



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DINÂMICA DO ESTOQUE DE CARBONO DE ESPÉCIES ARBÓREAS COM
POTENCIAL PARA PRODUÇÃO ENERGÉTICA EM UM CERRADO *SENSU*
*STRICTO***

Augusto Cesar G. de Lima

Brasília - DF, 21 de maio de 2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



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

**DINÂMICA DO ESTOQUE DE CARBONO DE ESPÉCIES ARBÓREAS COM
POTENCIAL PARA PRODUÇÃO ENERGÉTICA EM UM CERRADO *SENSU*
*STRICTO***

Augusto Cesar G. de Lima

Linha de Pesquisa: Ciências Florestais

Orientadora: Prof^ª Dra. Alba Valéria Rezende

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
Engenheiro Florestal.

Brasília - DF, 21 de maio de 2021.



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

**DINÂMICA DO ESTOQUE DE CARBONO DE ESPÉCIES ARBÓREAS COM
POTENCIAL PARA PRODUÇÃO ENERGÉTICA EM UM CERRADO *SENSU
STRICTO***

Estudante: Augusto Cesar G. de Lima

Matrícula: 15/0118902

Orientadora: Prof^ª Dra. Alba Valéria Rezende

Menção: SS

Prof. Dr. Alba Valéria Rezende
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientadora (EFL)

Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

Doutorando Renan Augusto Miranda Matias
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

Brasília-DF, 21 de maio de 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

LIMA, AUGUSTO CESAR GONÇALVES DE

DINÂMICA DO ESTOQUE DE CARBONO DE ESPÉCIES ARBÓREAS COM POTENCIAL PARA PRODUÇÃO ENERGÉTICA EM UM CERRADO *SENSU STRICTO* [Distrito Federal] 2021. 45p., 210 x 297mm(EFL/FT/UnB, Engenheiro, Engenharia Florestal, 2021).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

1. Estoque de carbono

2. Cerrado

3. Manejo Florestal

4. Dinâmica

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA, A. C. G. DE. **DINÂMICA DO ESTOQUE DE CARBONO DE ESPÉCIES ARBÓREAS COM POTENCIAL PARA PRODUÇÃO ENERGÉTICA EM UM CERRADO *SENSU STRICTO***. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 45p. (2021).

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Augusto Cesar G. de Lima

TÍTULO: DINÂMICA DO ESTOQUE DE CARBONO DE ESPÉCIES ARBÓREAS COM POTENCIAL PARA PRODUÇÃO ENERGÉTICA EM UM CERRADO *SENSU STRICTO*

GRAU: Engenheiro Florestal ANO: 2021

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

Augusto Cesar G. de Lima

“Eu sou filho da floresta... A primeira música que ouvi foi dos pássaros da floresta, os meus primeiros ambientes foram árvores. Assim, meu nascimento determinou a minha vocação”

Heinrich Cotta

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço à Universidade de Brasília - UnB pela oportunidade, vivência, e pelas experiências que contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional, sempre embasado no conhecimento científico e no pensamento crítico.

Agradeço ao Departamento de Engenharia Florestal, todos os professores, técnicos e funcionários, que sempre foram solícitos e cordiais.

Agradeço imensamente à minha orientadora Professora Dra. Alba Valéria Rezende pelos ensinamentos, conselhos, ideias, correções, sempre com paciência e atenção, dando todo o suporte necessário.

Agradeço à Empresa Júnior Ecoflor – Consultoria Florestal, onde tive a honra de presidir e exercer o empreendedorismo, colocando em prática todos os aprendizados do curso e realizando projetos de impacto social e ambiental.

Agradeço aos meus familiares, especialmente ao meu pai, Paulo Barreto, pelo apoio, motivação e amparo nos momentos difíceis. Ao meu tio Luís Carlos, por me incentivar a seguir essa carreira e me ensinar a ser responsável. À minha tia Rita, que mesmo distante, me deu esperanças e torceu por mim. À minha madrinha e padrinho que sempre me auxiliaram e aconselharam.

Agradeço à D. Tânia e família pela força, acolhimento e por me ajudar sempre quando precisei.

Agradeço à Aiyra, pelo amor, carinho, afeto e por estar ao meu lado em todos os momentos.

Por fim, agradeço a todos meus amigos, em especial a/ao Ana Carolina (Kerols), Ana Clara (Zuzu), Fernanda Luíza (Fer), Gabriel Simoni (Bibs), João Pedro (Jop), João Victor Miranda (Boka), Maria Eduarda Picorelli (Dudis), Mariana Rabello (Mari), Mariana Scherer (Marii), Marina Magalhães (Marinex), Pedro Lukas Koresawa (Pink) e Rafael Escalante (Rafinha), por todas as conversas, histórias e sentimentos. Vou levar vocês por toda a vida.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a recuperação do estoque de carbono tanto da comunidade lenhosa arbórea e arbustiva, quanto de espécies com potencial para produção de energia, em área de cerrado *sensu stricto*, submetida a diferentes intervenções silviculturais entre 2005 e 2015. O estudo foi realizado em uma área experimental de cerrado *sensu stricto*, localizada na Estação Ecológica e Experimental da Universidade de Brasília, Fazenda Água Limpa – FAL. Cada bloco foi dividido em seis parcelas permanentes de 0,1 ha (20 m x 50 m), equidistantes de 5 m, para posterior implantação dos tratamentos silviculturais. Este estudo considerou três tratamentos, ou seja, TR-1: Desbaste de 100% da área basal dos indivíduos lenhosos com $Db \geq 5$ cm, independente da espécie; TR-2: Desbaste de 100% da área basal dos indivíduos lenhosos com $Db \geq 5$ cm, pertencentes a espécies com potencial energético (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*); TR-3: Área testemunha, sem qualquer intervenção silvicultural. Em cada bloco foi selecionada aleatoriamente uma parcela de 0,1 ha para implantação de cada um dos três tratamentos. Em 2005, antes da implantação dos tratamentos silviculturais, foi realizado um inventário florestal nas parcelas destinadas a cada tratamento. Toda vegetação lenhosa arbórea e arbustiva, com $Db \geq 5$ cm, incluindo indivíduos mortos em pé, foi amostrada, sendo registrados os valores de Db e altura total. Para melhor controle da distribuição espacial dos indivíduos amostrados foi realizada a subdivisão das parcelas em 10 subparcelas de 100 m². Os indivíduos amostrados nas parcelas tiveram suas coordenadas X e Y registradas e foram identificados em nível de família, gênero e espécie botânica. Em 2006, as parcelas foram submetidas aos seus respectivos tratamentos e em 2015, nove anos após as intervenções na área, foi realizado novo inventário visando avaliar o efeito dos tratamentos no estoque de carbono, tanto da comunidade do cerrado *sensu stricto*, quanto das populações das três espécies com potencial para produção energética. O período de nove anos não foi suficiente para a comunidade dos tratamentos TR-1 e TR-2 recuperar estoque de carbono original. Tal período também não foi suficiente para o tratamento TR-2, grupo de espécies com potencial para produção de energia, recuperasse seu estoque removido. O tratamento TR-1 apresentou a menor taxa de recuperação do estoque de carbono.

Palavras-chave: Manejo florestal; Sequestro de carbono; Cerrado.

ABSTRACT

The goal of this study was to evaluate the recovery of carbon stock of both the woody tree and shrub community, as well as species with potential for energy production, in an area of cerrado *sensu stricto*, subjected to different silvicultural between 2005 and 2015. The study was conducted in an experimental area of cerrado *sensu stricto*, located in the Ecological and Experimental Station of the University of Brasilia, Fazenda Água Limpa - FAL. Each block was divided into six 0.1 ha (20 m x 50 m) permanent plots, equidistant 5 m, for subsequent implementation of silvicultural treatments. This study considered three treatments, i.e., TR-1: Thinning of 100% of the basal area of woody individuals with $Db \geq 5$ cm, regardless of species; TR-2: Thinning of 100% of the basal area of woody individuals with $Db \geq 5$ cm, belonging to species with energy potential (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* and *Pterodon pubescens*); TR-3: Control area, without any silvicultural intervention. In each block a 0.1 ha plot was randomly selected to implement each of the three treatments. In 2005, prior to the implementation of silvicultural treatments, a forest inventory was conducted on the plots assigned to each treatment. All woody tree and shrub vegetation, with $Db \geq 5$ cm, including standing dead individuals, was sampled, and the Db and total height values were recorded. To better control the spatial distribution of sampled individuals, the plots were subdivided into 10 subplots of 100 m². The individuals sampled in the plots had their X and Y coordinates recorded and were identified in terms of family, genus and botanical species. In 2006, the plots were subjected to their respective treatments and in 2015, nine years after the interventions in the area, a new inventory was conducted to assess the effect of treatments on carbon stock, both in the community of cerrado *sensu stricto*, and in the populations of three species with potential for energy production. The nine-year period was not sufficient for the community of treatments TR-1 and TR-2 to recover their original carbon stock. This period was also not enough for the TR-2 treatment, a group of species with potential for energy production, to recover its removed stock. Treatment TR-1 showed the lowest rate of carbon stock recovery.

