

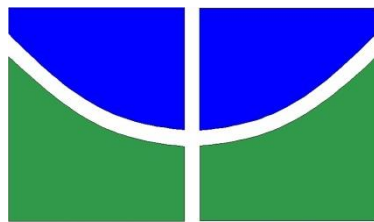
**AVALIAÇÃO DO MANEJO DE FILTROS ECOLÓGICOS NUMA  
JAZIDA TRATADA COM LODO DE ESGOTO NO DISTRITO  
FEDERAL**

**Pietro Matheus Pereira Santos**

**Brasília, 10 de fevereiro de 2023**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**AVALIAÇÃO DO MANEJO DE FILTROS ECOLÓGICOS NUMA  
JAZIDA TRATADA COM LODO DE ESGOTO NO DISTRITO  
FEDERAL**

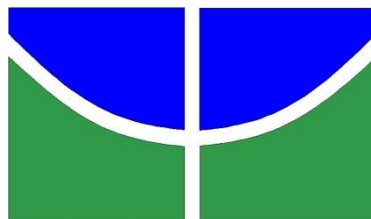
**Pietro Matheus Pereira Santos**

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

Orientador(a): Prof. Dr. José Roberto R. Pinto

Coorientador(a): Dr. Alexander P. C. Balduino

Brasília-DF, 10 de fevereiro de 2023



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

**AVALIAÇÃO DO MANEJO DE FILTROS ECOLÓGICOS NUMA  
JAZIDA TRATADA COM LODO DE ESGOTO NO DISTRITO  
FEDERAL**

Estudante: Pietro Matheus Pereira Santos

Matrícula: 17/0043720

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Rodrigues Pinto

Menção: \_\_\_\_\_

---

Prof. Dr. José Roberto Rodrigues Pinto  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador (EFL)

---

Dr. Carlos Christian Della Giustina  
Paranoá Consultoria e Planejamento Ambiental  
Membro da Banca

---

Me. Henrique Cruvinel Borges Filho  
Companhia de Saneamento Ambiental do DF – CAESB  
Membro da Banca

Brasília-DF, 10 de fevereiro de 2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, PIETRO MATHEUS PEREIRA

AVALIAÇÃO DO MANEJO DE FILTROS ECOLÓGICOS NUMA JAZIDA TRATADA COM LODO DE ESGOTO NO DISTRITO FEDERAL.

53 p., 210 x 297mm (EFL/FT/UnB, Engenheiro(a), Engenharia Florestal, 2023).

Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

- |                          |                     |
|--------------------------|---------------------|
| 1. Áreas degradadas      | 2. Cerrado          |
| 3. Restauração ecológica | 4. Semeadura direta |
| I. EFL/FT/UnB            | II. Título (série)  |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, PM. P. (2023). **AVALIAÇÃO DO MANEJO DE FILTROS ECOLÓGICOS NUMA JAZIDA TRATADA COM LODO DE ESGOTO NO DISTRITO FEDERAL.** Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 53 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR(A): Pietro Matheus Pereira Santos

TÍTULO: *AVALIAÇÃO DO MANEJO DE FILTROS ECOLÓGICOS NUMA JAZIDA TRATADA COM LODO DE ESGOTO NO DISTRITO FEDERAL.*

GRAU: Engenheiro(a) Florestal

ANO: 2023

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. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Pietro Matheus Pereira Santos

Pietroengflorestal@gmail.com

## **AGRADECIMENTOS**

Meus maiores agradecimentos vão primeiramente aos meus pais, por sempre me incentivarem a seguir meu próprio caminho e me proporcionar dentro de suas capacidades, todas as ferramentas possíveis para meu sucesso.

À minha companheira, Bruna Ferreira Lopes, que esteve comigo durante essa jornada que é a graduação, sempre me apoiando e incentivando a continuar em frente, bem como me acompanhando em diversas atividades de lazer e profissionais relacionadas ao meio ambiente.

Aos meus orientadores e coorientadores, Alexander Balduino, José Roberto Rodrigues e Rodrigo Studart Corrêa, por toda a vontade, paciência e disponibilidade para me orientarem no caminho da ecologia e da recuperação de áreas degradadas.

A todos os professores e pesquisadores que contribuíram de alguma forma com a identificação das espécies.

Ao Sr. Jorge Roberto Silveira, por disponibilizar espaço em sua fazenda para a realização deste estudo e de todos os outros realizados em sua propriedade, bem como o empenho de seus funcionários na manutenção das áreas experimentais.

A todos os colegas professores com quem tive o prazer de trocar conhecimentos e experiências ao longo da graduação.

*“O Homem é parte da natureza e a sua guerra contra a natureza é, inevitavelmente,  
uma guerra contra si mesmo”.* (Rachel Carson)

## RESUMO

Santos, Pietro Matheus Pereira (SANTOS, PM. P.) **AVALIAÇÃO DO MANEJO DE FILTROS ECOLÓGICOS NUMA JAZIDA TRATADA COM LODO DE ESGOTO NO DISTRITO FEDERAL**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

A exploração predatória da natureza realizada pelo homem tem causado danos irreversíveis aos diversos ecossistemas, fazendo com que esforços sejam empreendidos à conservação e tentativa de recuperação de parte da biodiversidade perdida. Um dos biomas que mais vem sofrendo com essa degradação é o Cerrado, uma das principais savanas do planeta devido a sua ampla extensão territorial, grande heterogeneidade ambiental, alta diversidade biológica e elevado grau de endemismo das suas espécies. O Distrito Federal está localizado na parte central do Cerrado e tem como um dos maiores agentes de sua degradação a mineração para a exploração de materiais utilizados na construção civil. Este tipo de exploração mineral causa danos à vegetação e ao solo, comprometendo a capacidade de regeneração dos ecossistemas. Uma das possibilidades de se favorecer o reestabelecer da vegetação nesses ambientes degradados é a utilização de lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica. O lodo de esgoto é um resíduo abundante e com problemas de destinação. O uso deste tipo de resíduo tem se mostrado eficaz na recuperação de áreas degradadas pela mineração. Porém, pouco ainda se sabe sobre o comportamento dos filtros ecológicos que impedem e/ou direcionam a sucessão ecológica nas áreas em processo de restauração que utilizam o lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica. Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar o desenvolvimento da sucessão ecológica numa jazida minerada que recebeu a aplicação de lodo de esgoto, a partir da manipulação dos filtros ecológicos: a) descompactação do solo, através da escarificação mecânica do substrato; b) dispersão de sementes, com a aplicação de semeadura direta de espécies nativas e c) controle da competição com espécies exóticas, com uso de herbicida. Para tal, avaliou-se a cobertura vegetal nas parcelas experimentais após aproximadamente três anos da manipulação dos filtros ecológicos. Os principais resultados encontrados mostraram que a manipulação dos filtros ecológicos desencadeou um processo de sucessão ecológica que continua a se desenvolver gradualmente, promovendo ganhos de riqueza e diversidade de espécies, bem como aumento na complexidade vegetacional, e que mais medidas como escarificação do solo, aplicação de herbicida, retirada manual de espécies invasoras e semeadura direta de espécies nativas devem ser tomadas.

**Palavras-chave:** Áreas degradadas; Cerrado; Restauração ecológica; Semeadura direta.

## ABSTRACT

Santos, Pietro Matheus Pereira (SANTOS, PM. P.) **EVALUATION OF THE MANAGEMENT OF ECOLOGICAL FILTERS IN A MINED AREA TREATED WITH SEWAGE SLUDGE IN THE FEDERAL DISTRICT.** Monograph (Forest Engineering Degree) – University of Brasília, Brasília, DF.

The predatory exploitation of nature carried out by man has caused irreversible damage to the various ecosystems, causing efforts to be undertaken to conserve and attempt to recover part of the lost biodiversity. One of the biomes that has been suffering the most from this degradation is the Cerrado, one of the main savannas on the planet due to its wide territorial extension, great environmental heterogeneity, high biological diversity and high degree of endemism of its species. The Federal District is located in the central part of the Cerrado and one of the biggest agents of its degradation is mining for the exploitation of materials used in civil construction. This type of mineral exploration causes damage to vegetation and soil, compromising the ability of ecosystems to regenerate. One of the possibilities to favor the reestablishment of vegetation in these degraded environments is the use of sewage sludge as a source of organic matter. Sewage sludge is an abundant residue with disposal problems. The use of this type of waste has been shown to be effective in recovering areas degraded by mining. However, little is known about the behavior of ecological filters that prevent and/or direct ecological succession in areas undergoing restoration that use sewage sludge as a source of organic matter. Given the above, the present study aimed to evaluate the development of ecological succession in a mined deposit that received the application of sewage sludge, from the manipulation of ecological filters: a) soil decompression, through mechanical scarification of the substrate; b) seed dispersal, with the application of direct sowing of native species and c) control of competition with exotic species, with the use of herbicides. For this purpose, the vegetation cover in the experimental plots was evaluated after approximately three years of manipulation of the ecological filters. The main results found showed that the manipulation of ecological filters triggered an ecological succession process that continues to develop gradually, promoting gains in species richness and diversity, as well as an increase in vegetational complexity, and that more measures such as soil scarification, application of herbicide, manual removal of invasive species and direct seeding of native species must be taken.

**Keywords:** Degraded areas; Ecological Restoration; Cerrado; Direct seeding.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização da jazida no Distrito Federal e da área experimental de avaliação do manejo de filtros ecológicos na área degradada em processo de recuperação, tratada com lodo de esgoto.....22
- Figura 2.** Esquema do delineamento experimental de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto. B = blocos e T = tratamentos. Ver definição dos tratamentos no item Histórico da área. Um dos tratamentos T2 do BL1 foi excluído das análises, pois a biomassa morta resultante da aplicação do glifosato foi retirada.....23
- Figura 3.** Linha do tempo com o histórico cronológico do experimento de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal.....24
- Figura 4.** Médias dos parâmetros ecológicos avaliados nas parcelas do T1, T2, T3 e T4 do experimento de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal.....31
- Figura 5.** Diagrama de ordenação dos *scores* e *loadings* sobrepostos para a análise de componentes principais do efeito do uso de herbicida e escarificação do solo, isolados e em conjunto, de acordo com os tratamentos (T1, T2, T3, T4) no experimento de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal. T1 = Controle; T2 = Aplicação de herbicida; T3 = Escarificação mecânica do substrato; T4 = Aplicação de herbicida e escarificação mecânica do substrato; H' = diversidade de *Shannon*; H'N = diversidade de *Shannon* de espécies nativas; IVCN = índice de valor de cobertura de espécies nativas; IVCB = índice de valor de cobertura de *Urochloa spp.*; IVCE = índice de valor de cobertura de espécies exóticas; CB = cobertura relativa de *Urochloa spp.*; CN = cobertura relativa de espécies nativas;.....32
- Figura 6.** Médias dos parâmetros ecológicos avaliados nas parcelas do T1, T2, T3 e T4 do experimento de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal.....39
- Figura 7.** Diagrama de ordenação dos *scores* e *loadings* sobrepostos para a análise de componentes principais do efeito do uso de herbicida e escarificação do solo, isolados e em conjunto, de acordo com os quatro tratamentos propostos (T1, T2, T3, T4) no experimento de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo

de esgoto no Distrito Federal. T1 = Controle; T2 = Aplicação de herbicida; T3 = Escarificação mecânica do substrato; T4 = Aplicação de herbicida e escarificação mecânica do substrato; H' = diversidade de *Shannon*; H'N = diversidade de *Shannon* de espécies nativas; IVCN = índice de valor de cobertura de espécies nativas; IVCB = índice de valor de cobertura de *Urochloa spp.*; IVCE = índice de valor de cobertura de espécies exóticas; CB = cobertura relativa de *Urochloa spp.*; CN = cobertura relativa de espécies nativas.....41

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características da vegetação, após aproximadamente 2 anos da semeadura direta, na área experimental de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal. As áreas estão separadas por tratamento (T).....	26
<b>Tabela 2.</b> Resultados da ANOVA associada ao Modelo Linear Generalizado (MLG) para os dados de $H'$ = diversidade de <i>Shannon</i> ; $H'N$ = diversidade de <i>Shannon</i> de espécies nativas; $S$ = riqueza geral; $SN$ = riqueza de espécies nativas; $IVCN$ = índice de valor de cobertura de espécies nativas; $IVCB$ = índice de valor de cobertura de <i>Urochloa spp.</i> ; obtidos na área experimental de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal. ....	30
<b>Tabela 3.</b> Características da vegetação, após 3 anos da semeadura direta , na área experimental de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal. As áreas estão separadas por tratamento (T).....	33
<b>Tabela 4.</b> Resultados da ANOVA associada ao Modelo Linear Generalizado (MLG) para os dados de $H'$ = diversidade de <i>Shannon</i> ; $H'N$ = diversidade de <i>Shannon</i> de espécies nativas; $S$ = riqueza geral; $SN$ = riqueza de espécies nativas; $IVCN$ = índice de valor de cobertura de espécies nativas; $IVCB$ = índice de valor de cobertura de <i>Urochloa spp.</i> ; obtidos na área experimental de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal.....	39

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1.	Objetivo geral .....	15
1.2.	Objetivos específicos.....	15
1.3.	Hipótese .....	15
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1.	Mineração e degradação do Cerrado no Distrito Federal.....	15
2.2.	Recuperação de áreas degradadas .....	16
2.3.	Composição, produção e utilização do lodo de esgoto .....	18
2.4.	Manipulação de filtros ecológicos .....	19
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
3.1.	Área de estudo .....	21
3.2.	Experimento.....	22
3.3.	Coleta dos dados e avaliação ecológica da flora .....	24
3.4.	Análises dos dados .....	25
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
4.1.	Cobertura vegetal da área após dois anos da semeadura durante a época seca.....	26
4.2.	Cobertura vegetal da área após três anos da semeadura durante a época chuvosa.....	32
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado comporta uma das principais savanas do planeta, possuindo a flora mais rica em comparação às demais (Walter, 2006). Este bioma se apresenta com um complexo sistema vegetacional que apresenta alto grau de endemismo (Ribeiro & Walter, 1998; (Klink & Machado, 2005). Ele é considerado a principal fronteira agrícola do país, onde, atualmente mais da metade de sua área de ocupação original, cerca de 2 milhões de Km<sup>2</sup> já foram convertidos para outros usos (Klink & Machado, 2005). O principal tipo substituição da vegetação nativa do Cerrado é a abertura de novas áreas para atividades do agronegócio, visando a implantação de pastagens e de monoculturas, além da ampliação das zonas urbanas, construção de estradas, hidrelétricas e mineração, resultando na perda de significativas da cobertura original do solo (Walter, 2006; Klink & Machado 2005).

O ecossistema savânico do Cerrado possui alta resiliência, sendo a vegetação capaz de se reestabelecer através da chuva de sementes, banco de sementes e pela rebrota de estruturas subterrâneas como raízes, xilopódios e tubérculos (Cava et al., 2017). De acordo com (Salazar et al. 2012) as espécies de Cerrado possuem forte limitação para se estabelecerem por sementes, por conta da limitação na chuva de sementes e na grande quantidade de sementes predadas ou removidas do solo. A principal estratégia de regeneração dessas espécies em áreas que sofreram distúrbios é a rebrota através de estruturas vegetativas pré-existentes (Salazar & Goldstein 2014). Em especial, as espécies lenhosas do Cerrado possuem alta capacidade de rebrota através dessas estruturas (Durigan 2003). Adicionalmente, a resiliência do Cerrado é comprometida pela grande quantidade de gramíneas invasoras que ocupam a área e impedem a colonização por plantas nativas, sendo necessário o seu controle para acelerar o processo de sucessão ecológica (Flory & Clay, 2010; Martins et al., 2011; Pilon et al., 2018). Sendo que a invasão de gramíneas exóticas ocorre principalmente em áreas degradadas pelas ações antrópicas por conta da sua alta performance em ambientes que sofreram algum tipo de distúrbio (Bustamante et al., 2012).

