



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

RAQUEL NASCIMENTO CUNHA

**USO DO LODO DE ESGOTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS:
SEUS BENEFÍCIOS E DESAFIOS**

BRASÍLIA – DF

2022



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**USO DO LODO DE ESGOTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS:
SEUS BENEFÍCIOS E DESAFIOS**

Estudante: Raquel Nascimento Cunha

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Rosana de Carvalho Cristo Martins

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

BRASÍLIA – DF

2022



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**USO DO LODO DE ESGOTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS:
SEUS BENEFÍCIOS E DESAFIOS**

Estudante: Raquel Nascimento Cunha

Menção:

Aprovado em ____/____/____

Prof.^a Dr.^a Rosana de Carvalho Cristo Martins

Prof. Dr. Ildeu Soares Martins

M.Sc. Sarah Cristine Martins Neri

BRASÍLIA – DF

2022

Todas as conquistas que alcançamos sempre estão recheadas de pessoas que ao longo do caminho fizeram a diferença e contribuíram para o nosso sucesso, ao encerrar esse ciclo não posso deixar de lembrar dessas pessoas na minha história. Primeiramente a Deus que me deu forças, me guiou e me protegeu em todos os meus anos de UnB, permitindo que toda minha trajetória tenha sido
tranquila.

Após, agradeço aos meus pais, Paulo e Sonia, pela educação que me deram e todo o esforço que fizeram para que eu pudesse me dedicar aos estudos, como sempre dizem: 'A única herança que vou deixar para os meus filhos é o conhecimento!'. A história de vida de ambos são inspiradoras e nunca deixaram de prover para que eu e meus cinco irmãos pudéssemos estudar e conseguir um
futuro melhor.

Outra pessoa que não poderia faltar é meu marido Daniel que esteve ao meu lado durante toda a graduação e em especial em toda a corrida do TCC, que não foi fácil! Foi meu companheiro, paciente, me confortou nos momentos difíceis, pegou na minha mão, não me deixou desistir, acreditou em mim quando eu mesma não acreditei e sempre me incentivou a ser a minha melhor versão, mesmo com as adversidades da vida, que esse ano não foram poucas. Esses dez anos ao seu lado foram os melhores da minha vida e você transformou minha jornada acadêmica, nossos dias de UnB são inesquecíveis e nossas experiências guardarei em um lugar especial no meu
coração.

O bonde, Shisnara, Mariana, Thaís, Mateus e Débora, também não poderia faltar, os esquemáticos, vocês me acompanharam nessa jornada e espero que possam me acompanhar na vida, a experiência de UnB definitivamente não seria a mesma sem vocês, das horas na sala de estudos, das viagens loucas que fizemos, dos tratores que dirigimos, das árvores que conhecemos juntos, da ajuda nas dificuldades das disciplinas, do companheirismo, das histórias malucas, da ansiedade coletiva, enfim, o que não faltaria era história para colocar nesse parágrafo, vocês
fizeram parte da minha vida e não esquecerei vocês.

A minha irmã Ana, que também faz Engenharia Florestal, parceira de todas as horas e uma amiga que me acompanha em todas as fases da minha vida, literalmente, algumas das fases te levava obrigada comigo, mas você sempre esteve em tudo! A correria da vida as vezes nos deixa um pouco afastada, ser adulta tem um preço alto, porém, estamos sempre juntas, sei que posso contar com você quando precisar e a recíproca é verdadeira, você tem um lugar especial no meu coração.

Por fim e não menos importante, gostaria de agradecer a professora Rosana, um ser humano incrível que teve muita paciência comigo, foram dois anos na luta com o TCC. Você fez a diferença na minha jornada acadêmica, me introduziu na iniciação científica, me acompanhou e me ajudou, serei sempre muito grata e se hoje estou aqui, você é um dos principais motivos, te
levo para a vida, obrigada!

RESUMO

O grande avanço da exploração excessiva sobre os recursos naturais, pelo homem, gera áreas degradadas, colocando em risco o equilíbrio ecológico e comprometendo a segurança de diversas espécies da fauna e flora. Neste sentido, faz-se necessário pesquisas em tecnologias que possam ser usadas para reverter e mitigar os danos já causados, incorporando novas práticas sustentáveis e benéficas ao meio ambiente. Uma possibilidade tecnológica que vem se mostrando promissora é o uso do lodo de esgoto, por possuir características favoráveis para sua aplicação em áreas degradadas. O presente trabalho se trata de uma revisão narrativa de literatura, que objetivou realizar um levantamento bibliográfico, através da busca no portal de periódicos da CAPES e no sítio *Google Scholar*, sobre o uso do lodo de esgoto, dando ênfase à recuperação de áreas degradadas. Os resultados encontrados na literatura, indicam que o lodo de esgoto é recomendado para melhorar os atributos físicos do solo, e os melhores achados foram observados nas camadas mais superficiais; sendo que, a depender do nível de degradação é preciso que haja reaplicações do mesmo para um melhor resultado. Trata-se então de uma solução viável para a melhor destinação do lodo, de forma a contribuir positivamente para o meio ambiente. Além disso, também se observa a necessidade do aumento de pesquisas sobre o tema, a fim de lograr a melhor utilização do produto, com políticas de incentivo que sejam adequadas.