Key-words: Forest management; Carbon sequestration; Cerrado.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características gerais das espécies com potencial para produção de energia em área de cerrado <i>sensu stricto</i>	16
Tabela 2. Principais razões para o uso do manejo a floresta	17
Tabela 3. Espécie selecionadas para o estudo, definidas como potencial energético, com seus respectivos valores de quantidade de calor por hectare (VALE et al., 2003).....	20
Tabela 4. Teste de normalidade de D’Agostino-Pearson aplicado aos dados de estoque de carbono (kg), da vegetação lenhosa arbórea-arbustiva, registrados em 2005, nas áreas experimentais de cerrado <i>sensu stricto</i> da Fazenda Água Limpa - UnB, destinadas a implantação dos tratamentos silviculturais.....	27
Tabela 5. Valores de densidade e estoque de carbono por espécie registrados em 2005 na comunidade lenhosa arbórea e arbustiva das áreas experimentais de cerrado <i>sensu stricto</i> da Fazenda Água Limpa - UnB, destinadas a implantação dos tratamentos silviculturais.	28
Tabela 6. Teste de normalidade de D’Agostino-Pearson aplicado aos dados de estoque de carbono (kg), do grupo de espécies com potencial uso para produção de energia no cerrado <i>sensu stricto</i> (<i>Tachigali vulgaris</i> , <i>Dalbergia miscolobium</i> e <i>Pterodon pubescens</i>), registrados em 2005 na comunidade arbórea e arbustiva das áreas experimentais de cerrado <i>sensu stricto</i> da Fazenda Água Lima – UnB, destinadas a implantação dos tratamentos silviculturais.....	29
Tabela 7. Valores de densidade e estoque de carbono do grupo de espécies com potencial uso para produção de energia (<i>Tachigali vulgaris</i> , <i>Dalbergia miscolobium</i> e <i>Pterodon pubescens</i>), registrados em 2005 na comunidade lenhosa arbórea e arbustiva das áreas experimentais de cerrado <i>sensu stricto</i> da Fazenda Água Limpa – UnB, destinadas a implantação dos tratamentos silviculturais.....	30
Tabela 8. Teste de normalidade de D’Agostino-Pearson aplicado aos dados de estoque de carbono (kg), da vegetação lenhosa arbórea-arbustiva, registrados em 2015, nas áreas experimentais de cerrado <i>sensu stricto</i> da Fazenda Água Limpa - UnB, nove anos após a implantação dos tratamentos silviculturais.....	31
Tabela 9. Teste de normalidade de D’Agostino-Pearson aplicado aos dados de estoque de carbono (kg) da vegetação lenhosa arbórea-arbustiva pertencente ao grupo de espécies potenciais para produção de energia (<i>Tachigali vulgaris</i> , <i>Dalbergia miscolobium</i> e <i>Pterodon pubescens</i>), registrados em 2015, nove anos após a implantação dos tratamentos	

silviculturais nas áreas experimentais de cerrado <i>sensu stricto</i> da Fazenda Água Limpa – UnB.	34
Tabela 10. Valores de densidade e estoque de carbono do grupo de espécies com potencial uso para produção de energia (<i>Tachigali vulgaris</i> , <i>Dalbergia miscolobium</i> e <i>Pterodon pubescens</i>), registrados em 2015, na comunidade lenhosa arbórea e arbustiva das áreas experimentais de cerrado <i>sensu stricto</i> da Fazenda Água Limpa – UnB, nove anos após a aplicação dos tratamentos silviculturais.	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da Fazenda Água Limpa – FAL e da área de estudo. Fonte: ARAÚJO, T. (2020, p. 13).	20
Figura 2. Croqui exemplificativo do bloco experimental com as parcelas e subparcelas, amostradas dentro do bloco.	22
Figura 3. Comparativo do estoque médio de carbono nas áreas dos três tratamentos, da comunidade lenhosa arbórea e arbustiva, entre o período monitorado.	32
Figura 4. Comparativo do estoque médio de carbono nas áreas dos três tratamentos, das espécies com potencial para produção de energia, entre o período monitorado.	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo.....	13
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	13
3.1. O Bioma Cerrado.....	13
3.1.1. O cerrado <i>sensu stricto</i> e suas espécies com potencial para produção de energia	15
3.2. Manejo Florestal.....	16
3.3. Estoque de carbono.....	18
3.3.1. Estoque de carbono no Cerrado.....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1. Caracterização da área objeto de estudo.....	19
4.2. Seleção das espécies.....	20
4.3. Desenho experimental.....	21
4.4. Análise de dados.....	24
4.4.1. Estoque de Carbono para a comunidade do cerrado <i>sensu stricto</i> e para o grupo de espécies potenciais para produção de energia.....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1. Estoque de carbono da comunidade lenhosa arbórea e arbustiva do cerrado <i>sensu stricto</i> , antes da implantação dos tratamentos silviculturais.....	26
5.2. Estoque de carbono das espécies com potencial energético, antes da implantação dos tratamentos silviculturais.....	29
5.3. Estoque de carbono da comunidade lenhosa arbórea e arbustiva do cerrado <i>sensu stricto</i> , nove anos após a implantação dos tratamentos silviculturais.....	31
5.4. Estoque de carbono das espécies com potencial energético, 9 anos após a implantação dos tratamentos silviculturais.....	33
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do estoque de carbono presente em uma vegetação permite entender os processos que conduzem a manutenção e funcionamento do ecossistema, assim como os possíveis impactos sofridos pela vegetação (COELHO et al., 2020; PYLES et al., 2018; VELAZCO et al., 2015). As intensas atividades antrópicas exercidas sob uma floresta tendem a afetar o desenvolvimento da vegetação e, conseqüentemente, os serviços ecossistêmicos prestados (TREVISAN et al., 2020).

Um dos biomas brasileiros que prestam serviços imprescritíveis para a sociedade e ao meio ambiente é o Cerrado (PEREIRA et al., 2020; CORDEIRO et al., 2019; STRASSBURG et al., 2017). Apesar de toda a sua importância, grande parte da sua cobertura original já foi e continua sendo destinada para atividades como agricultura, pecuária, indústria e plantios florestais (SANO et al., 2019). Além disso, o Cerrado é muito negligenciado por políticas ambientais, onde apenas 7,5% de sua extensão é considerada como áreas públicas protegidas (STRASSBURG et al., 2017).

Devido à alta biodiversidade existente no Cerrado, diversos serviços ecossistêmicos são subsidiados pelo bioma, como os culturais, os de provisão e os de regulação (ANDRADE; ROMEIRO, 2009). O serviço cultural se caracteriza por ser todo e qualquer benefício advindo da floresta que favoreça as relações sociais. Em relação ao serviço de provisão, são os produtos oriundos da natureza, sejam eles madeireiros e não madeireiros, como lenha, frutas, sementes, raízes e cascas. Tais produtos são obtidos por meio da mensuração do estoque volumétrico, que permite inferir sobre a capacidade produtiva da formação vegetal (LIMA et al., 2014). Ademais, o serviço de regulação está atrelado com a regulação do ambiente no que diz respeito a solo, água, clima etc. exemplo, tem-se o armazenamento de carbono realizado pela vegetação e que influi diretamente na mitigação das mudanças climáticas (ANDRADE; ROMEIRO, 2009; CORDEIRO et al., 2019).

Neste contexto, as constantes alterações climáticas e o aumento das emissões de gases de efeito estufa implicam na necessidade de se estabelecer estratégias de mitigação, e como os ecossistemas florestais atuam como sumidouros de carbono, é importante conhecer não apenas a florística e a estrutura da vegetação de um ecossistema natural nativo, mas, também os seus estoques em volume, biomassa e carbono (CORDEIRO et al., 2019; ZENG et al., 2017).

A partir de monitoramentos contínuos de variáveis quantitativas e qualitativas de ecossistemas florestais naturais é possível melhor inferir sobre estratégias de conservação, uso sustentável ou restauração de seus ambientes degradados. Portanto, monitorar e avaliar os

efeitos de intervenções silviculturais ou antrópicas sobre a dinâmica do crescimento e da produção florestal em ecossistemas naturais, como o Cerrado, tanto em nível de comunidade quanto em nível de populações (espécies ou grupos de espécies), é muito importante para a tomada de decisões em relação à conservação, restauração e uso sustentável (manejo sustentável) desse importante bioma.

Dito isso, o presente trabalho visou avaliar questões relacionadas a dinâmica do estoque de carbono de espécies arbóreas regeneradas em área de cerrado *sensu stricto* submetida a diferentes intervenções de manejo, bem como, fornecer valores de referência que possam subsidiar políticas de uso e conservação da vegetação na área de abrangência do estudo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo

Avaliar, após um período de 9 anos, o estoque de carbono na comunidade lenhosa arbórea e arbustiva de um cerrado *sensu stricto*, submetido a diferentes intensidades de manejo, bem como das populações de três espécies (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*) dessa fitofisionomia, consideradas potenciais para produção de energia. Como hipótese para esse estudo foi definido que embora a vegetação do Cerrado seja resiliente, com alta capacidade de recuperação após submetida a distúrbios naturais e antrópicos, o período de nove anos não é suficiente para que a vegetação do cerrado *sensu stricto* recupere seu estoque de carbono original que foi removido pelas intervenções silviculturais.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. O Bioma Cerrado

O Cerrado brasileiro, localizado no Planalto Central do Brasil, é a maior savana neotropical e o segundo maior bioma do país e da América do Sul, ocupando cerca de 23% do território nacional, sendo superado em área apenas pela Floresta Amazônica (KLINK; MACHADO, 2005; REIS; SCHMIELE, 2019).

Levantamentos realizados na região do Cerrado registraram que a flora do Cerrado é a mais rica dentre as savanas do mundo, contando com mais de 12.000 espécies de plantas, das quais 4.252 (35,1%) são endêmicas (MENDONÇA et al., 2008; MMA, 2015; STRASSBURG et

al., 2017). Considerando todos os biomas brasileiros, o Cerrado é superado apenas pela Mata Atlântica no que diz respeito a diversidade florística (ZAPPI et al., 2015). É também na região do Cerrado que nascem três das principais bacias hidrográficas do Brasil, isto é, Paraná, São Francisco e Tocantins, o que contribui ainda mais para a importância de se conhecer melhor esse bioma e proteger sua vegetação que se encontra em mais da sua metade em elevado estado de degradação e ameaçada pela expansão agrícola e pecuária (BRASIL, 2018).

O fato do Cerrado ser detentor de muitas espécies de plantas endêmicas, ter sofrido intensa perda de habitats e ter sua biodiversidade extremamente ameaçada (SILVA; BATES, 2002; HUNKE et al., 2015), o colocou no rol dos 36 *hotspots* mundiais para a conservação da biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2005, 2011; STRASSBURG et al., 2017). De acordo com Sawyer et al. (2016), para um ecossistema ser considerado um *hotspot*, é necessário a presença de, no mínimo, 1.500 espécies endêmicas e, pelo menos, 70% de sua vegetação natural nativa deve apresentar algum grau de degradação. Alho (2005) explica que o endemismo é o primeiro critério escolhido para definir os *hotspot*, já que as plantas são as responsáveis por dar suporte às outras formas de vida.

