamente saudáveis.

Figura 5 - *Chloroleucon dumosum* (Arapiraca)



Fonte: A autora (2023).

Para o preparo das soluções de SH foi pesado em balança semi analítica o equivalente a cada concentração a ser usada nos experimentos, em seguida foram transferidas para Becker de 2 L e avolumadas com água deionizada, em seguida tiveram o pH ajustado para 7,0 (Figura 3).

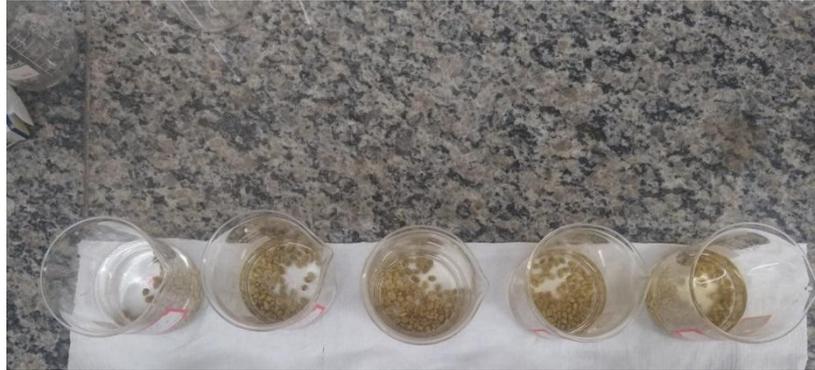
Figura 6 - Soluções de substâncias húmicas de lodo de ETA em diferentes concentrações.



Fonte: A autora (2023).

Após o beneficiamento, foi realizada a implantação dos experimentos aplicando as SH como tratamento pré-germinativo. Sementes de Arapiraca foram submetidas a embebição nas diferentes concentrações de substâncias húmicas de lodo de ETA (0 mg/L (controle com água deionizada), 25mg/L, 50mg/L, 100mg/L e 200mg/L) (figura 4), contidas em Becker com 500 mL da solução de cada concentração (Figura 4). Após 48 horas de embebição nos tratamentos com soluções de SH as sementes foram retiradas e transferidas para placas de petri contendo dois papéis germitest - UNIFIL. sobrepostos, previamente umedecidos com água deionizada. O experimento foi implantado em triplicata com 16 sementes por placa, totalizando 48 sementes por tratamento, em um delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os ensaios foram realizados em condições de BOD (*Biochemical oxygen demand*) a uma temperatura fixa de 25 C° e fotoperíodo de 12 horas.

Figura 7- Sementes de *Chloroleucon dumosum* submetidas a embebição nas soluções de substâncias húmicas de ETA.



Fonte: A autora (2023).

As avaliações foram realizadas a cada dois dias, sempre no horário matutino entre 8 e 11 horas. As variáveis avaliadas foram o IVG (Índice de Velocidade de Germinação), TMG (Tempo Médio de Germinação) e o IG (Índice de Germinação – expresso em porcentagem).

Índice de velocidade de germinação (IVG): calculado pela fórmula $IVG = \sum (n_i / t_i)$, em que: n_i = número de sementes que germinaram no tempo 'i'; t_i = tempo após instalação do teste; Unidade: adimensional. (MAGUIRE, 1962).

Tempo médio de germinação (TMG): calculado pela fórmula $TMG = (\sum n_i t_i) / \sum n_i$, em que: n_i = número de sementes germinadas por dia; t_i = tempo de incubação. Unidade: dias

Índice de Germinação (G): calculada pela fórmula $G = (N/100) \times 100$, em que: N = número de sementes germinadas ao final do teste. Unidade: %.

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de média, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, em seguida realizou-se a análise de regressão. Os modelos foram ajustados conforme o nível de significância dos coeficientes de determinação, com as equações expostas nos gráficos. Todas as análises foram realizadas no software SISVAR[®] versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação de teor de MO de LETA

Para a análise de matéria orgânica (tabela 1), observa-se que após a determinação por calcinação o teor MO total foi de 29,63%, demonstrando que o lodo utilizado neste trabalho apresenta alta concentração de matéria orgânica natural, além disso, esse resultado corrobora com os resultados encontrados por Botero *et al.* (2009), no qual os autores também identificaram altas concentrações de MO em amostras de lodo, principalmente em Manaus (AM) em virtude da quantidade de sedimentos do rio. Vale ressaltar que essa característica confere ao lodo um vasto potencial para ser aplicado em solos agrícolas, entretanto o mesmo deve ser aplicado de forma segura e passar por tratamento.

Quadro 2 - Teor de MO do lodo de ETA no município de Penedo – AL.

Amostra	Local de coleta	MO%
(Vanda 2023)	Penedo – AL	29,63
(Botero 2010)	Taquaritinga – SP	32,5
(Botero 2010)	Manaus – AM	68,9

Fonte: A autora (2023).

5.2 Caracterização das Substâncias Húmicas

A razão de E_2/E_3 indica que quanto maior a razão menor o tamanho da molécula, em comparação com o parâmetro anterior, a razão E_{250}/E_{365} é oposta ao tamanho ou agregação molecular (SLOBODA *et al.*, 2009). Pesquisadores ao realizar estudos com substâncias húmicas aquáticas (SHA) com diferentes tamanhos molecular, observaram que, à medida que a razão E_{250}/E_{365} aumentava, o tamanho molecular diminuía (SLOBODA *et al.*, 2009). Quando comparado, com o valor obtido neste trabalho 4,94 para E_{250}/E_{365} (tabela 2), pode-se inferir que estas SH têm um tamanho molecular menor. Sanches *et al.* (2007) realizaram estudos de substâncias húmicas por tamanho molecular (em kDa) e relatou que quanto menor o tamanho molecular, maior a razão E_4/E_6 . Já a razão de E_2/E_4 sugere há presença de lignina e uma maior participação de plantas terrestres na origem das substâncias húmicas.