Palavras-chave: lodo de esgoto; áreas degradadas; revisão bibliográfica.

ABSTRACT

The great advance of excessive exploitation of natural resources, by man, generates degraded areas, putting the ecological balance at risk and compromising the safety of several species of fauna and flora. In this sense, it is necessary to research technologies that can be used to reverse and mitigate the damage already caused, incorporating new sustainable practices that are beneficial to the environment. A technological possibility that has shown promise is the use of sewage sludge, as it has favorable characteristics for its application in degraded areas. The present work is a narrative literature review, which aimed to carry out a bibliographic survey, through a search on the CAPES journals portal and on the Google Scholar website, on the use of sewage sludge, emphasizing the recovery of degraded areas. The results found in the literature indicate that sewage sludge is recommended to improve the physical attributes of the soil, and the best findings were observed in the more superficial layers; and, depending on the level of degradation, there must be reapplications of the same for a better result. It is then a viable solution for the best destination of the sludge, in order to contribute positively to the environment. In addition, there is also a need to increase research on the subject, in order to achieve the best use of the product, with appropriate incentive policies.

Keywords: sewage sludge; degraded areas; environment; narrative literature review.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| SUMÁRIO..... | 6 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 7 |
| 2. OBJETIVO..... | 9 |
| 2.1. Objetivos específicos..... | 9 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 10 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 11 |
| 4.1. Espécies..... | 13 |
| 4.2. Áreas Degradadas..... | 15 |
| 4.3. Lodo..... | 16 |
| 4.4. Uso do Lodo em Áreas Degradadas..... | 19 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 22 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 23 |

1. INTRODUÇÃO

O uso da natureza pelo homem é essencial para promoção de recursos de subsistência, e a fim de que o mesmo possa evoluir constantemente, tal interação é tão necessária quanto natural e vem ocorrendo desde os primórdios. Esse convívio vem mudando ao longo dos anos, perdendo o caráter intrínseco que almeja o sustento para a manutenção da vida e obtendo uma conotação materialista, objetivando o ganho excessivo de dinheiro.

Essa evolução do homem representa uma quebra no princípio da sustentabilidade, de querer tirar além do sustento, visando o lucro advindo da natureza. Portanto, coloca em risco espécies mais vulneráveis e favorece a extinção, de forma não natural, de tantas outras. Tal comportamento pode comprometer o equilíbrio ecológico, importante para uma evolução consciente que respeite a capacidade de exploração da natureza.

Essa interação nociva gera áreas degradadas, que são ambientes sensíveis, e devido a exploração do horizonte fértil do solo, necessitam de intervenções antrópicas para chegar a um estado de não degradação, deixando as espécies da fauna e flora em situação de insegurança (SAMPAIO et al., 2012). Devido a isso, são necessários estudos que versem sobre a recuperação dessas áreas, bem como do uso sustentável dos recursos naturais e do meio ambiente, fomentando cada vez mais tecnologias que permitam explorar com sustentabilidade, reverter danos e mitigar os impactos já causados.

Outra problemática advinda da exploração excessiva, além do aumento exponencial da população, é a destinação de resíduos gerados pelo homem, sendo um dos maiores desafios do século. Uma destinação adequada se faz necessária para que não haja contaminação do meio ambiente e, se possível, que tais resíduos sejam incorporados nas cadeias produtivas ou nos processos de recuperação do meio ambiente, para que haja um desenvolvimento sustentável. Neste sentido, um resíduo que se mostra promissor é o lodo de esgoto (OLIVEIRA; BORGES; LIMA, 2018).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2020), no Brasil existem 3.668 estações de tratamento de esgotos, distribuídas em 2.007 municípios, entre as quais 3.419 estão ativas e cobrem 1.893 municípios. O lodo de esgoto é um resíduo gerado a partir do tratamento do esgoto, e pode auxiliar na recuperação de um solo degradado, que requer a adição de sedimentos orgânicos como condicionador de suas propriedades físicas, otimizando seu lento processo de recuperação. Isto porque o lodo apresenta elevados teores de matéria orgânica e nutrientes, demonstrando alto potencial para utilização nessas áreas (CORRÊA; FONSECA; CORRÊA, 2007; SAMPAIO et al., 2012).

Em ambientes que não conseguem se recuperar sozinhos, ou que há baixa capacidade de recuperação de solos expostos, é necessário o uso de grandes quantidades de correção com compostos orgânicos ou adubos nitrogenados (BARBOSA, 2006). Com o uso do lodo de esgoto pode-se diminuir a utilização de correções, podendo assim reduzir os custos e otimizar o processo. Tal ação é benéfica tanto para o meio ambiente, quanto para as instituições que possuem em grandes quantidades, em suas estações de tratamento, esse produto.

Além de auxiliar no equilíbrio ecológico, a área pode se tornar abrigo para espécies da fauna e flora, em especial as que estão na lista de extinção, auxiliando na manutenção das mesmas. Pode também contribuir para aumentar o estoque de biomassa e proteger o solo, recuperando, assim, os ciclos naturais em uma área na qual tais processos não mais ocorriam.

Devido a isso, promover a evolução da pesquisa do uso do lodo de esgoto nas áreas degradadas, auxiliando na destinação final eficiente para ele, é de suma importância para a ciência e para o meio ambiente. Pode-se, ainda, evidenciar o potencial do produto supracitado na geração de renda pela sua comercialização, justificando assim esse estudo.