O Cerrado também possui várias fitofisionomias que se distribuem entre formações florestais, savânicas e campestres (RIBEIRO; WALTER, 2008). As formações florestais se caracterizam, principalmente, pela predominância de espécies arbóreas e formação de dossel contínuo, enquanto as formações savânicas são caracterizadas pela presença dos estratos arbóreos e herbáceos bem definidos, com árvores ou palmeiras distribuídas aleatoriamente em diferentes densidades, sem formação de dossel contínuo. Por outro lado, as formações campestres se caracterizam pela presença predominante de espécies herbáceas e arbustivas (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Mundialmente, as áreas de savanas têm sido amplamente utilizadas para atividades agropecuárias e demais formas de ocupação humana (WALTER; CARVALHO; RIBEIRO, 2008; GRECCHI et al., 2014; OUÉDRAOGO et al., 2015). Pelo fato da vegetação arbórea savânica ser fonte de energia, fibras e madeira e a vegetação herbácea ser propícia para pastagem, pode-se inferir que a intervenção antrópica nessas formações é tão antiga quanto a existência do ser humano (GOEDERT; WAGNER; BARCELLOS, 2008).

Vale destacar também que o Cerrado é estratégico para o país, pois, além de sua importância nas discussões das questões climáticas e hídricas, por conta de seus serviços ecossistêmicos, é uma área de relevância para a conservação da biodiversidade e o desenvolvimento sustentável do Brasil (MMA, 2015).

Há pouco tempo, a região do Cerrado era explorada apenas para extração de lenha e carvão e para pecuária extensiva, atividades estas que causavam relativamente poucos danos ao ecossistema (DURIGAN et al., 2011). Entretanto, nas últimas décadas, o Cerrado tem sido palco de mudanças drásticas no uso da terra, com sua vegetação natural sendo rapidamente substituída por grandes áreas homogêneas destinadas à agricultura e à pecuária (MARRIS, 2005; SANTOS et al., 2017; TRABAQUINI et al., 2017). Tais atividades tem causado elevado prejuízo econômico, perda de biodiversidade, danos ao solo e emissão de carbono (PASSOS; BRAZ, 2004; KLINK; MACHADO, 2005; AQUINO; DIAS, 2008; MIRANDA, 2008; BUSTAMANTE et al., 2012).

O uso de sistemas silviculturais é considerado uma importante alternativa na restauração do componente arbóreo de paisagens impactadas por distúrbios naturais ou antrópicos, contribuindo na mitigação dos efeitos negativos de desmatamentos, queimas e perda da biodiversidade (PASSOS; BRAZ, 2004). O monitoramento da regeneração natural em áreas que sofreram algum tipo de distúrbio e que foram submetidas a alguma intervenção silvicultural para mitigar tal distúrbio, pode, por exemplo, contribuir não somente com a melhor compreensão dos processos e mecanismos que mantêm e sustentam a comunidade que sofreu o distúrbio, mas também permite avaliar as respostas da sua vegetação às intervenções silviculturais.

Os ecossistemas naturais apresentam grande variedade de espécies com diferentes características silviculturais e ecológicas, e poucas são as informações sobre o crescimento dessas espécies, seja em áreas intactas, exploradas ou submetidas ao manejo florestal (SILVA NETO et al., 2015).

3.1.1. O cerrado *sensu stricto* e suas espécies com potencial para produção de energia

Segundo Ribeiro & Walter (1998), o cerrado *sensu stricto* é uma formação savânica caracterizada pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, e geralmente com evidências de queimadas.

Predominantemente, o cerrado *sensu stricto* ocorre em solos dos tipos Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Roxo. Porém, apesar das boas características físicas, são solos forte ou moderadamente ácidos (PH entre 4,5 e 5,5), com carência generalizada dos nutrientes essenciais, principalmente fósforo e nitrogênio (RIBEIRO; WALTER, 2008). Frequentemente esses solos apresentam altas taxas de alumínio e teor de matéria orgânica variando entre médio e baixo (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Estudos sobre florística e fitossociologia de cerrado *sensu stricto* (RIBEIRO et al., 1988; FELFILI, SILVA JUNIOR, 1992) apontam bom nível de conhecimento sobre essa vegetação, entretanto, trabalhos voltados para uma abordagem comparativa entre amostras de diferentes localidades do bioma evidenciam carência de dados diante da distribuição espacial de espécies, refletida na grande variabilidade de mosaicos (FELFILI et al., 1993; RATTER et al., 2000). A Tabela 1 apresenta características gerais, distribuição geográfica e domínios fitogeográficos de espécies do cerrado *sensu stricto* com potencial para produção de energia em ambiente de cerrado (Vale et al., 2003).

Tabela 1. Características gerais das espécies com potencial para produção de energia em área de cerrado *sensu stricto*.

Espécie	Características Gerais	Descrição
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	Nome popular	Carvoeiro do Cerrado
	Família	Fabaceae Lindl.
	Origem	Nativa
	Endemismo no Brasil	Sim
	Domínios Fitogeográficos	Cerrado, Amazônia e Caatinga
	Distribuição geográfica	Centro-Oeste, Norte, Nordeste e Sudeste
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	Nome popular	Jacarandá do Cerrado
	Família	Fabaceae Lindl.
	Origem	Nativa
	Endemismo no Brasil	Sim
	Domínios Fitogeográficos	Cerrado
	Distribuição geográfica	Centro-Oeste, Norte, Nordeste, Sudeste e Sul
<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.	Nome popular	Sucupira-branca
	Família	Fabaceae Lindl.
	Origem	Nativa
	Endemismo no Brasil	Não
	Domínios Fitogeográficos	Cerrado, Amazônia, Caatinga e Pantanal
	Distribuição geográfica	Centro-Oeste, Norte, Nordeste e Sudeste

Fonte: Flora do Brasil 2020 em construção.

3.2. Manejo Florestal

Segundo o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF, 2013) os principais bens e serviços que as florestas oferecem são: madeira (construção, combustíveis e fibras), material genético, controle biológico, produtos farmacêuticos, alimento, ecoturismo, lazer, proteção dos habitats, regulação do clima, conservação do solo, manutenção dos mananciais e conservação dos rios. Além da exploração dos produtos oriundos da madeira, existem os PFNM (Produtos

Florestais Não Madeireiros) que são produtos não lenhosos de origem vegetal ou seja: plantas medicinais, extratos, frutas, bagas, nozes, mel, fungos, farelos, forragem, cortiças, resinas, taninos, folhagens de adorno, musgos, samambaias, óleos essenciais (BENTES-GAMA, 2005).

O manejo florestal contribui na oferta contínua dos benefícios provenientes da floresta, sejam estes econômicos, ecológicos ou sociais. A exploração dos recursos florestais, madeireiros ou não-madeireiros, realizada de forma sustentável busca garantir uma produção permanente e contínua, bem como a preservação dos recursos da floresta para gerações futuras (GAMA, BENTES-GAMA, SCOLFORO, 2005). Porém, para garantir a continuidade da produção dos recursos oferecidos pela floresta é necessário respeitar os mecanismos de sustentação do ecossistema, objeto do manejo, e para isto, é necessário a realização do monitoramento periódico e contínuo dos impactos da exploração, visando averiguar se a floresta conseguirá manter o seu equilíbrio (MMA, 2013).

O uso de técnicas corretas de exploração ou colheita florestal garante a integridade física do solo, dos recursos hídricos, da paisagem e da diversidade ecológica. Portanto, o manejo florestal é considerado um modelo de desenvolvimento econômico sustentável, por ser decorrente de uma intervenção planejada, adaptada às condições das florestas e aos objetivos sociais e econômicos, que visa proporcionar rendimentos e bem-estar não só para as gerações vigentes, mas, sobretudo para as futuras gerações (SOBRINHO, 2010).

Cumprindo seu papel de promover a sustentabilidade, o manejo florestal contribui na continuidade da floresta e de sua produção, na oferta de bens e serviços ambientais, no maior rendimento e na redução do tempo de colheita, na oportunidade de mercado e no cumprimento da legislação vigente (Tabela 2).

Tabela 2. Principais razões para o uso do manejar a floresta

Razões para manejar a floresta	Descrição
Continuidade da produção	A adoção do manejo garante a produção de madeira na área indefinidamente, e requer a metade do tempo necessário na exploração não manejada.
Rentabilidade	Os benefícios econômicos do manejo superam os custos. Tais benefícios decorrem do aumento da produtividade do trabalho e da redução dos desperdícios de madeira.
Segurança de trabalho	As técnicas de manejo diminuem drasticamente os riscos de acidentes de trabalho.
Respeito à lei	Manejo florestal é obrigatório por lei. As empresas que não fazem manejo estão sujeitas a diversas penas.
Oportunidades de mercado	As empresas que adotam um bom manejo são fortes candidatas a obter o "selo verde". Como a certificação é uma exigência cada vez maior dos compradores de madeira, as empresas que tiverem o selo verde, provando a autenticidade da origem manejada de sua madeira, poderão ter maiores facilidades de comercialização no mercado internacional.

3.3. Estoque de carbono

O armazenamento de carbono num ecossistema florestal ocorre, principalmente, na vegetação florestal, no solo e na serrapilheira (LEE et al., 2014; HÉRAULT E PIPONNIOT, 2018 LAFLEUR et al., 2018;).

As florestas tropicais representam cerca de 45% das florestas mundiais (FAO, 2017) e armazenam grandes quantidades de carbono estimadas em 55% dos estoques globais de carbono (PAN et al., 2011). Portanto, essas florestas formam os maiores reservatórios e sumidouros de carbono terrestre (ZOMER et al., 2008; PAN et al., 2011; WOOD et al., 2012; BACCINI et al., 2017), desempenhando um papel central no ciclo global do carbono (CANADELL; RAUPACH, 2008; FONSECA et al., 2011; PAN et al., 2011; RAHMAN et al., 2017).

O estoque de carbono na floresta depende da dinâmica da biomassa e é definido como o produto da biomassa da floresta e seu fator de conteúdo de carbono (ZENG et al., 2018). No contexto das mudanças climáticas atuais, a avaliação do armazenamento de carbono é um dos objetivos mais importantes do manejo florestal, já que está diretamente ligada à avaliação de combustíveis e bioenergia (AFFLECK, 2019). As atividades antrópicas podem reduzir o armazenamento de carbono, seja, por exemplo, pelo desmatamento ou mudança no uso da terra, mas, também podem aumentar o armazenamento, a partir, por exemplo, do uso do manejo florestal sustentável e do reflorestamento (IPPC, 2006; ERIKSSON et al., 2002; JANDI et al., 2015; NOOOMERTS et al., 2015).

