EFEITOS DO LODO DE ESGOTO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E NA COMPOSIÇÃO DO BANCO DE SEMENTES DO SOLO DE UMA ÁREA DE CERRADO EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

THAMIRES COSTA DA SILVA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

THAMIRES COSTA DA SILVA

EFEITOS DO LODO DE ESGOTO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E NA COMPOSIÇÃO DO BANCO DE SEMENTES DO SOLO DE UMA ÁREA DE CERRADO EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Profa. Dra. Rosana de Carvalho Cristo Martins

Coorientador: Lucas Caius Moreira do Amaral Correia

Brasília-DF

2021

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal - EFL

Efeito do lodo de esgoto nos atributos químicos e na composição do banco de sementes do solo de uma área de cerrado em processo de recuperação

Estudante: Thamires Costa da Silva
Matrícula: 15/0126867
Orientadora: Rosana de Carvalho Cristo Martins
Menção: SS

Profa. Dra. Rosana de Carvalho Cristo Martins
EFL/FT/UnB
Orientadora

Eng. Florestal Lucas Caius Moreira do Amaral Correia
PGEFL/FT/UnB
Co-orientador

Prof. Dr. Alcides Gatto
EFL/FT/UnB
Membro

Brasília – DF, 29 de outubro de 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

da Silva, Thamires Costa.

Efeito do lodo de esgoto nos atributos químicos e na composição do banco de sementes do solo de uma área de cerrado em processo de recuperação / Thamires Costa da Silva. Brasília: UnB, 2021. 38 p. : il. ; 29,5 cm.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Departamento de Engenharia Florestal – Universidade de Brasília, 2021.

1. Bioindicadores. 2. Biossólidos. 3. Regeneração Natural. 4. Técnica de Restauração.

I. Martins, Rosana de Carvalho Cristo, orientadora II. Correia, Lucas Caius Moreira do Amaral, co orientador.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Thamires Costa da. **Efeito do lodo de esgoto nos atributos químicos e na composição do banco de sementes do solo de uma área de cerrado em processo de recuperação**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 38f. (2021).

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Thamires Costa da Silva

TÍTULO: Efeito do lodo de esgoto nos atributos químicos e na composição do banco de sementes do solo de uma área de cerrado em processo de recuperação.

GRAU: Engenheiro em Engenharia Florestal

ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

“Though the storms may come
And the winds may blow
I’ll remain steadfast
And let my heart learn
When you speak a word it will come to pass”.
Maverick city music

Aos meus pais por serem minha maior motivação e por toda garra, esforço e amor dedicados à nossa família durante todos esses anos. À minha irmã por ser meu melhor exemplo e por toda parceria durante a vida e aos meus amigos por sempre colocarem gasolina nos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por seu infinito amor, pelo sacrifício na cruz, pela graça e misericórdia, por ter me dado um propósito pelo qual eu vivo e sempre me esforçarei para cumpri-lo com a mesma excelência que seu filho Jesus ensinou e por todas as etapas incríveis que passei e vi que nunca estive e nunca estarei sozinha.

Agradeço à minha família, meus pais Marly e Benedito que sempre se esforçaram para dar a mim e a minha irmã a vida que eles não tiveram, por todos os privilégios que pude usufruir graças a dedicação de ambos, pelo amor, pela paciência, pela paz e por serem a força e motivação necessária para que eu seguisse acreditando nos meus sonhos, tanto em dias de sol, quanto em dias de tempestade e por serem os melhores pais que vocês poderiam ser; minha irmã por ser o meu maior exemplo, pelo ombro amigo em dias de choro, pela cumplicidade, pela motivação, pelos sorrisos, pelos abraços, pela calma durante o caos da ansiedade e por sempre me fazer acreditar na minha capacidade de alcançar aquilo que aos meus olhos parecia impossível. E a todo o restante da minha família que sempre me incentivou, encorajou e apoiou em todas as minhas decisões.

Agradeço a minha orientadora Rosana, que exerceu mais do que sua função exigia, me orientou em minha primeira pesquisa, no meu trabalho de conclusão, na academia, em muitas oportunidades e ainda foi amiga. Uma pessoa que traz alegria por onde passa e que em todo momento me incentivou a lutar por aquilo que eu queria, sou muito grata por ter sido sua orientada e por todo amor e carinho que recebi, você é um presente.

Agradeço ao Lucas Caius por todo apoio, disposição e serviço desde o início do projeto, os quais foram essenciais para os resultados alcançados; a Leiliane Saraiva, pelo auxílio e direção nas idas à área de estudo e por todo material compartilhado; ao Professor Alcides Gatto pelos instrumentos emprestados para a coleta do solo estudado no projeto e pela disposição em ajudar. E ao Professor Ricardo Carmona pelo auxílio na identificação das espécies encontradas no banco de sementes do solo estudado.

Agradeço a todos os meus amigos, aos antigos e aos recém-chegados, e aos companheiros de curso, em especial as melhores, Gabrielle Bernardes e Aina França por toda ajuda, sorrisos e lágrimas compartilhadas. Aos colegas de trabalho da SUAPS e a todos meus amigos, que com toda certeza eu falharia em citar nomes, mas que sabem quem são e que sonharam esse sonho comigo.

Agradeço à CAESB, ao Exército Brasileiro, a FAP-DF e ao Departamento de Engenharia Florestal pelo suporte e auxílio financeiro para produção dessa pesquisa.

RESUMO

O progressivo crescimento populacional tem como consequência o aumento da produção de resíduos e da dificuldade de destinação final deles, aumentando a necessidade de alternativas sustentáveis de destinação final e reutilização desses resíduos, como é o caso do uso do lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas. No Brasil, o uso do lodo de esgoto é regulamentado pela Resolução CONAMA nº 375/2006, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola do lodo e produtos derivados e também define os limites de contaminantes que podem estar presentes. Já no Distrito Federal existe a resolução CONAM nº 03/2006, que disciplina o uso de lodo de esgoto incluindo o uso na recuperação de áreas degradadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar se o uso do lodo de esgoto é uma alternativa viável em termos de reaproveitamento desse resíduo, analisando o seu efeito nos atributos químicos e na composição do banco de sementes de um solo degradado em Brasília-DF, quatro anos após sua aplicação. Os tratamentos foram: área degradada tratada com lodo de esgoto e área nativa de cerrado utilizada como referência. Foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com dois tratamentos e dez repetições por tratamento. A composição do banco de sementes foi avaliada através da emergência das plântulas ao longo de 80 dias. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste T, a 1% de probabilidade. Os atributos químicos do solo foram avaliados por meio de análise química em laboratório. Os resultados indicam que o uso agrícola do lodo de esgoto mostrou-se eficiente em incrementar a taxa de alguns nutrientes relacionados a fertilidade do solo e aumentar a diversidade do banco de sementes. Todavia, o banco de sementes do solo local não é suficiente para que haja recuperação por meio da sucessão ecológica, pois a maior parte das sementes germinadas na área foi identificada como invasora e a baixa taxa de alguns nutrientes sugerem a reaplicação do lodo de esgoto periodicamente.

Palavras-chave: bioindicadores; biossólidos; regeneração natural; técnica de restauração.

ABSTRACT

The progressive population growth results in an increase in the production of waste and the difficulty of its final disposal, increasing the need for sustainable alternatives for the final disposal and reuse of these wastes, as is the case of the use of sewage sludge recovery in the degraded areas. In Brazil, the use of sewage sludge is regulated by CONAMA Resolution No. 375/2006, which defines criteria and procedures for the agricultural use of sludge and derived products and also defines the limits of contaminants that may be present. In the Federal District, there is a CONAM resolution nº 03/2006, which regulates the use of sewage sludge including its use in the recovery of degraded areas. The objective of this work was to evaluate whether the use of sewage sludge is a viable alternative in terms of reuse of this waste, analyzing its effect on chemical attributes and seed bank composition of a degraded soil in Brasília-DF, four years later your application. The treatments were: degraded area treated with sewage sludge and native cerrado area as a reference. Soil samples were collected at a depth of 0-20 cm. The experimental design used was completely randomized with two treatments and ten repetitions per treatment. The composition of the seed bank was evaluated through seedling emergence over 80 days. The data were submitted to analysis of variance, with the averages compared by the T test, at 1% probability. The chemical attributes of the soil were obtained through chemical analysis in the laboratory. The results indicate that the agricultural use of sewage sludge proved to be efficient in increasing the rate of some nutrients related to soil fertility and increasing the diversity of the seed bank. However, the seed bank of the local soil is not sufficient for recovery through ecological succession, as most of the germinated seeds in the area were identified as invasive and the low rate of some nutrients suggest the re-application of sewage sludge periodically.