A mineração é uma das formas mais severas de degradação e alteração antropogênica de habitats embora seja restrita a locais específicos, transformando profundamente a paisagem (Wijesekara et al., 2016). Nas áreas mineradas o solo passa a ser um substrato exposto à superfície em condições críticas para o crescimento de plantas (Corrêa & Bento, 2005). Dessa forma, nessas áreas onde o solo natural sofreu algum tipo de alteração, seja parcial ou a remoção completa, o potencial de recomposição natural da vegetação é extremamente limitado (Corrêa

& Melo Filho, 2004A). Nesses casos, se faz necessária a incorporação de matéria orgânica ao substrato que restou para induzir o recrutamento de plantas desses locais e tentar formar novamente o solo (Corrêa & Bento, 2010).

O uso de resíduos orgânicos para o estabelecimento da cobertura vegetal sobre superfícies expostas pela mineração tem-se mostrado eficaz em diferentes ecossistemas (Corrêa et al., 2010). A matéria orgânica melhora as características físicas do material exposto, eleva a sua fertilidade e serve de meio para o estabelecimento e manutenção de microrganismos e fauna de solo (Netto, et. al., 2009). Por esses motivos, o lodo de esgoto produzido no Distrito Federal tem sido utilizado desde 1994 como fonte de matéria orgânica em trabalhos de revegetação de jazidas exploradas (Corrêa & Bento, 2010). Adicionalmente, a reabilitação de substratos minerados pode contar com outros tipos de ações além da incorporação de matéria orgânica, como a escarificação, subsolagem, gradagem e aplicação de insumos químicos, como técnicas que favorecerão o reestabelecimento da vegetação nas áreas mineradas (Corrêa, 2009).

Para o desenvolvimento e seleção de técnicas mais eficientes para a reabilitação de ambientes degradados pela mineração é necessário entender os processos ecológicos que ocorrem nessas áreas, bem como quais são os fatores que mais impactam negativamente a reabilitação, e como atenuá-los ou superá-los (Martins, et al. 2012; Rodrigues, 2013). Entretanto, pouco se sabe sobre a influência de filtros ecológicos no recrutamento de plantas em áreas mineradas, bem como a maneira que a manipulação desses filtros pode impactar positiva ou negativamente na restauração de ecossistemas degradados.

Filtros ambientais ou ecológicos são definidos como processos abióticos, bióticos e de dispersão que restringem o estabelecimento ou a persistência de espécies em determinado local (Hulvey & Aigner, 2014). Os principais tipos de filtros ecológicos que atuam em áreas degradadas são: Dispersão, que é muito pequena em áreas degradadas; Filtros abióticos, que são as condições do local de receber espécies (Solo, pH, temperatura, disponibilidade de água e nutrientes, luz); Filtros bióticos, que são as interações entre as espécies que influenciam na colonização e estabelecimento das espécies (Hulvey & Aigner, 2014). A incorporação de lodo de esgoto soluciona uma parte do problema com o filtro abiótico, uma vez que serve de meio para estabelecimento de comunidades vegetais e outros microorganismos (Corrêa & Bento, 2010; Netto, et. al., 2009). Porém, a princípio, o uso de lodo de esgoto não soluciona a falta de dispersão e ainda traz consigo sementes de diversas espécies invasoras que competem com as nativas pela colonização da área e tendem a ser favorecidas pelo belo balanço inadequado de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio (Prober & Wiehl, 2012; Siddique et al., 2010). Dessa

forma, são necessários estudos a respeito dos filtros ecológicos e de sua manipulação para que novas técnicas de reabilitação de áreas degradadas pela mineração possam ser descobertas.

### **1.1. Objetivo geral**

Avaliar o desenvolvimento da sucessão ecológica em jazida minerada que recebeu a aplicação de lodo de esgoto, a partir da manipulação de filtros ecológicos, após três anos dessas intervenções.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Avaliar se o controle químico de *Urochloa spp.*, a escarificação do substrato revegetado e a semeadura direta de espécies nativas são ações eficazes para a manipulação dos filtros ecológicos;
- Avaliar qual ação causou mais efeito e se a combinação de mais de uma ação aumenta a eficácia no recrutamento de plantas;

### **1.3. Hipótese**

Tentativas para restaurar a composição, estrutura e função de comunidades vegetais, devem envolver o manejo dos filtros ecológicos competição, compactação do solo e dispersão. Portanto, espera-se que o controle químico de *Urochloa spp.*, a escarificação do substrato revegetado e a semeadura direta de espécies nativas sejam eficazes para a manipulação desses filtros e facilitem o recrutamento de plantas na área estudada.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Mineração e degradação do Cerrado no Distrito Federal**

A exploração de materiais para a construção civil (areia, brita, argila, cascalho e outros) e para a construção de rodovias durante a urbanização do Distrito Federal, expôs à superfície

através da remoção de diversas camadas de solo, um material de composição variada chamado comumente de substrato, gerando uma degradação de 0.6% de sua área total (Corrêa & Bento, 2005; Corrêa et al., 2004).

Diversas áreas exploradas continuam sem receber nenhum tipo de atividade de recuperação, pois se torna muito dispendioso tentar recuperar locais com dificuldades de regeneração natural e que necessitam de auxílio para que esse processo possa ser acelerado (Bento, 2009). Dessa forma, é imprescindível localizar as áreas prioritárias para recuperação e destinar recursos como o lodo de esgoto, para que a área possa recuperar parte de sua resiliência, que é fator decisivo para a recuperação.

## **2.2. Recuperação de áreas degradadas**

Os conceitos de área degradada são amplos, mas de modo geral estão relacionados com alterações ocorridas no ecossistema natural (Corrêa, 1998), seja apenas por ações antrópicas como defendem alguns autores (Brown; Lugo 1994) ou também por motivos naturais como afirmam outros (Carpanezzi, 2005).

De forma geral, o conceito mais utilizado é o da capacidade de resiliência de um ambiente. Se o ambiente não possui resiliência, ou seja, não é capaz de se recuperar sozinho de uma alteração por meio de sucessão natural e necessita de intervenção humana, ele está degradado. Mas um ambiente que mantém sua capacidade de resiliência apenas sofre perturbações e é capaz de se recuperar, porém a ação humana pode acelerar esse processo (Corrêa, 1998; Carpanezzi, 2005).

Além da definição do que é uma área degradada, que gera diversas discussões entre os profissionais que atuam na área, também é importante definir o que é a recuperação e qual sua diferença para restauração, já que ambos são termos utilizados e diferem entre si, apesar de serem utilizados como sinônimos.

A restauração é entendida como uma tentativa de retornar um ambiente degradado ao seu estado original, o que é particularmente muito difícil. Dessa forma, sempre houve insatisfação com essa definição (Rodrigues, 2013) e alguns menos radicais dizem que a restauração seria o retorno de um ecossistema degradado para as condições mais próximas possíveis de seu estado original (National Research Council, 1992; Snuc, 2000; Martins et al., 2012).



No Brasil utiliza-se comumente o termo recuperação, que de forma genérica é definido como qualquer ação que vise o retorno do ambiente degradado a uma forma de utilização do solo, fornecendo algum uso para a área (SNUC, 2000). Como esse termo é muito abrangente, é comum subdividi-lo em três categorias: Redefinição, Reabilitação e Restauração (Majer, 1989). Redefinição seria dar algum uso para o ecossistema degradado, sem a necessidade de vínculo ou afinidade biológica com o ambiente original. Reabilitação seria o retorno do ecossistema degradado a algum estado biológico no qual os processos ecológicos são reestabelecidos. E por fim, restauração seria a restituição de um ecossistema degradado para o mais próximo possível de sua condição original.

Dessa forma, para a recuperação de áreas degradadas, diversas intervenções humanas podem ser feitas para a aceleração do processo de recuperação (Corrêa & Melo, 1998). Dentre as diversas técnicas passíveis de serem utilizadas, podemos citar o plantio de mudas, semeadura direta e controle de gramíneas invasoras com herbicida, sendo utilizadas de maneira isolada ou conjunta. Nesse ponto, é essencial escolher espécies capazes de ocupar o espaço e competir com as invasoras, especialmente herbáceas, já que as savanas tropicais são caracterizadas por esse tipo de vegetação, que geralmente é negligenciada e são plantadas somente árvores, e esse é um dos maiores problemas a serem superados na recuperação (Pilon & Durigan, 2018).

As espécies mais indicadas para o plantio em áreas degradadas são as pioneiras, que são capazes de se estabelecer em ambientes com condições menos favoráveis, se desenvolvem rápido e recobrem o solo em menor tempo (Felfili et al., 2002), além de outras espécies que sejam capazes de criar um ambiente com condições para o desenvolvimento de outras espécies não pioneiras (Felfili, 2000) como é o caso da Lobeira (*Solanum lycocarpum* A.St.-Hil.). De maneira geral, as espécies e o modelo de revegetação devem ser escolhidos visando restituir a função ecológica da área, pois essa preocupação aliada a utilização de modelos autossucessionais tem alcançado maior eficiência econômica, técnica e ambiental (Corrêa 2009).

Porém, para que haja comunidades vegetais e competição, deve primeiramente haver solo, ou no caso das jazidas, substrato. Nesse caso, a incorporação de matéria orgânica é imprescindível para o estabelecimento de plantas nesses locais (Corrêa & Bento, 2010; Silva et al., 2013; Leite et al., 1994). Para tal, o lodo de esgoto vem aparecendo como uma fonte alternativa de matéria orgânica com muito potencial (Corrêa et al., 2000), servindo como um excelente condicionador orgânico, aumentando a capacidade de troca catiônica (CTC) e disponibilizando nutrientes nos substratos minerados (Balduino, 2019). Outro fator que

influencia nas pesquisas para utilização do lodo de esgoto como condicionador de solos, é o fato de que o composto possui alta produção, gerando uma preocupação mundial de como esse composto deve ser armazenado e utilizado corretamente (Corrêa, 2009) e seu baixo custo de obtenção.

### **2.3. Composição, produção e utilização do lodo de esgoto**

O lodo de esgoto é resíduo sólido produzido a partir da separação das fases sólida e líquida do esgoto sanitário, que é composto de 99,9% líquidos (água) e 0,01% sólidos, sendo 70% dos sólidos proteínas, carboidratos e lipídeos e 30% areia, sais e metais. Essa composição não é a regra, podendo ser variar em função do local de origem, época do ano e processo utilizado na estação de tratamento de esgoto (Bettiol & Camargo, 2006). A outra parte produzida chamada de efluente, pode ser liberado em corpos receptores após receber tratamento adequado (Costa et al., 2012), mas também tem uso histórico na irrigação que datam desde 1560 na Prússia (Bettiol & Camargo, 2006).

Em sua composição, geralmente o lodo de esgoto típico possui 40 a 70% de matéria orgânica (MO), 3,2% de nitrogênio (N) (Wang et al., 2008) e por volta de 2,5 % de fósforo (P) e 0,4% de potássio (K), possuindo dessa forma alto valor nutricional (Torri et al., 2017). Outros elementos como arsênio (As), cádmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), mercúrio (Hg), níquel (Ni), molibdênio (Mo), chumbo (Pb), selênio (Se), zinco (Zn) e cobalto (Co), que incluem micronutrientes e elementos potencialmente tóxicos também podem ser encontrados (Bettiol & Camargo, 2006; Wang et al., 2008). Por fim, também podem ser encontrados patógenos como coliformes fecais, salmonela, vírus e helmintos, que com tratamento adequado são passíveis de redução (Bettiol & Camargo, 2006).

No Brasil, estima-se que a produção de lodo de esgoto seja de 150 Mg ano<sup>-1</sup>, ainda menos que a metade da produção da Austrália, que é o principal produtor e está estimada em  $415 \times 10^3$  Mg ano<sup>-1</sup> (Thangarajan et al., 2013), mesmo possuindo uma área total e uma população menor que a do Brasil, que por sua vez possui grande possibilidade de aumento na produção com a ampliação dos serviços de tratamento de esgoto no país (Andreoli & Pegorini, 2000; Pedroza et al., 2010), que ainda possui sérios problemas com a disponibilidade de saneamento básico para a população.

Atualmente a disposição final do lodo de esgoto e dos efluentes produzidos nas estações de tratamento de esgoto são uma grande preocupação mundial, e segundo Corrêa (2009), em

ambientes urbanos o manejo adequado desses resíduos é um dos problemas ambientais urbanos de difícil solução, uma vez que a produção é muito alta e há muitos malefícios e benefícios num só produto, que deveria ser destinado de forma econômica, higiênica, ambientalmente aceitável e não poluente. Porém no Brasil, o que ocorre é que o lodo de esgoto passa a ser mais um lixo urbano a ser depositado em aterros sanitários (Andreoli et al., 1998), gerando custos e diminuindo o tempo de vida útil dos aterros, enquanto poderia gerar benefícios econômicos e ambientais.

Portanto, ao invés de despejar o lodo de esgoto num aterro, incinerar ou despejar no oceano, o que acarretaria em diversos danos ambientais (Tsutya, 2002), uma alternativa seria utilizar esse composto para a execução de PRAD's. A alta disponibilidade e as fortes restrições sanitárias para utilização desse composto em outras atividades como a agricultura, bem como seu baixíssimo custo de utilização, fazem dele uma ótima fonte de matéria orgânica para a reabilitação de áreas degradadas, resolvendo o problema da disposição e fornecendo nutrientes e matéria orgânica ao substrato (Corrêa, 2009).

A adição de lodo de esgoto em solos melhora o crescimento de plantas devido à sua grande concentração de nitrogênio e fósforo (Pascual et al., 1997), acarretando em um rápido crescimento de plantas em estágios iniciais de desenvolvimento, aumentando assim sua chance de sobrevivência (Cox & Whelan, 2000), melhorando o desenvolvimento radicular das plantas (Barbosa & Tavares Filho, 2006), ajudando a reduzir a acidez do solo (Melo, 2006) e consequentemente aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Barbosa & Tavares Filho, 2006). Adicionalmente, o lodo de esgoto apresenta grande aumento na capacidade de água disponível em substratos onde é utilizado como adubo (Corrêa, 2009). Dessa forma, o lodo tem proporcionado uma recuperação eficiente de jazidas mineradas, enriquecendo o ambiente edáfico e auxiliando na revegetação dessas áreas (Brown et al., 2005; 2007; 2009; Corrêa et al., 2008; 2010; 2017).

#### **2.4. Manipulação de filtros ecológicos**

Em jazidas mineradas, podemos citar como filtros ecológicos que dificultam o estabelecimento e desenvolvimento de espécies nativas: Limitação na dispersão, compactação de substrato e competição com espécies exóticas invasoras (Halassy et al., 2016; Hulvey & Aigner, 2014). É de suma importância que esses filtros, sua manipulação e outras técnicas de restauração de ecossistemas naturais sejam estudadas e desenvolvidas, guiando os esforços para

atividades que de fato sejam ecologicamente apropriadas e efetivas, trazendo novas possibilidades para a recuperação de ecossistemas (Buisson et al., 2018).

Para que a recuperação de um ecossistema degradado possa começar a ocorrer, primeiramente as espécies devem superar a limitação da dispersão, que é a responsável pela ocorrência ou não de uma espécie em determinado local (Oster et al., 2009), depois filtros abióticos, como as condições locais de temperatura, pH, umidade e as condições locais de recursos como água, luz, nutrientes e um espaço físico para o estabelecimento da fauna e flora, sendo esses os primeiros fatores limitantes para o estabelecimento e persistência das espécies no local (Hulvey & Aigner, 2014; Kraft et al., 2015). Por fim, caso a dispersão e os filtros abióticos sejam superados e as espécies consigam se estabelecer, interações como competição, facilitação, tolerância e predação serão responsáveis por filtrar as espécies remanescentes (Hobbs & Norton, 2004).