3.3.1. Estoque de carbono no Cerrado

O Cerrado ocupa uma área representativa, de grande importância ambiental, do território brasileiro e, em razão da sua extensão, tem papel significativo no balanço global de carbono, apresentando grande potencial como sumidouro de carbono, devido a sua elevada capacidade de crescimento e regeneração. Estudos sobre quantificação de estoques de carbono no Cerrado ainda são escassos. Os estoques de carbono estão relacionados ao porte da

vegetação, seu estado de conservação, e podem variar de espécie para espécie (LOPES; MIOLA, 2010).

Castro (1996), estudando o Cerrado localizado na Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), DF, quantificou o estoque de carbono total em três tipos fisionômicos (campo sujo, campo aberto e cerrado denso), encontrando valores que variaram de 229,50 t ha⁻¹ no campo sujo a 293,34 t ha⁻¹ no cerrado denso. O maior percentual de estoque de carbono foi encontrado no solo (> 86%), seguido por raízes e pela biomassa aérea. Monteiro (1995), estudando uma área de cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal, verificou que este estocava cerca de 2 t CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹.

De acordo com Castro (1996), a contribuição do Cerrado para o aumento do CO₂ atmosférico e, conseqüentemente, para o aumento do efeito estufa é provavelmente mais baixa se comparada a contribuição de outros ecossistemas brasileiros. Além disso, a vegetação do Cerrado recupera-se rapidamente após a ocorrência de um incêndio e consegue alcançar o estoque de carbono existente antes do fogo em um período de um a dois anos. Isto, aliado as características morfológicas e reprodutivas da vegetação, pode indicar o fogo como sendo um distúrbio natural neste ecossistema (REZENDE, 2002).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área objeto de estudo

O estudo foi realizado em uma área experimental de cerrado *sensu stricto*, localizada na Estação Ecológica e Experimental da Universidade de Brasília, Fazenda Água Limpa – FAL (Figura 1), localizada em Brasília, Distrito Federal, Brasil (15°56' a 15°59'S e 47°55' a 47°58'W). A FAL ocupa cerca de 4.390 hectares e está situada a 1.100 metros de altitude (AZEVEDO, 2017), nas unidades geomorfológicas da região da Chapada de Brasília e na área de dissecação intermediária da Depressão do Lago Paranoá (PINTO, 1993). A FAL faz parte da Área de Proteção Ambiental Gama Cabeça de Veado (SEDUH, 2020).

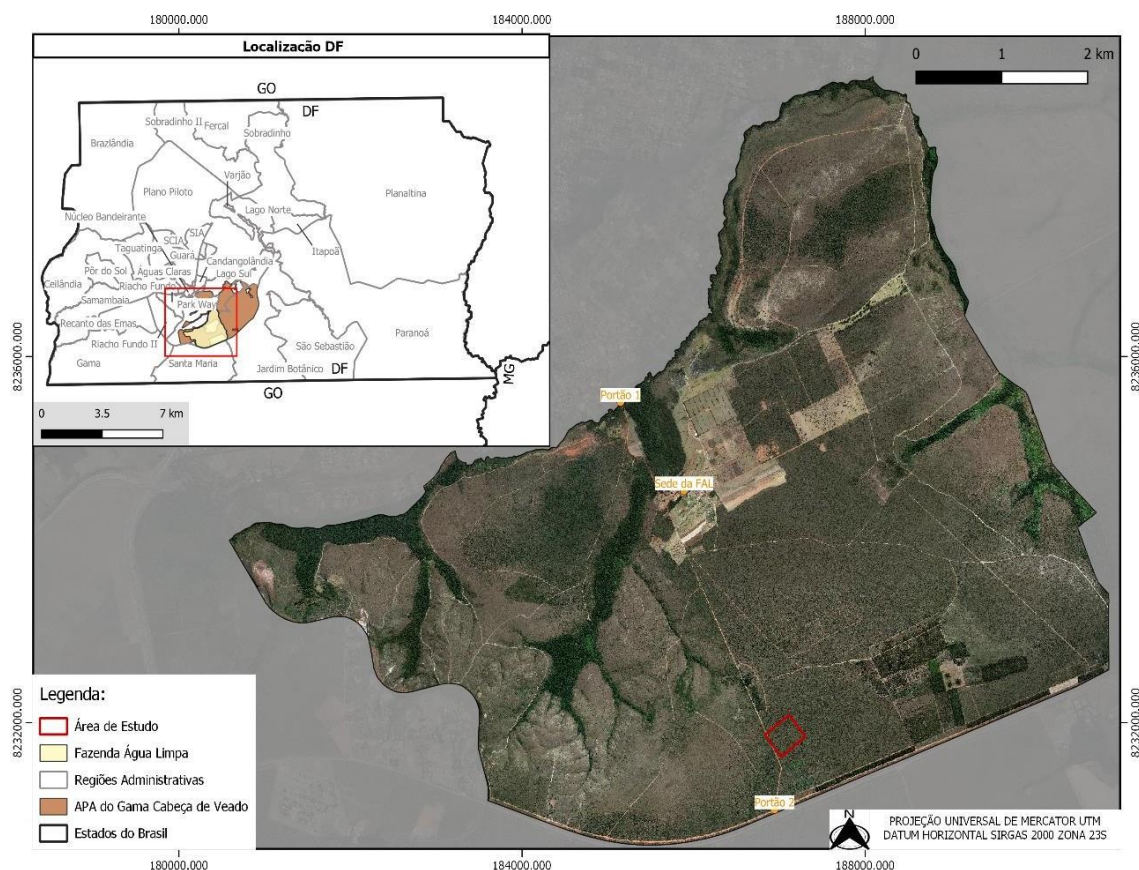


Figura 1. Mapa de localização da Fazenda Água Limpa – FAL e da área de estudo.
Fonte: ARAÚJO, T. (2020, p. 13).

4.2. Seleção das espécies

As espécies de cerrado *sensu stricto* selecionadas para este estudo foram *Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*, pois, segundo Vale et al. (2003), tais espécies se destacam na comunidade estudada, não apenas por produzirem grande quantidade de energia e elevados valores de densidade básica, mas, também, por apresentarem os maiores estoques de biomassa lenhosa seca e, conseqüentemente, os maiores estoques de carbono. No estudo realizado por Vale et al., (2003), a espécie *Tachigali vulgaris*, por exemplo, apresentou 2.886,04 kg ha⁻¹ de biomassa e gerou 58.869,14 MJ ha⁻¹ de calor (Tabela 3).

Tabela 3. Espécie selecionadas para o estudo, definidas como potencial energético, com seus respectivos valores de quantidade de calor por hectare (VALE et al., 2003).

Espécie	Quantidade de calor (MJ há ⁻¹)
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	58.869,14

Dalbergia miscolobium Benth.

28.223,02

Pterodon pubescens (Benth.) Benth.

27.760,30

Espécies madeireiras com potencial adequado ao uso energético devem ter elevados valores de densidade básica, poder calorífico e lignina, além de baixo teor de cinzas. Essas propriedades resultarão no aumento do rendimento em carvão vegetal, redução de custo de produção e melhoria das propriedades desse insumo siderúrgico (PROTÁSIO et al., 2012; COSTA et al., 2014; PROTÁSIO et al., 2019).

É importante ressaltar que duas das espécies estudadas, estão, atualmente, tombadas como Patrimônio Ecológico do Distrito Federal, sendo elas, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*, e, portanto, estão imunes ao corte em áreas urbanas, “ficando o órgão ambiental competente responsável por autorizar as exceções para execução de obras, planos, atividades ou projetos de relevante interesse social ou de utilidade pública” (GDF, 2018).

4.3. Desenho experimental

O presente estudo faz parte de um projeto de pesquisa experimental implantado em 2005 (PAIVA et al., 2011), em um talhão de aproximadamente 3,7 ha de cerrado *sensu stricto*. Três blocos experimentais de 0,93 ha (60 m x 155 m) foram distribuídos aleatoriamente no interior do talhão. Os blocos apresentavam condições abióticas iguais e a vegetação era estruturalmente e floristicamente similar. Cada bloco foi dividido em seis parcelas permanentes de 0,1 ha (20 m x 50 m), equidistantes de 5 m. Em cada bloco, os vértices das parcelas foram demarcados com estacas de ferro, pintadas com tinta branca, visando garantir a localização exata de cada parcela nos futuros monitoramentos do experimento, ao longo do tempo. Para melhor controle e percepção da distribuição espacial dos indivíduos amostrados nas parcelas de cada bloco, foi realizada a subdivisão das parcelas em 10 subparcelas de 100 m² (10 m x 10 m), cujos vértices também foram demarcados com estacas de ferro. A Figura 2 exemplifica o croqui de um bloco, com as parcelas e subparcelas.

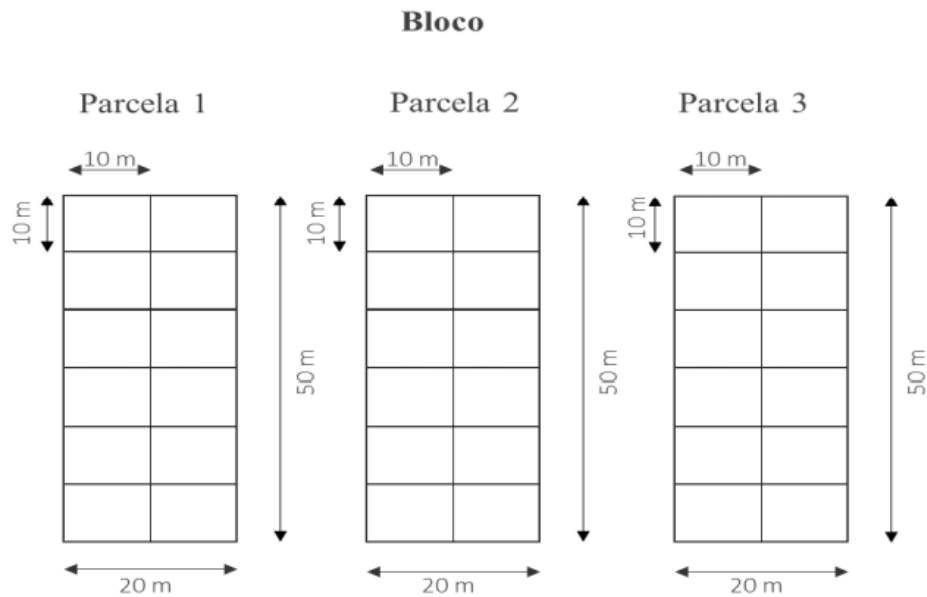


Figura 2. Croqui exemplificativo do bloco experimental com as parcelas e subparcelas, amostradas dentro do bloco.