A razão entre as absorvâncias do espectro na região UV/Vis é uma variável que caracteriza as frações das substâncias húmicas de diferentes tamanhos moleculares e condensação estrutural (SANTOS, 2014).

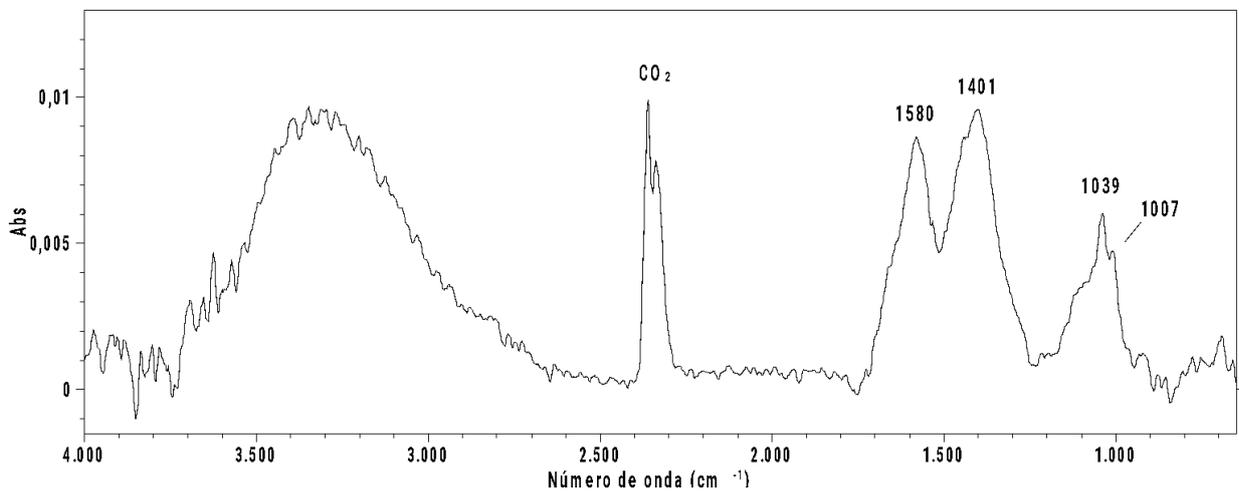
Quadro 3 - Caracterização de amostras de substâncias húmicas de amostras extraídas de lodo de ETA

Parâmetros	Amostra
E_{465} / E_{665}	5,21
E_{270} / E_{407}	7,69
E_{250} / E_{365}	4,94

Fonte: A autora (2023).

A análise da natureza química das substâncias húmicas proporciona o conhecimento sobre qualidade da matéria orgânica presente LETA. Na figura 6 observa-se os resultados do o comportamento espectroscópico no infravermelho de SH.

Figura 8 - Espectro de Infravermelho de Ácido Húmicos de Lodo de ETA



Fonte: A autora (2023)

Quadro 4 - Sinais de espectros em Ácidos Húmicos

Amostra	Absorção (cm⁻¹)	Grupo químico
Substância	1580	C=C (aromáticos), N-H
Húmica -	1401, 1039	C-O, C-N
Lodo	1007	C-O

Fonte: A autora (2023).

Os espectros de infravermelho para os ácidos húmicos, são apresentados na figura 9. Conforme a região de 1580 cm⁻¹, nota-se a presença de bandas de absorção referentes a grupos C=C de compostos aromáticos e N-H é característica dessa região, Ales (2014) demonstrou que ligados a carbonos estariam carboidratos e peptídeos que uniriam os anéis aromáticos aos grupos CH₂ que estão diretamente ligados aos anéis aromáticos.

Na região 1401-1039 cm⁻¹, foram encontrados cianeto C-N e estiramento C-O fenólico, Ales (2014) comenta que os anéis aromáticos eram ligados por grupos formaldeído (-CH₂O-) e cianeto CN⁻, Santos Júnior (2003) e Ferreira (2008), ao realizar trabalhos sobre a caracterização dos ácidos húmicos de origens distintas origens, atribuem a banda em torno de 1.030 cm⁻¹ ao estiramento de C-O de polissacarídeos. A banda em 1007cm⁻¹ pode ser atribuída ao estiramento simétrico C-O ou deformação C-O-H dos COOH e estiramento simétrico dos íons COO e estiramento C-O de polissacarídeos, ésteres, éteres e fenóis (KIM; YU; HAN, 2006).

Vale destacar que, o pico de CO₂ no gráfico é devido a referida molécula está sempre presente no compartimento da amostra, como o método é sensível e faz a medição da absorção das moléculas o CO₂ absorve a radiação infravermelha.

5.3 Determinação de Micro, Macronutrientes e Espécies Metálicas do Lodo de ETA

Para poder utilizar o LETA é necessário realizar a avaliação de fertilidade, analisando a concentração de micro e macronutrientes disponíveis, uma vez que, de acordo com sua potencialidade, o LETA pode ser aplicado no solo, contribuindo com melhoria na fertilidade e a capacidade de troca de cátions, que representa à soma das cargas negativas nas partículas microscópicas do solo (fração argila, e matéria orgânica) retendo os cátions. Os principais cátions trocáveis presentes no solo são H⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ e Al³⁺ e os macro-nutrientes P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ são fundamentais.