2. OBJETIVO

O presente trabalho visa realizar um levantamento bibliográfico sobre o uso do lodo de esgoto, dando ênfase à recuperação de áreas degradadas. Demonstrando, assim, seu potencial de uso, suas características e seus efeitos, para que o mesmo possa ser visto como uma tecnologia que auxilie na redução dos efeitos negativos da globalização, além da possibilidade de se conseguir arrecadar receita oriunda da sua utilização.

2.1. Objetivos específicos

- 1) Realizar, de forma breve, um levantamento das espécies potenciais que são utilizadas na recuperação de áreas degradadas.
- 2) Refletir, a partir da literatura e de diferentes normativas, o conceito de áreas degradadas.
- 3) Descrever características do lodo e os requisitos necessários para sua aplicação.
- 4) Apresentar um panorama do uso do lodo na recuperação de áreas degradadas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho trata-se de uma revisão narrativa da literatura, tendo como base os métodos apresentados pelos autores Ferenhof e Fernandes (2016), que citando Cordeiro et al. (2007), explicitam a existência de três metodologias de revisão: 1. revisão narrativa; 2. revisão sistemática; 3. revisão integrativa (FERENHOF; FERNANDES, 2016). A escolha metodológica é caracterizada por uma inclusão de periódicos e a busca não sistemática de artigos que ocorrem de acordo com critérios próprios e possuem por finalidade responder a pergunta de pesquisa delimitada. Ressalta-se que a questão norteadora do estudo foi: “Quais as possibilidades de utilização do lodo de esgoto para recuperação de áreas degradadas?”

Ainda de acordo com Gerhardt e Silveira (2009), o presente trabalho se configura como uma pesquisa qualitativa, bibliográfica e exploratória; ou seja, não serão analisados dados numéricos ou estatísticos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Foi realizado o levantamento de material bibliográfico, a partir do problema exposto e formulado, procurando hipóteses de base científica para sua solução.

Realizou-se uma busca aprofundada no portal de periódicos da CAPES concomitantemente com a seleção livre de artigos, com base no tema, através do sítio *Google Scholar*, objetivando o levantamento do material de entrada. O processamento dos dados se deu com a leitura e interpretação dos artigos elegidos, e após essa etapa são apresentados os resultados obtidos e quais contribuições para a ciência podem ser fornecidas com este estudo. Por fim, uma síntese do material é estabelecida com as conclusões propostas. O levantamento do material bibliográfico ocorreu com o auxílio de operadores booleanos, utilizando a seguinte combinação de palavras: "lodo" AND “esgoto” AND “recuperação de áreas” AND “degradadas”.

Como critérios de inclusão estabelecidos foram selecionados apenas os artigos disponíveis de forma gratuita na íntegra e que correspondesse a pergunta de pesquisa estabelecida. Cada artigo selecionado foi avaliado apenas uma vez, tendo-se removido duplicidades, e, em contrapartida, estabeleceu-se os seguintes critérios de exclusão: 1. resumos simples e expandidos; 2. publicações não relacionadas à temática proposta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após aplicação do método supracitado, os ensaios que resultaram na elaboração desta pesquisa se encontram listados na Tabela 01.

Tabela 01: Características gerais dos estudos escolhidos

| N | Características Gerais | | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--|--|
| | Ano de publicação | Revista | Autores | Título | Palavras Chave |
| 1 | 2015 | Dissertação de Mestrado | OLIVEIRA, D. N. S. | Efeito do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília-DF | Biossólido, densidade do solo, carbono orgânico |
| 2 | 2015 | Revista Árvore | NUNES, Y. R. F. et al. | Sobrevivência e crescimento de sete espécies arbóreas nativas em uma área degradada de floresta estacional decidual, norte de Minas Gerais | Restauração ambiental; Plantio de mudas: Mata seca |
| 3 | 2017 | Floresta | SCHEER, M. B. et al. | Crescimento inicial de quatro espécies florestais nativas em área degradada com diferentes níveis de calagem e de adubação | Áreas de empréstimo; recuperação; restauração; fertilização; mudas florestais |
| 4 | 2006 | Pesquisa Agropecuária Brasileira | BEZERRA, F. B. et al. | Lodo de esgoto em revegetação de área degradada | matéria orgânica, micronutrientes, capacidade de troca catiônica |
| 5 | 2011 | Revista Árvore | NERI, A. V. et al. | Espécies de cerrado com potencial para recuperação de áreas degradadas por mineração de ouro, Paracatu-MG | Braun-Blanquet, Similaridade florística e Forma de vida e savana |
| 6 | 2008 | Revista Brasileira de Ciência do Solo | CAMPOS, F. DA S.; ALVES, M. C | Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado | matéria orgânica, recuperação do solo, Latossolo Vermelho, eucalipto, Brachiaria |