Em 2005, antes da implantação dos tratamentos silviculturais, um inventário florestal foi realizado nas parcelas de cada bloco, sendo registrada toda vegetação lenhosa, arbórea e arbustiva, com diâmetro da base a 30 cm do nível do solo (Db), igual ou superior a 5 cm, considerando inclusive os indivíduos mortos em pé. Como a maioria dos indivíduos lenhosos do cerrado *sensu stricto* apresenta diâmetro do fuste irregular, a mensuração do diâmetro da base foi realizada com o auxílio de uma suta, em duas direções perpendiculares, visando obter um valor médio de Db representativo do indivíduo mensurado. A altura total (Ht) de cada indivíduo foi mensurada utilizando uma régua telescópica. Indivíduos lenhosos com dois ou mais fustes despontando abaixo de 30 cm solo, tiveram os valores de Db e Ht registrados separadamente para cada fuste, desde que tais fustes apresentassem $Db \geq 5$ cm. Todos os fustes vivos e mortos em pé foram etiquetados com uma placa de alumínio contendo um número para identificação.

Todos os indivíduos lenhosos amostrados nas parcelas tiveram suas coordenadas X e Y registradas, isto é, o correspondente posicionamento dos indivíduos no interior da parcela. Os indivíduos foram identificados em campo, ao nível de família, gênero e espécie botânica. Quando necessário, foram realizadas coletas botânicas para conferência da identificação no Herbário da Universidade de Brasília e no Herbário Virtual Re flora (<http://reflora.jbrj.gov.br>), administrado pelo Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (PAIVA et. al., 2011).

Em 2006, após a realização do inventário florestal em 2005, os blocos foram submetidos a 6 (seis) diferentes tratamentos silviculturais. O experimento foi implantado segundo um Delineamento em Blocos Casualizados com repetição, e considerou 3 Blocos, 6 Tratamentos e 10 repetições por tratamento. A escolha desse delineamento considerou os seus princípios básicos, isto é: casualização, repetição e controle local.

Cinco dos tratamentos silviculturais testados consideraram diferentes níveis de intensidade de corte, que foram distribuídos de forma aleatória dentro de cada bloco. Além disso, um sexto tratamento foi representado por uma parcela controle ou testemunha, sem qualquer intervenção envolvendo o corte da vegetação, que também foi selecionada aleatoriamente dentro de cada bloco.

Portanto, os tratamentos silviculturais implantados na área experimental foram:

T1 – desbaste de 100% da área basal dos indivíduos lenhosos com $Db \geq 5$ cm, independente da espécie;

T2 – desbaste de 50% da área basal dos indivíduos lenhosos com $Db \geq 5$ cm, independente da espécie;

T3 - desbaste de 100% da área basal dos indivíduos lenhosos com $Db \geq 5$ cm, pertencentes a espécies com potencial energético (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*);

T4 – desbaste de 50% da área basal dos indivíduos lenhosos com $Db \geq 5$ cm, pertencentes a espécies com potencial energético (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*);

T5 - desbaste de 100% da área basal dos indivíduos lenhosos com $Db \geq 5$ cm, pertencentes a *Tachigali vulgaris*;

T6 – Área controle ou testemunha, sem qualquer intervenção silvicultural.

A área experimental vem sendo monitorada periodicamente, desde a implantação dos tratamentos silviculturais, com monitoramentos realizados em 2009, 2012 e 2015. Porém, para efeito do presente estudo, foram considerados apenas os levantamentos realizados em 2005 (antes da implantação dos tratamentos) e em 2015 (9 anos após a implantação dos tratamentos). Além disso, foram considerados apenas os três tratamentos listados abaixo, que a partir de agora receberão as seguintes siglas:

TR-1: Desbaste de 100% da área basal dos indivíduos lenhosos com $Db \geq 5$ cm, independente da espécie;

TR-2: Desbaste de 100% da área basal dos indivíduos lenhosos com $Db \geq 5$ cm, pertencentes a espécies com potencial energético (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*);

TR-3: Área controle ou testemunha, sem qualquer intervenção silvicultural.

Para os tratamentos TR-1 e TR-2, o corte dos indivíduos lenhosos selecionados foi realizado com motosserra e a remoção do material lenhoso foi feita manualmente. Em TR-1, o corte foi realizado independente da espécie, com exceção de *Caryocar brasiliense*, que na época, era a única espécie proibida de corte, por lei. Portanto, todos os seus indivíduos foram preservados em pé. Cabe destacar que em 2006, as espécies *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens* não eram ainda protegidas por lei, sendo, portanto, removidas em decorrência da aplicação dos tratamentos.

Em 2015, nove anos após a implantação dos tratamentos silviculturais, todos os indivíduos remanescentes registrados nas áreas submetidas aos tratamentos analisados (TR-1 e TR-2) e nas áreas testemunha (TR-3) tiveram seus valores de Db e Ht registrados. Além disso, todos os indivíduos e fustes que morreram durante o período monitorado foram registrados. Indivíduos recrutados durante esse período, ou seja, que atingiram um $Db \geq 5$ cm, bem como fustes de indivíduos remanescentes que também atingiram $Db \geq 5$ cm, foram todos incluídos no inventário. Todos os indivíduos lenhosos e fustes recrutados, vivos e mortos em pé, foram identificados botanicamente, etiquetados com placa de alumínio contendo o número de identificação, e tiveram os valores Db , Ht e de suas coordenadas X e Y registrados.

É importante destacar que em 2011, durante o período da seca na região, todas as parcelas experimentais foram atingidas por um incêndio florestal não planejado e de grandes proporções, que se propagou por uma extensa área da Fazenda Água Limpa (FAL), causando impactos ambientais, e, portanto, tal ocorrência deve ser considerada na avaliação do experimento.

4.4. Análise de dados

4.4.1. Estoque de Carbono para a comunidade do cerrado *sensu stricto* e para o grupo de espécies potenciais para produção de energia

Com base nos levantamentos realizados em 2005 (antes do corte) e em 2015 (nove anos após o corte), nas áreas destinadas aos tratamentos (TR-1, TR-2 e TR-3), foi estimado o estoque de carbono para todos os indivíduos lenhosos arbóreos e arbustivos, a partir da aplicação da equação alométrica desenvolvida para o cerrado *sensu stricto* estudado (REZENDE et al., 2006), ou seja:

$$EC = -0,24564 + 0,01456 \cdot Db^2 \cdot H \quad (R^2 = 98,29\% \text{ e } S_{yx} = 25,79\%)$$

em que EC = estoque de carbono em kg por indivíduos lenhosos; Db = diâmetro da base, tomado a 0,30 m do solo (cm); H = altura total (m); R² = coeficiente de determinação (%); S_{yx} = erro-padrão da estimativa (%).

Segundo Rezende et al. (2006), essa equação alométrica considera todos os indivíduos lenhosos arbóreos e arbustivos com Db ≥ 5 cm. Galhos e seções do fuste com diâmetro menor que 3 cm não foram considerados no ajuste dessa equação. O ajuste do modelo considerou o teor de carbono como sendo igual a 50% o estoque de biomassa seca de cada indivíduo amostrado.

A partir do estoque de carbono estimado para cada indivíduo lenhoso, foi estimado o estoque de carbono total por subparcela em cada parcela de cada bloco. A análise dos dados considerou os estoques totais de carbono da comunidade lenhosa arbórea-arbustiva (incluindo todas as espécies), registrados em 2005 e 2015, nas áreas destinadas a cada tratamento, bem como, os estoques totais de carbono registrados apenas para o grupo de espécies consideradas potenciais para uso energético.

Os dados coletados em cada ano monitorado (2005 e 2015) foram submetidos a análise de variância (ANOVA), considerando o delineamento em blocos casualizados com repetição (ANOVA fator duplo com repetição), sendo 3 blocos, 3 tratamentos e 10 repetições.

A ANOVA dos dados registrados em 2005 buscou averiguar se antes da aplicação dos tratamentos silviculturais, as áreas destinadas a implantação de cada tratamento apresentavam estoques de carbono acumulados na vegetação lenhosa arbórea-arbustiva, estatisticamente iguais ou não, considerando um nível de 5% de significância. Tal análise foi realizada tanto em nível de comunidade (indivíduos de todas as espécies lenhosas), quanto em nível do grupo de espécies consideradas potenciais para produção de energia (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*).

Para a comunidade lenhosa arbórea-arbustiva, definiu-se como hipótese de nulidade, que o carbono estocado na vegetação das áreas destinadas aos diferentes tratamentos eram estatisticamente iguais. A mesma hipótese foi considerada para o carbono estocado apenas na biomassa lenhosa do grupo de espécies potenciais para produção de energia.

Por outro lado, a ANOVA dos dados registrados em 2015 buscou avaliar, após 9 anos da implantação dos tratamentos silviculturais, a ocorrência de mudanças significativas ou não, nos estoques de carbono, tanto de toda comunidade lenhosa do cerrado *sensu stricto*, quanto apenas do grupo de espécies potenciais para produção de energia. Portanto, o objetivo foi avaliar a existência de diferenças significativas entre os estoques de carbono, nas áreas de cerrado *sensu stricto*, antes (2005) e nove anos após a implantação dos tratamentos silviculturais (2015), considerando um nível de 5% de significância.

Antes da realização da ANOVA dos dados de estoque de carbono registrados em cada período monitorado (2005 e 2015), tanto para a comunidade (todas as espécies) quanto para o grupo de espécies potenciais para energia (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*), foram realizados os testes de normalidade e homoscedasticidade dos resíduos, visando atender os pressupostos básicas para a validade da ANOVA. Para avaliar a normalidade dos resíduos foi empregado o teste de D' Agostino-Pearson (1970) e para verificar a existência de homogeneidade dos erros (homoscedasticidade) foi aplicado o teste de Cochran (1947). Para os tratamentos, cujos dados brutos de estoque de carbono não apresentavam distribuição normal, foi aplicada a transformação logaritmo neperiano a todos os dados, visando garantir a distribuição normal. Após a realização da ANOVA, e sendo detectada diferença significativa entre tratamentos, foi aplicado o teste de Tukey, visando comparar as médias dos tratamentos, a o nível de significância de 5%.