Na tabela 2 estão representados os valores médios obtidos de análises para fins de fertilidade do LETA, em três repetições, tais como: sódio, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, acidez potencial, percentual de saturação de bases (V%), a soma de bases (SB) e foi calculada a capacidade de troca de cátions (CTC). A capacidade de troca de cátions é representado pelo conjunto de equações:

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}$$

$$CTC = SB + H + Al^{3+}$$

$$V = 100 (SB/CTC)$$

Quadro 5 - Composição do lodo da estação de tratamento de água LETA de Penedo/AL.

Parâmetro	Unidade	Valor
pH		6,45
Na	mg/L	9,83±0,02
K	mg/L	27,33±0,05
Ca+Mg	cmol/L	10,63±0,05
Ca	cmol/L	7,60±0,02
Al	cmol/L	0,30±0,01
H+Al	cmol/L	9,35±0,01
Na	cmol/L	0,04±0,01
K	cmol/L	0,07±0,01
SB	cmol/L	10,74±0,03
CTC Efetiva	cmol/L	11,04±0,03
CTC pH 7	cmol/L	20,09±0,05

V	%	53,38±0,10
M	%	2,68±0,10
Mg	cmol/L	3,03±0,02
Ca/Mg	cmol/L	2,66±0,03
P (mg/L)	mg/L	7,08±0,04

Fonte: A autora (2023).

O LETA apresentou pH próximo a neutralidade 6,45, Botero *et al.* (2009) relata que, os solos apresentaram um aumento no pH, devido à grande quantidade de CaO presente no lodo. Os valores de CTC são considerados relevantes para as amostras da ETA de Penedo-AL. Destacando que os valores da CTC são influenciados pelas variações de cálcio e magnésio, essenciais à fertilidade do solo, visto que indicam a capacidade deste solo em adsorver cátions em forma trocável, fundamentais no crescimento das plantas, além disso, que significa dizer que este solo apresenta baixa liberação de H⁺ e uma menor disponibilidade Al em sua forma trocável (Al³⁺).

A capacidade de troca de cátions (CTC) representa a soma das cargas negativas que serão retidos à superfície dos materiais em condições permutáveis presentes nas partículas microscópicas de um solo, de uma argila ou do húmus, tais como cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), potássio (K⁺), sódio (Na⁺), alumínio (Al³⁺) e hidrogênio (H⁺). Souza; Lima; Teixeira, (2009), ressalta que a importância da CTC se destaca não somente na retenção de cátions, mas também da água, além de ter direta relação com a estruturação e consistência do solo, tendo influência ainda na qualidade e eficiência de germinação de sementes.

A saturação por bases na amostra do LETA apresentou valor alto (V%), considerando que as cargas negativas que encontram-se ocupando a CTC são justamente por cátions Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, resultando em poucas cargas para (H⁺ +Al³⁺), que são potencialmente tóxicos, apontando em uma alta saturação por bases, caracterizando como solo com boa fertilidade natural (COSTA e ZOCHE, 2009). Neste trabalho foi encontrado V% de 53,38, valor que

auxilia na produtividade de diversas culturas, uma vez que, a maioria das culturas apresenta boa produtividade quando no solo é obtido valor V% entre 50 e 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5 (EMBRAPA,2010).

A tabela 6 mostra que a presença e a biodisponibilidade de alguns metais são distintas, no entanto, os metais que apresentaram os menores valores foram: Cd, Sr, Cu, Mo, Pb, nas concentrações encontradas ambos não são considerados tóxicos. Os metais pesados referem-se a um grupo de elementos com densidade específica e, principalmente, características de toxicidade particulares (RIBEIRO *et al.*, 2012). O alumínio foi o metal encontrado em maior quantidade, este fato é devido a substância estar presente no coagulante (sulfato de alumínio) na etapa de coagulação.

Figura 9 - Distribuição dos teores de macro, micro-nutrientes (mg/Kg) presentes no de lodo da ETA Penedo de Alagoas.



Fonte: A autora (2023).

Quando se comparam os demais metais (Zn Mn, Ni, Cu, Pb e Cr) da figura 7, presentes no LETA, de maneira geral, observa-se que os teores são maiores do que os dos outros metais observado, valores semelhantes foram encontrados por Botero *et al.* (2009), no qual relata que, nos LETAs de Jaboticabal-SP e Taquaritinga-SP, os teores nesses metais também são maiores e isso é em razão do aporte de efluentes domésticos e industriais das cidades do interior do Estado de São Paulo para os mananciais onde a água é captada.

Conforme Ribeiro *et al.* (2012) os metais pesados são alguns elementos que estão presentes nos diferentes organismos vivos em pequenas quantidades, sendo denominados micronutrientes essenciais, que com o aumento das concentrações se tornam tóxicos por meio da bioacumulação, já alguns elementos são naturalmente tóxicos.

A resolução CONAMA 357 de 2005, estabelece os limites máximos de determinados metais na água. No LETA avaliado foi observado um aumento nas concentrações desses metais, todavia isso é devido à substância estar presente no coagulante. Para Botero *et al.* (2009) o lodo de ETA possui potencial agrícola, no entanto seu aproveitamento depende das características da água bruta e do coagulante utilizado, e o potencial de remoção de metais tóxicos de solos degradados depende da quantidade de substâncias húmicas presentes.