Keywords: bioindicators; biosolids; natural regeneration; restoration technique.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
2 OBJETIVOS 13
2.1 Objetivo Geral 13
2.2 Objetivos Específicos 13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13
3.1 Desenvolvimento Sustentável e Gestão de Resíduos Sólidos 13
3.2 Recuperação de Áreas Degradadas 15
3.3 Lodo de Esgoto 17
3.4 Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura 18
3.5 Banco de Semente do Solo 20
4 MATERIAIS E MÉTODOS 21
4.1 Área de Estudo 21
4.3 Análise do Banco de Semente do Solo 23
4.4 Análise Estatística 25
4.5 Análise Química do Solo 25
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 26
5.1 Banco de Semente do Solo 26
5.2 Atributos Químicos 30
6 CONCLUSÕES 32
REFERÊNCIAS 33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área do Projeto de Recuperação Ambiental do Pátio Ferroviário dividida em talhões.....23

Figura 2: Demarcação de parcelas, coleta das amostras de solo e montagem do experimento no laboratório. Da esquerda para direita: parcela demarcada com fita zebrada, coleta de uma amostra de solo com uso do "porco-espinho", amostras de solo dispostas em bandejas no laboratório de sementes.....25

Figura 3: Densidade de indivíduos germinados/ m³ nas áreas de Cerrado e Lodo.....26

Figura 4: Plântula de *Bidens pilosa* L., *Amaranthus deflexus* L. e *Alternanthera tenella* Colla respectivamente da esquerda para a direita.....27

Figura 5: Gráficos de Dispersão para o fator tempo.....29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Espécies nativas e exóticas/invasoras encontradas nas áreas adjacentes à área de estudo.....22

Tabela 2: Coordenadas geográficas das parcelas em áreas nativas de cerrado e degradada tratada com lodo de esgoto.....24

Tabela 3: Relação das espécies e respectivas famílias botânicas observadas no banco de sementes do solo de dois tratamentos, em área nativa de cerrado, Rede Ferroviária Federal S/A, Brasília, DF, Brasil. 27

Tabela 4: Média das variáveis para o fator área no estudo do banco de sementes do solo.....28

Tabela 5 - Atributos químicos do solo da área nativa de cerrado e da Área degradada tratada com lodo..... 30

Tabela 6 - Atributos químicos do solo da área degradada sem lodo.....30

1 INTRODUÇÃO

O avanço técnico-científico experimentado pela sociedade nos últimos séculos, desde o início da revolução industrial (1740) permitiu que o mundo e a sociedade experimentassem uma expansão da urbanização que trouxe consigo diversos avanços na tecnologia, nos meios de transporte, na educação, na saúde e em diversas outras esferas da sociedade, mas, resultou em diversos problemas a longo prazo, problemas esses que foram previstos, mas ignorados, como o esgotamento de recursos naturais e a atual crise ambiental e climática que enfrentamos.

Dentre os problemas ambientais agravados pela crescente concentração urbana, um dos mais relevantes da atualidade é o destino adequado para os milhões de toneladas de resíduos gerados pelas atividades humanas, diariamente, em todo o mundo (BATISTA, 2015). De acordo com o relatório *What a Waste 2.0* do Banco Mudial escrito por Kaza et al. e publicado em 2018, o mundo gera aproximadamente 2,01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos anualmente, e é esperado que esse número cresça para 3,40 bilhões de toneladas em 2050. Os autores também alertam para a necessidade de mudança nos padrões de consumo atuais e de se pensar em alternativas e tecnologias que garantam uma gestão ambientalmente segura e sustentável para esses resíduos.

Um desses resíduos e foco do presente estudo é o lodo de esgoto que, com o crescimento urbano acelerado, aumenta a sua produção nas Estações de Tratamento. A utilização do lodo de esgoto como fertilizante orgânico é considerada atualmente a alternativa mais promissora e segura de disposição final desse resíduo, principalmente na recuperação de áreas degradadas por representar uma fonte de nutrientes, promover uma melhora na agregação de partículas tendo como consequência o aumento da retenção de água e aumentar a produtividade das culturas, melhor estabelecimento de mudas e regeneração natural (FARIA et al., 2018; ZONG et al., 2018).

Quando se fala em áreas degradadas, a garantia da regeneração natural dos solos é tão importante quanto a recomposição do solo. O banco de sementes do solo está diretamente relacionado ao processo de regeneração das comunidades vegetais e possibilita analisar de forma quantitativa e qualitativa as espécies, suas formas de vida e os grupos ecológicos que participam dessa regeneração natural e por isso é considerado um ótimo indicador da capacidade de resiliência de um ecossistema degradado e dos diferentes estágios sucessionais da floresta (MEDEIROS-SARMENTO et al., 2021; MAGNAGO et al., 2015).

Desta forma, este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da aplicação do lodo de esgoto em um solo degradado localizado no pátio da Rede Ferroviária Federal SA - REFFSA no Distrito Federal analisando as espécies predominantes no banco de sementes do solo e as alterações nas propriedades químicas dele, quatro anos após a aplicação do resíduo para verificar se o uso do lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas é uma alternativa viável para destinação final desse resíduo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a efetividade do uso do lodo de esgoto na recuperação de uma área degradada localizada no pátio da Rede Ferroviária Federal S.A. – REFFSA, no Distrito Federal; e se essa forma de disposição se encontra alinhada com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

2.2 Objetivos Específicos

Analisar quais as espécies predominantes no banco de sementes do solo e as alterações nas propriedades químicas do solo quatro anos após a aplicação do lodo de esgoto produzido pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Companhia de Água e Esgoto de Brasília (CAESB).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Desenvolvimento Sustentável e Gestão de Resíduos Sólidos

A quantidade de resíduos sólidos urbanos destinados inadequadamente no Brasil passou de 25,3 milhões de toneladas por ano em 2010 para 29,4 milhões de toneladas por ano em 2019 com uma grande parte desse total destinados de forma inadequada para lixões ou aterros controlados, e não para aterros sanitários. Essa triste estatística tem como consequência o aumento dos problemas ambientais e de saúde humana gerando custos de cerca de US$ 1 bilhão por ano para esses setores. Os dados são do Panorama dos resíduos sólidos no Brasil produzido pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais em 2020.

A Agenda 21 (1992), documento resultado da “Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento” – Rio 92 e um dos principais instrumentos utilizados como base global de um modelo de desenvolvimento sustentável, afirmou que a existência de padrões

de produção e consumo não sustentáveis está aumentando a quantidade e variedade dos resíduos persistentes no meio ambiente em um ritmo sem precedente podendo quadruplicá-los ou quintuplicá-los até o ano de 2025.

O capítulo 21 do mesmo documento trata sobre o manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com os esgotos e foi incorporado em cumprimento ao disposto no parágrafo 3 e 12 g) da seção I da resolução 44/228 da Assembleia Geral, no qual foi afirmado que o manejo ambientalmente saudável dos resíduos se encontrava entre as questões mais importantes para a manutenção da qualidade do meio ambiente da Terra e, principalmente, para alcançar um desenvolvimento sustentável e ambientalmente saudável em todos os países; e que a conferência devia elaborar estratégias e medidas para intensificação dos esforços nacionais e internacionais para promover esse modelo de desenvolvimento em todos os países.

O lodo de esgoto gerado pelas estações de tratamento possui várias alternativas de disposição final associados aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), essas alternativas promovem a reutilização e aproveitamento desse resíduo. Dentre os usos destacam-se as aplicações em construções civis, recuperação de áreas degradadas, uso em áreas de reflorestamento, uso agrícola e fabricação de substrato vegetal (BATISTA, 2015).

Instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto n° 7.404/2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) representa uma primeira forma de integração entre esferas do poder público e o sistema nacional de políticas ambientais. Representa, também, uma proposta unitária de gestão dos resíduos pautadas pelo manejo sustentável e ecologicamente correto destes materiais gerados nos processos industriais e principalmente pelo consumo de produtos manufaturados. A mesma lei também garante o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania (BRASIL, 2010a; 2010b).

A PNRS define resíduos sólidos como qualquer material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água e classifica esses resíduos em relação à sua origem ou periculosidade (BRASIL, 2010a).

De acordo com os artigos 3° e 6° da PNRS, a produção de resíduos e demais componentes com potencial poluidor deve ser equivalente à capacidade de depuração dos ecossistemas terrestres e por isso, a sustentabilidade econômica passa inevitavelmente pelo ciclo de vida dos produtos onde a destinação final adequada envolve reutilização, reciclagem, tratamento e soluções econômicas aos resíduos como a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético destes materiais.

O Decreto n° 7.404/2010 enfatiza a importância de existir a coleta seletiva em todos as cidades do país por ser um instrumento essencial para se atingir a meta de disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, além de se apresentar como uma solução geradora de renda e empregos ao priorizar a participação de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis constituídas por pessoas físicas de baixa renda (BRASIL, 2010b).

3.2 Recuperação de Áreas Degradadas

Segundo Bezerra et al. (2006), a recuperação de áreas degradadas consiste em utilizar técnicas, com o objetivo de restaurar as condições próximas àquelas existentes anteriormente, no entanto, a curto, médio ou longo prazo, os fatores naturais da gênese de um solo impõem a condição de equilíbrio do sistema, determinando o grau de estabilidade do processo de recuperação. Consideram-se degradadas as áreas que sofreram alterações que levaram à perda da capacidade produtiva, comprometendo seu potencial regenerativo. Para a identificação dessas áreas é necessário a observação, dentre outros fatores, das condições do solo, da vegetação, da drenagem e de infiltração do solo, o efeito de borda, a fauna existente, as características do entorno (TATSCH, 2011).