Todas as análises dos dados foram realizadas utilizando o software *Excel 365* e um de seus suplementos, o *Real-Statistics 2007*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Estoque de carbono da comunidade lenhosa arbórea e arbustiva do cerrado *sensu stricto*, antes da implantação dos tratamentos silviculturais.

Como os dados brutos de estoque de carbono registrados nas comunidades lenhosas amostradas em 2005 nas áreas destinadas aos três tratamentos avaliados (TR-1, TR-2 e TR-3) não apresentaram distribuição normal, foi realizada a transformação logaritmo neperiano dos

dados [ln (X)]. A tabela 4 apresenta o teste de D'Agostino-Pearson que foi aplicado aos dados transformados, que comprovou a distribuição normal dos resíduos ($p > 0,05$).

A homocedasticidade dos dados também foi comprovada pelo teste de Cochran, ao nível de 5% de significância (C_r calculado [0,32] < C tabelado [0,63]), indicando variâncias homogêneas entre os tratamentos para a variável estoque de carbono.

Tabela 4. Teste de normalidade de D'Agostino-Pearson aplicado aos dados de estoque de carbono (kg), da vegetação lenhosa arbórea-arbustiva, registrados em 2005, nas áreas experimentais de cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa - UnB, destinadas a implantação dos tratamentos silviculturais.

Teste de D' Agostino-Pearson (DA)	TRATAMENTOS		
	TR-1	TR-2	TR-3
DA-stat	4,9863	3,702	1,0102
p-valor	0,827	0,1571	0,6035
Nível de significância (α)	0,05	0,05	0,05
Distribuição Normal	Sim	Sim	Sim

A ANOVA fator único com repetição foi aplicada aos dados transformados de estoque de carbono, que foram registrados na área experimental antes da implantação tratamentos silviculturais (2005).

Quanto a fonte de variação blocos, os resultados mostraram que antes das intervenções de manejo, o carbono estocado na vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* era significativamente diferente em pelo menos dois blocos ($p < 0,05$). Essa diferença entre blocos era esperada, considerando que um dos princípios básicos para a implantação de um delineamento em blocos casualizados é a existência de algum fator que diferencie blocos. Portanto, os resultados da ANOVA comprovam que, pelo menos, o estoque médio de carbono em um dos blocos era significativamente diferente dos demais, mesmo havendo evidências que indicavam de que os blocos apresentavam condições abióticas iguais, com vegetação lenhosa estruturalmente e floristicamente similar.

As médias de estoque de carbono dos três blocos foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância, que detectou que a maior média foi registrada na comunidade lenhosa do Bloco 2 (10,4072 Mg ha⁻¹), que não diferiu significativamente da média do Bloco 1 (7,5622 Mg ha⁻¹). Embora o Bloco 3 tenha apresentado menor estoque médio de carbono (6,7869 Mg ha⁻¹), esse estoque foi significativamente igual ao do Bloco 1.

Por outro lado, ao avaliar os estoques de carbono em nível de tratamentos, não foram detectadas quaisquer diferenças significativas ($p > 0.05$) desses estoques entre as áreas onde seriam os tratamentos. Os estoques médios de carbono variaram de 7,0534 Mg ha⁻¹ em TR-3 a 9,7042 Mg ha⁻¹ em TR-2, porém com desvios percentuais bem altos, variando de 63,81% a 73,70%, respectivamente.

Antes da implantação dos tratamentos silviculturais, as espécies *Tachigali vulgaris*, *Vochysia thyrsoidea*, *Acinodendron pohlianum* e *Dalbergia miscolobium* se destacaram nas áreas destinadas a cada tratamento, pela importante contribuição com o estoque de carbono na comunidade lenhosa. A Tabela 5 apresenta a contribuição dessas espécies com o estoque de carbono total.

Tabela 5. Valores de densidade e estoque de carbono por espécie registrados em 2005 na comunidade lenhosa arbórea e arbustiva das áreas experimentais de cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa - UnB, destinadas a implantação dos tratamentos silviculturais.

Espécies + Árvores	TRATAMENTOS					
	TR-1		TR-2		TR-3	
	Nº	EC	Nº	EC	Nº	EC
Mortas	Ind ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Ind ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Ind ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹
<i>Tachigali vulgaris</i>	86,67	1,6361	73,33	2,5192	73,33	0,9203
<i>Vochysia thyrsoidea</i>	16,67	0,9076	60	2,3754	20	0,3052
<i>Acinodendron pohlianum</i>	226,27	0,7477	196,67	0,5564	226,67	0,5466
<i>Dalbergia miscolobium</i>	86,87	0,6640	43,33	0,4121	120	0,9167
Morta	100	0,6019	90	0,6849	100	1,2181

Nº = número de indivíduo por hectare; EC = Estoque de carbono (Mg ha⁻¹).

É importante destacar também a contribuição dos indivíduos mortos (10,12%) no estoque de carbono total. Nota-se, portanto, que poucas são as espécies que efetivamente contribuem com o carbono total estocado na vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* e, entre elas estão as espécies *Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*. A grande maioria das espécies tiveram pouca contribuição.

A baixa contribuição em estoque da maioria das espécies da comunidade está relacionada não apenas ao fato dessas espécies possuírem madeira com densidade básica muito baixa (VALE et. Al., 2003), mas, também pelo fato de a densidade de indivíduos dessas espécies na área ser muito baixa.

5.2. Estoque de carbono das espécies com potencial energético, antes da implantação dos tratamentos silviculturais.

Ao considerar apenas o carbono estocado no grupo de três espécies com potencial uso para produção de energia no cerrado *sensu stricto* (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*), nas áreas a serem destinadas a cada tratamento, ou seja, em 2005, foi verificado a necessidade de transformação dos dados, para posterior realização da ANOVA. A partir da transformação dos dados em logaritmo neperiano [$\ln(X+1)$], o teste de D'Agostino-Pearson confirmou a distribuição normal para os dados de TR - 1 e TR - 3 ($p < 0,05$), conforme observado na Tabela 6. Foram testadas várias outras transformações para os dados de TR - 2, porém, para nenhuma das transformações testadas, não foi obtida a DN dos dados. Por outro lado, de acordo com Teorema do Limite Central, quando os dados são contínuos e o tamanho da amostra é maior do que 30, a normalidade não é um pré-requisito fundamental. Apesar do número de amostra de TR - 2 ser exatamente 30 e não superior a 30, decidiu-se assumir a “suposição de normalidade”, ou seja, que os dados tendem a DN.

Tabela 6. Teste de normalidade de D'Agostino-Pearson aplicado aos dados de estoque de carbono (kg), do grupo de espécies com potencial uso para produção de energia no cerrado *sensu stricto* (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*), registrados em 2005 na comunidade arbórea e arbustiva das áreas experimentais de cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Lima – UnB, destinadas a implantação dos tratamentos silviculturais.

Teste de D' Agostino-Pearson (DA)	TRATAMENTOS		
	TR-1	TR-2	TR-3
DA-stat	1,0691	10,465	3,3025
p-valor	0,5859	0,0053	0,1918
Nível de significância (α)	0,05	0,05	0,05
Distribuição Normal	Sim	Sim	Sim

O teste de Cochran também mostrou que os dados de estoque de carbono transformados em logaritmo neperiano apresentaram variâncias homogêneas (Cr calculado $[0,35] < Cr$ tabelado $[0,63]$), atendendo, portanto, os pressupostos exigidos para a realização da análise de variância.

A ANOVA fator único com repetição foi aplicada aos dados transformados de estoque de carbono registrados em 2005, para o grupo representado pelas espécies *Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*. Os resultados da ANOVA não detectaram

quaisquer diferenças significativas quanto aos estoques de carbono referente apenas ao grupo de espécies potenciais para energia, que foram registrados nas áreas de cerrado *sensu stricto* que iriam posteriormente ser submetidas as diferentes intensidades de manejo ($p > 0,05$). O mesmo resultado foi observado para o efeito bloco, indicando que o carbono total estocado na biomassa lenhosa do grupo envolvendo as três espécies era estatisticamente igual em toda área experimental.

Em média, os estoques de carbono do grupo de espécies potenciais para produção de energia variaram de 1,9499 Mg ha⁻¹ nas áreas destinadas ao tratamento testemunha ou sem intervenção silvicultural (TR-3) a 3,1331 Mg ha⁻¹, nas áreas destinadas ao TR-2 (Desbaste de 100% da área basal dos indivíduos lenhosos com Db \geq 5 cm, pertencentes a espécies com potencial energético). Foi observado ainda em 2005, que os estoques de carbono registrados nas áreas destinadas aos diferentes tratamentos apresentavam desvios percentuais bem elevados, que variavam, respectivamente, de 119,45% a 138,85%.

A Tabela 7 apresenta os valores do estoque de carbono de cada uma das três espécies com potencial uso para produção de energia (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*), registrado antes da implantação dos tratamentos silviculturais.

É interessante observar na Tabela 7, a importância dessas três espécies no estoque de carbono total da comunidade. Em média, em 2005, o grupo representado pelas três espécies respondiam por 30,09% do armazenamento total de carbono da comunidade destinada a cada um dos três tratamentos. Observe que somente a espécie *Tachigali vulgaris* era responsável pelo maior percentual de carbono estocado pela comunidade, respondendo por 26% do estoque total de carbono da comunidade lenhosa encontrada nas áreas destinadas ao TR - 2. Além disso, essas três espécies estão entre as 13 espécies mais dominantes e mais abundantes da comunidade de cerrado *sensu stricto* estudada (PAIVA et al., 2011).

Tabela 7. Valores de densidade e estoque de carbono do grupo de espécies com potencial uso para produção de energia (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*), registrados em 2005 na comunidade lenhosa arbórea e arbustiva das áreas experimentais de cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa – UnB, destinadas a implantação dos tratamentos silviculturais.

Espécies	TR-1			TR-2			TR-3		
	Mg ha ⁻¹	%	Ind ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	%	Ind ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	%	Ind ha ⁻¹
<i>D. miscolobium</i>	0,6640	8,3	86,67	0,4121	4,3	43,33	0,9167	13	120
<i>P. pubescens</i>	0,1276	1,6	36,67	0,2018	2,1	40	0,1129	1,6	13,33

<i>T. vulgaris</i>	1,6361	20,8	86,67	2,5192	26	73,33	0,9203	13,1	73,33
Comerciais	2,4277	30,7	210	3,1334	32,3	156,66	1,9499	27,6	206,66
Comunidade	7,9987	100	1790	9,7042	100	1560	7,0538	100	1620

5.3. Estoque de carbono da comunidade lenhosa arbórea e arbustiva do cerrado *sensu stricto*, nove anos após a implantação dos tratamentos silviculturais.