5.4 Avaliação da aplicação de substâncias húmicas na germinação de sementes de *Chloroleucon dumosum*

A dormência das sementes é definida como uma condição em que as sementes falha em germinar sob condições ambientais favoráveis, um dos principais problemas para produção de mudas de espécies florestais nativas, principalmente de leguminosas (FINKELSTEIN *et al.*, 2008). Os tratamentos usados para quebra de dormência em sementes baseiam-se em dissolver a camada cuticular cerosa ou formar estrias/perfurações no tegumento das sementes, já que a sua ruptura é rapidamente seguida de embebição, o que propicia o início do processo germinativo (BIANCHETTI e RAMOS, 1981).

Os tratamentos utilizados que obtiveram sucesso para superação da dormência tegumentar de espécies florestais, evidenciam-se as escarificações mecânica; no qual as sementes serão lixadas (superficialmente, na região oposta ao eixo embrionário, química; as sementes serão submersas em ácido sulfúrico concentrado (98%), além da imersão das sementes em água quente; as sementes foram imersas em água quente (95°C) e deixadas em repouso na mesma água, fora do aquecimento.

Neste trabalho foi utilizado o tratamento químico com substâncias húmicas de diferentes concentrações e observou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos com diferentes concentrações de substâncias húmicas para as variáveis germinativas avaliadas, além disso, a germinação das sementes de *Chloroleucon dumosum* distribuiu-se de maneira distinta entre as concentrações de SH de lodo, sendo que a concentração de 100 mg/L proporcionou os maiores resultados em termos de valores médios, apresentando as maiores médias para as variáveis índice de velocidade de germinação (IVG) e índice de germinação (IG), enquanto que houve uma redução acentuada do tempo médio de germinação. Ressalta-se que quanto maior o IVG e o IG e menor o IVG, melhor a resposta da semente em função do tratamento (Tabela 7).

Em relação ao índice de velocidade de germinação (IVG) quanto maior o valor médio desta variável maior é a germinação média diária. Caron (2015), relata que o aumento da germinação das sementes é proporcional à quantidade de substâncias húmicas aplicadas. Nesse sentido, os maiores índices foram obtidos nas concentrações de 50 mg/L e 100 mg/L, que por sua vez defeririam estatisticamente dos demais tratamentos, entretanto foram iguais entre si.

Para o tempo médio de germinação, constatou-se que houve uma redução gradativa das médias com o aumento da concentração até 100 mg/L, porém não houve diferença significativa desta em relação às concentrações mais baixas. Além disso, observou-se que no tratamento contendo 200 mg/L de substâncias húmicas houve um aumento significativo do TMG.

De maneira geral, observou-se que nas maiores concentrações (50 mg/L, 100 mg/L e 200 mg/L) obteve-se os maiores índices médios de germinação, além disso, ambas as três concentrações apesar de não apresentarem diferenças significativas entre si foram diferentes estatisticamente das concentrações mais baixas (0 mg/L e 25 mg/L), sugerindo que as maiores doses de SH de lodo de estação de tratamento de água promove o aumento da porcentagem de germinação de sementes de *C. dumosum*, visto que esta espécie possui dormência física.

Quadro 6 - Valores médios de germinação para as variáveis analisadas em sementes de *C. dumosum*

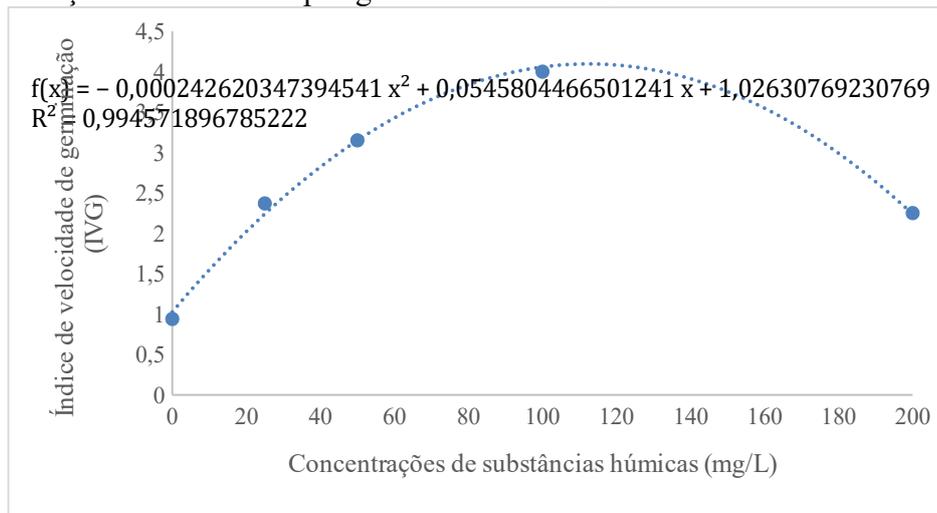
Tratamento	IVG	TMG	IG (%)
0 mg/L	0,94 ± 0,08c	5,00 ± 0,02ab	29 ± 1,70c
25 mg/L	2,37 ± 0,13b	4,46 ± 0,47ab	33 ± 0,60bc
50 mg/L	3,15 ± 0,30ab	4,40 ± 0,12ab	46 ± 0,51ab
100 mg/L	4,0 ± 0,35a	2,73 ± 1,17 ^a	54 ± 0,94a
200 mg/L	2,25 ± 0,25b	5,56 ± 0,02b	58 ± 0,45a
CV (%)	17,6	21,4	13,1

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As médias são os valores de três repetições ± o erro.