Em jazidas mineradas, onde o solo foi superficialmente removido ou severamente alterado, apesar da reprodução vegetativa ser bastante eficiente para a resiliência do ecossistema (Medeiros & Miranda, 2008) ela não é suficiente para a colonizar locais desocupados que estão distante das plantas mãe (Bond & Midgley, 2001) e em áreas mineradas, a ocorrência dessas “plantas mãe” pode ser pouca ou nenhuma. Dessa forma, essas áreas necessitam da chuva de sementes advinda de áreas naturais vizinhas (Le Stradic et al., 2018). Para suprir a deficiência da chuva de sementes, uma das alternativas de manipulação é a semeadura direta (Cava et al., 2016; Pellizzaro et al., 2017), que age rompendo o filtro da dispersão ao adicionar grande quantidade de sementes selecionadas ao solo, podendo desencadear a restauração da comunidade (Le Stradic et al., 2018) e sendo especialmente importante para a recuperação da camada rasteira da comunidade vegetal, uma vez que utiliza espécies nativas de ervas, subarbustos e arbustos, que são capazes de crescer rapidamente e ocupar o solo (Pellizzaro et al., 2017), o que é imprescindível para a competição com as gramíneas exóticas.

A fertilidade química e o grau de compactação dos solos ou substratos são fatores que interferem diretamente no estabelecimento de plântulas e na sucessão vegetal em áreas degradadas (Corrêa & Bento, 2010; Pilon et al., 2018). A concentração adequada de nutrientes permite o crescimento e desenvolvimento do ecossistema (Brady & Weil, 2013; Odum, 2004), porém o excesso de nutrientes como fósforo e nitrogênio favorece a invasão de espécies exóticas, especialmente gramíneas africanas (Bustamante et al., 2012). Para tal, utiliza-se o lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica e meio para o estabelecimento de plantas (Corrêa, 2009) e para aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Barbosa & Tavares Filho,

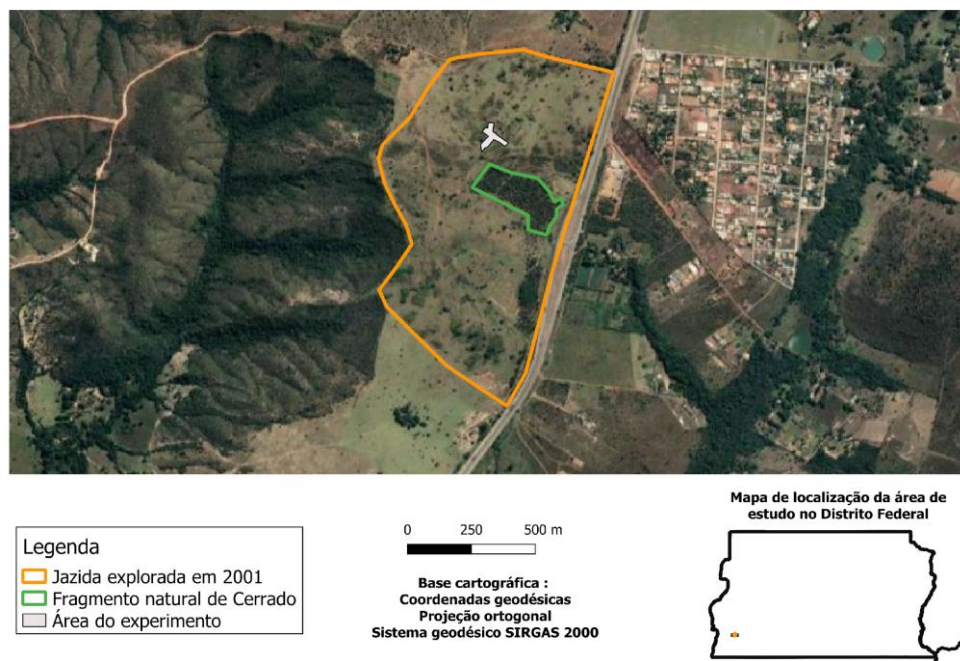
2006). A compactação de solos e substratos minerados impede ou dificulta o estabelecimento de plantas (Goedert & Corrêa, 2004) e segundo os mesmos autores, o solo deve constituir-se em um ambiente que facilite o desenvolvimento radicular. Dessa forma, a escarificação e a subsolagem da camada superficial (0 – 20 cm) de solos/substratos têm sido medidas eficazes para melhorar a infiltração de água e reduzir a resistência mecânica do solo à penetração das raízes das plantas (Corrêa & Bento, 2010; Leite et al., 1992; 1994).

Em relação a competição com espécies exóticas invasoras, as principais causadoras de exclusão de espécies nativas são as gramíneas (Le Stradic et al., 2018), com uma grande diversidade de espécies que possuem via metabólica C4, alta capacidade fotossintética e elevada produção de biomassa (Caramaschi et al., 2016; Lannes et al., 2016), além de produzir substâncias alelopáticas e altíssima quantidade de sementes viáveis que passam a constituir o banco de sementes do solo (Castillioni, 2015). Dessa forma, nas áreas em processo de restauração, o uso de herbicida é considerada uma prática eficiente para diminuir a dominância dessas espécies, permitindo e estimulando o estabelecimento de outras espécies vegetais na área (Buisson et al., 2018; Cava et al., 2016). Para tal, um dos herbicidas mais utilizados é o Glifosato (N-fosfometil glicina), um dos herbicidas mais estudados no mundo (Gomes et al., 2014) e que age como dessecante em uma ampla variedade de plantas, possuindo grande eficácia no controle de plantas daninhas (Rodrigues, 2016).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Área de estudo**

O estudo foi conduzido numa jazida de cascalho às margens da BR-060, que liga Brasília a Goiânia, localizada nas coordenadas 15°57'6,45" S e 48°10'40,42" O (Figura 1). A exploração para retirada de cascalho na jazida ocorreu entre 2000 e 2001, restando somente montes de solo original classificados como damas sob fragmentos de Cerrado sentido restrito e um fragmento de 4,24 hectares de Cerrado sentido restrito próximo ao local de exploração. Em 2002, cerca de 130 Mg ha<sup>-1</sup> base seca de lodo de esgoto proveniente de tratamento terciário e composto por 12% de sólidos foram mecanicamente incorporados à camada superficial do substrato exposto. Em 2005, Capim-braquiarião (*Urochloa brizantha*) foi semeado (7 kg por ha<sup>-1</sup>) no substrato tratado com lodo, que passou a ser utilizada como pasto para bovinos.



**Figura 1.** Localização da jazida no Distrito Federal e da área experimental de avaliação do manejo de filtros ecológicos na área degradada em processo de recuperação, tratada com lodo de esgoto. Obs : Imagem de 2023

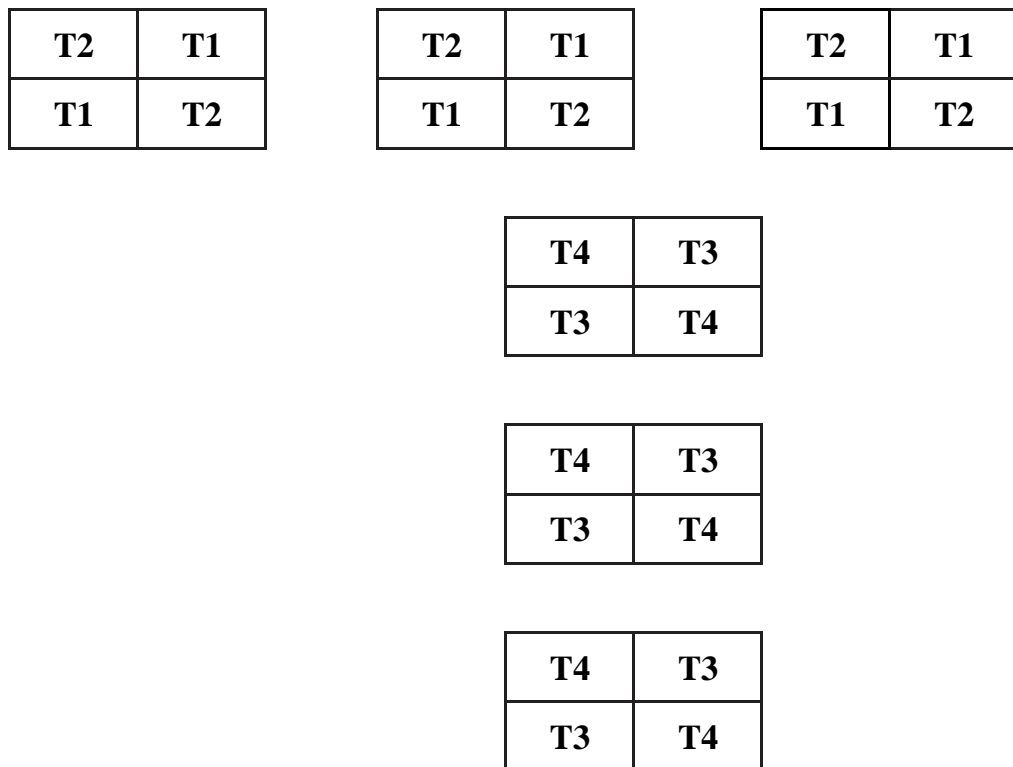
### 3.2. Experimento

O experimento consistiu em avaliar o recrutamento da flora após três da escarificação do substrato, semeadura direta e aplicação de herbicida para controle das gramíneas invasoras. A primeira análise foi realizada por Balduino (2019) através do Método de Interseção na Linha (Munhoz & Araujo, 2011). Dessa forma, o presente estudo é uma continuidade da avaliação inicial porém com mudanças no método empregado para a coleta e análise dos dados.

A área conta com 24 parcelas experimentais de 10 x 10 m (100 m<sup>2</sup>) distribuídas em seis blocos de (BL1 a BL6) 20 x 20 m (400 m<sup>2</sup>), em sítios 100% cobertos com *Urochloa brizantha*, instaladas em novembro de 2016 e utilizadas por Balduino (2019) para seu estudo de doutorado. Todos os blocos foram cercados com arames em estacas de madeira para evitar a entrada de animais domésticos.

Os blocos (BL1 a BL3), totalizando 12 parcelas, foram instalados sob a superfície compactada da jazida revegetada e os blocos (BL4 a B6), totalizando outras 12 parcelas, foram instalados sob uma faixa mecanicamente escarificada em novembro de 2016 (profundidade de 0 – 20cm) por um trator com grade de discos acoplada. Em seis parcelas com a superfície escarificada e em seis parcelas não escarificadas, aplicaram-se 1 litro/100 m<sup>2</sup> de Glifosato

diluído em 20 litros de água (concentração = 5%), 30 e 60 dias após a implantação das parcelas. Seis parcelas com a superfície escarificada e seis parcelas não escarificadas permaneceram isentas da aplicação de herbicida. Dessa forma, o delineamento experimental consistiu de seis parcelas utilizadas como controle (T1), seis parcelas que receberam herbicida (T2), seis parcelas em que a superfície foi escarificada (T3) e seis em que se combinou a superfície escarificada com a aplicação de herbicida (T4), conforme descrito por Balduino (2019) e detalhado na Figura (2).

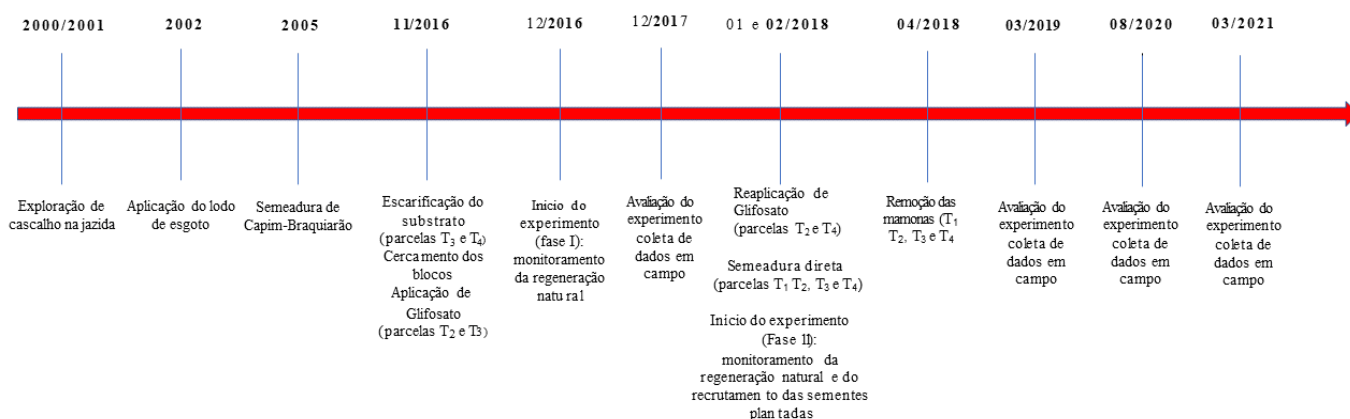


**Figura 2.** Esquema do delineamento experimental de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto. B = blocos e T = tratamentos. Ver definição dos tratamentos no item Histórico da área. Um dos tratamentos T2 do BL1 foi excluído das análises, pois a biomassa morta resultante da aplicação do glifosato foi retirada.

Após um ano da instalação do experimento, houve novamente a aplicação de herbicida (Glifosato a 5%) em T2 e T4 e cada parcela recebeu recebeu 400g de sementes de *Andropogon fastigiatus* (erva graminóide), 1.200g de *Anacardium occidentale* (árvore), 400g de *Enterolobium contortisiliquum* (árvore), 800g de *Magonia pubescens* (árvore), 400g de *Astronium urundeuva* (árvore) e 400g de *Vernonanthura polyanthes* (arbusto) através de semeadura direta. Segundo Balduino (2019), o critério para a seleção das espécies utilizadas na

semeadura e a densidade de semeadura foram baseados nos resultados experimentais obtidos nos trabalhos de Pellizzaro et al. (2017) e Alves (2016), que avaliaram a sobrevivência e o crescimento de 75 espécies de plantas semeadas em pastagens degradadas localizadas na região do Cerrado. Sessenta dias após a semeadura direta, foi realizado o corte (à altura de 0,30 m) e a retirada das espécies de Mamona (*Ricinus communis*) existentes na área. Por fim, em março de 2019 foram iniciadas as coletas de dados em campo por Balduino (2019) e posteriormente a coleta de dados do presente estudo em julho de 2020 (Figura 3).

### HISTÓRICO DO EXPERIMENTO DE FILTROS ECOLÓGICOS



**Figura 3.** Linha do tempo com o histórico cronológico do experimento de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal.

### 3.3. Coleta dos dados e avaliação ecológica da flora

Os dados para o presente estudo foram coletados entre julho a setembro de 2020 (período de seca) e entre março a abril de 2021 (fim da época chuvosa), para fins de comparação entre as duas épocas. Uma vez que na época da seca a tendência é que muitas herbáceas morram e cubram as outras plantas, bem como o espaço fique disponível para o recrutamento de plântulas de outras espécies, sendo mais fácil de visualizar todo o vigor e diversidade das espécies durante o período de maior disponibilidade de água.



Foi utilizada uma adaptação do método de pontos consolidado por Mantovani e Martins (1990). Este método utiliza um instrumento (ponto) alocado em algum local de interesse e analisa quais plantas o interceptam, podendo assim determinar a cobertura através do número de pontos que uma planta toca em relação ao número total de pontos (Mueller-Dombois; Ellenberg, 2002). Para tal, foi considerado como ponto uma vara graduada, capaz de interceptar partes de plantas (inclusive mortas) até 300 cm do solo e foram amostrados em cada parcela de cada bloco (4 parcelas por bloco) 49 pontos, para que toda a área da parcela fosse amostrada.

Durante a amostragem das plantas, as que não puderam ser identificadas em campo foram coletadas, herborizadas e identificadas no Herbário da Universidade de Brasília. Os nomes científicos foram atualizados a partir da Lista de espécies da Flora Vascular do Bioma Cerrado (Reflora, 2019) e as espécies foram classificadas segundo origem (nativa ou exótica do Cerrado) e hábito (erva, arbusto, subarbusto, arbusto, árvore ou trepadeira) (Mendonça et al., 2008). Para avaliação da composição atual de espécies em resposta aos tratamentos experimentais foram estimados, em cada parcela, a riqueza de espécies (S), riqueza de espécies nativas (SN), diversidade de Shannon (H'), diversidade de Shannon de nativas (H'N), cobertura relativa de *Urochloa spp.*, (CB), cobertura relativa de nativas (CN), índice de valor de cobertura de espécies nativas (IVCN) e índice de valor de cobertura de *Urochloa spp.*, (Brachiaria) (IVCB). Os dados foram processados e as estimativas obtidas através da utilização do programa Microsoft Excel 2019.