| | | | | | |
|----|------|---------------------------------------|---|---|---|
| 7 | 2008 | Revista Brasileira de Ciência do Solo | KITAMUR A, A. E. et al. | Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto | área de empréstimo, densidade do solo, porosidade do solo, fertilidade do solo, macrorganismos do solo. |
| 8 | 2010 | Tese de Doutorado | ALAMINO, R. DE C. J. | A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais | lodo de esgoto, solos, metais |
| 9 | 2017 | Dissertação de Mestrado | SIQUEIRA, D. P. | . Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de vinhático | Biossólido, Substratos alternativos; <i>Plathymenia reticulata</i> |
| 10 | 2014 | Thema | BOHM, G. B. et al. | . Uso de lodo de estação de tratamento de esgoto no cultivo de soja em argissolo | biossólido, resíduo, metais pesados, atividade microbiana, <i>Glycine max</i> |
| 11 | 2006 | Embrapa Meio Ambiente | BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. | A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola | - |
| 12 | 1999 | Boletim de Pesquisa Florestal | MAIA, C. M. B. F. | Uso de casca de <i>Pinus</i> e lodo biológico como substrato para produção de mudas de <i>Pinus taeda</i> | resíduos florestais, fábrica de celulose e papel |
| 13 | 2009 | Revista Brasileira de Ciência do Solo | MODESTO, P. T. et al. | Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos | torta de filtro, maravalha, atividade microbiana, micorriza arbuscular, recuperação de áreas degradadas |
| 14 | 2006 | Semina: Ciências Agrárias | BARBOSA, G. M. DE C.; TAVARES FILHO, J. | Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas | Biossólido, adubo orgânico, fertilizante, matéria orgânica |
| 15 | 2007 | Revista Bragantina | MARIA, I. C. DE; KOCSSI, | Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto | condicionador de solo; atributos físicos do solo; biossólido |

| | | | | | |
|----|------|---|--|---|---|
| | | | M. A.; DECHEN, S. C. F. | | |
| 16 | 2012 | Revista Brasileira de Ciência do Solo | SAMPAIO, T. F. et al. | Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo | biossólidos, resíduos orgânicos, solo arenoso |
| 17 | 2018 | Revista Técnica de Biodiversidad e e Qualidade Ambiental | OLIVEIRA, L. S.; BORGES, M. N.; LIMA, T. G. DE | . O lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas | - |
| 18 | 2019 | Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental | TERAN, F. C. 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 | Lodo de esgoto, solo, áreas degradadas |
| 19 | 2004 | Pesquisa Agropecuária Brasileira | MELO, V. P. et al. | Atributos físicos de latossolos adubados durante cinco anos com biossólido | porosidade do solo, densidade do solo, retenção de água, lodo de esgoto |
| 20 | 2016 | Monografia | GEHRKE SCHNEIDE R, B. | Biochar de lodo de esgoto e sua influência nas propriedades químicas do solo cultivado com milho | Lodo de Esgoto; Pirólise; Biossólido, Zea mays L |
| 21 | 2001 | Biossólidos na agricultura | TSUTIYA, M. T. | Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos | - |

Fonte: elaborado pela autora. Brasília, 2022.

4.1. Espécies

O uso de espécies leguminosas em áreas degradadas se faz adequado, pois elas possuem características que permitem crescer em solos desfavoráveis; e como são de rápido desenvolvimento, criam um ambiente favorável para o estabelecimento de novas espécies, além de produzirem bastante biomassa com característica de baixa relação C:N, e contribuem para o aumento de matéria orgânica no solo. É importante ressaltar que as leguminosas possuem a propriedade de elevar o pH, K e Mg no solo (OLIVEIRA, 2015). Também cabe destacar a importância da fixação de N para o sistema biológico, sendo as plantas a principal entrada no ecossistema e seus níveis no solo ligados a quantidade de matéria orgânica. Tais eventos são importantes para o sucesso da recuperação de áreas, sendo a associação de leguminosas com lodo, um processo muito importante.

Oliveira (2015), citando Malavolta (1979), destaca a importância de adubos verdes para a recuperação do solo fazendo sua cobertura e evitando erosão e a lixiviação de nutrientes, bem como melhoria da estrutura do solo. Ressalta, também, que o uso de cobertura verde para auxiliar o plantio direto e aumentar a eficiência dos mesmos, além de ter menos impacto, é uma estratégia mais econômica (OLIVEIRA, 2015).

Observa-se também que espécies pioneiras podem ser consideradas mais aptas para a recuperação de áreas degradadas devido seu rápido crescimento, baixas necessidades do solo e necessitarem de bastante luz solar para o seu desenvolvimento. Em um estudo de recuperação em uma área degradada, devido a implementação de uma barragem, as espécies pau-preto (*Schinopsis brasiliensis*) e angico (*Anadenanthera colubrina*) tiveram a menor porcentagem de mortalidade ao longo de dois anos do experimento, devido a sua característica de conseguir resistir às situações adversas (NUNES et al., 2015).

Entretanto, espécies consideradas como clímax tendem a ser menos propícias na utilização inicial do processo de recuperação de áreas, devido a sua alta exigência a condições ambientais favoráveis, corroborando para terem maiores taxas de mortalidade se usadas na recuperação. Resultado obtido no mesmo experimento do parágrafo anterior, com maiores taxas de mortalidade para as espécies pau-d'óleo (*Copaifera langsdorffii*) e carne-de-vaca (*Pterogyne nitens*) (NUNES et al., 2015).