Fonte: A autora (2023)

Com relação às análises de regressão, observou-se que o índice de velocidade de germinação apresentou resposta quadrática, havendo um aumento do índice em função do aumento da concentração de substância húmica, atingindo um IVG médio de 4,0 na dose de 100 mg/L, decaindo logo em seguida na concentração de 200 mg/L (IVG= 2,25), sugerindo que concentrações superiores a 100 mg/L afeta o desempenho do IVG de *C. dumosum*.

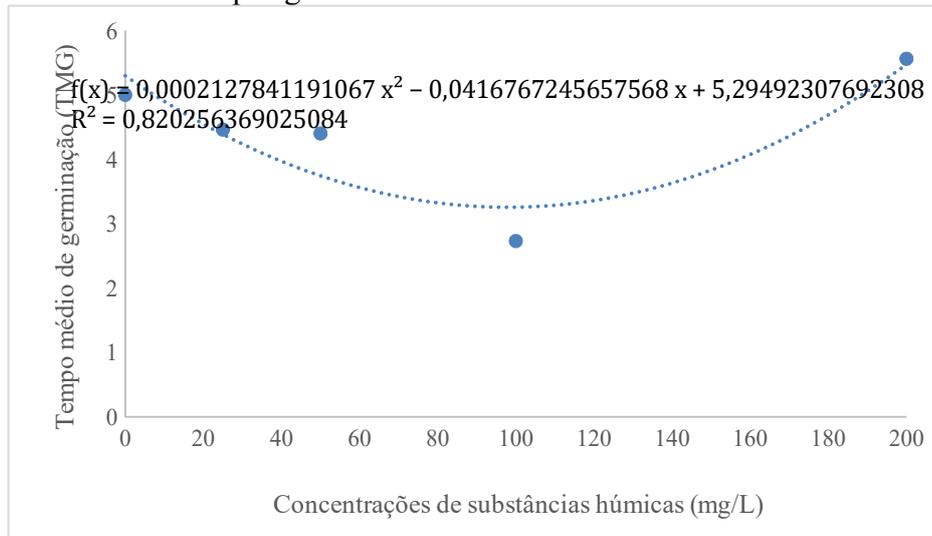
Figura 10 - Índice de velocidade de germinação de sementes de *Chloroleucon dusomum* em função do tratamento pré-germinativo com substâncias húmicas de lodo.



Fonte: A autora (2023).

O modelo que melhor se ajustou ao tempo médio de germinação de sementes de *C. dumosum* tratadas com diferentes concentrações de SH foi o quadrático. Os valores médios se comportaram de maneira decrescente em função do aumento da concentração, sendo a de 100 mg/L a que proporcionou a melhor resposta (TMG= 2,73). Concentrações maiores como a de 200 mg/L podem afetar o desempenho da variável (TMG= 5,56).

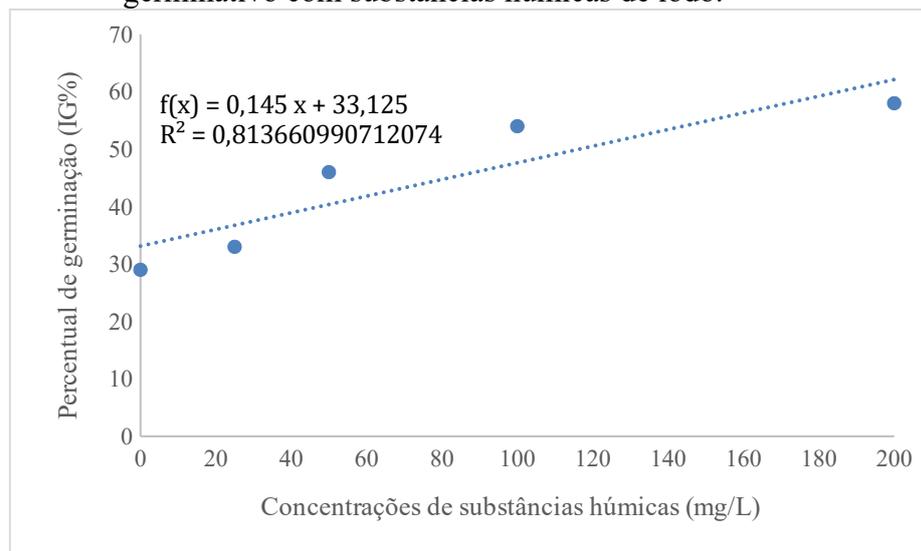
Figura 11 - Tempo médio de germinação de sementes de *C. dumosum* submetidas ao tratamento pré-germinativo com substâncias húmicas de lodo.



Fonte: A autora (2023).

O modelo que melhor se ajustou ao índice de germinação foi o linear, apresentando aumento crescente da porcentagem de sementes germinadas à medida que se aumenta a concentração de SH de lodo de estação de tratamento de água (0mg/L= 29%, 25mg= 33%, 50mg/L= 46%, 100mg/L= 54 %, 200mg/L= 58%).

Figura 12 - Índice de germinação de sementes de *C. dumosum* submetidas ao tratamento pré-germinativo com substâncias húmicas de lodo.



Fonte: A autora (2023).

Os efeitos das SH sobre a germinação estão relacionados com a síntese de hormônios vegetais, como a auxina, e ainda de enzimas que promovem outros efeitos nas plantas, e que

por sua vez favorecem a germinação, florescimento e crescimento da parte aérea, além disso, o incremento do fluxo de nutrientes que incrementam a respiração e divisão celular promovendo o crescimento radicular e a atividade enzimática das sementes (EYHERAGUIBEL; SILVESTRE; MORARD, 2008).