### 3.4. Análises dos dados

Os dados das espécies foram tabulados e utilizados nos cálculos da caracterização da vegetação. Para a verificação dos efeitos da aplicação de herbicida (T2), escarificação da superfície (T3) e da interação entre aplicação de herbicida e escarificação (T4) sobre o recrutamento de plantas no substrato revegetado com lodo de esgoto, foi utilizado o Modelo Linear Generalizado (McCullagh, 2019) associado à Análise de Variância – ANOVA (Lars et al., 1989) Análise de Componentes Principais – APC (Abdi & Williams, 2010). Foram calculados intervalos de confiança simultâneos e realizadas comparações pareadas pelo teste de Tukey ( $\alpha = 95\%$ ) (Abdi & Williams, 2010) para as médias dos fatores combinados (testemunha + tratamentos). A normalidade dos dados foi testada pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov (Razali, 2011). As análises estatísticas foram realizadas no software Minitab 21 (Yigit & Mendes, 2018). Para a ACP foram selecionadas as variáveis de interesse e

a obtenção dos componentes principais foi realizada utilizando-se o software Origin 10.1 gerando um gráfico com as variáveis (H', H'N, IVCN, IVCB, IVCE, CB e CN) e os indivíduos (T1 a T4).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Cobertura vegetal da área após dois anos da semeadura durante a época seca

Decorridos aproximadamente dois anos desde a aplicação da semeadura direta, a área do experimento (0,24 ha) foi colonizada por 36 espécies vegetais distribuídas em 16 famílias botânicas (Tabela 1). Do total de espécies amostradas na área, 58,33% são descritas como ruderais, invasoras e exóticas ao Cerrado, enquanto 41,7% são nativas. Os espécimes arbóreos representam 19,44% do total enquanto 80,56% são ervas, arbustos ou sub-arbustos. Em todos os tratamentos (T1, T2, T3, T4) houve a predominância de *Urochloa spp.*, e plantas mortas na cobertura, porém essa dominância apresentou menor valor no T4 (12,2% e 63,64% respectivamente), adicionalmente, o maior valor de cobertura de *Urochloa spp.*, foi registrado no T1 (controle) (Tabela 1). Apesar das espécies nativas representarem 41,7% das espécies amostradas, seus valores de cobertura não se mostraram tão altos, sendo 0,81% para o T1, 13,52% para o T2, 8,02% para o T3 e 19,29% para o T4, bem distribuídos entre as diversas espécies amostradas, não havendo grande predominância de alguma em específico. Outras espécies também apresentaram expressivos valores de cobertura como *Momordica charantia* L. (T2, T4), *Sidastrum micranthum* (A. St.-Hil.) Fryxell (T2, T4), *Baccharis dracunculifolia* DC. (T2, T3, T4), *Vernonanthura polyanthes* (Spreng.) A.J. Vega & M. Dematt. (T3), *Sida glaziovii* K. Schum. (T4) e *Chromolaena maximiliani* (DC. ex Schrad.) R.M. King & H. Rob (T4), todas nativas, exceto a primeira (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características da vegetação, após aproximadamente 2 anos da semeadura direta, na área experimental de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal. As áreas estão separadas por tratamento (T).

T1 (controle)						
Espécie	Família	Origem	Hábito	Nº de pontos	FAi (%)	CRi (%)
Mortas	-	-	-	292	99,32	59,35

<i>Urochloa</i> spp	Poaceae	exótica	erva	191	64,97	38,82
<i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv.	Poaceae	exótica	erva	3	1,02	0,61
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	nativa	árvore	2	0,68	0,41
<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Spreng.) A.J. Vega & M. Dematt.	Asteraceae	nativa	arbusto	2	0,68	0,41
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth	Poaceae	exótica	erva	1	0,34	0,20
<i>Momordica charantia</i> L.	Cucurbitaceae	exótica	erva trepadeira	1	0,34	0,20
<b>Totais</b>				<b>294</b>	<b>167,35</b>	<b>100,00</b>

### T2 (aplicação de glifosato)

Espécie	Família	Origem	Hábito	Nº de pontos	FAi (%)	CRi (%)
Mortas	-	-	-	243	99,18	49,80
<i>Urochloa</i> spp	Poaceae	exótica	erva	112	45,71	22,95
<i>Momordica charantia</i> L.	Cucurbitaceae	exótica	erva trepadeira	23	9,39	4,71
<i>Sidastrum micranthum</i> (A. St.-Hil.) Fryxell	Malvaceae	nativa	sub-arbusto	16	6,53	3,28
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	Asteraceae	nativa	arbusto	12	4,90	2,46
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth	Poaceae	exótica	erva	10	4,08	2,05
<i>Solanum paniculatum</i> L.	Solanaceae	exótica	arbusto	8	3,27	1,64
<i>Vernonanthura ferruginea</i> (Less.) H. Rob.	Asteraceae	nativa	arbusto	8	3,27	1,64
<i>Muntingia calabura</i> L.	Muntingiaceae	exótica	árvore	7	2,86	1,43
<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Spreng.) A.J. Vega & M. Dematt.	Asteraceae	nativa	arbusto	7	2,86	1,43
<i>Alternanthera tenella</i> Colla	Amaranthaceae	exótica	erva	6	2,45	1,23
<i>Verbena litoralis</i> Kunth	Verbenaceae	exótica	erva	6	2,45	1,23
<i>Chromolaena maximiliani</i> (DC. ex Schrad.) R.M. King & H. Rob	Asteraceae	nativa	arbusto	5	2,04	1,02
<i>Sida glaziovii</i> K. Schum.	Malvaceae	nativa	erva	5	2,04	1,02
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Asteraceae	exótica	erva	2	0,82	0,41
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	nativa	árvore	2	0,82	0,41
<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	Sapindaceae	nativa	árvore	2	0,82	0,41
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Anacardiaceae	nativa	árvore	2	0,82	0,41
<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae	exótica	erva	2	0,82	0,41
<i>Solanum viarum</i> Dunal	Solanaceae	nativa	arbusto	2	0,82	0,41

<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Fabaceae	nativa	árvore	1	0,41	0,20
<i>Lepidaploa aurea</i> (Mart. ex DC.) H. Rob.	Asteraceae	nativa	arbusto	1	0,41	0,20
<i>Mesosphaerum suaveolens</i> (L.) Kuntze	Lamiaceae	exótica	sub-arbusto	1	0,41	0,20
<i>Mimosa pudica</i> L.	Fabaceae	nativa	sub-arbusto	1	0,41	0,20
<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	exótica	sub-arbusto	1	0,41	0,20
<i>Sida acuta</i> Burm. f.	Malvaceae	nativa	erva	1	0,41	0,20
<i>Stachytarpheta elatior</i> Schrad. ex Schult.	Verbenaceae	nativa	sub-arbusto	1	0,41	0,20
<i>Tridax procumbens</i> L.	Asteraceae	exótica	erva	1	0,41	0,20
<b>Totais</b>				<b>245</b>	<b>199,18</b>	<b>100,00</b>

### T3 (Escarificação mecânica do substrato)

Espécie	Família	Origem	Hábito	Nº de pontos	FAi (%)	CRi (%)
Mortas	-	-	-	292	99,32	68,87
<i>Urochloa</i> spp	Poaceae	exótica	erva	97	32,99	22,88
<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Spreng.) A.J. Vega & M. Dematt.	Asteraceae	nativa	arbusto	12	4,08	2,83
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	Asteraceae	nativa	arbusto	8	2,72	1,89
<i>Chromolaena maximiliani</i> (DC. ex Schrad.) R.M. King & H. Rob	Asteraceae	nativa	arbusto	7	2,38	1,65
<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	Solanaceae	nativa	árvore	4	1,36	0,94
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	nativa	árvore	1	0,34	0,24
<i>Sida glaziovii</i> K. Schum.	Malvaceae	nativa	erva	1	0,34	0,24
<i>Solanum paniculatum</i> L.	Solanaceae	exótica	arbusto	1	0,34	0,24
<i>Stachytarpheta elatior</i> Schrad. ex Schult.	Verbenaceae	nativa	sub-arbusto	1	0,34	0,24
<b>Totais</b>				<b>294</b>	<b>144,22</b>	<b>100,00</b>

### T4 (aplicação de glifosato e escarificação mecânica do substrato)

Espécie	Família	Origem	Hábito	Nº de pontos	FAi (%)	CRi (%)
Mortas	-	-	-	287	97,62	63,64
<i>Urochloa</i> spp	Poaceae	exótica	erva	55	18,71	12,20
<i>Sida glaziovii</i> K. Schum.	Malvaceae	nativa	erva	23	7,82	5,10

<i>Chromolaena maximiliani</i> (DC. ex Schrad.) R.M. King & H. Rob	Asteraceae	nativa	arbusto	20	6,80	4,43
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	nativa	árvore	6	2,04	1,33
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	Asteraceae	nativa	arbusto	6	2,04	1,33
<i>Momordica charantia</i> L.	Cucurbitaceae	exótica	erva trepadeira	6	2,04	1,33
<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Spreng.) A.J. Vega & M. Dematt.	Asteraceae	nativa	arbusto	6	2,04	1,33
<i>Sidastrum micranthum</i> (A. St.-Hil.) Fryxell	Malvaceae	nativa	sub-arbusto	5	1,70	1,11
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Fabaceae	nativa	árvore	4	1,36	0,89
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Anacardiaceae	nativa	árvore	4	1,36	0,89
<i>Turnera subulata</i> Sm.	Turneraceae	nativa	erva	4	1,36	0,89
<i>Vernonanthura ferruginea</i> (Less.) H. Rob.	Asteraceae	nativa	arbusto	4	1,36	0,89
<i>Cynodon</i> sp	Poaceae	-	-	3	1,02	0,67
<i>Melochia parvifolia</i> Kunth	Malvaceae	exótica	erva	3	1,02	0,67
<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	Solanaceae	nativa	árvore	2	0,68	0,44
<i>Solanum paniculatum</i> L.	Solanaceae	exótica	arbusto	2	0,68	0,44
<i>Stachytarpheta elatior</i> Schrad. ex Schult.	Verbenaceae	nativa	sub-arbusto	2	0,68	0,44
<i>Triumfetta rhomboidea</i> Jacq.	Malvaceae	exótica	sub-arbusto	2	0,68	0,44
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Asteraceae	exótica	erva	1	0,34	0,22
<i>Alternanthera tenella</i> Colla	Amaranthaceae	exótica	erva	1	0,34	0,22
<i>Borreria latifolia</i> (Aubl.) K. Schum.	Rubiaceae	nativa	erva	1	0,34	0,22
<i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv.	Poaceae	exótica	erva	1	0,34	0,22
<i>Mesosphaerum pectinatum</i> (L.) Kuntze	Lamiaceae	exótica	sub-arbusto	1	0,34	0,22
<i>Muntingia calabura</i> L.	Muntingiaceae	exótica	árvore	1	0,34	0,22
<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae	exótica	árvore	1	0,34	0,22
<b>Totais</b>				<b>294</b>	<b>153,40</b>	<b>100,00</b>

Legenda : T1 = Controle; T2 = Aplicação de herbicida; T3 = Escarificação mecânica do substrato; T4 = Aplicação de herbicida e escarificação mecânica do substrato; FA<sub>i</sub>: frequência absoluta da espécie i; e, CR<sub>i</sub>: cobertura relativa da espécie i.

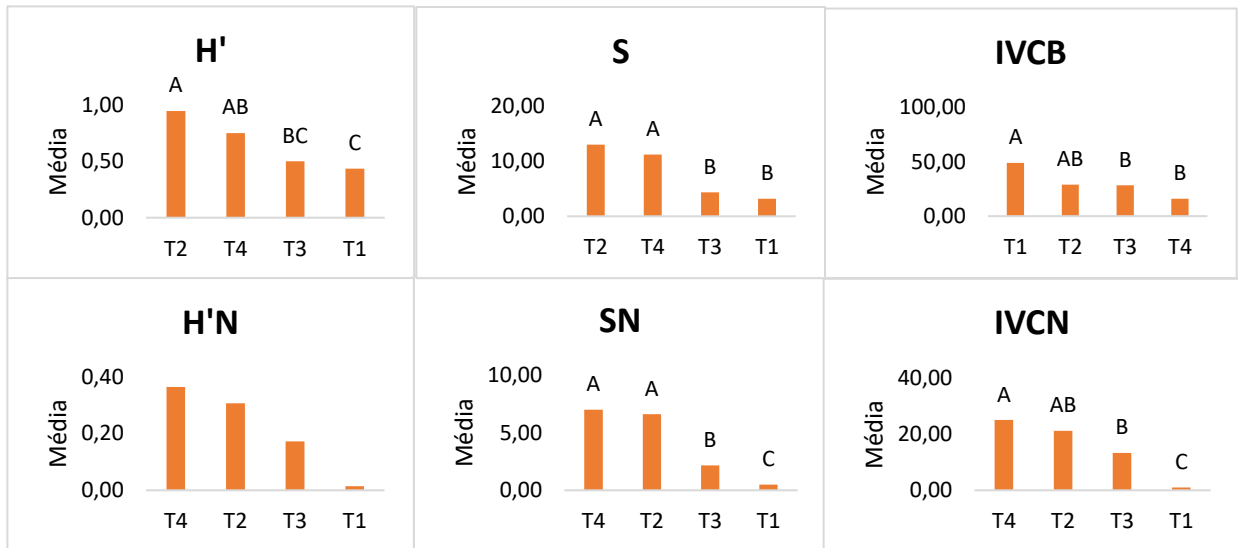
Os resultados da ANOVA e do MLG (Modelo Linear Generalizado) mostraram que o herbicida e a escarificação do substrato causaram efeitos significativos sobre os parâmetros ecológicos das comunidades vegetais amostradas nos T4, T2 e T3 em comparação ao T1. (Tabela 2). Todavia, a interação dos fatores só foi significativa para a riqueza de espécies – S

( $p = 0,016$ ) (Tabela 2), mas em contrapartida, o efeitos do herbicida isolado foram significativos para todas as variáveis e os efeitos da escarificação isolada não foram significativos para a diversidade de *Shannon* –  $H'$  ( $p = 0,352$ ) e para a riqueza florística de espécies –  $S$  ( $p = 0,564$ ) (Tabela 2). As maiores médias de diversidade de *Shannon* ( $H'$ ) e riqueza de espécies ( $S$ ) foram obtidas nas parcelas do T2 ( $H' = 0,95$  e  $S = 13$ ) e T4 ( $H' = 0,75$  e  $11$ ). As maiores médias de diversidade de *Shannon* de espécies nativas ( $H'N$ ), riqueza de espécies nativas ( $SN$ ) e índice de valor de cobertura para espécies nativas ( $IVCN$ ) foram encontradas, respectivamente, em T4 ( $H'N = 0,36$ ;  $SN = 7$  e  $IVCN = 25$ ), T2 ( $H'N = 0,31$ ;  $SN = 7$  e  $IVCN = 21$ ), seguidos pelos T3 ( $H'N = 0,17$ ;  $SN = 2$  e  $IVCN = 13$ ) e T1 ( $H'N = 0,014$ ;  $SN = 0,5$  e  $IVCN = 1$ ) (Figura 4). Não havendo diferença estatística entre T2 e T4, nem entre T2 e T3 para o índice de diversidade de *Shannon* de espécies nativas ( $H'N$ ) e para o índice de valor de cobertura para espécies nativas ( $IVCN$ ) (Figura 4). O índice de valor de cobertura de *Urochloa spp.*, ( $IVCB$ ) alcançou os maiores valores médios no T1 ( $IVCB = 49$ ), T2 e T3 ( $IVCB = 29$ ) e o menor valor no T4 ( $IVCB = 16$ ), não havendo diferença estatística entre T2, T3 e T4 (Figura 4).