No estudo de recuperação de uma área de empréstimo para a construção de uma barragem, no município de Piraquara, no estado do Paraná, foram empregadas quatro espécies nativas: *Schinus terebinthifolius*, *Luehea divaricata*, *Gymnanthes klotzschiana* e *Lafoensia pacari*. Observou-se que os maiores valores de altura e diâmetro foram encontrados na espécie *S. terebinthifolius*, caracterizada por ser uma planta pioneira ou secundária inicial, corroborando com a teoria de que as espécies pioneiras são melhores para o uso em recuperação de áreas, sendo que a escolha de qual espécie pioneira utilizar irá depender das características de cada região. O clima da região, segundo Köppen, é Cfb com média de chuva ao ano de 1500 mm e temperatura média anual variando entre 12 e 20 °C (SCHEER et al., 2017).

Bezerra et al. (2006) analisaram a relação entre o crescimento das espécies Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) e Maricá (*M. bimucronata*) com o lodo de esgoto. Apesar das espécies terem apresentado crescimento satisfatório para a recuperação da área, não houve uma interferência significativa do lodo de esgoto, ainda que tenha melhorado as características de fertilidade do solo (BEZERRA et al., 2006).

Um estudo feito em sete áreas, em diferentes estágios de regeneração de garimpo, em que não há mais atividade desde o início do século XX, com características de Cerrado em Paracatu, apresentou que a associação de espécies hemiptófitas com fanerófitas e caméfitas possuem uma alta ocorrência em tais áreas, significando que são comuns em ambientes em regeneração. De forma especial, as espécies *Axonopus marginatus*, *Axonopus pressus*, *Digitaria ciliaris*, *Aristida ekmaniana* e *Andropogon bicornis* demonstraram que se adaptam bem a ambientes que estão se recuperando (NERI et al., 2011).

Frente ao exposto, compreende-se a importância do desenvolvimento de estudos das espécies que mais se adequem a áreas que sofreram alguma forma de degradação; sendo crucial para o sucesso do retorno do ambiente a condição de não degradação (NUNES et al., 2015).

4.2. Áreas Degradadas

A instrução normativa nº 11, de 11 de dezembro de 2014, do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO), que regulamenta os projetos de Recuperação de Área Degradada ou Perturbada, define as áreas degradadas como: “[...] aquela impossibilitada de retornar por uma trajetória natural a um ecossistema que se assemelhe ao estado inicial, dificilmente sendo restaurada, apenas recuperada”. Não diferente, a instrução normativa nº 4, de 13 de abril de 2011, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que estabelece os procedimentos de elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Área Alterada, define áreas degradadas como: “[...] área impossibilitada de retornar por uma trajetória natural, a um ecossistema que se assemelhe a um estado conhecido antes, ou para outro estado que poderia ser esperado” (BRASIL, 2011, 2014).

Já a resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) descreve o impacto ambiental como alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do ambiente que colocam a segurança de qualquer tipo de vida ou recursos ambientais em risco, além de citar diversas atividades que possuem grande potencial de degradação, como: barragens, extração de minérios, construção de estradas, exploração de madeira, projetos agropecuários, entre outros. É possível compreender que as legislações consideram as áreas degradadas como aquelas que sofreram algum distúrbio que as deixaram impossibilitadas de um retorno natural a um estado de não degradação, sendo necessárias ações antrópicas que auxiliem esses ambientes para que tanto a fauna quanto a flora possam mudar as características do local, dessa maneira, o ambiente sairia do estado de

degradação para o estado de não degradação, seja através da recuperação ou restauração do mesmo (BRASIL, 1986).

Em ambientes que são alvos de degradação, para sua recuperação, é necessário que seja realizado um levantamento prévio de quais distúrbios foram os causadores da degradação, qual o nível de degradação que o ambiente se encontra, se perdeu totalmente ou parcialmente seu horizonte A do solo. Para que, assim, possa ser realizado um plano de recuperação de áreas degradadas e se conheça a dimensão dos esforços necessários para a recuperação e onde os recursos serão alocados (CAMPOS; ALVES, 2008; KITAMURA et al., 2008).

Oliveira (2015) relata que áreas de empréstimo para mineração são consideradas áreas degradadas devido às suas características serem alteradas e até eliminadas, tornando tais locais ambientes com baixa taxa de retorno ao seu estado antes da degradação ou de retorno lento, sendo consideradas de escassa resiliência. Tais áreas necessitam de ajuda humana para que possam se tornar um ambiente recuperado. A degradação é refletida pela caracterização da área, sendo que quanto maior sua intensidade, mais demorado se torna o processo de regeneração (OLIVEIRA, 2015).

4.3. Lodo

A legislação brasileira, através da Resolução nº 375/2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), define os critérios mínimos de qualidade para o uso do lodo de esgoto a nível nacional, evitando assim a contaminação do meio ambiente (BRASIL, 2006). De acordo com Alamino (2010), os critérios estabelecidos pela CONAMA 375/2006 para metais pesados são considerados superiores aos que constam na resolução CONAMA 420/2009, que discrimina sobre valores que podem ser considerados para qualidade do solo na existência de substâncias químicas (ALAMINO, 2010). Os níveis aceitáveis estão expostos, a seguir, no Quadro 01.