Conforme Rodrigues; Gandolfi (2004), a preocupação em recuperar áreas degradadas está conectada a fatores como a reconstituição do ecossistema, garantindo a manutenção da biodiversidade vegetal e suas interações com a fauna ao longo do tempo. Soma-se a isso, a conservação de recursos hídricos, a fixação e a conservação da fauna e da flora, a preservação de encostas, a contenção da erosão, a prevenção de assoreamento dos cursos d'água e o cumprimento da legislação ambiental vigente (GLUFKE, 1999).

Atualmente, no Brasil, existem diversos métodos utilizados no processo de recuperação de uma área degradada e cada um deles tem suas peculiaridades, dificuldades, vantagens e desvantagens. Destacam-se: regeneração natural, plantio adensado, plantio de leguminosas,

plantio de espécies em módulos, sistemas agroflorestais, aplicação de resíduos orgânicos aliado ao plantio de mudas de espécies nativas e a transposição do banco de sementes (RODRIGUES; GIULIATTI; JÚNIOR, 2020; BOAVENTURA; CUNHA; SILVA, 2019). A escolha do melhor método é feita de acordo com as condições ambientais, sociais e econômicas da área a ser recuperada e das que as circundam

Embora haja uma política revestida de leis e decretos para assegurar a teoria e a legalidade das técnicas de recuperação, verifica-se na prática uma dificuldade na tomada de ação quando essa recuperação ameaça o lucro dos grandes latifundiários ou do próprio governo.

O aumento populacional e o desmatamento de vegetação para agropecuária e agricultura visando o abastecimento da população enfatizou a necessidade de recuperar áreas degradadas. A legislação pioneira sobre RAD é composta, principalmente, pela Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), instituída pela Lei n° 6.938/1981, e pela Constituição Federal (CF) de 1988. Ambas expõem a importância da recuperação como forma de garantir a disponibilidade permanente de recursos ambientais e as condições ao desenvolvimento socioeconômico do Brasil e à proteção da dignidade da vida humana (BRASIL, 1981; 1988).

Nesse contexto, novas Leis e Decretos foram sendo criados como: o Decreto n° 97.632, em 1989, que traz a necessidade de a atividade de exploração de recursos minerais apresentar Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), (BRASIL, 1989); A Instrução Normativa (IN) n° 04/2011, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) que regulamenta o PRAD e indica as informações que devem constar nele (IBAMA, 2011); e a Lei de Crimes Ambientais, Lei n° 9.605/1998, que indica a recuperação de áreas degradadas como umas das penalidades em caso de cometimento de alguns crimes ambientais (BRASIL, 1998).

Mais recentemente foram criados o Programa Nacional de Florestas pelo decreto n° 3.420/2000 que tem por objetivo fomentar ações de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (BRASIL, 2000b), o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) que estabelece a forma de criação, implantação e gestão de unidades de conservação nacionais e foi criado pela Lei n° 9.985/2000 (BRASIL, 2000a) e o Novo Código Florestal, Lei n° 12.651/2012, que estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação nativa, exploração florestal, suprimento da matéria florestal e outros (BRASIL, 2012).

3.3 Lodo de Esgoto

O termo lodo é utilizado para designar um dos subprodutos sólidos gerados no processo de tratamento das águas residuárias antes de devolvê-las ao ambiente. Neste processo parte da matéria orgânica é absorvida e convertida e o resultado é um resíduo formado por materiais orgânicos, microrganismos vivos e mortos e minerais sedimentados e acumulados durantes as diferentes etapas (ZHANG *et al.*, 2017).

O Distrito Federal (DF) ocupa posição de destaque no panorama nacional de saneamento básico e tratamento do esgoto, devido aos elevados índices de atendimento à população. De acordo com o relatório de 2021 da CAESB, cerca de 90,91% da população urbana é atendida e, como consequência disso, existe uma alta produção *per capita* de lodo na capital do Brasil. Porém, o DF também se destaca pelo emprego de diversificadas tecnologias de tratamento do lodo e também pelo apoio e desenvolvimento de pesquisas que buscam experimentar a eficiência de usos alternativos desse resíduo, agregando-lhe valor econômico, logístico e ambiental.

A composição média do esgoto aponta para uma mistura de água (99,9%) e sólidos (0,01%), sendo que do total de sólidos 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos e gorduras) e 30% inorgânicos (areia, sais, metais, etc.). Na fração orgânica podem-se encontrar carboidratos, proteínas e lipídeos que se constituem em fonte de carbono e de energia para os organismos heterotróficos, cujo metabolismo conduz à liberação de gás carbônico, fosfatos, nitratos e outros íons (MELO; MARQUES, 2000).

De composição bastante variada em consequência de peculiaridades regionais e dos processos em que é gerado, o lodo de esgoto contém considerável percentual de matéria orgânica e elementos essenciais a nutrição de plantas, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais, desempenhando importante papel na manutenção da fertilidade e na melhoria da qualidade do solo (NASCIMENTO et al., 2004). Embora a utilização agrícola de lodo de esgoto se apresente como uma das alternativas mais atrativas para a disposição final desse resíduo, elementos potencialmente tóxicos podem limitar sua aplicação, em virtude da possibilidade de contaminação do solo, dos sistemas aquáticos e da atmosfera, aumentando o risco de transferência deles para a cadeia alimentar (GOMES et al., 2006; NOGUEIRA et al., 2007).

Usualmente, o tratamento do lodo inclui uma ou mais das seguintes etapas: adensamento, estabilização, condicionamento, desidratação, higienização. Utilizar tecnologias de tratamento de esgoto que tenham baixa produção de lodo, que seja de boa qualidade e reciclar o maior volume de lodo possível devem ser diretrizes das empresas de saneamento. Das tecnologias de tratamento de esgoto existentes, as lagoas de estabilização são as que geram o menor volume de lodo, enquanto os lodos ativados convencionais são os que produzem o maior volume de lodo a ser tratado (LIMA et al., 2011).

3.4 Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura

A disposição de esgotos na agricultura é uma prática antiga. As informações mais conhecidas são as originárias da China. No ocidente sabe-se que na Prússia, a irrigação com efluentes de esgotos era praticada desde 1560. Na Inglaterra, por volta de 1800, foram desenvolvidos muitos projetos para a utilização agrícola dos efluentes de esgoto, especialmente em razão do combate à epidemia da cólera. A prática de uso do solo como meio de disposição do esgoto ou do lodo tem sido frequente em muitos países. No Brasil, a pesquisa para o uso de lodo de esgoto na agricultura foi iniciada na década de 1980 com Bettiol e Carvalho que publicaram, no ano de 1982, os primeiros trabalhos sobre o tema (BETTIOL; CAMARGO, 2006; GUEDES et al., 2006)

Bettiol; Camargo (2006) afirmam que utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas tem como principais benefícios: a incorporação dos macronutrientes (nitrogênio e fósforo) e dos micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio). Como os lodos são pobres em potássio, há necessidade de se adicionar esse elemento ao solo, na forma de adubos minerais. Pode-se dizer que, normalmente, o lodo de esgoto leva ao solo as quantidades de nutrientes suficientes para as culturas, porém nem sempre de maneira equilibrada e em formas disponíveis para as plantas, em curto prazo.

Em relação aos aspectos físicos do solo, de acordo com Bezerra et al. (2006) e Alves et al. (2007), a presença de matéria orgânica melhora o estado de agregação das partículas do solo, diminui sua densidade, aumenta a aeração, a capacidade de retenção de água e a capacidade de troca de cátions. A adição de várias fontes de material orgânico tem sido utilizada com o objetivo de melhorar as propriedades do solo, desde as mais conhecidas e utilizadas, como os estercos e a adubação verde, até resíduos orgânicos e o lodo de esgoto, menos utilizados por falta ainda de estudos que viabilizem sua utilização.

No Brasil, o uso do lodo de esgoto é regulamentado pela Resolução CONAMA nº 375/2006, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola do lodo e produtos derivados e também define os limites de contaminantes que podem estar presentes, tendo em vista que o lodo de esgoto contém substâncias e agentes patogênicos que podem representar fonte de risco à saúde e ao meio ambiente. Já no Distrito Federal existe a resolução CONAM nº 03/2006, que disciplina o uso de lodo de esgoto no DF, incluindo o uso na recuperação de áreas degradadas e enfatiza a necessidade de autorização do órgão ambiental para uso desse resíduo. Ambas as resoluções definem limitações de uso e critérios físico-químicos e microbiológicos aceitáveis, bem como apresentam orientações para projetos de uso de lodo (DE LIMA et al., 2017).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 375/2006 define duas classes de lodo (A e B). O lodo classe A é caracterizado por: coliformes termotolerantes (CTe) < 103 NMP.g-1 de ST; ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo.g-1 de ST; Salmonella spp. ausência em 10 g de ST e vírus < 0,25 UFP ou UFF.g-1 de ST. O lodo classe B é definido por CTe < 106 NMP.g-1 de ST e ovos viáveis de helmintos < 10 ovos.g-1 de ST. A aplicação do tipo B no solo está proibida pois não é segura (BRASIL, 2006).