**Tabela 2.** Resultados da ANOVA associada ao Modelo Linear Generalizado (MLG) para os dados de  $H'$  = diversidade de *Shannon*;  $H'N$  = diversidade de *Shannon* de espécies nativas;  $S$  = riqueza geral;  $SN$  = riqueza de espécies nativas;  $IVCN$  = índice de valor de cobertura de espécies nativas;  $IVCB$  = índice de valor de cobertura de *Urochloa spp.*; obtidos na área experimental de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal.

Variáveis	Fatores		Interação	MLG
	Herbicida	Escarificação	Herbicida x Escarificação	R <sup>2</sup> (%)
H'N	0 *	0,008 *	0,189	74,70
H'	0 *	0,352	0,073	63,84
SN	0 *	0,025 *	0,152	90,28
S	0 *	0,564	0,016 *	92,02
IVCN	0 *	0,006 *	0,124	72,82
IVCB	0,004 *	0,003 *	0,458	55,07

Legenda:  $H'$  = diversidade de *Shannon*;  $H'N$  = diversidade de *Shannon* de espécies nativas;  $S$  = riqueza geral;  $SN$  = riqueza de espécies nativas;  $IVCN$  = índice de valor de cobertura de espécies nativas;  $IVCB$  = índice de valor de cobertura de *Urochloa spp.*;  $R^2$  = coeficiente de determinação. Valores de probabilidade inferiores a 0,05 foram considerados significativos ( $\alpha = 95\%$ ) e marcados com \*

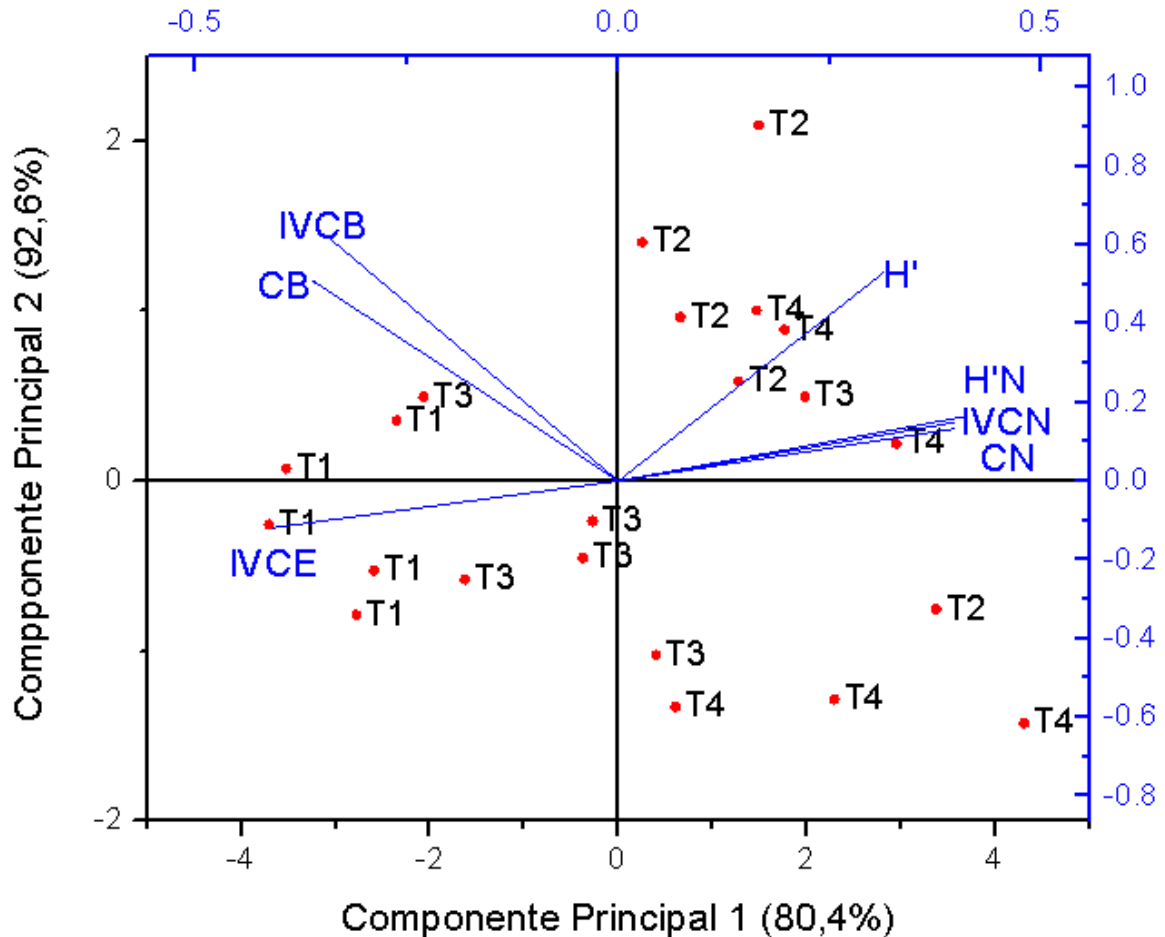


**Figura 4.** Médias dos parâmetros ecológicos avaliados nas parcelas do T1, T2, T3 e T4 do experimento de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal.

H' = diversidade de *Shannon*; H'N = diversidade de *Shannon* de espécies nativas; S = riqueza geral; SN = riqueza de espécies nativas; IVCN = índice de valor de cobertura de espécies nativas; IVCB = índice de valor de cobertura de *Urochloa spp.*; Obs : Médias que possuem a mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha = 95\%$ ).

Na análise de componentes principais (APC) foram utilizadas 7 variáveis principais, escolhidas por sua correlação com a quantidade de espécies nativas e *Urochloa spp.*, As variâncias explicadas para os CP 1 e CP 2 foram respectivamente 92,6% e 80,4% (Figura 5). As variáveis que mais contribuíram para o componente principal 1 (CP1) foram IVCN, H'N e IVCE. As variáveis que mais contribuíram para o CP2 foram IVCB, CB e H'. Em relação às amostras representadas pelos tratamentos, pode-se observar uma clara separação entre T1, que não receberam nenhuma intervenção, e T2 e T4, que receberam aplicação de herbicida, com o T3, que representa somente a escarificação do substrato, representado como intermediário (Figura 5). Ambos CP1 e CP2 foram responsáveis pela separação entre os tratamentos, evidenciando clara associação de variáveis relacionadas a *Urochloa spp.*, e espécies exóticas (IVCB, CB e IVCE) com o T1 (controle) e levemente ao T3 (escarificação do substrato), e a associação dos T2 (aplicação de herbicida) e T4 (aplicação de herbicida e escarificação do substrato) às variáveis que representam a presença de espécies nativas (H', H'N, IVCN e CN).

Também é possível observar que o CP2 foi responsável por separar T2 e T4, bem como T2 e T3 e T2 e T1, evidenciando grande diferença na aplicação ou não de herbicida (Figura 5).



**Figura 5.** Diagrama de ordenação dos *scores* e *loadings* sobrepostos para a análise de componentes principais do efeito do uso de herbicida e escarificação do solo, isolados e em conjunto, de acordo com os tratamentos (T1, T2, T3, T4) no experimento de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal. T1 = Controle; T2 = Aplicação de herbicida; T3 = Escarificação mecânica do substrato; T4 = Aplicação de herbicida e escarificação mecânica do substrato; H' = diversidade de *Shannon*; H'N = diversidade de *Shannon* de espécies nativas; IVCN = índice de valor de cobertura de espécies nativas; IVCB = índice de valor de cobertura de *Urochloa spp.*; IVCE = índice de valor de cobertura de espécies exóticas; CB = cobertura relativa de *Urochloa spp.*; CN = cobertura relativa de espécies nativas;

#### 4.2. Cobertura vegetal da área após três anos da semeadura durante a época chuvosa



Decorridos aproximadamente três anos desde a aplicação da semeadura direta, a área do experimento (0,24 ha) foi colonizada por 61 espécies vegetais distribuídas em 20 famílias botânicas (Tabela 3). Do total de espécies amostradas na área, 43,10% são descritas como ruderais, invasoras e exóticas ao Cerrado, enquanto 32,76% são nativas e 24,14% não puderam ser classificadas. Os espécimes arbóreos representam 13,11% do total enquanto 47,54% são ervas, trepadeiras ou sub-arbustos, 14,75% são arbustos 24,59% não tiveram seus hábitos identificados. Em todos os tratamentos (T1, T2, T3, T4) houve a predominância de *Urochloa spp.*, e plantas mortas na cobertura, porém essa dominância apresentou seu menor valor no T4 (17,7% e 22,47% respectivamente), onde inclusive a cobertura de *Tagetes minuta* L. (18,96%) superou a de *Urochloa spp.*, O maior valor de cobertura de *Urochloa spp.*, (46,83%) foi encontrado no T1 (controle) (Tabela 3). As espécies nativas representaram respectivamente, em cada tratamento (T1, T2, T3 e T4) os valores de cobertura de 0,69%; 14,66%; 11,21% e 21,91% não apresentando dominância de alguma espécie em específico. Outras espécies também apresentaram expressivos valores de cobertura como *Tagetes minuta* L. (T2, T3 e T4), *Andropogon gayanus* Kunth (T1, T2), *Vernonanthura ferruginea* (Less.) H. Rob. (T2), *Sida glaziovii* K. Schum. (T4) e *Chromolaena maximiliani* (DC. ex Schrad.) R.M. King & H. Rob (T3 e T4), todas nativas, exceto a primeira e a segunda (Tabela 3).

**Tabela 3.** Características da vegetação, após 3 anos da semeadura direta, na área experimental de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal. As áreas estão separadas por tratamento (T).

T1 (controle)						
Espécie	Família	Origem	Hábito	Nº de pontos	FAi (%)	CRi (%)
Mortas	-	-	-	273	92,86	46,83
<i>Urochloa spp</i>	Poaceae	exótica	erva	273	92,86	46,83
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth	Poaceae	exótica	erva	31	10,54	5,32
<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	Sapindaceae	nativa	árvore	2	0,68	0,34
<i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv.	Poaceae	exótica	erva	2	0,68	0,34
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Fabaceae	nativa	árvore	1	0,34	0,17
<i>Sida glaziovii</i> K. Schum.	Malvaceae	nativa	erva	1	0,34	0,17
<b>Totais</b>					<b>198,30</b>	<b>100,00</b>

## T2 (aplicação de glifosato)

Espécie	Família	Origem	Hábito	Nº de pontos	FAi (%)	CRi (%)
Mortas	-	-	-	216	88,16	31,03
<i>Urochloa</i> spp	Poaceae	exótica	erva	176	71,84	25,29
<i>Tagetes minuta</i> L.	Asteraceae	exótica	erva	57	23,27	8,19
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth	Poaceae	exótica	erva	52	21,22	7,47
<i>Vernonanthura ferruginea</i> (Less.) H. Rob.	Asteraceae	nativa	arbusto	25	10,20	3,59
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	Asteraceae	nativa	arbusto	17	6,94	2,44
<i>Momordica charantia</i> L.	Cucurbitaceae	exótica	erva trepadeira	16	6,53	2,30
<i>Mesosphaerum pectinatum</i> (L.) Kuntze	Lamiaceae	exótica	sub-arbusto	15	6,12	2,16
<i>Verbena litoralis</i> Kunth	Verbenaceae	exótica	erva	15	6,12	2,16
<i>Sida glaziovii</i> K. Schum.	Malvaceae	nativa	erva	12	4,90	1,72
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Asteraceae	exótica	erva	9	3,67	1,29
<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Spreng.) A.J. Vega & M. Dematt.	Asteraceae	nativa	arbusto	9	3,67	1,29
<i>Chromolaena maximiliani</i> (DC. ex Schrad.) R.M. King & H. Rob	Asteraceae	nativa	arbusto	8	3,27	1,15
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Fabaceae	nativa	árvore	7	2,86	1,01
<i>Muntingia calabura</i> L.	Muntingiaceae	exótica	árvore	7	2,86	1,01
<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	Anacardiaceae	nativa	árvore	7	2,86	1,01
<i>Sidastrum micranthum</i> (A. St.-Hil.) Fryxell	Malvaceae	nativa	sub-arbusto	6	2,45	0,86
<i>Solanum paniculatum</i> L.	Solanaceae	exótica	arbusto	6	2,45	0,86
<i>Triumfetta rhomboidea</i> Jacq.	Malvaceae	exótica	sub-arbusto	5	2,04	0,72
<i>Alternanthera tenella</i> Colla	Amaranthaceae	exótica	erva	4	1,63	0,57
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	nativa	árvore	4	1,63	0,57
<i>Cyperus surinamensis</i> Rottb.	Cyperaceae	nativa	erva	3	1,22	0,43
<i>Lantana camara</i> L.	Verbenaceae	exótica	sub-arbusto	3	1,22	0,43
Malvaceae sp 1	Malvaceae	-	-	2	0,82	0,29

<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae	exótica	erva	2	0,82	0,29
<i>Sida acuta</i> Burm. f.	Malvaceae	nativa	erva	2	0,82	0,29
Não identificada 1	-	-	-	2	0,82	0,29
<i>Cynodon</i> sp	Poaceae	-	erva	1	0,41	0,14
<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth	Convolvulaceae	exótica	erva trepadeira	1	0,41	0,14
<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	Sapindaceae	nativa	árvore	1	0,41	0,14
Malvaceae sp 2	Malvaceae	-	-	1	0,41	0,14
<i>Piper aduncum</i> L.	Piperaceae	nativa	arbusto	1	0,41	0,14
<i>Solanum americanum</i> Mill.	Solanaceae	exótica	arbusto	1	0,41	0,14
Não identificada 2	-	-	-	1	0,41	0,14
Não identificada 3	-	-	-	1	0,41	0,14
Não identificada 4	-	-	-	1	0,41	0,14
<b>Totais</b>					<b>284,08</b>	<b>100,00</b>

### T3 (Escarificação mecânica do substrato)

Espécie	Família	Origem	Hábito	Nº de pontos	FAi (%)	CRi (%)
<i>Urochloa</i> spp	Poaceae	exótica	erva	221	75,17	38,70
Mortas	-	-	-	205	69,73	35,90
<i>Tagetes minuta</i> L.	Asteraceae	exótica	erva	46	15,65	8,06
<i>Chromolaena maximiliani</i> (DC. ex Schrad.) R.M. King & H. Rob	Asteraceae	nativa	arbusto	21	7,14	3,68
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	Asteraceae	nativa	arbusto	19	6,46	3,33
<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth	Convolvulaceae	exótica	erva trepadeira	13	4,42	2,28
<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Spreng.) A.J. Vega & M. Dematt.	Asteraceae	nativa	arbusto	11	3,74	1,93
<i>Mesosphaerum pectinatum</i> (L.) Kuntze	Lamiaceae	exótica	sub-arbusto	8	2,72	1,40
<i>Sida glaziovii</i> K. Schum.	Malvaceae	nativa	erva	6	2,04	1,05
<i>Alternanthera tenella</i> Colla	Amaranthaceae	exótica	erva	4	1,36	0,70
<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	Solanaceae	nativa	árvore	3	1,02	0,53
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Fabaceae	nativa	árvore	2	0,68	0,35

Não identificada 5	-	-	-	2	0,68	0,35
<i>Triumfetta rhomboidea</i> Jacq.	Malvaceae	exótica	sub-arbusto	2	0,68	0,35
Não identificada 6	-	-	-	1	0,34	0,18
<i>Lantana camara</i> L.	Verbenaceae	exótica	sub-arbusto	1	0,34	0,18
<i>Lepidaploa aurea</i> (Mart. ex DC.) H. Rob.	Asteraceae	nativa	arbusto	1	0,34	0,18
<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	Poaceae	exótica	erva	1	0,34	0,18
<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	exótica	arbusto	1	0,34	0,18
<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S. Irwin & Barneby	Fabaceae	exótica	sub-arbusto	1	0,34	0,18
<i>Sidastrum micranthum</i> (A. St.-Hil.) Fryxell	Malvaceae	nativa	sub-arbusto	1	0,34	0,18
<i>Solanum paniculatum</i> L.	Solanaceae	exótica	arbusto	1	0,34	0,18
<b>Totais</b>					<b>194,22</b>	<b>100,00</b>