Quadro 01: Lodos de esgoto ou produto derivado - substâncias inorgânicas

| Substâncias Inorgânicas | Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca) |
|-------------------------|--|
| Arsênio | 41 |
| Bário | 1300 |
| Cádmio | 39 |
| Chumbo | 300 |
| Cobre | 1500 |
| Cromio | 1000 |
| Merúrio | 17 |
| Molibdênio | 50 |
| Níquel | 420 |
| Selênio | 100 |
| Zinco | 2800 |

Fonte: BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Resolução N° 375, de 29 de agosto de 2006.

A mesma resolução separa o lodo em duas classificações, sendo A um nível mais puro e B um nível menos puro. Determina, ainda, que, após 5 anos, apenas lodos com nível A serão permitidos para aplicação nos solos (BRASIL, 2006). As características de cada classe se encontram no Quadro 02.

Quadro 02: Classes de lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos

| Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado | Concentração de patógenos |
|--|---|
| A | Coliformes Termotolerantes $<10^3$ NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos $< 0,25$ ovo / g de ST <i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST Vírus $< 0,25$ UFP ou UFF / g de ST |
| B | Coliformes Termotolerantes $<10^6$ NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST |

ST: Sólidos Totais

NMP: Número Mais Provável

UFF: Unidade Formadora de Foco

UFP: Unidade Formadora de Placa

Fonte: BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Resolução N° 375, de 29 de agosto de 2006.

O lodo recebe o nome de biossólido após realizados tratamentos que permitem que o mesmo seja usado na agricultura e no ramo florestal, para assim evitar preconceito no seu uso (SIQUEIRA, 2017). Sendo que, no Brasil, os estados do Paraná e São Paulo se destacam nos

quesitos de estudos e destinação do lodo de esgoto, possuindo manuais de tratamento e aplicação, que podem ser mais limitantes que os existentes a nível nacional, contudo o estado do Rio de Janeiro não possui nenhuma instrução, e nesse caso, a legislação vigente adotada é a de nível federal. Tal composto possui a característica de proporcionar um ambiente favorável, suprir as necessidades das plantas e condicionar o solo, sendo seu estudo fundamental para melhor aproveitamento do seu potencial (BOHM et al., 2014).

Bettioli (2006) relata que há dois tipos de lodo, que diferem de acordo com a sua origem, sendo divididos em lodo industrial e doméstico. A principal diferença é a quantidade de metais pesados e de organismos patogênicos presentes em cada. Devido a isso, é necessário precaução no seu tratamento e uso, para evitar contaminação do meio ambiente e auxiliar na segurança da saúde humana (BETTIOLI; CAMARGO, 2006).

Oliveira (2015) cita que o uso do lodo nas atividades agrícolas pode viabilizar um destino adequado e se torna uma alternativa para esse composto que não teria destinação, auxiliando na problemática ambiental de duas formas distintas: tanto evitando seu acúmulo de forma indevida na natureza, quanto auxiliando a recuperação de áreas degradadas ou na agricultura (OLIVEIRA, 2015). Já Siqueira (2017), citando Trigueiro; Guerrini (2003), indica que a prática do uso de lodo de esgoto para auxiliar os adubos minerais pode gerar economia de 64% em relação ao uso comercial (SIQUEIRA, 2017). Entretanto, Maia (1999) não recomenda o uso puro do lodo como substrato (MAIA, 1999).

O uso promissor do lodo de esgoto para auxiliar os solos, a fim de favorecer a recuperação de áreas degradadas e o plantio de culturas agrícolas, foi avaliado por Campos e Alves (2008), dando preferência às espécies que não são de consumo direto (CAMPOS; ALVES, 2008). Tal incorporação de resíduos orgânicos no solo se torna uma alternativa viável, principalmente na recuperação de áreas degradadas, pois auxiliam no aumento da fertilidade do solo, a variar de acordo com a sua composição. E por não estar relacionado com o ramo alimentício, o risco de contaminação humana é menor (MODESTO et al., 2009; OLIVEIRA, 2015).

Pode-se destacar como propriedades do lodo: aumentar a fertilidade do solo, aumentar a atividade microbiana, aumentar a porosidade e estabilidade dos agregados e diminuir a densidade do solo, sendo ideal para a recuperação de áreas degradadas. Além disso, o lodo contém nitrogênio, fósforo, micronutrientes e alta concentração de matéria orgânica (BARBOSA; TAVARES FILHO, 2006; OLIVEIRA, 2015).

Contudo, o lodo deve ser avaliado antes do seu uso, pois, se possuir metais pesados em sua composição, estes podem contaminar o solo e inibir os processos biológicos, impedindo a

mineração, nitrificação, a decomposição do material orgânico, os processos bioquímicos e o crescimento das plantas. Por isso, é importante aferir a viabilidade do seu uso e fazer de forma que seu potencial seja aplicado de maneira positiva e não aumentando os danos já causados nas áreas (OLIVEIRA, 2015; TSUTIYA, 2001).

O uso do lodo de esgoto está sendo alvo de pesquisas que estão contribuindo para o desenvolvimento de subprodutos que sejam bons condicionantes do solo, como por exemplo, o *biochar* de lodo, que consiste na pirólise do lodo de esgoto em altas temperaturas, eliminando, assim, os agentes patológicos e o deixando adequado para o uso em atividades mais sensíveis a contaminação, como a agricultura. Porém, devido ao custo da pirólise, o uso de tal tecnologia para a recuperação de áreas degradadas pode aumentar as despesas que não são necessárias, pois a contaminação humana com o uso do lodo nessas áreas é de menor risco do que no uso agrícola.