A Resolução n° 03/2006 no art. 20 apresenta as áreas passíveis de receberem lodo. É vedada a aplicação do lodo em Áreas de Preservação Permanente, Áreas de Proteção de Mananciais, áreas sujeitas a encharcamento ou alagamento, ainda que esporadicamente e em áreas irrigadas por inundação ou sulcos e áreas em que o lençol freático atinja dois metros da superfície em seu nível elevado. Além de ser vedada a aplicação de lodo de esgoto em um raio de 600 (seiscentos) metros do ponto de captação d'água dos mananciais de abastecimento público e de 100 (cem) metros de poços do tipo cacimba, residências e áreas de frequentação pública.

Existem várias outras legislações que tratam do uso do lodo de esgoto seja de forma direta ou indireta, como por exemplo a Instrução Normativa MAPA n° 6/2016 que altera a Instrução Normativa n° 53/2013 e trata das regras para cadastro de novos produtos, como os biofertilizantes; a Instrução DAS n° 25/2009 que também trata sobre normas, especificações e garantias relacionadas a produtos como fertilizantes orgânicos e outras.

De acordo com Corrêa (2009), o lodo de esgoto contém em média 88% de umidade in natura e 61% de matéria orgânica quando seco; sendo, portanto, rico em nutrientes. Visando torná-lo mais estável, economicamente mais atrativo e menos perigoso ao homem e ao meio ambiente, empregam-se processos de estabilização e higienização desse material, tais como:

compostagem, secagem a calor, aplicação de cal, radiação solar e outros. A maioria das espécies nativas que são adaptadas à baixa fertilidade química dos solos de Cerrado responde bem à calagem e à adubação (HARIDASAN, 2000); ao contrário, as espécies de Cerrado das famílias Cluseaceae (Guttiferae), Melastomataceae e Vochysiaceae necessitam de solos ácidos e de alumínio trocável.

Freitas (2014) avaliou as alterações nos atributos químicos e biológicos do solo (acidez ativa (pH H_2O), potencial (H+Al) e trocável (Al^{3+}); P disponível (Mehlich 1), K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis; carbono orgânico total (COT); e carbono da biomassa microbiana (Cmic)) promovidas pelo uso do lodo de esgoto (LE) associado a adubos verdes (*Crotalaria juncea, Cajanus cajan*) na recuperação de uma área degradada localizada no pátio da Rede Ferroviária Federal S.A. – REFFSA, no Distrito Federal. Verificou-se que o uso exclusivo de LE aumentou os teores de COT, carbono da biomassa microbiana e P disponível. Quando associado a adubos verdes, os teores de K, Ca^{2+} e Mg^{2+} foram incrementados, potencializando o uso do LE na recuperação de áreas degradadas. Considerando todos os atributos em conjunto, o uso do LE exclusivo ou associado com adubos verdes proporcionou um ambiente no solo diferenciado, com melhoria dos indicadores de qualidade do solo, aproximando-se da vegetação de Cerrado.

O uso do lodo de esgoto como adubo orgânico na recuperação de solos degradados é considerado hoje como a alternativa mais promissora de disposição final desse resíduo. Por ser rico em matéria orgânica e em macro e micronutrientes para as plantas, é recomendada sua aplicação como condicionador e ou fertilizante dos solos, para destinação final desse resíduo, uma vez que ele pode substituir total ou parcialmente o uso de fertilizantes minerais, principalmente os nitrogenados (FRANCO-HERNANDEZ et al., 2003; BETTIOL; CAMARGO, 2006).

3.5 Banco de Semente do Solo

A avaliação da restauração florestal é realizada a partir da análise de indicadores ambientais de áreas em processo de restauração. O monitoramento através de indicadores ambientais, como o banco de sementes do solo, determina se os objetivos propostos para restauração de uma área foram ou estão sendo alcançados (HOWELL; HARRINGTON; GLASS, 2012). O banco de sementes do solo permite fazer aferições sobre o potencial de regeneração de determinada área e expressa a dinâmica natural da vegetação, constituindo-se

em um indicador ambiental do potencial de resiliência de uma comunidade e de seus futuros indivíduos (CALLEGARO et al., 2013; TRES et al., 2007).

O banco de sementes do solo pode ser definido, de acordo com Martins (2013) e Seubert et al. (2016), como o conjunto de todas as sementes viáveis no solo ou associadas à serapilheira em uma determinada área, em dado momento e na maioria das vezes "guarda" tanto as sementes das espécies presentes na vegetação local, como das que chegam através da chuva de sementes e não são necessariamente do local, representando grande potencial de regeneração de florestas (SANT'ANNA et al., 2011). O banco de sementes, como indicador ambiental, diagnostica a área quanto ao grau de perturbação, infere sobre as técnicas de recuperação da vegetação e esclarece quais espécies serão recrutadas na regeneração natural (COSTA et al., 2020)

O banco de sementes do solo, em florestas tropicais, tem ajudado no estabelecimento de populações e de grupos ecológicos, na manutenção da diversidade de espécies, e na restauração da riqueza de espécies durante a regeneração, após distúrbios naturais ou antrópicos, como o fogo (MARTINS, 2013; CORREIA; MARTINS, 2015). A adoção de técnicas de manejo a partir da utilização de banco de sementes pode ser eficaz na restauração de áreas degradadas, pois áreas que sofrem perturbações frequentes apresentam bancos de sementes adaptados aos tipos de perturbações sofridos; pode-se citar o exemplo do Cerrado, que sofre com incêndios frequentes que, por consequência, quebram a dormência de algumas sementes, aumentando sua capacidade de germinação e crescimento rápido, capazes de impedir a erosão destas áreas e o consequente assoreamento destes ecossistemas (VIEIRA; REIS, 2001).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A área degradada objeto desse estudo está localizada ao Norte da DF-087 ("Via Estrutural") e a Oeste da DF-003 ("EPIA"), entre o Setor de Oficinas Norte e a Cidade do Automóvel. Encontra-se próxima à antiga estação Rodoferroviária de Brasília e pertence à União Federal, estando atualmente sob a responsabilidade administrativa do Comando do Exército da 11ª Região Militar.

Em relação ao clima, a área está inserida no domínio morfoclimático do Cerrado, com clima tropical estacional (Aw) caracterizado por um inverno seco e chuvas máximas de verão, conforme a classificação proposta por Köppen. Nesta região, a precipitação média anual oscila

em torno de 1.400 mm e 1.600 mm, e a temperatura média anual do ar varia entre 22 ºC e 27 ºC (ADÁMOLI et al., 1987).

Historicamente a área de estudo foi objeto de extração de solo para uso em diferentes obras civis no Distrito Federal. Possui uma superfície degradada de aproximadamente 185 hectares, com solo apresentando ausência de cobertura vegetal; além de ter sido objeto de deposição irregular de entulho de construção civil, restos de podas e outros resíduos domésticos (CAESB, 2013; FREITAS, 2014).

Nas áreas adjacentes há ocorrência de vegetação nativa do bioma Cerrado (Cerrado sentido restrito, Cerrado Denso e Cerradão), com árvores distribuídas aleatoriamente, em diferentes densidades, destacando-se as espécies arbóreas nativas e exóticas/invasoras descritas na Tabela 1 abaixo. Essas espécies são fontes de sementes que são potencialmente capazes de substituir as plantas adultas que foram removidas com a exploração da área, auxiliando nos processos de regeneração das comunidades vegetacionais (CAESB, 2013; FREITAS, 2014).

Tabela 1 - Espécies nativas e exóticas/invasoras encontradas nas áreas adjacentes à área de estudo.

Nativas		**Exóticas/Invasoras**	
Nome científico	**Família**	**Nome científico**	**Família**
Kielmeyera coriacea	Calophyllaceae	*Brachiaria decumbens*	Poaceae
Casearia sylvestris	Salicaceae	*Melinis minutiflora*	Poaceae
Erythroxylum tortuosum	Erythroxylaceae	*Andropogon* sp.	Poaceae
Machaerium opacum	Fabaceae	*Ricinus communis*	Euphorbiaceae
Dalbergia miscolobium	Fabaceae	*Leucaena leucocephala*	Fabaceae
Aegiphila integrifolia	Lamiaceae		
Tabebuia ochraceae	Bignoniaceae		
Caryocar brasiliensis	Caryocaraceae		
Blepharocalix salicifolius	Myrtaceae		

Fonte: CAESB, 2013; FREITAS, 2014.

4.2 Aplicação do Lodo de Esgoto

Toda área do projeto de recuperação foi dividida em talhões (Figura 1), o talhão estudo foi o talhão 5. Após a determinação de cada área, multiplica-se o tamanho desta pela taxa de aplicação para definir o volume de lodo de esgoto a ser aplicado em cada trecho. O talhão estudado possui uma área de 6,2 ha e houve aplicação de lodo em 4,8 ha. A aplicação nesse talhão foi iniciada em 24 de outubro de 2015. Durante todo o período foi realizado um acompanhamento do decaimento de ovos de helmintos e coliformes termotolerantes e o acompanhamento da qualidade da água do lençol freático (CAESB, 2016).