Estudos encontrados na literatura sobre os efeitos das SH na germinação, são diversos e variam com a espécie, fonte e concentração de SH utilizada, sendo reportados efeitos positivos na germinação e o índice de velocidade de germinação de sementes de Aroeira do Sertão (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All), acelerando o processo de germinação das sementes e promovendo o crescimento e florescimento (MOTA *et al.*, 2016).

Dentre as diversas propriedades que os ácidos húmicos e fúlvicos possuem, como estimularem a síntese de hormônios vegetais, como a auxina, e ainda de enzimas, ainda se destacam promovendo outros efeitos nas plantas, favorecendo a germinação, florescimento e desenvolvimento da parte aérea (CARON, 2015).

Embora não tenha sido avaliado neste estudo o crescimento das plantas, vários autores relatam que as substâncias húmicas podem ainda influenciar no crescimento e desenvolvimento das plantas, alterando diretamente o metabolismo bioquímico dos vegetais, além de afetar a permeabilidade das membranas através das bombas de prótons, contribuindo, desta maneira para uma maior absorção de nutrientes (ROSA *et al.*, 2009; ZANDONADI *et al.*, 2013).

Neste sentido, busca-se práticas de manejo que possibilite a um melhor estabelecimento e desenvolvimento e absorção de nutrientes no solo entre as diversas culturas vegetais, diminuindo o uso de fertilizantes químicos e impactos ambientais (AHEMAD; KIBRET, 2014).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da análise para avaliação da fertilidade mostraram que os lodos de ETAs de Penedo-AL, são férteis e possuem elevados teores de matéria orgânica o que demonstra a sua viabilidade técnica e econômica da aplicação ou utilização do LETA no processo de germinação de sementes de espécies florestais nativas.

Em relação a germinação de *Chloroleucon dusmosum*, infere-se que concentrações mais altas de SH como tratamento pré-germinativo aumenta a germinação das sementes de Arapiraca, tendo em vista que as mesmas possuem dormência física. Além disso, é importante salientar que método utilizado é vantajoso em relação aos demais métodos de quebra de dormência em virtude de se utilizar substâncias húmicas que irá fornecer as sementes nutrientes essenciais para seu desenvolvimento. Entretanto, novos estudos devem ser realizados afim de compreender mais profundamente os mecanismos de ação das SH na germinação de espécies florestais.

REFERÊNCIAS

- ABREU JUNIOR, C. H. *et al.* Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n 4, p 391-470, 2005.
- AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting hizobacteria: current perspective. **Journal of King Saud University**, v. 26, p. 1-20, 2014.
- ANDREOLI, C. V. Taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado pelo processo de estabilização alcalina: estudo comparativo de curvas de pH de solos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.19, p. 30-37, 2011.
- ARSLAN, G.; PEHLIVAN, E. Uptake of Cr³⁺ from aqueous solution by lignite-based humic acids. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 16, p. 7597-7605, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.007>.
- ALES, R. **Metodologia para obtenção de imagens de ácido húmico por meio da técnica de microscopia de força atômica**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Setor de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.
- AMÂNCIO, D.V. *et al.* Caracterização do lodo gerado numa estação de tratamento de água. **Sustentare**, v. 1, n. 1, p. 29-44, 2017.
- ARANCON, N. Q. *et al.* Influence of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 39, p. 91-99, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.
- BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Mineral fertilizer recommendations for eucalypt plantations. *In*: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (ed.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba, SP: IPEF, 2004. p. 269-284
- BITTECOURT, S. *et al.* Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Eng Sanit Ambient**, v.17 n.3, p. 315-324, jul./set. 2012.
- BITTENCOURT, S. *et al.* Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da Região Metropolitana de Curitiba. **Revista Aidis**, 2009, v. 2, n. 1, p. 1-11.
- BIANCHETTI, A.; RAMOS, A. Comparação de tratamentos para superar a dormência de sementes de canafístula *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 4, p. 91-99, 1982.
- BOWDEN, C. L. *et al.* Soil carbon and physiological responses of corn and soybean to organic amendments. **Compost Science and Utilization, Emmaus**, v. 18, p. 162-173, 2010.

BOTERO, Wander Gustavo. **Substâncias húmicas: interações com nutrientes e contaminantes**. 2010. 75 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/105692>. Acesso em: 20 mar. 2023.

BOTERO, W. G. *et al.* Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. **Química Nova**, v.32, n. 8, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S010040422009000800007>.

BRANCALION, P. H. S. *et al.* Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. *In*: MARTINS, S. V. (ed.). **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. p. 262-293.

BRASIL. Presidência da República. Lei Federal no 6.050, de 24 de maio de 1974. Dispõe sobre a obrigatoriedade da fluoretação das águas em sistemas de abastecimento. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 6021, 27 maio 1974. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6050.htm. Acesso em: 16 ago. 2023.

CANELLAS, L. P. *et al.* Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 15-27, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423815301771?va%3Di>. Acesso em: 04 abr. 2023.

CARVALHO, J. M. *et al.* Influence of nutrient management on growth and nutrient use efficiency of two plant species for mineland revegetation. **Restoration Ecology**, Washington, DC, v. 26, n. 2, p. 303-310, mar. 2018.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. B. C. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. Piracicaba, SP: USP/ESALQ, 2015. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/biblioteca/file/2140/download?token=e4cGslyJ>. Acesso em: 17 out. 2023.