#### T4 (aplicação de glifosato e escarificação mecânica do substrato)

Espécie	Família	Origem	Hábito	Nº de pontos	FAi (%)	CRi (%)
Mortas	-	-	-	198	67,35	22,47
<i>Tagetes minuta</i> L.	Asteraceae	exótica	erva	167	56,80	18,96
<i>Urochloa</i> spp	Poaceae	exótica	erva	156	53,06	17,71
<i>Sida glaziovii</i> K. Schum.	Malvaceae	nativa	erva	41	13,95	4,65
<i>Chromolaena maximiliani</i> (DC. ex Schrad.) R.M. King & H. Rob	Asteraceae	nativa	arbusto	28	9,52	3,18
<i>Alternanthera tenella</i> Colla	Amaranthaceae	exótica	erva	27	9,18	3,06
<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	Anacardiaceae	nativa	árvore	21	7,14	2,38
<i>Sidastrum micranthum</i> (A. St.-Hil.) Fryxell	Malvaceae	nativa	sub-arbusto	20	6,80	2,27
<i>Vernonanthura ferruginea</i> (Less.) H. Rob.	Asteraceae	nativa	arbusto	20	6,80	2,27
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Fabaceae	nativa	árvore	14	4,76	1,59
<i>Momordica charantia</i> L.	Cucurbitaceae	exótica	erva trepadeira	14	4,76	1,59
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	nativa	árvore	13	4,42	1,48
<i>Andropogon</i> sp	Poaceae	-	-	13	4,42	1,48

Não identificada 6	-	-	-	12	4,08	1,36
<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Spreng.) A.J. Vega & M. Dematt.	Asteraceae	nativa	arbusto	12	4,08	1,36
<i>Triumfetta rhomboidea</i> Jacq.	Malvaceae	exótica	sub-arbusto	11	3,74	1,25
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Asteraceae	exótica	erva	10	3,40	1,14
<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth	Convolvulaceae	exótica	erva trepadeira	10	3,40	1,14
<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S. Irwin & Barneby	Fabaceae	exótica	sub-arbusto	7	2,38	0,79
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	Asteraceae	nativa	arbusto	6	2,04	0,68
<i>Mesosphaerum pectinatum</i> (L.) Kuntze	Lamiaceae	exótica	sub-arbusto	6	2,04	0,68
<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae	exótica	erva	6	2,04	0,68
Não identificada 7	-	-	-	5	1,70	0,57
<i>Lepidaploa aurea</i> (Mart. ex DC.) H. Rob.	Asteraceae	nativa	arbusto	5	1,70	0,57
<i>Ageratum fastigiatum</i> (Gardner) R.M. King & H. Rob.	Asteraceae	nativa	erva	4	1,36	0,45
Asteraceae sp	Asteraceae	-	-	4	1,36	0,45
<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	Poaceae	exótica	erva	4	1,36	0,45
Não identificada 1	-	-	-	4	1,36	0,45
<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae	exótica	árvore	4	1,36	0,45
<i>Tridax procumbens</i> L.	Asteraceae	exótica	erva	4	1,36	0,45
<i>Andropogon fastigiatus</i> Sw.	Poaceae	nativa	erva	3	1,02	0,34
Não identificada 8	-	-	-	3	1,02	0,34
<i>Lantana camara</i> L.	Verbenaceae	exótica	sub-arbusto	3	1,02	0,34
<i>Phyllanthus</i> L.	Phyllanthaceae	exótica	erva	3	1,02	0,34
<i>Solanum paniculatum</i> L.	Solanaceae	exótica	arbusto	3	1,02	0,34
<i>Turnera subulata</i> Sm.	Turneraceae	nativa	erva	3	1,02	0,34
<i>Emilia fosbergii</i> Nicolson	Asteraceae	exótica	erva	2	0,68	0,23
Malvaceae sp 1	Malvaceae	-	-	2	0,68	0,23
Não identificada 5	-	-	-	1	0,34	0,11
Não identificada 6	-	-	-	1	0,34	0,11
<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	Sapindaceae	nativa	árvore	1	0,34	0,11
<i>Melochia parvifolia</i> Kunth	Malvaceae	exótica	erva	1	0,34	0,11
<i>Mesosphaerum suaveolens</i> (L.) Kuntze	Lamiaceae	exótica	sub-arbusto	1	0,34	0,11

<i>Muntingia calabura</i> L.	Muntingiaceae	exótica	árvore	1	0,34	0,11
Não identificada 9	-	-	-	1	0,34	0,11
Não identificada 10	-	-	-	1	0,34	0,11
<i>Piper aduncum</i> L.	Piperaceae	nativa	arbusto	1	0,34	0,11
<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	exótica	arbusto	1	0,34	0,11
<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	Solanaceae	nativa	árvore	1	0,34	0,11
Não identificada 11	-	-	-	1	0,34	0,11
Não identificada 12	-	-	-	1	0,34	0,11
<b>Totais</b>					<b>299,66</b>	<b>100,00</b>

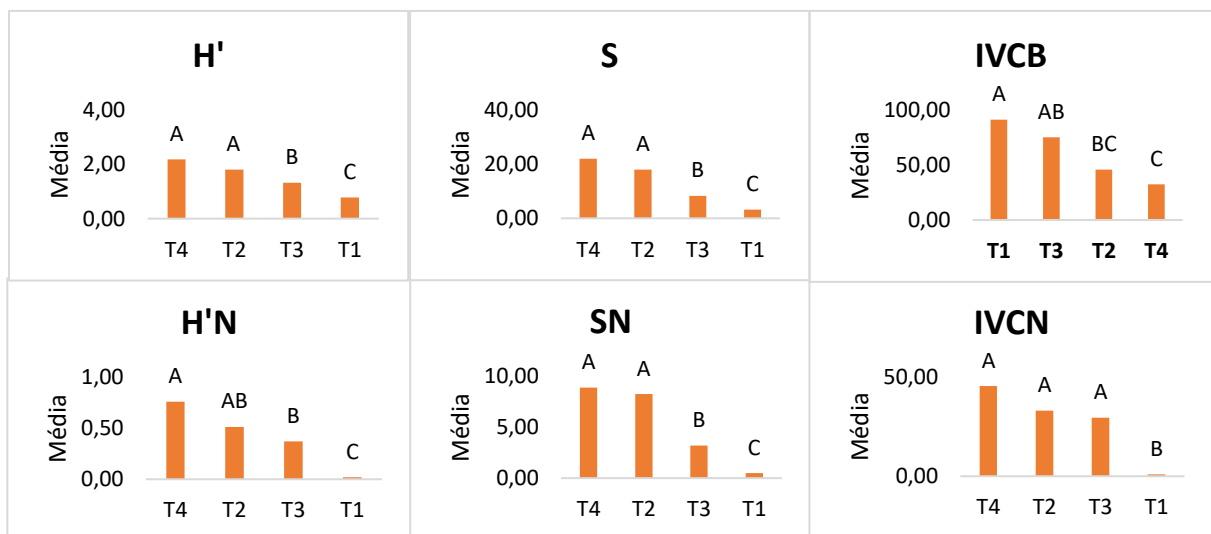
Legenda : T1 = Controle; T2 = Aplicação de herbicida; T3 = Escarificação mecânica do substrato; T4 = Aplicação de herbicida e escarificação mecânica do substrato; FA<sub>i</sub>: frequência absoluta da espécie i; e, CR<sub>i</sub>: cobertura relativa da espécie i.

Os resultados da ANOVA e do MLG (Modelo Linear Generalizado) mostraram que o herbicida e a escarificação do substrato causaram efeitos significativos sobre os parâmetros ecológicos das comunidades vegetais amostradas no T4, T2 e T3 em comparação ao controle T1 (Tabela 4). Todavia, a interação dos fatores não foi significativa (Tabela 4), mas em contrapartida, o efeitos do herbicida isolado foram significativos para todas as variáveis e os efeitos da escarificação isolada não foram significativos para o IVCB ( $p = 0,092$ ) (Tabela 4). As maiores médias de diversidade de *Shannon* ( $H'$ ) e riqueza florística de espécies ( $S$ ) foram obtidas nas parcelas do T2 ( $H' = 1,81$  e  $S = 18$ ) e T4 ( $H' = 2,18$  e  $S = 22$ ). As maiores médias de diversidade de *Shannon* de espécies nativas ( $H'N$ ), riqueza de espécies nativas ( $SN$ ) e índice de valor de cobertura para espécies nativas (IVCN) foram encontradas, respectivamente, em T4 ( $H'N = 0,76$ ;  $SN = 8,83$  e  $IVCN = 45,65$ ), T2 ( $H'N = 0,51$ ;  $SN = 8,2$  e  $IVCN = 33,15$ ), seguidos por T3 ( $H'N = 0,37$ ;  $SN = 3$  e  $IVCN = 29,5$ ) e T1 ( $H'N = 0,02$ ;  $SN = 0,5$  e  $IVCN = 0,95$ ) (Figura 6), não havendo porém diferença estatística entre T2 e T4, nem entre T2 e T3 para o índice de diversidade de *Shannon* de espécies nativas ( $H'N$ ) e para o índice de valor de cobertura para espécies nativas (IVCN), onde não houve diferença estatística entre nenhum dos três tratamentos (Figura 6). O índice de valor de cobertura de *Brachiaria* (IVCB) alcançou os maiores valores médios no T1 (IVCB = 91,08), T3 e T2 (IVCB = 75,25 e 45,66) e o menor valor no T4 (IVCB = 32,31), não havendo diferença estatística entre T2 e T3 e nem entre T2 e T4 (Figura 6).

**Tabela 4.** Resultados da ANOVA associada ao Modelo Linear Generalizado (MLG) para os dados de de  $H'$  = diversidade de *Shannon*;  $H'N$  = diversidade de *Shannon* de espécies nativas;  $S$  = riqueza geral;  $SN$  = riqueza de espécies nativas;  $IVCN$  = índice de valor de cobertura de espécies nativas;  $IVCB$  = índice de valor de cobertura de *Urochloa spp.*; obtidos na área experimental de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal.

Variáveis	Fatores		Interação	MLG
	Herbicida	Escarificação	Herbicida x Escarificação	R <sup>2</sup> (%)
$H'N$	0 *	0 *	0,385	81,31
$H'$	0 *	0 *	0,412	86,06
$SN$	0 *	0,014 *	0,110	87,55
$S$	0 *	0,001 *	0,621	90,02
$IVCN$	0,001 *	0 *	0,128	69,88
$IVCB$	0 *	0,092	0,882	63,39

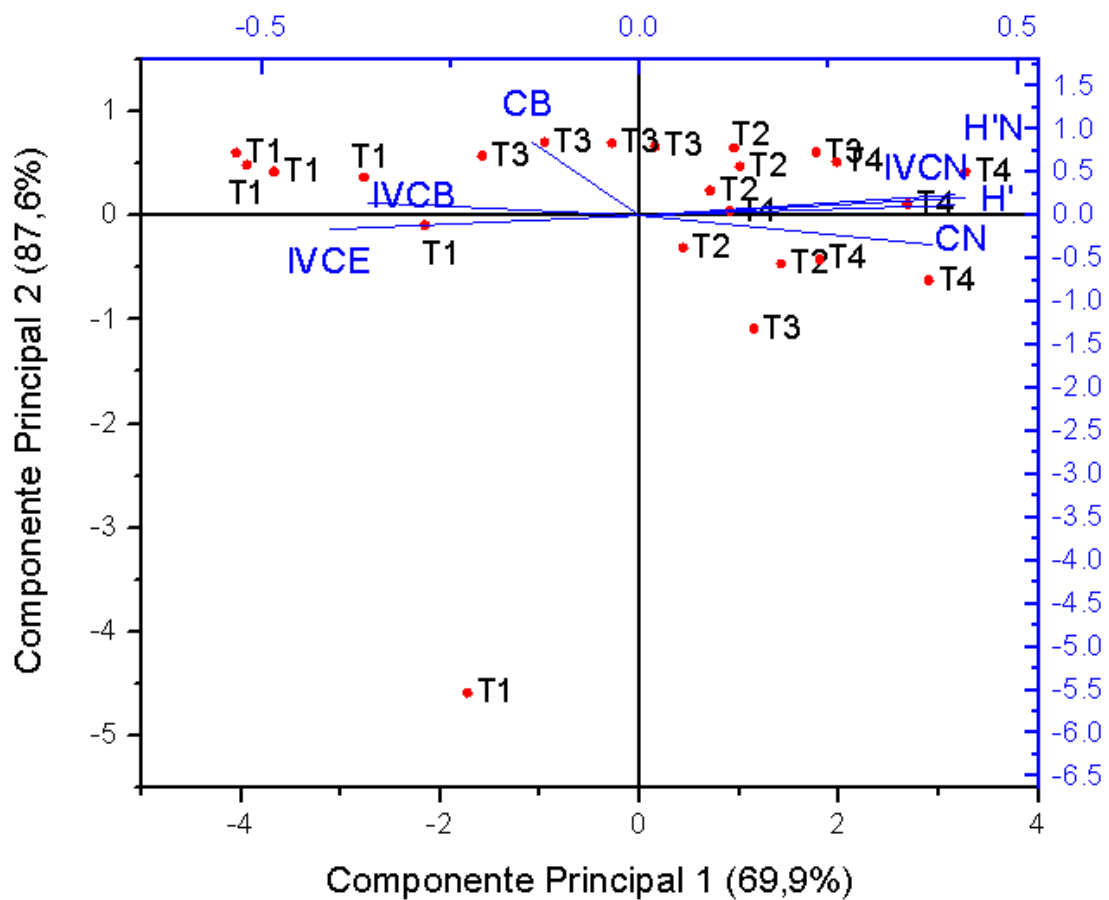
Legenda:  $H'$  = diversidade de *Shannon*;  $H'N$  = diversidade de *Shannon* de espécies nativas;  $S$  = riqueza geral;  $SN$  = riqueza de espécies nativas;  $IVCN$  = índice de valor de cobertura de espécies nativas;  $IVCB$  = índice de valor de cobertura de *Urochloa spp.*; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação. Valores de probabilidade inferiores a 0,05 foram considerados significativos ( $\alpha = 95\%$ ) e marcados com \*.



**Figura 6.** Médias dos parâmetros ecológicos avaliados nas parcelas do T1, T2, T3 e T4 do experimento de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal.

$H'$  = diversidade de *Shannon*;  $H'N$  = diversidade de *Shannon* de espécies nativas;  $S$  = riqueza geral;  $SN$  = riqueza de espécies nativas;  $IVCN$  = índice de valor de cobertura de espécies nativas;  $IVCB$  = índice de valor de cobertura de *Urochloa spp.*, Médias que possuem a mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha = 95\%$ ).

Na análise de componentes principais (APC) foram utilizadas sete variáveis principais, escolhidas por sua correlação com a quantidade de espécies nativas e *Urochloa spp.*, As variâncias explicadas para os CP 1 e CP 2 foram respectivamente 69,9% e 87,6% (Figura 7). As variáveis que mais contribuíram para o componente principal 1 (CP1) foram H', H'N e IVCE. As variáveis que mais contribuíram para o CP2 foram CB e CN. Em relação às amostras representadas pelos tratamentos, pode-se observar uma clara separação entre T1, que não receberam nenhuma intervenção e T2 e T4, que receberam aplicação de herbicida, com o T3, que representa somente a escarificação do substrato, representado como intermediário, porém se associando mais ao T1 (Figura 7). O componente CP1 foi o principal responsável pela separação entre os tratamentos, evidenciando clara associação de variáveis relacionadas a *Urochloa spp.*, e espécies exóticas (IVCB, CB e IVCE) com T1 (controle) e levemente ao T3 (escarificação do substrato), e a associação com T2 (aplicação de herbicida) e T4 (aplicação de herbicida e escarificação do substrato) às variáveis que representam a presença de espécies nativas (H', H'N, IVCN e CN) (Figura 7).