Figura 1: Área do Projeto de Recuperação Ambiental do Pátio Ferroviário dividida em talhões
Fonte: CAESB, 2016

De acordo com o Relatório operacional da CAESB (2016), a aplicação do lodo de esgoto na área de estudo foi feita da seguinte forma: O lodo foi espalhado com o auxílio de uma retroescavadeira, com o objetivo de cobrir toda a superfície do solo de forma homogênea. A incorporação do lodo no solo foi realizada com o auxílio de uma grade aradora e um arado. Após a incorporação do lodo foi realizada a aplicação da cal hidratada por meio de uma espalhadeira, com objetivo de inibir a ocorrência de vetores na área e minimizar o odor. Depois de cerca de 10 dias da incorporação do lodo, a área foi gradeada, para uniformizar a aplicação do lodo no solo e, se necessário, houve uma nova aplicação de cal em alguns talhões.

4.3 Análise do Banco de Semente do Solo

A avaliação do banco de sementes foi feita pela seleção de dois ambientes: uma área de cerrado conservado como referência e uma área degradada, onde foi aplicado o lodo de esgoto e realizadas duas etapas de plantio, sendo a primeira de sementes de espécies da família das leguminosas, sem adição de outras fontes de adubos, técnica conhecida como adubação verde, no final do período chuvoso, e a segunda de mudas de árvores e arbustos no início do período chuvoso subsequente. Esses dois tipos de plantio ocorreram de 30 dias a 12 meses após a aplicação de lodo (DE LIMA et al., 2017).

Em ambas as áreas (cerrado conservado e área degradada), foram lançados aleatoriamente 10 parcelas de 5 x 5 m, devidamente georreferenciadas (Tabela 2) e demarcadas

com fita zebrada (Figura 2). Dentro de cada parcela, por sua vez, foi efetuada a coleta aleatória de 10 amostras de solo, cada uma com volume de 0,0014732m^3 de solo, obtida com auxílio de um gabarito de estrutura metálica, denominado “porco espinho” (MARIMON-JUNIOR, 2007).

É importante salientar que as savanas são os ecossistemas com maior frequência de queimadas de todo o planeta e o fogo é um fenômeno natural recorrente nesses ambientes, atuando em sua composição, estrutura e dinâmica (PAUSAS; KEELEY 2009; PAUSAS, 2015). Na época de seca, meses antes do início das chuvas e da coleta do banco de sementes, a área sofreu com os efeitos do fogo.

Tabela 2 - Coordenadas geográficas das parcelas em áreas nativa de cerrado e degradada tratada com lodo de esgoto.

Cerrado		**Área Degradada tratada com Lodo de Esgoto**	
Parcela	**Coordenadas**	**Parcela**	**Coordenadas**
Cerrado 1	15°46'36.3"S 47°56'59.6"W	Lodo 1	15°46'43.4"S 47°56'59.8"W
Cerrado 2	15°46'35.7"S 47°56'59.6"W	Lodo 2	15°46'43.8"S 47°56'58.7"W
Cerrado 3	15°46'35.4"S 47°57'00.2"W	Lodo 3	15°46'43.6"S 47°56'58.5"W
Cerrado 4	15°46'34.9"S 47°57'00.4"W	Lodo 4	15°46'42.5"S 47°56'58.6"W
Cerrado 5	15°46'34.1"S 47°57'00.9"W	Lodo 5	15°46'42.5"S 47°56'58.2"W
Cerrado 6	15°46'36.6"S 47°56'59.6"W	Lodo 6	15°46'42.1"S 47°56'58.4"W
Cerrado 7	15°46'37.0"S 47°57'00.1"W	Lodo 7	15°46'40.2"S 47°56'58.3"W
Cerrado 8	15°46'38.0"S 47°57'01.4"W	Lodo 8	15°46'39.8"S 47°56'57.7"W
Cerrado 9	15°46'38.6"S 47°57'00.4"W	Lodo 9	15°46'39.2"S 47°56'57.1"W
Cerrado 10	15°46'40.4"S 47°57'00.9"W	Lodo 10	15°46'38.9"S 47°56'56.7"W

Fonte: Elaboração Própria com base nas coordenadas geográficas obtidas por meio de GPS.

As amostras recolhidas de bancos de sementes do solo das áreas de estudo foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados e transportados para o Laboratório de Sementes e Viveiros Florestais do Departamento de Engenharia Florestal da UnB. Inicialmente, as amostras foram peneiradas em uma malha de 4 mm, para separar e retirar todo material grosseiro, a exemplo de cascalho, calhaus, raízes, tubérculos e bulbos. Em bandejas plásticas brancas com dimensões de 38 x 25 x 6 cm (0,0057 m^3), perfuradas no seu fundo para facilitação da drenagem da água do solo, contendo 2,0 cm de vermiculita textura média, as amostras de solo foram acomodadas e espalhadas (Figura 2). As bandejas com os bancos de sementes do solo foram acondicionadas em bancadas no laboratório, com irrigação duas vezes na semana (início e fim), mantendo-se a umidade próxima à capacidade de campo e com iluminação natural durante o dia.

Figura 2: Demarcação de parcelas, coleta das amostras de solo e montagem do experimento no laboratório. Da esquerda para direita: parcela demarcada com fita zebrada, coleta de uma amostra de solo com uso do "porco-espinho", amostras de solo dispostas em bandejas no laboratório de sementes.
Fonte: Autoral

Para estimar a quantidade e composição das sementes do banco de solo, a emergência das plântulas foi avaliada pela emergência da semente em solo incubado pelo método mais simples descrito por Brown (1992), que permite detectar a fração de sementes que germina. Essa avaliação foi realizada duas vezes por semana durante um período de 80 dias. As plântulas resultantes da germinação foram observadas, contadas e identificadas, desta forma, após germinar foi esperado o desenvolvimento da plântula até que, se possível, chegasse a nível de identificação, mediante contribuição de especialistas da área e com consulta ao herbário da UnB e literatura especializada.

4.4 Análise Estatística

Os dados foram analisados através de delineamento inteiramente ao acaso, com dois tratamentos (área degradada com lodo, área não degradada e sem lodo (cerrado)) e 10 repetições por tratamento (amostras do banco de sementes do solo) (GASPARINO et al., 2006). A análise estatística para o fator área (cerrado e área degradada tratada com lodo de esgoto) e o fator tempo foi realizada utilizando-se o programa GENES (CRUZ, 2013). A comparação entre as médias foi feita por meio do teste T considerando-se um nível de significância de 1%.

4.5 Análise Química do Solo

Em cada uma das áreas estudadas foram coletadas 20 amostras simples de solo na profundidade de 0-20 cm, duas amostras em cada parcela, para formar uma amostra composta. A coleta foi realizada com uso de trado holandês. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos para depois ser feita a homogeneização das amostras simples em uma amostra

composta. Após homogeneização, as amostras compostas da área de cerrado e da área degradada foram levadas ao laboratório Solo Química para análise química.

Foram realizadas análises químicas de rotina, para avaliação do nível de acidez e fertilidade do solo. As análises foram realizadas de acordo com os procedimentos analíticos descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (Embrapa, 2017). Além destas análises realizou-se análise do enxofre, micronutrientes (Cu, Zn Fe e Mn) e nitrogênio total, com base no mesmo Manual.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Banco de Semente do Solo

Dentre as plantas germinadas foram identificados 281 indivíduos para 29,46 dm^3 de solo tratado com lodo de esgoto e coletado nas 10 parcelas experimentais. Desse total, 272 indivíduos foram identificados como espécies eudicotiledôneas e 9 como monocotiledôneas. Nas amostras de cerrado, 28 indivíduos germinaram, todos sendo classificados como espécies eudicotiledôneas. A densidade estimada foi de 9537 sementes/m^3 de solo tratado com lodo de esgoto para a área degradada e de 950 sementes/m^3 de solo para a área de cerrado, nativo, utilizado como referência, conforme representado na Figura 3.

Seguindo o proposto pelo método de inibição descrito por Connel; Slatyer (1977), a baixa densidade de germinação na área de cerrado, comparada à área degradada tratada com lodo de esgoto pode ser explicada pelo fato de a área de cerrado estudada apresentar um estado considerável de conservação dificultando a entrada de espécies invasoras.

Figura 3: Densidade de indivíduos germinados/ m³ nas áreas de cerrado nativo e da área degradada tratada com lodo de esgoto.
Fonte: Autoral

No estudo, foram observadas e identificadas as seguintes famílias: Asteraceae, Amaranthaceae, Oxalidaceae e Poaceae. A família mais representativa foi Amaranthaceae, com três espécies presentes na área (Tabela 3). De todas as espécies listadas, apenas *Alternanthera tenella* Colla (Figura 4) é nativa para a área em questão. Nas amostras de cerrado, o desenvolvimento dos indivíduos não possibilitou a identificação em nível de espécie.

Figura 4: Plântula de *Bidens pilosa* L., *Amaranthus deflexus* L. e *Alternanthera tenella* Colla respectivamente da esquerda para a direita.
Fonte: Autoral

Todas as espécies identificadas na área de cerrado objeto deste trabalho são herbáceas (Tabela 3). Franco et al. (2012) avaliando um banco de sementes de uma área de floresta em regeneração em Minas Gerais, também observaram a predominância de espécies herbáceas. A dominância de espécies herbáceas é frequentemente observada em estudos de banco de sementes de comunidades fragmentadas ou degradadas.