Destaca-se que Schneider (2016) realizou um estudo do *biochar* de lodo em cultura de milho e identificou que o mesmo, tanto usado sozinho quanto em associação com adubação mineral, auxiliou no aumento da produção de grãos de milho e na melhoria dos níveis de P, K e Mg. De forma especial, o tratamento de *biochar* aquecido a 300 °C associado com adubação mineral (GEHRKE SCHNEIDER, 2016).

4.4. Uso do Lodo em Áreas Degradadas

De acordo com Maria, Kocssi e Dechen (2007), o uso do lodo de esgoto proporcionou um aumento na estabilidade de agregados de solo e no teor de matéria orgânica, sendo indicativos positivos de recuperação, auxiliando na retenção de nutrientes e manutenção das propriedades físicas do solo, melhorando sua estabilidade estrutural, resistência à erosão e capacidade de reter umidade. O estudo foi feito em um solo que sofreu erosão hídrica por oito anos e, após, foi mantido com cultivo de milho por mais três anos (MARIA; KOCSSI; DECHEN, 2007).

Já Modesto (2009) demonstrou a importância de uma destinação adequada não apenas para os lodos de esgoto, mas, também, para resíduos de cana e de serralheria. O trabalho analisou as combinações de lodo, torta de filtro de cana e maravalha de madeira para melhorar os atributos de um solo degradado, com o intuito de servir como empréstimo para a construção de uma hidrelétrica. Foram usadas, no experimento, duas espécies nativas do Cerrado, o jatobá do cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.) e o monjoleiro (*Acacia polyphylla* DC.). No trabalho foi observado um aumento nos níveis de fósforo,

microrganismos, atividade microbiana e matéria orgânica nos tratamentos que continham lodo associado com maravalha e torta de filtro de cana (MODESTO et al., 2009).

É possível observar que a adição de lodo necessita de manutenção, pois, de acordo com Sampaio (2012), que analisou o efeito do lodo de esgoto ao longo de 18 meses, após os seis meses os benefícios do lodo não eram tão significativos quanto nos meses iniciais. Demonstrando, assim, que o lodo tem um alto potencial de melhorar a agregação do solo, porosidade e umidade; porém, é necessário um uso recorrente do mesmo para um resultado a longo prazo. Portanto, infere-se que tal uso periódico deve levar em consideração o nível de degradação e se o ambiente já consegue manter sozinho os ciclos naturais, descaracterizando a área como degradada (SAMPAIO et al., 2012).

No âmbito do Distrito Federal, Oliveira (2018) faz um panorama do uso do lodo de esgoto para recuperação de áreas degradadas. Há quatro projetos citados no trabalho: projeto de recuperação RFFSA, projeto de recuperação da cascalheira Rajadinha, projeto de pesquisa na cascalheira do Jardim Botânico de Brasília e projeto de recuperação da cascalheira Cachoeira da Colina (OLIVEIRA; BORGES; LIMA, 2018).

O projeto Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima (RFFSA) apresentou resultados bastante positivos e superiores aos processos tradicionais, evidenciando que a aplicação do lodo em consórcio com adubos verdes permitiu melhora nos indicadores de qualidade e a aproximação do ambiente degradado a um ambiente com vegetação natural.

No projeto de recuperação da cascalheira Rajadinha, Teran et al. (2019) concluíram que o lodo aumenta a capacidade de troca de cátions (CTC), matéria orgânica, saturação por bases e quantidade de nutrientes, apesar de que alguns nutrientes, como o cálcio, magnésio e enxofre, não chegaram a um aumento satisfatório. Corroborando, assim, para que a aplicação do lodo seja recorrente. Também foi evidenciado que houve um aumento da acidez do solo, deixando o solo com características de solo do Cerrado (TERAN et al., 2019).

Oliveira (2018) indica que o uso do lodo da maneira adequada não contribui para a contaminação do meio ambiente e ressalta que seu uso em áreas degradadas é uma alternativa viável para a destinação do mesmo. Salienta-se a necessidade de criação de políticas públicas para o incentivo do uso do lodo de classe B para recuperação ambiental (OLIVEIRA; BORGES; LIMA, 2018).

Melo et al. (2004), estudando o efeito sobre solos adubados durante cinco anos com lodo de esgoto, concluiu que o efeito do lodo, a longo prazo, varia de acordo com o tipo de solo. O pesquisador analisou um latossolo vermelho distrófico e um latossolo vermelho eutroférico, sendo que houve um aumento no teor de matéria orgânica e da macroporosidade

na camada superficial, de 0,0 a 0,1 m. Não foi observada alteração significativa na porosidade total, na microporosidade e na retenção de água dos dois solos; e na densidade do latossolo vermelho eutroférico. Já a densidade do latossolo vermelho distrófico diminuiu significativamente (MELO et al., 2004).

Campos; Alves (2008) avaliaram o uso do lodo de esgoto em um solo de uma área de empréstimo para a construção de uma usina hidrelétrica. Para o quesito de macroporosidade o resultado foi positivo, se assemelhando ao estado natural, entretanto para a microporosidade, o efeito positivo foi apenas na camada superficial. Quanto à porosidade total, o processo de recuperação foi positivo e deixou os níveis similares aos da amostra de solo não degradada. Já para a densidade do solo, houve efeito positivo apenas nas profundidades de 0,0 a 0,5 m; nas demais, não houve alteração significativa (CAMPOS; ALVES, 2008).