CHÁVEZ PORRAS, A. “**Uso de lodo de estação de tratamento de água e agregado reciclado miúdo na fabricação de elementos de alvenaria**”, Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2007.

CHANG, R. R. *et al.* A comparison of the compositional differences between humic fractions isolated by the IHSS and exhaustive extraction procedures. **Naturwissenschaften**, v. 101, n.3, p. 197-209, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00114-013-1140-4.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2023

CLAESSEN, M. E. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/330804>. Acesso em: 22 maio 2023.

COLOMBO, S. M. **Isolamento, purificação e caracterização de substâncias húmicas isoladas de vermicomposto. Propriedades ácido-base e de complexação com íons Cu (II)**. 2005. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

COSTA, S.; ZOCHE, J. J. Fertilidade de solos construídos em áreas de mineração de carvão na região sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v.33, n.4, p.665-674, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/yMpSRdpQm8kZcnxZQnXQ9mQ/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 31 maio 2023.

EYHERAGUIBEL, B.; SILVESTRE, J.; MORARD, P. Effects of humic substances derived from organic waste enrichment on the growth and mineral nutrition of maize. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 10, p. 4206–4212, 2008.

EMBRAPA AGROBIOLOGIA. **Recuperação de áreas degradadas**: tecnologia com base na seleção e introdução de leguminosas arbóreas e arbustivas capazes de crescer sob condições adversas. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, set. 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355054/1527012/4h++Recupera%C3%A7%C3%A3o+de+%C3%A1reas+degradadas.pdf/45b7e814-e2fd-4822-80ef-e10a72647aca>. Acesso em: 22 out. 2023.

FERREIRA, G. *et al.* Emprego do lodo de uma estação de tratamento de água beneficiado como material suplementar ao cimento Portland. **Eng. Sanit. Ambient.** v.27 n.4, p. 653-661, jul./ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210035>.

FERREIRA, F. P. **Característica das substâncias húmicas extraídas do solo do manguezal de Pai Matos (Cananéia, SP, BR) e de marismas da Espanha (Galícia e Valência)**. 2008. 125 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2008.

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

FINKELSTEIN, R. *et al.* Molecular aspects of seed dormancy. **Plant, Cell and Environment**, v. 35, p. 1769–1786, 2012. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092740.

GODOY, L. C. de. A logística na destinação do lodo de esgoto. **Revista Científica On-line Tecnologia, Gestão, Humanismo**, v. 2, n. 1, 2013. Disponível em: <http://www.fatecguaratingueta.edu.br/revista/index.php/RCOTGH/article/view/43/27>. Acesso em: 28 mar. 2023.

GRANT, C. A. *et al.* A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, SP, v. 95, n. 2, p. 1-5, set. 2001.

IHSS. **Products**. Denver, CO, USA: IHSS, 2007. Disponível em: <http://www.ihss.gatech.edu/products.html>. Acesso em: 15 jul. 2023

IZIDRO SOBRINHO, A. *et al.* importância do reflorestamento nos processos de recuperação das áreas degradadas do Sertão Paraibano. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 1., 2016, Campina Grande, PB. **Anais [...]**. Campina Grande, PB: CEMEP, 2016. p. [1-11].

KITAMURA, A. E. *et al.* Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 405-416, 2008.

- KIM, H. C.; YU, M. J.; HAN, I. Multi-method study of the characteristic chemical nature of aquatic humic substances isolated from the Han River, Korea. **Applied Geochemistry**, v. 21, p. 1226–1239, 2006.
- LIMA, C. C. Disponibilidade de fósforo para a cana-de-açúcar em solo tratado com compostos orgânicos ricos em silício. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1222-1227, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-4366201100120000>.
- LIMA, P. C. F. Áreas degradadas: métodos de recuperação no semi-árido brasileiro. *In*: REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 25., 2004, Petrolina, PE. **Anais [...]** Petrolina, PE: SBB: Embrapa Semi-Árido: UNEB, 2004. 1 CD-ROM.
- LÓPEZ, R. H. *et al.* Propiedades químicas y química-físicas de derivados estructurales de ácidos húmicos obtenidos de vermicompost. Actividad biológica. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v. 2, n. 22, p. 55-60, 2013.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: manual de identificação e cultivos de plantas arbóreas nativas do Brasil, vol.2. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009. 384 p.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seeding emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 76-177, 1962.
- MENDONÇA, A. G. R. **Turfa**: interações com espécies metálicas e estudo de parâmetros que influenciam na utilização em setores agrícolas. 2010. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, SP, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/105679>. Acesso em: 04 abr. 2023.
- MOREIRA, R. C. A. *et al.* Estudo geoquímico da disposição de lodo de estação de tratamento de água em área degradada. **Revista Quím. Nova**, v. 32, n. 8, p. 2085-2093, 2009.
- MORSELLI, L. B. G. A. *et al.* Lodo de estação de tratamento de água: possibilidade de aplicação no solo. **Scientia Plena**, v. 18, N.º. 5, 2022. DOI: 10.14808/sci.plena.2022.051701
- MOTA, A. R. *et al.* Efeito da substância húmica na germinação de sementes de Myracrodruon urundeuva Fr. All. . **Revista Verde**, Pombal, PB, v. 10, n.3, p. 26-30, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i3.3491>
- MOTTA, A. C. V. *et al.* **Disposição final de lodos de estação de tratamento de água**. Curitiba, PR: UFPR, 2005. Parecer técnico.
- NOFFS, P. S.; GALLI, L. F; GONÇALVES, J. C. **Recuperação de áreas degradadas da Mata Atlântica**: uma experiência da CESP: Companhia Energética de São Paulo. 2. ed. São Paulo: CETESB, 2000. (Cadernos da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica; 3). Disponível em: http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboo_st_files/rec_20areas_20mata_20atlantica.pdf. Acesso em: 28 mar. 2023.
- NOVOTNY, E. H. **Estudos espectroscópicos e cromatográficos de substâncias húmicas de solos sob diferentes sistemas de preparo**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências - Físico Química) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 2002.