Tabela 3 - Relação das espécies e respectivas famílias botânicas observadas no banco de sementes do solo de dois tratamentos, em área nativa de cerrado, Rede Ferroviária Federal S/A, Brasília, DF, Brasil.

Família	Espécie	FV	Origem	N°
Asteraceae	*Bidens pilosa* L.	H	EXO	3
Asteraceae	*Galinsoga quadriradiata* Ruiz & Pav.	H	EXO	2
Amaranthaceae	*Amaranthus deflexus* L.	H	EXO	3
Amaranthaceae	*Aramanthus hybridus var. patulos* (Betol.) Thell	H	EXO	1
Amaranthaceae	*Alternanthera tenella* Colla	H	NAT	1
Oxalidaceae	*Oxalis corniculata* L.	H	EXO	2
Poacea	NI	H		2

NI= Não identificada; FV= Forma de Vida; H= Herbácea; EXO= Exótica; NAT= Nativa; N°= Número de indivíduos encontrados. Fonte: Elaboração própria com base nos resultados observados.

Alguns fatores como: eficiência dos mecanismos de dispersão, tamanho e dormência da semente colaboram para este padrão (GARWOOD, 1989). Como o estudo foi realizado quatro anos após a aplicação do lodo de esgoto, definindo o início da recuperação da área, a tendência, segundo Baider et al. (2001), é que com o amadurecimento da floresta, ocorra uma redução na

densidade de sementes herbáceas e finalmente um aumento da densidade de sementes arbustivas e arbóreas. Além disso, o crescimento de indivíduos lenhosos é limitado pela frequência de queimadas e pela competição por recursos com as gramíneas exóticas invasoras (D'ANTONIO; VITOUSEK, 1992; HIGGINS *et al*., 2000).

Além da predominância de espécies herbáceas, predominam também no banco de semente do solo indivíduos exóticos e invasores evidenciando a necessidade de alternativas de manejo desses indivíduos seja por métodos mecânicos ou controle químico, isolando os possíveis fatores de degradação e um enriquecimento com plantio de espécies de crescimento rápido que sombreiam o solo e favoreçam o estabelecimento e desenvolvimento de espécies nativas visando a redução da competição com essas gramíneas exóticas.

As queimadas que acontecem na área também podem ser responsáveis pela mortalidade de sementes e pelo atraso no crescimento de plantas devido o *topkill* (morte da parte aérea). Como observado por Tinoco (2017) em seu estudo sobre os efeitos do fogo sobre o banco de sementes do solo, o fogo pode ser uma ferramenta que facilita o início do processo de restauração, por outro lado, a ocorrência de queimadas pode reduzir o sucesso de ações de restauração por causar mortalidade e atraso no crescimento de plantas, especialmente de espécies arbóreas de crescimento lento. É recomendado uma maior atenção com as queimadas e investimentos em prevenção.

Por meio da análise de variância de todas as variáveis estudadas para o fator área, observou-se que todos os valores de F foram significativos ao nível de 1% de probabilidade, indicando diferença entre as médias e que as variáveis da área degradada onde foi aplicado o lodo de esgoto apresentou valores superiores, em média, em relação à área de cerrado (Tabela 4). É importante mencionar que na área de cerrado não foram encontradas espécies monocotiledôneas no banco de sementes de solo.

Tabela 4 - Média das variáveis para o fator área (cerrado e área degradada tratada com lodo de esgoto) no estudo do banco de sementes do solo.

Tratamento	**Número de Observações**	**Médias**			
		DV	MV	DM	MM
Lodo	276	3,3261	0,0833	8,1812	0,2754
Cerrado	240	0,5333	0,0000	0,4500	0,0000

DV= eudicotiledôneas vivas, MV= monocotiledôneas vivas, DM= eudicotiledôneas mortas, MM= monocotiledôneas mortas. Fonte: Elaboração própria com base nos resultados observados.

Para o fator tempo, foi realizada uma análise de regressão linear. Em todos os casos, observou-se que apesar do F ser significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste T a regressão não existe. Este fato é corroborado pelos valores de R^2, pelos índices de concordância de Willmott muito baixos e pelos gráficos de dispersão (Figura 5). Os valores do coeficiente de determinação encontrados variam de 1,78% a 5,029%, valores estes considerados muito baixos indicando que o modelo explica muito pouco da variabilidade dos dados de resposta ao redor de sua média. Os valores dos índices de concordância de Willmott também foram baixos, variando entre 0,01 e 0, 39.

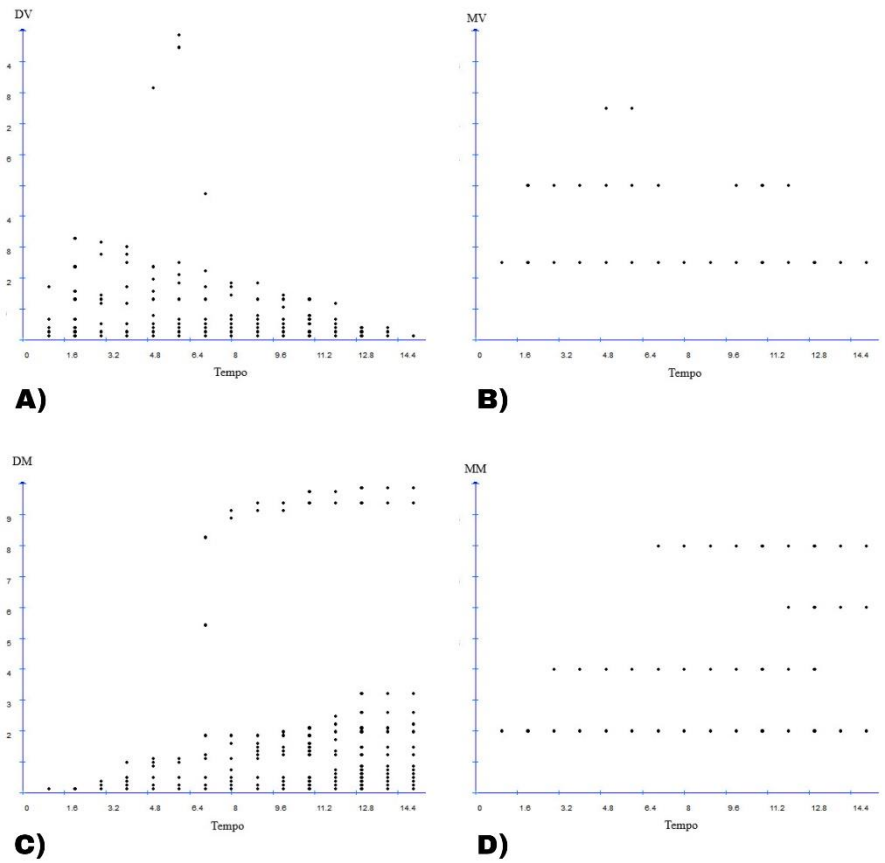

Figura 5: Gráficos de Dispersão para o fator tempo. A) Eudicotiledôneas vivas em função do tempo em semanas; B) Monocotiledôneas vivas em função do tempo em semanas; C) Eudicotiledôneas mortas em função do tempo em semanas; D) Monocotiledôneas mortas em função do tempo em semanas.
Fonte: Autoral

Os gráficos demostram que ao longo do tempo de observação a quantidade de espécies vivas diminui e a de mortas aumenta nos bancos de semente do solo estudados, porém também indicam que não houve uma linearidade nesse aumento de espécies mortas e decaimento de vivas.

5.2 Atributos Químicos

Os resultados da análise química do solo da área nativa de cerrado e da área degradada tratada com lodo de esgoto, realizada em laboratório, estão na tabela 5 abaixo e para nível de comparação e melhor fundamentação da discussão a tabela 6 representa uma análise química realizada na área degradada antes da aplicação do lodo por Oliveira (2015).

Tabela 5 - Atributos químicos do solo da área nativa de cerrado e da Área degradada tratada com lodo

Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	Al^{3+}	H+Al	SB	T	V	MO	Cu	Zn	Fe	Mn	S
(cm)	H_2O	mg/dm³		----------cmol$_c$/dm³----------						%	g/kg	----------mg/dm³----------				
Cerrado Nativo																
0-20	5,5	0,6	19,5	0,7	0,1	0,5	4,3	0,9	5,2	17	42,5	0,6	0,3	63,8	6,7	5,2
Área Degradada Tratada com Lodo de Esgoto																
0-20	4,7	19,7	50,7	0,8	0	0,4	4,6	1,1	5,7	19	27	6,1	10,5	86,7	6,1	7,3

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da análise química realizada em laboratório.

Tabela 6 - Atributos químicos do solo da área degradada sem lodo

Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	Al^{3+}	H+Al	SB	T	V	MO	Cu	Zn	Fe	Mn	S
(cm)	H_2O	mg/dm³		----------cmol$_c$/dm³----------						%	g/kg	--------mg/dm³----------				
Área Degradada sem Lodo de Esgoto																
0-10	4,9	0,8	2,33	1,7	0,0	1,3	0,0	-	-	-	-	-	0,5	18,4	0,8	-
0-20	4,8	0,7	1,67	1,0	0,0	1,3	0,0	-	-	-	-	-	0,4	17,7	0,9	-

Fonte: OLIVEIRA, 2015.