Quanto à matéria verde e seca, houve maior produção com aplicação de 30 a 60 mg.ha⁻¹. Quanto a plantação de eucalipto, não houve diferenças significativas nas propriedades físicas do solo nos tratamentos sem adubação mineral, com adubação mineral e com lodo de esgoto; porém, o lodo na quantidade de 60 mg.ha⁻¹ apresentou um diferencial em relação aos demais, pois, houve diferença positiva para o crescimento de altura e diâmetro a altura do peito (DAP) dos indivíduos (CAMPOS; ALVES, 2008).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, apesar das pesquisas estarem avançando sobre a segurança no uso do lodo para diversos fins, é necessário dar mais visibilidade para o tema, criarem políticas públicas de incentivo do seu uso, leis com definições claras e atuais para discriminar o uso no solo, incentivos à pesquisa e a destinação final adequada desse subproduto gerado através do tratamento de esgoto.

O potencial de uso do lodo na recuperação de áreas degradadas é enorme, tanto para poder dar uma destinação viável a um subproduto com alta capacidade de reciclagem, quanto para diminuir as grandes extensões de áreas degradadas. Mitigando o efeito das diversas formas de degradação, oriundas do crescimento econômico do país, que se dá a partir de um processo exploratório. Assim, partimos do princípio de que a quantidade de recursos que temos é limitada e se apenas usarmos sem a consciência de diminuir os danos, podemos chegar a um estado de desequilíbrio ecológico, maior do que os já alcançados.

É possível observar que o lodo tem uma maior eficácia nas camadas superficiais e que a depender da degradação é preciso que haja reaplicação para o maior sucesso da recuperação ou regeneração das áreas. A escolha das espécies usadas para o retorno do ambiente a um estado de não degradação é de suma importância. É preciso fazer um estudo prévio de quais espécies nativas melhor se adequam ao local e quais se saem melhor em condições mais desfavoráveis.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil. p. 44, 2020.

ALAMINO, R. DE C. J. **A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais.** Doutorado—Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

BARBOSA, G. M. DE C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 4, p. 565–580, 2006.

BARBOSA, L. M. **Manual para recuperação de áreas degradadas em matas ciliares do estado de São Paulo.** Marília: [s.n.].

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. Em: **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura Jaguariúna.** [s.l.] Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 25–36.

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

BOHM, G. B. et al. Uso de lodo de estação de tratamento de esgoto no cultivo de soja em argissolo. **Thema**, v. 11, n. 01, p. 12–23, 2014.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, Resolução CONAMA N° 001.** [s.l: s.n.].

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, Resolução CONAMA n° 375. v. 1, p. 32, 2006.

BRASIL. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Instrução Normativa N° 4, de 13 de abril de 2011.** BRASIL: [s.n.].

BRASIL. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Instrução normativa N° 11, de dezembro de 2014.** [s.l: s.n.].

CAMPOS, F. DA S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1389–1397, 2008.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 420–426, 2007.

FERENHOF, H. A.; FERNANDES, R. F. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SSF. **Revista ACB**, v. 21, n. 3, p. 550–563, 2016.

GEHRKE SCHNEIDER, B. **Biochar de lodo de esgoto e sua influência nas propriedades químicas do solo cultivado com milho**. Graduação—Brasília: Universidade de Brasília, 2016.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: [s.n.].

KITAMURA, A. E. et al. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 405–416, 2008.

MAIA, C. M. B. F. Uso de casca de Pinus e lodo biológico como substrato para produção de mudas de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 39, p. 81–92, 1999.

MARIA, I. C. DE; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Revista Bragantina**, v. 66, n. 8, p. 291–296, 2007.

MELO, V. P. et al. Atributos físicos de latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 67–72, 2004.

MODESTO, P. T. et al. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1489–1498, 2009.

NERI, A. V. et al. Espécies de cerrado com potencial para recuperação de áreas degradadas por mineração de ouro, Paracatu-MG. **Revista Arvore**, v. 35, n. 4, p. 907–918, 2011.

NUNES, Y. R. F. et al. Sobrevivência e crescimento de sete espécies arbóreas nativas em uma área degradada de floresta estacional decidual, norte de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 801–810, 2015.

OLIVEIRA, D. N. S. **Efeito do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília - DF**. Brasília: Universidade de Brasília, 2015.

OLIVEIRA, L. S.; BORGES, M. N.; LIMA, T. G. DE. O lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas. **Revista Técnica de Biodiversidade e Qualidade Ambiental**, p. 79–88, 2018.

SAMPAIO, T. F. et al. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1637–1645, 2012.

SCHEER, M. B. et al. Crescimento inicial de quatro espécies florestais nativas em área degradada com diferentes níveis de calagem e de adubação. **Floresta**, v. 47, n. 3, p. 279–287, 2017.

SIQUEIRA, D. P. **Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de vinhático**. Mestrado—Campo dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2017.

TERAN, F. C. 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. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, n. 1, p. 1–9, 2019.

TSUTIYA, M. T. Características de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. Em: **Bio sólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 41–88.