OLIVEIRA, E. A. B. **Avaliação de método alternativo para extração e fracionamento de substâncias húmicas em fertilizantes orgânicos**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, SP, 2011.

PICCOLO, A. The nature of soil organic matter and innovative soil managements to fight global changes and maintain agricultural productivity. *In*: PICCOLO, A. **Carbon sequestration in agricultural soils**. Heidelberg, Berlin: Springer, 2012. p.1-19. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-233852_1. Acesso em: 03 abr. 2023.

PINHEIRO, B. C. A.; ESTEVÃO, G. M.; SOUZA, D. P. Lodo proveniente da estação de tratamento de água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha Parte I: caracterização do lodo. **Revista Matéria**, v.19, n.3, p. 204 -211, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/D4MLs4BFYmXjVZsY555gFmg/?lang=pt> . Acesso em: 20 mar. 2023.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n.5, 2011. Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/342/131>. Acesso em: 9 set. 2023.

RAMIREZ, K. G. **Viabilidade do aproveitamento de resíduo de Estação de Tratamento de Água (ETA) na confecção de concretos**. 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, PR, 2015. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/2196>. Acesso em: 29 mar. 2023.

RIBEIRO, E. V. *et al.* Metais pesados e qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG: índice de contaminação. **Geonomos**, v. 20, n.1, p.49-63, 2012.

ROQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. Disponível em:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>. Acesso em: 31 maio 2023.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. **Substâncias húmicas aquáticas: interações com espécies metálicas**. São Paulo: Editora UNESP, 2020. Disponível em: <https://cutt.ly/xoxECIb>. Acesso em :03 abr. 2023.

ROSA, A. H. *et al.* Multimethod study of the degree of humification of humic substances extracted from different tropical soil profiles in Brazil's Amazonian region. **Geoderma**, v. 127, n. 1-2, p. 1-10, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.10.009>.

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

ROSA, C. M. *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 Ciências do Solo**, v. 33, p. 959-967, 2009.

RUSSO, C. C. Aspectos de recuperação de áreas degradadas. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, São Paulo, v.5, n.2, p. 1-10, 8 nov. 2014.

SAAB, S. C.; MARTIN-NETO, L. Anéis aromáticos condensados e relação E₄/E₆: Estudo de ácidos húmicos de gleissolos por RMN de ¹³C no estado sólido utilizando a técnica CP/MAS desacoplamento defasado. **Química Nova**, v. 30, p. 260-263, 2007.

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. 03, p. 675 - 682, july/sept. 2014.

SANCHES, S. M.; CAMPOS, S. X. VIEIRA, E. M. Caracterização das frações da substâncias húmicas de diferentes tamanhos moleculares. **Eclética Química**, v, 32, n. 1, 49-56, 2007.

SANTOS, C. H. **Estudo da matéria orgânica e composição elementar de solos arenosos de regiões próximas a São Gabriel da Cachoeira no Amazonas**. 2014. 173f. Tese (Doutorado em Ciências – Química Analítica e Inorgânica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75135/tde-04072014-105024/>. Acesso em: 03 abr. 2023.

SANTOS JÚNIOR, L. F. dos. **Estudo das frações obtidas no processo de extração alcalina de substâncias húmicas da turfa**. 2003. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SAMPAIO, A. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE**, n. 193, p. 16-27, set./dez. 2013. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_193_n_1503.pdf. Acesso em: 30 mar. 2023.

SCHAUMANN, G. E.; THIELE-BRUHN, S. Molecular modeling of soil organic matter: squaring the circle? **Geoderma**, v. 166, p. 1-14, 2011.

SEDDON, P. J. *et al.* Reversing defaunation: restoring species in a changing world. **Science**, v. 345, n. 6195, p. 406-412, july 2014.

SILVA, A. C. *et al.* Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1609-1617, 2011.

SOUZA, F. R. **Compósito de lodo de estação de tratamento de água e serragem de madeira para uso como agregado graúdo em concreto**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2010.

SOUZA, T. T.; LIMA, A. B.; TEIXEIRA, W. G. O aumento da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do solo através da aplicação de carvão vegetal em um latossolo amarelo na Amazonia Central. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 61., 2009, Manaus, AM. **Anais [...]**. Manaus, AM: SBPC, 2009. p. [1]. Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/61ra/resumos/resumos/5950.htm>, acesso em: 30 maio 2023.

SLOBODA, E. *et al.* The influence of aquatic humic substances characteristics on the coagulation efficiency using ferric chloride. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 976-982, 2009.

TAMANINI, C. R. *et al.* Land reclamation recovery with the sewage sludge use. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p. 643-655, 2008.

VALLADARES, G. S. *et al.* Humic substances fractions and attributes of histosols and the related high-organic-matter soils from Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, p. 763-777, 2007.

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

ZANDONADI, D. B. *et al.* Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v.32, n.1, p.14-20, 2014.

ZHAO, Z. *et al.* Soils development in opencast coal mine spoils reclaimed for 1–13 years in the West-Northern Loess Plateau of China. **European Journal of Soil Biology**, v. 55, p. 40-46, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.08.006>.

[19--].