No que diz respeito a acidez do solo, comparando-se os dados das Tabelas 5 e 6, percebe-se que a aplicação do lodo de esgoto levou a uma diminuição desse fator. O solo da área nativa foi o que apresentou a menor acidez, mas ainda assim é classificado como muito ácido (pH (H_2O) entre 5 e 5,5). Teran et al. (2020) observaram resultados semelhantes estudando a mesma área. Esses baixos valores de pH são característicos de solos ácidos e de elevado grau de intemperismo, típicos de solos tropicais. Isso diminui a disponibilidade de cátions básico e pode causar a geração de cargas positivas devido a protonação das superfícies expostas de minerais de argila e mineralização dos compostos orgânicos no lodo de esgoto, o que pode ter contribuído para essa redução (MELO et al., 2010).

A baixa porcentagem de saturação por bases (V%) e a Capacidade de Troca catiônica (T) nas tabelas 5 e 6 indicam que o lodo de esgoto não foi eficiente em aumentar a capacidade natural desses solos de reter cátions. A capacidade de troca catiônica dos solos representa a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, favorecendo a manutenção da

fertilidade por um prolongado período e reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes (RONQUIM, 2010).

O pequeno aumento na saturação por bases (V%) da área degradada tratada com lodo em comparação com a área nativa de cerrado se deve quase que exclusivamente ao aumento significativo na taxa de potássio. O potássio é fundamental para a manutenção do estado hídrico da planta e para o processo de abertura e fechamento dos estômatos, que regulam a assimilação de CO_2 e a produção de fotoassimilados e induzem os mecanismos de defesa da planta (HAN et al., 2019). Oliveira (2015) ao estudar o efeito do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília-DF, também observou um aumento no teor de potássio. Esse aumento pode ser em função da calagem do solo que auxilia a adsorção de íons de potássio e da presença de matéria orgânica que reduz a lixiviação de K (CORRÊA, 2009).

Segundo Oliveira et al. (2015), a calagem é uma técnica utilizada para diminuir a acidez potencial do solo, pois eleva o pH em níveis adequados para cultura, consequentemente melhorando as bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica (T) e saturação por bases (V%) do solo, além de outros benefícios que contribuem para elevar a produtividade das culturas. Porém, percebemos que após 4 anos de sua aplicação, não se vê mais os efeitos da calagem, que normalmente reage nos 3 primeiros anos. Faz-se necessário a reaplicação ou rever o tipo de calcário utilizado.

O teor de fósforo (P) do solo da área tratada com lodo de esgoto foi significativamente maior que o das áreas onde não houve aplicação do resíduo, indicando a ação do lodo de esgoto como adubação corretiva. Esse macronutriente está envolvido na transferência de energia para as células vegetais, na fotossíntese e na respiração, além de compor estruturalmente os ácidos nucléicos (DNA e RNA). (TAIZ et al., 2017). Costa et al. (2014) também observaram aumento do teor de fósforo em um solo após o tratamento de lodo de esgoto.

As variações observadas entre as áreas para os teores de Fe e Zn não estão dentro da mesma faixa de classificação. Esses micronutrientes tiveram incrementos nos teores do solo degradado que teve aplicação do lodo de esgoto. Aumentos nos teores disponíveis do ferro após a aplicação do lodo de esgoto também foram observados por Pigozzo et al. (2002) ao avaliar a aplicação dos resíduos de descarte do refino de óleos lubrificantes de motores e do lodo de esgoto como fonte de micronutrientes catiônicos, no desenvolvimento da cultura do milho 2 meses após aplicação e alterações nos teores de zinco foram encontrados também por Nogueira

et al. (2008), ao avaliar o acúmulo de Cd, Cr, Pb e Zn em partes de plantas de milho cultivadas em solo tratado com lodo de esgoto por nove anos consecutivos.

Analisando os teores de matéria orgânica (MO), notou-se diferença entre os tratamentos avaliados, observando-se um maior teor na área nativa de cerrado, se comparado com a área degrada tratada com lodo, embora tenha sido observado o incremento de 2,16% de MO por hectare com aplicação de lodo de esgoto (CAESB, 2016). A matéria orgânica do solo (MOS) exerce influência significativa e direta no crescimento das plantas, afetando os processos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos da germinação de sementes, na absorção de íons, na diferenciação celular e no crescimento total das plantas (CANELLAS e OLIVARES, 2014).

O valor elevado do teor de MO encontrado no solo de cerrado nativo não é refletido no teor de outros nutrientes, que permanecem baixos. Como citado anteriormente neste trabalho, a área estudada sofreu com os efeitos do fogo e de acordo com Freitas; Sant'anna (2004), O fogo acelera a mineralização da matéria orgânica do solo e o grande problema dessa aceleração quando o nível do fogo é muito alto é que ocorre uma rápida liberação de nutrientes num curto espaço de tempo. Essa quantidade liberada é, portanto, muito superior a capacidade de assimilação das plantas, ocorrendo assim perdas por erosão, lixiviação ou percolação.

6 CONCLUSÕES

O uso do lodo de esgoto na recuperação de um solo degradado mostrou-se eficiente e representa uma alternativa viável e sustentável para a disposição final deste resíduo, transformando-o de possível problema ambiental para um produto com valor econômico e benefícios ao meio ambiente e contribuindo para a diminuição dos gastos com fertilizantes.

Sua aplicação no solo degradado foi eficiente por incrementar a taxa de alguns nutrientes relacionados à fertilidade do mesmo e trazer benefícios biológicos, como o aumento da diversidade de espécies encontradas no banco de sementes do solo da área degradada, visto que apresentou um banco de sementes do solo maior e mais variado. Porém, o banco de sementes, composto basicamente por espécies herbáceas de caráter invasivo, não é suficiente para a recuperação por sucessão ecológica dessas áreas e a taxa de alguns nutrientes sugerem a necessidade de reaplicação desse resíduo ao longo dos anos.

REFERÊNCIAS

ADÁMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; NETTO, J. M. Caracterização da região dos Cerrados. **In:** GOEDERT, W. J. (Ed.). Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina: EMBRAPA - CPAC; São Paulo: NOBEL, p.33-98, 1987.

ALVES, Marlene Cristina; SOUZA, Zigomar Menezes de. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2505-2516, 2008.

ALVES, Marlene Cristina; SUZUKI, Luis Gustavo Akihiro Sanches. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, 2020. Disponível em: https://abrelpe.org.br/panorama/. Acesso em: 01 nov. 2021.

BAIDER, Claudia; TABARELLI, Marcelo; MANTOVANI, Waldir. The soil seed bank during Atlantic forest regeneration in Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 61, n. 1, p. 35-44, 2001.

BATISTA, Lucilene Ferreira. **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final.** 2015. xxvii, 197 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

BETTIOL, Wagner; DE CAMARGO, Otávio Antonio. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. **Embrapa Meio Ambiente-Capítulo em livro científico (ALICE)**, Brasília, 2006.

BEZERRA, Flávio Barbosa et al. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 469-476, 2006.

BOAVENTURA, Kárita de Jesus; CUNHA, Élida Lúcia da; SILVA, Sandro Dutra e. Recuperação de áreas degradadas no Brasil: conceito, história e perspectivas. **Tecnia**, Goiânia, v.4. n.1. p. 124-145, 2019.

BRASIL. **Código Florestal Brasileiro. Lei 2012.651, de 25 de maio de 2012.** Brasília, Diário da União, 2012.

BRASIL. **Constituição Federal de 1988** (Constituição Federal, Ato das Disposições Constitucionais Transitórias, Emendas Constitucionais de Revisão e Emendas Constitucionais). Brasília: Senado Federal, Secretaria - Geral da Mesa, 2001.

BRASIL. **Decreto nº 3.420 de 20 de abril de 2000.** Dispõe sobre a criação do Programa Nacional de Florestas – PNF, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 22 abr. 2000b.

BRASIL. **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010**. Promulga o texto da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, adotada, naquela cidade, em 22 de maio de 2001.Publicada no D.O.U de 2010b.

BRASIL. **Decreto n° 97.632, de 10 de abril de 1989**. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981; e dá outras providências.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. 1981.

BRASIL**. Lei Federal Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. 1998.

BRASIL. **Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. 2000a.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, 03 de ago. de 2010a.

BROWN, Doug. Estimating the composition of a forest seed bank: a comparison of the seed extraction and seedling emergence methods. **Canadian Journal of Botany**, Canada, v. 70, n. 8, p. 1603-1612, 1992.

CANELLAS, Luciano P.; OLIVARES, Fábio L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2014.

CALLEGARO, R. M. et al. Potencial de três plantações florestais homogêneas como facilitadoras da regeneração natural de espécies arbutivo-arbóreas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 331-341, set. 2013.

CAESB - COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. **Relatório de indicadores de desempenho, edição 2021.** Brasília, 2021. Disponível em: https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos_pdf/arquivos_Lai/Relatorio_Indicadores_Desempenho2021.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

CAESB - COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. Recuperação de áreas degradadas: Projeto Pátio Ferroviário. **Relatório de Operação da Superintendência de Operação e Tratamento de Esgotos – POE.** Brasília, 2016.

CAESB - COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. **Relatório de operação recuperação de áreas degradadas: projeto pátio ferroviário**. Brasília, 2013.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO - Agenda 21. Rio de Janeiro, 1992.