Os dados de estoque de carbono registrados na comunidade lenhosa do cerrado *sensu stricto*, nove anos após as intervenções silviculturais foram submetidos ao teste de normalidade de D'Agostino-Pearson, ao nível de 5% de significância, que detectou que os dados não apresentavam distribuição normal ($p > 0,05$). Após aplicar a transformação logaritmo neperiano aos dados, o teste de D'Agostino-Pearson foi novamente aplicado aos dados transformados, que detectou existir normalidade para os dados transformados [$\ln(X-8)$], conforme resultado apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Teste de normalidade de D'Agostino-Pearson aplicado aos dados de estoque de carbono (kg), da vegetação lenhosa arbórea-arbustiva, registrados em 2015, nas áreas experimentais de cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa - UnB, nove anos após a implantação dos tratamentos silviculturais.

Teste de D' Agostino-Pearson (DA)	TRATAMENTOS		
	TR-1	TR-2	TR-3
DA-stat	2,95791	2,20388	5,98748
p-valor	0,22788	0,33223	0,0501
Nível de significância (α)	0,05	0,05	0,05
Distribuição Normal	Sim	Sim	Sim

O teste de Cochran também foi aplicado aos dados transformados, sendo detectada a homocedasticidade dos dados (Cr calculado $[0,61] < Cr$ tabelado $[0,63]$). Consequentemente, os pressupostos necessários para a realização da análise de variância foram atendidos.

Nove anos após a implantação dos tratamentos silviculturais, a ANOVA fator duplo, que detectou que os estoques de carbono existentes nas áreas submetidas aos três tratamentos diferiram significativamente ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$), ou seja, existem fortes indícios de que os tratamentos influenciaram significativamente os estoques de carbono

acumulados nas áreas experimentais. Para o efeito de blocos, não foi detectada qualquer diferença estatística significativa entre os estoques de carbono.

Segundo o teste de Tukey, que comprovou que as médias de estoque de carbono dos três tratamentos diferem entre si, ao nível de 5% de significância, o maior estoque médio de carbono foi registrado no TR-3 (10,5193 Mg ha⁻¹), ou seja, nas áreas que não sofreram qualquer intervenção antrópica. Porém, esse estoque médio foi estatisticamente igual a média registrada nas áreas submetidas ao TR-2 (9,8052 Mg ha⁻¹), onde foram removidos todos os indivíduos lenhosos pertencentes ao grupo de espécies potenciais para produção de energia, com Db ≥ 5 cm. Por outro lado, o menor estoque médio de carbono, que diferiu significativamente das médias dos dois outros tratamentos, foi registrado nas áreas do TR-1 (2,6498 Mg ha⁻¹), onde foi realizado o corte raso de todos os indivíduos lenhosos da comunidade com Db ≥ 5 cm (Figura 3).

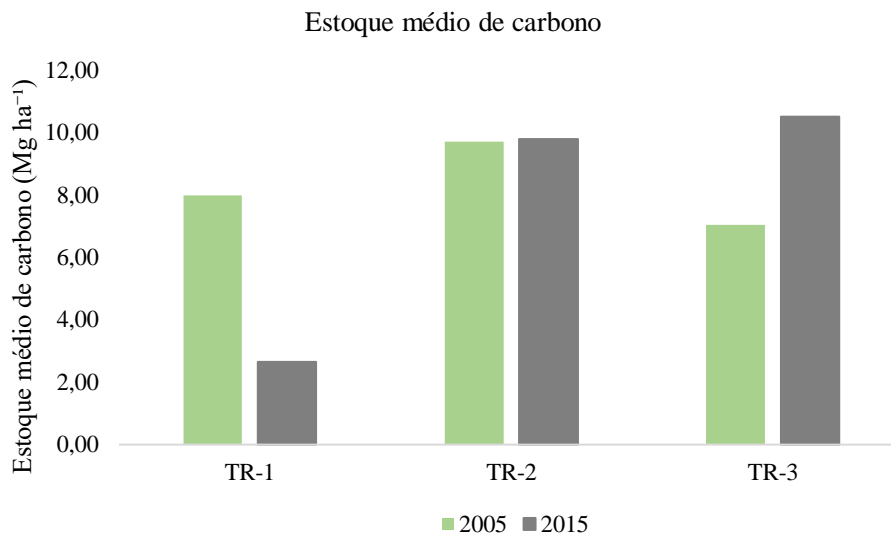


Figura 3. Comparativo do estoque médio de carbono nas áreas dos três tratamentos, da comunidade lenhosa arbórea e arbustiva, entre o período monitorado.

Em 2006, as áreas submetidas ao TR-1 tiveram todo o seu estoque de indivíduos lenhosos, com Db ≥ 5 cm, removido (7,7666 Mg ha⁻¹), restando apenas os indivíduos da espécie *Caryocar brasiliense* e todos os remanescentes das demais espécies com Db < 5 cm. Nove anos após o desbaste, o estoque de carbono lenhoso recuperado (Db ≥ 5 cm) foi de apenas 2,2769 Mg ha⁻¹. Esse estoque representa apenas 29,3% do estoque total inicial, isto é, registrado em 2005. Portanto, o período de 9 anos ainda não foi suficiente para que a vegetação lenhosa remanescente e a recrutada no período, conseguissem recuperar o estoque de carbono inicial da comunidade.

Vale ressaltar que, segundo Vale (2000), o cerrado *sensu stricto* possui espécies com grande produção energética em função da alta produção de biomassa, porém com madeira sem as características desejáveis para geração de calor. Da mesma forma, o cerrado *sensu stricto* também possui espécies com boas características da madeira para geração de energia, mas, que não se destacam na comunidade para produção energética, em função da baixa produção de biomassa. Para o primeiro caso, é possível citar a espécie *Vochysia thyrsoidea* e no segundo caso a espécie *Acosmium dasycarpum*. Ainda, segundo Vale (2000), as espécies *Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens* representam um outro grupo de espécies do cerrado *sensu stricto*, ou seja, espécies com boas características da madeira desejáveis para geração de calor e com alta produção de biomassa seca, portanto, espécies ideais para produção de energia.

Após a implantação do TR-1, observa-se que ao longo do período monitorado, 11 (onze) espécies desapareceram da área e 15 (quinze) novas espécies foram recrutadas. Em 2015, nota-se uma perda de 172 (cento e setenta e dois) indivíduos lenhosos no TR-1. Por outro lado, no TR-2, quatro espécies desapareceram da área, sendo elas: *Eremanthus glomerulatus*, *Mimosa clausenii*, *Byrsonima coccolobifolia* e *Davilla elliptica*. Entretanto, 11 (onze) novas espécies foram recrutadas na área após a implantação do tratamento silvicultural. Em 2015, a diferença de indivíduos lenhosos presente na área é 101 (cento e um). Esse fato, mostra que após um distúrbio de um manejo florestal, ele não causa danos irreversíveis a riqueza e diversidade de espécies.

De certa forma, a aplicação do TR-2 causou menos impactos na área e a vegetação remanescente, juntamente com o recrutamento conseguiu recuperar, em 9 anos, quase que a totalidade do estoque de carbono removido pelo desbaste. Em nove anos, a comunidade do cerrado *sensu stricto* submetida ao TR-2 conseguiu recuperar quase 100% do estoque removido e desse percentual, 6% foram recuperados pelo recrutamento de indivíduos pertencentes as três espécies: *Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*.

5.4. Estoque de carbono das espécies com potencial energético, 9 anos após a implantação dos tratamentos silviculturais.

Os dados de estoque de carbono, considerando apenas o grupo de espécies com potencial uso para produção de energia (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*), nos três tratamentos foram submetidos ao teste de normalidade de D'Agostino-Pearson, que detectou que os dados não apresentavam distribuição normal ($p > 0,05$). Após a

transformação dos dados para logaritmo neperiano, os dados foram novamente submetidos ao teste de normalidade de D'Agostino-Pearson, o qual detectou a normalidade dos dados transformados [$\ln(X+1)$], conforme Tabela 9. O teste de Cochran também foi aplicado aos dados, sendo detectado que as variâncias dos tratamentos são homogêneas (Cr calculado [0,48] < Cr tabelado [0,63]), atingindo assim, dois dos pressupostos exigidos para a realização da análise de variância.

De acordo com o resultado da ANOVA para os dados transformados, nove anos após a implantação dos tratamentos, foram detectadas diferenças significativas nos estoques de carbono do grupo de espécies com potencial para produção de energia, tanto em nível de tratamentos quanto em nível de blocos ($p < 0,05$).

Tabela 9. Teste de normalidade de D'Agostino-Pearson aplicado aos dados de estoque de carbono (kg) da vegetação lenhosa arbórea-arbustiva pertencente ao grupo de espécies potenciais para produção de energia (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*), registrados em 2015, nove anos após a implantação dos tratamentos silviculturais nas áreas experimentais de cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa – UnB.

Teste de D' Agostino-Pearson (DA)	TRATAMENTOS		
	TR-1	TR-2	TR-3
DA-stat	1,4702	2,0269	4,0259
p-valor	0,4795	0,363	0,1336
Nível de significância (α)	0,05	0,05	0,05
Distribuição normal	Sim	Sim	Sim

O teste Tukey de comparação de médias foi aplicado aos dados, considerando um nível de significância de 5%. O maior estoque médio de carbono das espécies potenciais para uso energético foi registrado em TR-3 (3,5812 Mg ha⁻¹), ou seja, nas áreas testemunhas onde não houve qualquer intervenção silvicultural. Esse estoque diferiu significativamente dos estoques médios registrados nas áreas submetidas tanto ao corte raso de todas as espécies com Db \geq 5 cm (TR-1), quanto nas áreas em que houve o corte apenas das espécies com potencial para produção de energia, com Db \geq 5 cm (TR-2). Os valores obtidos para as duas áreas foram iguais a, respectivamente, 0,5929 Mg ha⁻¹ e 0,7138 Mg ha⁻¹. Ressalta-se ainda que os estoques médios de carbono registrados em TR-1 e TR-2 são estatisticamente iguais ao nível de 5% de significância. Tais estoques chegam a ser cinco/seis vezes menores que o estoque médio registrado nas áreas sem intervenção (Figura 4).