**Figura 7.** Diagrama de ordenação dos *scores* e *loadings* sobrepostos para a análise de componentes principais do efeito do uso de herbicida e escarificação do solo, isolados e em conjunto, de acordo com os quatro tratamentos propostos (T1, T2, T3, T4) no experimento de filtros ecológicos em jazida em processo de recuperação da área degradada, tratada com lodo de esgoto no Distrito Federal. T1 = Controle; T2 = Aplicação de herbicida; T3 = Escarificação mecânica do substrato; T4 = Aplicação de herbicida e escarificação mecânica do substrato; H' = diversidade de *Shannon*; H'N = diversidade de *Shannon* de espécies nativas; IVCN = índice de valor de cobertura de espécies nativas; IVCB = índice de valor de cobertura de *Urochloa spp.*; IVCE = índice de valor de cobertura de espécies exóticas; CB = cobertura relativa de *Urochloa spp.*; CN = cobertura relativa de espécies nativas.

## 5. DISCUSSÃO

A manipulação dos filtros competição, compactação da superfície e limitação da dispersão continua a alterar o equilíbrio pré-existente. A aplicação de herbicida, escarificação mecânica do substrato e semeadura direta foram responsáveis por desencadear um processo de colonização da área por espécies diversas, desencadear um processo de sucessão ecológica que continua a aumentar a riqueza e a diversidade de plantas, inclusive nativas. Também houve aumento na complexidade vegetacional, com diversas espécies de sub-arbustos, arbustos e árvores se desenvolvendo na área.

Os testes estatísticos (ANOVA e MLG) realizados para os parâmetros fitossociológicos apontaram diferenças estatísticas entre as parcelas de controle e as parcelas que receberam algum tipo de tratamento. As parcelas que receberam a aplicação de glifosato obtiveram as maiores médias para todos parâmetros analisados e as menores médias de cobertura por *Urochloa spp.*, A análise de componentes principais (APC) evidenciou os maiores valores de índices e parâmetros associados à espécies nativas com as parcelas que receberam aplicação de glifosato + escarificação e aplicação de glifosato isolado. Os maiores valores relacionadas à *Urochloa spp.*, e espécies exóticas foram encontrados nas parcelas de controle e que receberam somente escarificação.

As parcelas que não receberam nenhum tipo de tratamento (controle) continuam dominadas por *Urochloa spp.*, e outras espécies invasoras. Também apresentaram valores muito baixos de diversidade de espécies (exóticas e nativas) em comparação com as demais, corroborando o fato de que o processo de regeneração natural em jazidas mineradas apenas através da sucessão ecológica natural é exacerbadamente lento (Corrêa & Melo Filho, 2004a; Corrêa et al., 2017). Esses locais possuem grandes limitações na propagação de sementes por

espécies do Cerrado (Corrêa et al., 2007; Oster et al., 2009), solos em geral muito densos, pouco porosos e com baixa capacidade de disponibilizar água para as plantas (Lima, 2019). Dessa forma, há maiores dificuldades para a emergência de plântulas e ao crescimento radicular, principalmente pela compactação do solo (Sá & Santos Júnior, 2005). Esses fatores não limitam a colonização da área por espécies de gramíneas exóticas, que por sua vez possuem alta performance sob condições ambientais variadas e inadequadas para o estabelecimento de espécies nativas (disponibilidade de água e luz e fertilidade do solo) (Bustamante et al., 2012) e ainda possuem via metabólica C4, sendo mais eficiente na realização de fotossíntese em ambientes quentes e secos (Taiz & Zeiger, 2009) e conseqüentemente mais competitivas.

Mesmo em locais não minerados, métodos passivos de restauração não tem sido suficientes para recompor a estrutura e composição de espécies previamente existentes em Cerrados nativos (Cava et al., 2018), portanto, a reconstrução de comunidades vegetais em locais degradados tem sido desafios e metas para a ciência da restauração (Halassy et al., 2016; Hulvey & Aigner, 2014). Para tal, alguns métodos como os utilizados na área experimental do presente estudo como a semeadura direta, escarificação do substrato compactado e aplicação de herbicida (glifosato) se mostram eficazes na diminuição da intensidade dos filtros de dispersão, compactação e competição (Balduino, 2019).

A escarificação do substrato ocasionou um aumento no recrutamento de plântulas em relação ao controle apesar de não ser o método mais eficaz quando aplicado sozinho. Em comparação aos solos de áreas compostas por vegetação natural, os substratos de áreas mineradas apresentam alta densidade, baixa porosidade e redução na capacidade de disponibilização de água para as plantas (Lima, 2019; Bento, 2009), ocasionando dificuldade para que a regeneração natural e sucessão ecológica ocorram (Bento, 2009). Dessa forma, é necessário o manejo do solo, como por meio da escarificação mecânica do substrato (Corrêa, 2009), que ocasiona uma melhora nas propriedades físicas do substrato, como densidade, melhora na infiltração de água e diminuição da resistência à penetração (Corrêa & Bento, 2010), criando um ambiente propício para o estabelecimento de plantas e posterior sucessão. O uso da escarificação mecanizada e da aplicação de lodo de esgoto em substratos minerados favoreceu o desenvolvimento de diversas espécies de plantas (Balduino et al., 2013; Fraga, 2016)

Partindo do pressuposto que o substrato está apto para o estabelecimento de plantas, outro filtro ecológico a ser vencido é o da limitação da dispersão (Oster et al., 2009). Nesse contexto, a aplicação da semeadura direta foi eficaz para compor um processo, mesmo que lento, de sucessão ecológica. O melhor desempenho foi o das espécies arbóreas, que atualmente

já contam com indivíduos ultrapassando a camada rasteira. Jazidas mineradas costumam sofrer com a falta da dispersão, principalmente de espécies nativas, por conta do nível de degradação causado na prática de mineração, ficando vulneráveis à colonização por espécies invasoras, sendo necessária então a reintrodução de diásporos, pois o aumento da diversidade de espécies e funções dentro da comunidade, desencadeia o processo de sucessão e aumenta a resistência à invasão por espécies exóticas (Hulvey & Aigner, 2014). Diversas técnicas tem se mostrado efetivas para a reintrodução de espécies nativas em áreas degradadas (Cava, 2014; Pilon et al., 2018), entre elas a semeadura direta (Souza & Engel, 2018), que é possível de ser aplicada em grandes áreas, agregando o plantio de gramíneas, arbustos e árvores, o que é fundamental recuperar a composição florística e a estrutura da vegetação alvo (Cava et al., 2016).

Os maiores valores de riqueza e diversidade de espécies (exóticas e nativas) foram encontrados nas parcelas que receberam a aplicação do glifosato, isolado ou em combinação com a escarificação. Portanto, aplicação de herbicida se mostrou uma boa alternativa para permitir que as nativas consigam competir pelo espaço. Em jazidas mineradas que foram revegetadas com lodo de esgoto, há um grande aumento da fertilidade natural, especialmente do fósforo disponível, que chegou a alcançar valores 415 a 500 vezes superiores aos valores encontrados em solos sob vegetação de Cerrado sentido restrito (Balduino, 2019; Corrêa & Bento, 2010). Isso favorece o recrutamento de espécies oportunistas, que aliado ao fato de que o lodo traz consigo sementes de diversas espécies invasoras que competem com as nativas pela colonização da área e tendem a ser favorecidas pelo belo balanço inadequado de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio (Prober & Wiehl, 2012; Siddique et al., 2010). Portanto, faz-se necessário algum tipo de controle sobre as espécies invasoras. Para tal, o uso de herbicida em áreas dominadas por espécies exóticas é considerado um tipo de manejo adequado para o aumento da contribuição de espécies nativas (Thomas, 2017) e também a mais opção mais econômica em relação a outros métodos de controle (Kettenring & Adams, 2011). Estudos como o de Cava (2014), evidenciam que a aplicação de herbicida em uma área de pastagem no Cerrado induziu a regeneração natural. Outros como de Thomas (2017) e Mantoani et al., (2016) onde a aplicação de herbicida (Glifosato), isoladamente ou associada a outras técnicas, reduziu significativamente a dominância de gramíneas exóticas, provam a utilidade no emprego de tal técnica.

Todos os tratamentos apresentaram valores de riqueza e diversidade de espécies superiores ao controle. Os maiores valores de riqueza e diversidade foram encontrados nos tratamentos que receberam a aplicação simultânea da escarificação e do herbicida, sob substrato

revegetado com lodo de esgoto e mediante posterior aplicação da semeadura direta. Um aumento na aceleração da regeneração natural em pastagens degradadas localizadas na Amazônia e no Cerrado, foi observado através da combinação das três técnicas supracitadas (gradeamento/escarificação do solo, semeadura direta e controle químico de gramíneas invasoras) mostrando-se eficaz para a recuperação da cobertura arbórea desses locais (Freitas et al., 2019; Pereira et al., 2013; Rezende & Vieira, 2019). De modo semelhante, conforme constatado por Balduino (2019), a diminuição da intensidade dos filtros dispersão, compactação e competição mediante a implantação da semeadura direta, a escarificação do substrato compactado e a aplicação do herbicida (Glifosato) para reduzir a dominância de *U. brizantha*, resultou no aumento da cobertura de espécies nativas na jazida estudada.

Em comparação com os resultados encontrados por Balduino (2019) para a presente área de estudo, a manipulação dos filtros ecológicos continua afetando o equilíbrio e a recolonização de plantas na jazida revegetada. O tratamento T4 (combinação de aplicação de herbicida e escarificação) continua sendo o que apresenta os maiores valores de H', H'N, S, SN, IVCN e os menores valores de IVCB, seguido por T2 (aplicação de herbicida) em todos os critérios, sendo inclusive ligeiramente maiores no que diz respeito às espécies nativas e menores no que diz respeito a dominância de *Urochloa spp.*, evidenciando que o maior influenciador para o recrutamento de espécies, inclusive nativas, foi o controle de *Urochloa spp.*, e outras espécies exóticas através da aplicação de herbicida. A sucessão está ocorrendo lentamente, ao passo que diversas herbáceas de ciclo curto estão sumindo e dando espaço para outras espécies, bem como o desenvolvimento dos arbustos e árvores, que aos poucos diminuem a incidência de luz nas camadas rasteiras, reduzindo o desenvolvimento de *Urochloa spp.*, e outras ervas invasoras. Todavia, baixas taxas de estabelecimento das plântulas semeadas continuaram a ser observadas, evidenciando novamente a necessidade de densidades de semeadura maiores, bem como maior diversidade de espécies de cada estrato e função ecológica.

Em relação ao desempenho das espécies semeadas, *Astronium urundeuva*, espécie calcícola que ocorre em solos mesotróficos e eutróficos do Cerrado (Haridasan, 2008), atingiu o maior de cobertura dentre as demais (2,38%), que foi obtido no T4 (aplicação de herbicida e escarificação mecânica do substrato), corroborando com o observado por Balduino (2019) que os altos teores de cálcio mensurados nos substratos revegetados pode ter favorecido o desenvolvimento dessa espécie.

A ineficiência da aplicação do herbicida 30 e após 60 dias da implantação das parcelas para a redução da cobertura relativa de *Urochloa spp.*, também foi verificada por Balduino

(2019). Apesar da diferença nos métodos de amostragem aplicados em ambos os estudos, a cobertura de *Urochloa spp.*, não apresentou grande redução. Por outro lado, mostrou-se parcialmente eficaz para aumentar a diversidade de Shannon de espécies nativas (H'N), a cobertura absoluta de espécies nativas (CN), riqueza de espécies nativas (SN), diversidade de Shannon das comunidades vegetais (H') e a riqueza geral de espécies (S). No geral, após a escarificação, aplicação de herbicida e semeadura direta, houve alteração no equilíbrio previamente existente e afetou positivamente a recolonização de plantas, formando um ambiente favorável para o estabelecimento de diversas plantas nativas além das semeadas, bem como o desenvolvimento especialmente das sementes de árvores semeadas, porém, atualmente esses parâmetros se encontram levemente estagnados, uma vez que há mudança de quais espécies dominam a área, mas geralmente são espécies exóticas, necessitando assim de mais intervenções para que a sucessão ecológica possa continuar ocorrendo, bem como ser potencializada.

## 6. CONCLUSÕES

A atenuação dos filtros ecológicos como controle da competição, descompactação do substrato e dispersão de espécies nativas continua a gerar ganhos de riqueza e diversidade de espécies, uma vez que favorece a colonização por novas espécies, estimulando o processo de estabelecimento e desenvolvimento da sucessão ecológica que está ocorrendo gradualmente.

A semeadura direta continua a gerar resultados positivos no incremento da riqueza, diversidade de Shannon e cobertura de espécies nativas nas parcelas que receberam aplicação de glifosato isolado e glifosato + escarificação. Nas parcelas onde houve apenas escarificação evidencia-se desenvolvimento de arbustos como *Baccharis dracunculifolia* que passam a ocupar mais espaço na cobertura e por conta do incremento em altura, gerar sombreamento e impedir o crescimento de *Urochloa spp.*, ao seu redor. No controle isso irá ocorrer através do desenvolvimento de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* e *Magonia pubescens*, bem como outras plântulas de árvores que puderam ser visualizadas na parcela mas que não entraram na amostragem.

A cobertura de *Urochloa spp.*, continua sendo um problema, uma vez que durante a época da seca essa espécie tende a gerar muita biomassa morta que ocupa muito espaço nas parcelas e tende a cobrir as plântulas de outras espécies e ocupar o espaço que poderia ser de outra planta. Durante a época chuvosa, essa espécie costuma ter muito vigor e competir de

maneira agressiva pelo espaço por conta da sua alta capacidade de aproveitamento dos recursos disponíveis, bem como a grande quantidade de sementes que dispersa e vão para o banco de sementes do solo.

Diante do exposto é recomendável que haja continuidade no controle de plantas invasoras, plantio de mudas de espécies nativas e intensificação da semeadura direta de ervas, arbustos e árvores, especialmente de plantas pioneiras e facilitadoras de crescimento rápido. Também deve haver preocupação em escolher espécies que possuam características que as permitam competir com as espécies invasoras e que possam aumentar a diversidade funcional da comunidade vegetal. Por fim, é imprescindível a continuidade nos esforços na identificação de fatores que possam contribuir para a utilização do lodo de esgoto em substratos minerados, seja no planejamento, manipulação dos filtros ecológicos, dosagem recomendada para tentar restaurar a vegetação nativa e o mais importante, planejar e aplicar as ações recomendadas o mais cedo possível a fim de otimizar o processo de manejo necessário para o resultado alvo.

## 7. REFERÊNCIAS

ABDI, Hervé; WILLIAMS, Lynne J. Principal component analysis. **Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics**, v. 2, n. 4, p. 433-459, 2010.

ABDI, Hervé; WILLIAMS, Lynne J. Newman-Keuls test and Tukey test. **Encyclopedia of research design**, v. 2, p. 897-902, 2010.

ALVES, Monique. Semeadura direta de ervas, arbustos e árvores para restauração do Cerrado. 2016.

ANDREOLI, C. V. et al. A gestão dos biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto doméstico. **Engenharia e Construção**, v. 24, p. 18-22, 1998.

ANDREOLI, Cleverson Vitório; PEGORINI, Eduardo Sabino. Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente**, p. 281-312, 2000.

BALDUÍNO, Alexander et al. Plant invasion of a gravel mine revegetated with sewage sludge in the Cerrado region of Brazil. In: **Reunion on Ecology and Management of Alien Plant Invasions**; Pirenópolis, Goiás, Brazil: EMAPi, 2013.

BALDUÍNO, Alexander Paulo do Carmo. **Importância de filtros ecológicos no recrutamento de plantas em jazidas tratadas com lodo de esgoto**. 2019.

BENTO, Marcel Anderson Borges. **Avaliação da qualidade dos substratos minerados em cinco cascalheiras revegetadas no Distrito Federal**. 2009.

BETTIOL, Wagner; DE CAMARGO, Otávio Antonio. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. 2006.