CONNELL, Joseph H.; SLATYER, Ralph O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. **The American Naturalist**, Chicago, v. 111, n. 982, p. 1119-1144, 1977.

CORRÊA, Rodrigo Studart. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado: manual para revegetação**. Editora Universa, Brasília, 2009.

CORREIA, G. G. S.; MARTINS, S. V. Banco de Sementes do Solo de Floresta Restaurada, Reserva Natural Vale, ES. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 1, 2015.

COSTA, Poliana Ferreira da; PEREIRA, Zefa Valdivina; FERNANDES, Shaline Séfara Lopes; FRÓES, Caroline Quinhones; SANTOS, Bruna Souza dos; BARBOSA, Thiago Oliveira. Banco de sementes do solo em áreas restauradas no sul do estado de Mato Grosso do Sul – MS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 104-116, 2020.

COSTA, Vanessa L. *et al.* Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 287-293, 2014.

CRUZ, Cosme Damião. GENES: software para análise de dados em estatística experimental e em genética quantitativa. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

D'ANTONIO, Carla M.; VITOUSEK, Peter M. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. **Annual review of ecology and systematics**, San Mateo, v. 23, n. 1, p. 63-87, 1992.

DE LIMA, Tiago G.; BORGES, Márcio N.; OLIVEIRA, Leiliane S. III-234-Uso de lodo de esgotos como alternativa para recuperação de solos degradados: Estudo de Caso. 2017. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA ABES, 29.; ENCONTRO TÉCNICO AESABESP, 28.; FEIRA NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE - FENASAN 2017, 28., 2017, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABES, 2017. Disponível em: https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletosPDF/III-234.pdf. Acesso em: 10 set. 2019.

MEDEIROS-SARMENTO, Priscila Sanjuan; FERREIRA, Leandro Valle; GASTAUER, Markus. Natural regeneration triggers compositional and functional shifts in soil seed banks. **Science of the Total Environment**, v. 753, p. 141934, 2021.

FARIA, W. M.; FIGUEIREDO, C. C. de; COSER, T. R.; VALE, A. T.; SCHNEIDER, B. G. Is sewage sludge biochar capable of replacing inorganic fertilizers for corn production? Evidence from a two-year field experiment. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n. 4, p. 505–519, 2018.

FRANCO, Brena Karina Siqueira *et al.* Densidade e composição florística do banco de sementes de um trecho de floresta estacional semidecidual no campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 423-432, 2012.

FRANCO-HERNÁNDEZ, Olivia et al. Dynamics of carbon, nitrogen and phosphorus in soil amended with irradiated, pasteurized and limed biosolids. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 93-102, 2003.

FREITAS, Talita Oliveira Tarlei de. **Lodo de esgoto e adubos verdes na recuperação de área degradada: alterações nos atributos químicos e biológicos do solo.** 2014. 38 f., il. Monografia (Bacharelado em Agronomia) - Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

FREITAS, C. L.; SANT'ANNA, Giovani Levi. Efeitos do fogo nos ecossistemas florestais. **Revista da madeira**, v. 13, n. 79, p. 106-112, 2004.

GARWOOD, Nancy C. Tropical soil seed banks: a review. In: LECK, M.A.; PARKER, V.T; SIMPSON, R.L. (Ed). **Ecology of soil seed banks** London: Academic Press, 1989. p. 149-209.

GASPARINO, Dálgima *et al.* Quantificação do banco de sementes sob diferentes usos do solo em área de domínio ciliar. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 1-9, 2006.

GLUFKE, Clarice. Espécies florestais recomendadas para recuperação de áreas degradadas. **Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul**, 1999.

GOMES, Samuel Belo Venâncio et al. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1689-1695, 2006.

GUEDES, Marcelino Carneiro et al. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 267-280, 2006.

HAN, Yansha et al. Enhanced drought tolerance of foxtail millet seedlings by sulfur dioxide fumigation. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 178, p. 9-16, 2019.

HARIDASAN, Michael. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 54-64, 2000.

HIGGINS, Steven I.; BOND, William J.; TROLLOPE, Winston SW. Fire, resprouting and variability: a recipe for grass–tree coexistence in savanna. **Journal of Ecology**, London, v. 88, n. 2, p. 213-229, 2000.

HOWELL, E. A.; HARRINGTON, J. A.; GLASS, S. B. **Introduction to restoration ecology**. Washington: Island Press, 2012. 418 p.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução Normativa Nº 4, de 13 de abril de 2011.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 abr. 2011, nº 72, seção 1, p. 100. Brasília, Distrito Federal, 2011.

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de pesquisa**. São

Paulo, n. 118, p. 189-205, mar, 2003.

KAZA, Silpa et al. **What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. World Bank Publications, 2018.

LIMA, M. F. et al. Geração de lodo de esgoto e seu potencial como fonte de matéria orgânica para a agricultura. **COSTA, AN; COSTA, AFS Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o estado do Espírito Santo. Vitoria: Incaper**, p. 11-17, 2011.

MARIMON JUNIOR, Ben Hur. **Relação entre diversidade arbórea e aspectos do ciclo biogeoquímico de uma floresta monodominante de Brosimum rubescens Taub. e uma floresta mista no Leste Mato-grossense.** 2007. 274 f., il. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MARTINS, S. V. Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. 2. ed. Viçosa, **MG: Aprenda Fácil**, p. 207, 2013.

MAGNANO, L.F.S.; MARTINS, S.V.; VENZKE, T.S.; IVANAUSKAS, N.M. Os processos e estágios sucessionais da Mata Atlântica como referência para a restauração florestal. **In:**

Martins, S. V. Restauração ecológica de ecossistemas degradados. Viçosa: Editora UFV, p. 69-100, 2012.

MELO, W. J.; MARQUES, MO. 2000. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**. p. 109-141.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, L. E. F.; CHAGAS, A. C.; LEMOS JÚNIOR, J. B.; ANDRADE, R. P. Solos da área indígena Yanomami no médio Rio Catrimani, Roraima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 487-496, 2010.

MMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução Nº 375 de 29 de agosto de 2006.** Brasília, 2006.

NASCIMENTO, CWA do *et al.* Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

NOGUEIRA, Thiago Assis Rodrigues *et al.* Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2195-2207, 2008.

NOGUEIRA, Thiago AR et al. Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 331-338, 2007.

OLIVEIRA, Daiana Nara Santos de. **Efeito do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília-DF.** 2015. xi, 58 f., il. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

PAUSAS, Juli G. Evolutionary fire ecology: lessons learned from pines. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 20, n. 5, p. 318-324, 2015.

PAUSAS, Juli G.; KEELEY, Jon E. A burning story: the role of fire in the history of life. **BioScience**, Uberlândia, v. 59, n. 7, p. 593-601, 2009.

RODRIGUES, Ana Beatriz Matos; GIULIATTI, Nathália Melo; JÚNIOR, Antônio Pereira. Aplicação de metodologias de recuperação de áreas degradadas nos biomas brasileiros. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 1, p. 333-369, 2020.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; GANDOLFI, Sergius. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. **Matas ciliares: conservação e recuperação**, São Paulo: Edusp/FAPESP, v. 3, p. 235-248, 2000.

RONQUIM, Carlos César. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2010.

SANT'ANNA, Cristina Silva et al. **Restauração ecológica: sistemas de nucleação**. 1. ed. São Paulo: SMA, 2011.

SEUBERT, R. C. et al. Banco de sementes do solo sob plantios de *Eucalyptus grandis* no município de Brusque, Santa Catarina. **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 2, p. 165-172, 2016.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TATSCH, G. L. **Recuperação de uma Área Degradada Através do Método de Nucleação**. 2011. 40 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Pampa. Rio Grande do Sul, 2011.

TEIXEIRA, Paulo César et al. Manual de métodos de análise de solo. **Brasília: Embrapa**, p. 573, 2017.

TERAN, Francisco Javier Cuba *et al.* Avaliação da recuperação de áreas degradadas por exploração de cascalho laterítico por meio da incorporação de lodo de esgoto. Estudo de caso no Distrito Federal. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 1, p. 3243-3255, 2020.

TINOCO, Carla Faleiro. **Efeitos do fogo sobre o banco de sementes de gramíneas exóticas invasoras e sobrevivência de plântulas arbóreas em áreas em restauração no Cerrado**. 2017. xii, 82 f., il. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

TRES, D. R. et al. Banco e chuva de sementes como indicadores para a restauração ecológica de matas ciliares. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, 2007.

VIEIRA, N. K.; REIS, A. **O papel do banco de sementes na restauração de áreas degradadas**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Disponível em: http://www.sobrade. com.br/eventos/2003/seminario/Trabalhos/028.pdf. Acesso em: 04 out. 2019.

ZHANG, Q.; HU, J.; LEE, D. J.; CHANG, Y.; LEE, Y. J. Sludge treatment: Current research trends. **Bioresource Technology**, v. 243, p. 1159–1172, 2017.

ZONG, Y.; WANG, Y.; SHENG, Y.; WU, C.; LU, S. Ameliorating soil acidity and physical properties of two contrasting texture Ultisols with wastewater sludge biochar. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 26, p. 25726–25733, 2018.