BOND, William J.; MIDGLEY, Jeremy J. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. **Trends in ecology & evolution**, v. 16, n. 1, p. 45-51, 2001.

BRADY, N. C.; WEILL, R. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos. 3a e d. **Bookman. Porto Alegre, Brasil**, 2013.

BROWN, Sally et al. Ecosystem function in alluvial tailings after biosolids and lime addition. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, n. 1, p. 139-148, 2005.

BROWN, Sally et al. Effect of amendment C: N ratio on plant richness, cover and metal content for acidic Pb and Zn mine tailings in Leadville, Colorado. **Environmental Pollution**, v. 149, n. 2, p. 165-172, 2007.

BROWN, Sally; SVENDSEN, Alex; HENRY, Chuck. Restoration of high zinc and lead tailings with municipal biosolids and lime: a field study. **Journal of Environmental Quality**, v. 38, n. 6, p. 2189-2197, 2009.

BROWN, Sandra; LUGO, Ariel E. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. **Restoration ecology**, v. 2, n. 2, p. 97-111, 1994.

BUISSON, Elise et al. Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. **Biological Reviews**, v. 94, n. 2, p. 590-609, 2019.

BUSTAMANTE, Mercedes et al. Effects of nutrient additions on plant biomass and diversity of the herbaceous-subshrub layer of a Brazilian savanna (Cerrado). **Plant Ecology**, v. 213, n. 5, p. 795-808, 2012.

CARAMASCHI, Giovanna MCL et al. The superior re-sprouting performance of exotic grass species under different environmental conditions: the study case of *Paspalum atratum* (Swallen) and *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.-Stapf.). **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 28, n. 3, p. 273-285, 2016.

CARPANEZZI, Antônio Aparecido. Fundamentos para a reabilitação de ecossistemas florestais. **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso. Colombo: Embrapa Florestas**, p. 27-45, 2005.

CASTILLIONI, Karen Patricia. **Avaliação de diferentes técnicas de manejo para o controle de gramíneas invasoras em unidade de conservação de Cerrado**. 2015.

CAVA, Mario Guilherme de Biagi. Restauração do Cerrado: A influência das técnicas e de fatores ecológicos sobre o desenvolvimento inicial da comunidade lenhosa. 2014.

CAVA, Mário GB et al. Abandoned pastures cannot spontaneously recover the attributes of old-growth savannas. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 3, p. 1164-1172, 2018.

CAVA, Mário Guilherme de Biagi et al. Comparação de técnicas para restauração da vegetação lenhosa de Cerrado em pastagens abandonadas. **Hoehnea**, v. 43, p. 301-315, 2016.

CORRÊA, Rodrigo Studart et al. Eficiência agronômica de dois resíduos orgânicos na revegetação do horizonte C de um Latossolo Vermelho. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 4, p. 503-510, 2008.

CORRÊA, Rodrigo Studart; DE MELO FILHO, Benício; DE MELLO BAPTISTA, Gustavo Macedo. Avaliação fitossociológica da sucessão autogênica em áreas mineradas no Distrito Federal. *Cerne*, v. 13, n. 4, p. 406-415, 2007.

CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. Aspectos ecológicos da sucessão secundária em áreas mineradas no cerrado. **Brasília. Mineração e áreas degradadas no cerrado. Editora Universa, il. Brasília**, p. 123-158, 2004.

CORRÊA, Rodrigo S. et al. Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 538-544, 2010.

CORRÊA RS, Balduino APC, Viana Teza CT, Mello Baptista GM, Silva DJ. Recuperação da cobertura vegetal e da atividade fotossintética em jazidas revegetadas no Distrito Federal. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 46, p. 75-87, 2017.

CORRÊA, Rodrigo Studart. **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado**. Paralelo 15, 1998.

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

CORRÊA, Rodrigo Studart; BENTO, Marcel Anderson Borges. Qualidade do substrato minerado de uma área de empréstimo revegetada no distrito federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1435-1443, 2010.

CORRÊA, Rodrigo Studart; BIAS, Edílson de Souza; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Melo. Áreas degradadas pela mineração no Distrito Federal. **CORRÊA, RS & BAPTISTA, GMM, orgs. Mineração e áreas degradadas no Cerrado. Brasília, Universa**, p. 9-21, 2004.

CORRÊA, Rodrigo Studart; MELO FILHO, B. Ecologia e regeneração em áreas escavadas. **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado. Brasília**, p. 29-48, 1998.

CORRÊA, Rodrigo Studart; MELO FILHO, Benício de; BERNARDES, Ricardo S. Deposição de esgoto doméstico para controle de poluição e revegetação induzida em área degradada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 252-256, 2000.

COSTA AN, Costa AFS, Lima MF, Caetano LCS, Taques RC, Almeida LF, et al. Lodo de esgoto: **utilização sustentável**; Vitória, ES: Incaper, 2012.

COX, J. A.; WHELAN, R. J. Soil development of an artificial soil mix: nutrient dynamics, plant growth, and initial physical changes. **Soil Research**, v. 38, n. 2, p. 465-478, 2000.



DE CESARE BARBOSA, Graziela Moraes; TAVARES FILHO, João. 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. 565-579, 2006.

DE SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. **Embrapa Cerrados. Documentos**, 2005.

DURIGAN, G. Bases e diretrizes para a restauração da vegetação de cerrado. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais. FEPAF, Botucatu**, p. 185-204, 2003.

FELFILI, J. M. Crescimento, recrutamento e mortalidade nas matas de galeria do Planalto Central. **Tópicos Atuais em Botânica, SBB/Embrapa-Cenargen, Brasília, Brasil**, p. 152-158, 2000.

FELFINI, J. M. et al. **Plantas da APA Gama e Cabeça de Veado: espécies, ecossistemas e recuperação**. UNB. Departamento de Engenharia Florestal, 2002.

FLORY, S. Luke; CLAY, Keith. Non-native grass invasion alters native plant composition in experimental communities. **Biological Invasions**, v. 12, n. 5, p. 1285-1294, 2010.

FRAGA, Leonardo Pereira. Efeitos da aplicação de bio-sólido e resíduos de poda na revegetação de área de empréstimo no Distrito Federal. 2016.

FREITAS, Marina Guimaraes et al. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years. **Forest ecology and management**, v. 438, p. 224-232, 2019.

GOEDERT, Wenceslau J.; CORRÊA, Rodrigo Studart. Usos, degradação e qualidade do solo. **Mineração e áreas degradadas no cerrado. Brasília: Universa**, p. 159-172, 2004.

GOMES, Marcelo P. et al. Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. **Journal of experimental botany**, v. 65, n. 17, p. 4691-4703, 2014.

HALASSY, Melinda et al. The application of a filter-based assembly model to develop best practices for Pannonian sand grassland restoration. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 3, p. 765-773, 2016.

HARIDASAN, Mundayatan. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, p. 183-195, 2008.

HOBBS, Richard J.; NORTON, David A. Ecological filters, thresholds, and gradients in resistance to ecosystem reassembly. Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice, p. 72-95, 2004.

HULVEY, Kristin B.; Aigner, Paul A. Using filter-based community assembly models to improve restoration outcomes. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, n. 4, p. 997-1005, 2014.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Estações e Dados. [acesso 2022 out. 26] Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>.

KETTENRING, Karin M.; ADAMS, Carrie Reinhardt. Lessons learned from invasive plant control experiments: a systematic review and meta-analysis. **Journal of applied ecology**, v. 48, n. 4, p. 970-979, 2011.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. Conservation of the Brazilian cerrado. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

KRAFT, Nathan JB et al. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. **Functional ecology**, v. 29, n. 5, p. 592-599, 2015.

LANNES, Luciola S. et al. Native and alien herbaceous plants in the Brazilian Cerrado are (co-) limited by different nutrients. **Plant and Soil**, v. 400, n. 1, p. 231-243, 2016.

LE STRADIC, Soizig; FERNANDES, Geraldo W.; BUISSON, Elise. No recovery of campo rupestre grasslands after gravel extraction: implications for conservation and restoration. **Restoration Ecology**, v. 26, p. S151-S159, 2018.

LEITE, L. L. Martins; CR; Haridasan, M. 1994. Efeito da descompactação e adubação do solo na revegetação espontânea de uma cascalheira no Parque Nacional de Brasília. **Anais do I Simpósio Sul-americano e II Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas**, p. 527-534, 1994.

LIMA TPM. Regime de umidade em substrato revegetado com lodo de esgoto no Distrito Federal. Dissertação de mestrado; Planaltina (DF): Universidade de Brasília, 2019.

Majer, Jonathan. **Fauna and land reclamation technology-a review of the history and need for such studies**. 1989.

MANTOANI, Maurício Cruz; DIAS, Jézili; TOREZAN, José Marcelo Domingues. Roçagem e aplicação de herbicida para controle de *Megathyrus maximus*: danos sobre a vegetação preexistente em um reflorestamento de 20 anos. **Ciência Florestal**, v. 26, p. 839-851, 2016.

MANTOVANI, Waldir; Martins, Fernando Roberto. O método de pontos. **Acta Botanica Brasilica**, v. 4, p. 95-122, 1990.

MARTINS, Carlos Romero et al. Impacto da invasão e do manejo do capim-gordura (*Melinis minutiflora*) sobre a riqueza e biomassa da flora nativa do Cerrado sentido restrito. **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, p. 73-90, 2011.

MARTINS, Sebastião Venâncio; Miranda neto, Aurino; Ribeiro, Tiago Maciel. Uma abordagem sobre diversidade e técnicas de restauração ecológica. **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**, v. 2, p. 19-41, 2012.

MCCULLAGH, Peter. **Generalized linear models**. Routledge, 2019.

MEDEIROS, M. B.; MIRANDA, H. S. Post-fire resprouting and mortality in cerrado woody plant species over a three-year period. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 65, n. 1, p. 53-68, 2008.

MELO, V. G. **Uso de espécies nativas do bioma Cerrado na recuperação de área degradada de cerrado sentido restrito, utilizando lodo de esgoto e adubação química**.

2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal.

MENDONÇA RC, Felfili JM, Walter BMT, Silva Júnior MC, Rezende AV, Filgueiras, TS et al. Flora vascular do bioma Cerrado: Checklist com 12.356 espécies. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF, editores. **Cerrado ecologia e flora** (Vol.2); Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

MUELLER-DOMBOIS, Dieter. Forest vegetation across the tropical Pacific: a biogeographically complex region with many analogous environments. **Plant Ecology**, v. 163, p. 155-176, 2002.

MUNHOZ, C. B. R. et al. Métodos de amostragem do estrato herbáceo-subarbustivo. **Fitossociologia no Brasil: Métodos e estudos de casos**, v. 1, p. 213-230, 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al. **Restoration of aquatic ecosystems: science, technology, and public policy**. National Academies Press, 1992.

NETTO, Iara Terezinha Pignataro; Kato, Eiyti; Goedert, Wenceslau J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1441-1448, 2009.

ODUM EP. **Fundamentos de Ecologia (7ª Ed.)**; Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.

ÖSTER, Mathias et al. Dispersal and establishment limitation reduces the potential for successful restoration of semi-natural grassland communities on former arable fields. **Journal of Applied Ecology**, v. 46, n. 6, p. 1266-1274, 2009.

PASCUAL, J. A. et al. Characterization of urban wastes according to fertility and phytotoxicity parameters. **Waste Management & Research**, v. 15, n. 1, p. 103-112, 1997.

PEDROZA, Marcelo Mendes et al. Produção e tratamento de lodo de esgoto—uma revisão. 2010.

PELLIZZARO, Keiko Fueta et al. “Cerrado” restoration by direct seeding: field establishment and initial growth of 75 trees, shrubs and grass species. **Brazilian Journal of Botany**, v. 40, n. 3, p. 681-693, 2017.

PEREIRA, Silvia R.; LAURA, Valdemir A.; SOUZA, Andréa LT. Establishment of Fabaceae tree species in a tropical pasture: influence of seed size and weeding methods. **Restoration Ecology**, v. 21, n. 1, p. 67-74, 2013.

PILON, Natashi A. Lima; BUISSON, Elise; DURIGAN, Giselda. Restoring Brazilian savanna ground layer vegetation by topsoil and hay transfer. **Restoration Ecology**, v. 26, n. 1, p. 73-81, 2018.

PROBER, Suzanne M.; Wiehl, Georg. Relationships among soil fertility, native plant diversity and exotic plant abundance inform restoration of forb-rich eucalypt woodlands. **Diversity and Distributions**, v. 18, n. 8, p. 795-807, 2012.

RAZALI, Normadiah Mohd et al. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. **Journal of statistical modeling and analytics**, v. 2, n. 1, p. 21-33, 2011.

REZENDE, Gustavo Mariano; VIEIRA, Daniel Luis Mascia. Forest restoration in southern Amazonia: Soil preparation triggers natural regeneration. **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 93-104, 2019.

RIBEIRO, José Felipe; WALTER, Bruno Machado Teles. Fitofisionomias do bioma Cerrado. 1998.

RODRIGUES, Efraim. Ecologia da restauração. **Londrina: Planta**, 2013.

RODRIGUES, Laís de Brito et al. **Efeitos ecotoxicológicos do glifosato e formulações em diferentes organismos**. 2016.

SALAZAR, Ana et al. Seed limitation of woody plants in Neotropical savannas. **Plant Ecology**, v. 213, n. 2, p. 273-287, 2012.

Salazar, Ana; Goldstein, Guillermo. Effects of fire on seedling diversity and plant reproduction (sexual vs. vegetative) in neotropical savannas differing in tree density. **Biotropica**, v. 46, n. 2, p. 139-147, 2014.

SIDDIQUE, Ilyas et al. Nitrogen and phosphorus additions negatively affect tree species diversity in tropical forest regrowth trajectories. **Ecology**, v. 91, n. 7, p. 2121-2131, 2010.

SILVA, Lucas CR et al. Unprecedented carbon accumulation in mined soils: the synergistic effect of resource input and plant species invasion. **Ecological Applications**, v. 23, n. 6, p. 1345-1356, 2013.

SNUC 2000 – **Lei nº 9.985**, de 18 de julho de 2000. Disponível em : <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 13/10/2022.

SOUZA, Diego Cerveira; ENGEL, Vera Lex. Direct seeding reduces costs, but it is not promising for restoring tropical seasonal forests. **Ecological Engineering**, v. 116, p. 35-44, 2018.

ST, Lars et al. Analysis of variance (ANOVA). **Chemometrics and intelligent laboratory systems**, v. 6, n. 4, p. 259-272, 1989.

TAIZ L, ZEIGER E. Nutrição mineral. In: Taiz L, Zeiger E (eds.). **Fisiologia Vegetal** (4ª Ed.). Porto Alegre: Artmed, 2009.

THANGARAJAN, Ramya et al. Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil. **Science of the Total Environment**, v. 465, p. 72-96, 2013.

THOMAS, Pedro Augusto. "Restauração ecológica em campos invadidos por *Urochloa decubens* nos campos sulinos." (2017).

TORRI, Silvana Irene; Corrêa, Rodrigo Studart; Renella, Giancarlo. Biosolid application to agricultural land—a contribution to global phosphorus recycle: a review. **Pedosphere**, v. 27, n. 1, p. 1-16, 2017.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos. **TSUTIYA, MT; COMPARINI, JB; SOBRINHO, PA; HESPANHOL, I**, p. 133-180, 2001. utilização sustentável; Vitória, ES: Incaper, 2012.

WALTER, Bruno Machado Teles. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. 2006.

WALTER, Bruno Machado Teles; GUARINO, Ernestino de Souza Gomes. Comparação do método de parcelas com o "levantamento rápido" para amostragem da vegetação arbórea do Cerrado sentido restrito. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 285-297, 2006.

WANG, Lawrence K.; SHAMMAS, Nazih K.; EVANYLO, Gregory. Engineering and management of agricultural land application. In: **Biosolids Engineering and Management**. Humana Press, 2008. p. 343-414.

WIJESEKARA, Hasintha et al. Utilization of biowaste for mine spoil rehabilitation. **Advances in agronomy**, v. 138, p. 97-173, 2016.

**8.**