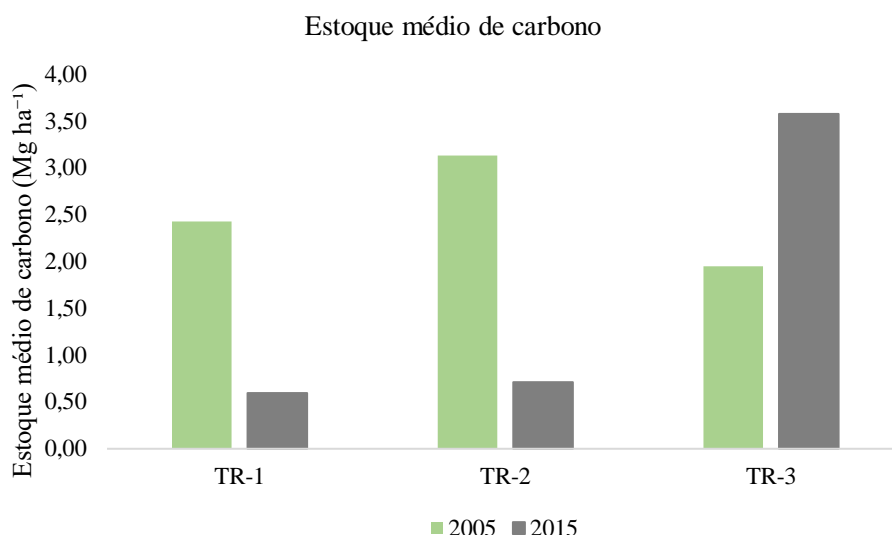


Figura 4. Comparativo do estoque médio de carbono nas áreas dos três tratamentos, das espécies com potencial para produção de energia, entre o período monitorado.

Os resultados apresentados indicam que o estoque de carbono associado ao grupo de espécies com potencial para produção de energia ou foi influenciado negativamente pelas intervenções de ambos os tratamentos que envolveram o desbaste da vegetação lenhosa (TR-1 e TR-2), ou, no mínimo, não houve tempo suficiente para restabelecer o estoque de carbono original.

A Tabela 10 mostra o estoque de carbono registrado para cada uma das três espécies potenciais energéticas, antes e após a implantação de cada tratamento silvicultural. *Tachigali vulgaris* foi a espécie que mais se destacou pelo seu armazenamento de carbono, apresentando os maiores valores de estoque de carbono em todos os cenários. Em contrapartida, *Pterodon pubescens* foi a espécie que menos se destacou entre as três espécies, já que apresentou menor estocagem de carbono em todos os cenários analisados.

Tabela 10. Valores de densidade e estoque de carbono do grupo de espécies com potencial uso para produção de energia (*Tachigali vulgaris*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens*), registrados em 2015, na comunidade lenhosa arbórea e arbustiva das áreas experimentais de cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa – UnB, nove anos após a aplicação dos tratamentos silviculturais.

Espécies	TR-1			TR-2			TR-3		
	Mg ha ⁻¹	%	Ind ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	%	Ind ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	%	Ind ha ⁻¹
<i>D. miscolobium</i>	0,1020	3,9	80	0,1795	1,8	70	1,2529	11,9	153,33
<i>P. pubescens</i>	0,0306	1,2	23,33	0,1416	1,4	46,67	0,2778	2,6	53,33

<i>T. vulgaris</i>	0,3812	14,4	76,67	0,2055	2,1	43,33	1,8116	17,2	110
Comerciais	0,5138	19,4	180	0,5266	5,4	160	3,3423	31,8	316,66
Comunidade	2,6498	100	1216,67	9,8210	100	1856,67	10,5117	100	1876,67

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um período de 9 anos após a implantação dos sistemas silviculturais não é considerado suficiente para que uma área se recupere naturalmente ao estoque original de carbono ao nível da comunidade. As espécies com potencial energético se destacaram de forma significativa aos estoques de carbono total. Entretanto, poucas espécies lenhosas contribuem para o estoque de carbono total acumulado ao longo do tempo, e essa contribuição é variável com o tempo e com o tipo de tratamento silvicultural. O tipo de sistema silvicultural influencia o estoque de carbono total acumulado pelas espécies e pode ser mais ou menos favorável ao desenvolvimento de certas espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFLECK, D. L. R. Aboveground biomass equations for the predominant conifer species of the Iland Northwest USA. **Forest Ecology and Management**, v. 432, p. 179-188, 2019.

ALHO, C. J. R. Desafios para a conservação do Cerrado, em face das atuais tendências de uso e ocupação. In: ALDICIR SCARIOT; JOSÉ CARLOS SOUSA-SILVA; JEANINE M. FELFILI (Eds.). **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 367–381.

ANDRADE, D.C.; ROMEIRO, A.R. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. Texto para Discussão, Instituto de Economia da UNICAMP. v. 155, p. 1-44, 2009.

AQUINO, F. G.; MIRANDA, H. B. M. Consequências ambientais da fragmentação de habitats no Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Volume 1. Planaltina-DF: Embrapa-CPAC, 2008. p. 385–398.

ARAUJO, T. Respostas de espécies arbóreas com potencial energético em um cerrado *sensu stricto*, submetido a diferentes intensidades de manejo. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 37f. (2020).

AZEVEDO, G. B. **Volume e biomassa lenhosa de um cerrado *sensu stricto* monitorado por 27 anos após intervenções silviculturais**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). - Universidade de Brasília, Brasília, DF. Brasília. 94 f. 2017.

BACCINI, A.; WALKER, W.; CARVALHO L.; FARINA, M.; SULLA-MENASHE, D.; HOUGHTON, R. A. Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and losses. **Science**, v. 358, n. 6360, p. 230-234, 2017.

BENTES-GAMA, M. M. Importância de produtos florestais não madeireiros (PFNM) para a economia regional. **Circular Técnica**, 81. EMBRAPA RONDÔNIA. Ministério da Agricultura Pecuária e Desenvolvimento, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Bioma Cerrado – 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acesso em: 19 mar. 2021.

BORAH, M.; DAS, D.; KALITA, J. et al. (2015) Tree species composition, biomass and carbon stocks in two tropical forest of Assam. **Biomass Bioenerg** 78:25–35.

- BUSTAMANTE, M. M. C.; NARDOTO, G. B.; PINTO, A. S.; RESENDE, J. C. F.; TAKAHASHI, F. S. C.; VIEIRA, L. C. G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3, p. 655–671, 2012.
- CANADELL, J. G.; RAUPACH, M. R. Managing forests for climate change mitigation **Science**, v.320, n. 5882, p. 1456-1457, 2008.
- CASTRO, E. A. **Biomass, nutrient pools and response to fire in the Brazilian Cerrado**. MS Thesis - Oregon State University, 1996. 128f.
- COCHRAN, W. G. The distribution of the largest of a set of estimated variances as a fraction of their total. **Annals of Eugenics**, v. 22, n. 11, p. 47-52, 1947.
- COELHO, A. J. P.; MAGNAGO, L. F. S.; MATOS, F. A. R.; MOTA, N. M.; DINIZ, E. S.; MEIRA-NETO, J. A. A. Effects of anthropogenic disturbances on biodiversity and biomass stock of Cerrado, the Brazilian savanna. **Biodiversity and Conservation**, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-02013-6>.
- CORDEIRO, N. G.; PEREIRA, K. M. G.; PINTO, L. O. R.; TERRA, M. C. N. S.; MELLO, J. M. Variação espaço-temporal do estoque de carbono em fragmentos de Cerrado em Minas Gerais. In: Jasper, M. (Ed.). **Fontes de Biomassa e Potenciais de uso**. Ponta Grossa, Brasil: Atena Editora, p. 103–116, 2019.
- COSTA, T. G.; BIANCHI, M. L.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no Cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 37-45, 2014.
- D'AGOSTINO, R. B. Transformation to normality of the null distribution of g_1 . **Biometrika**, v. 57, n. 3, p. 679–681, 1970.
- DIAS, B. F. Conservação da biodiversidade no bioma Cerrado: histórico dos impactos antrópicos no bioma Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Eds.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: EMBRAPA CERRADOS, 2008. p. 303–333.
- DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; MAX, J. C. M.; BOAS, O. V.; CONTIERI, W. A.; RAMOS, V. S. **Manual para recuperação da vegetação do Cerrado**. São Paulo: SMA, 2011.

ERIKSSON, E.; GILLESPIE, A. R.; GUSTAVSSON, L.; LANGVALL, O.; OLSSON, M.; SATHRE, R.; STENDAHL, J. Integrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution. **Canadian Journal Forest Research**, v. 37, n. 3, p. 671-681, 2017.

FAO. Global Forest Land-Use Change from 1990 to 2010: An Update to a Global Remote Sensing Survey of Forests. Forest Resources Assessment. **Working Paper** 187 Rome: FAO, United Nations. 2017.

FELFILI, J. M.; SILVA JUNIOR, M. C. Floristic composition, phytosociology and comparison of cerrado and gallery forests at Fazenda Água Limpa, Federal District. Brazil, Pp. 395-416, In: P. A. FURLEY; J. A. PROCTOR; J. A. RATTER (Eds.). **Nature and dynamics of forest-savanna boundaries**. London, Chapman & Hall. 1992

FELFILI, J. M.; SILVA JUNIOR, M. C. A comparative study of cerrado (*sensu stricto*) vegetation in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 9, p. 277-289, 1993.

Flora do Brasil 2020 em construção. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 02 mar. 2021.

FONSECA, W.; ALICE, F. E.; REY-BENAYAS, J. M. Carbon accumulation in aboveground and belowground biomass and soil of different age native forest plantations in the humid tropical lowlands of Costa Rica. **N. For**, v. 43, n. 2, p. 197-211, 2011, 10.1007/s11056-011-9273-9.

GAMA, J. R. V.; BENTES-GAMA, M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Manejo sustentado para floresta de várzea na Amazônia oriental. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p.719-729, 2005.

GDF. Governo Do Distrito Federal. Decreto nº 38.849, de 8 de fevereiro de 2018. Dispõe sobre o tombamento de espécies arbóreo-arbustivas, e dá outras providências. Brasília, 2018.

GOEDERT, W. J.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. O. Savanas tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Eds.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina - DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 47-77.

GRECCHI, R. C.; GWYN, Q. H. J.; BÉNIÉ, G. B.; FORMAGGIO, A. R.; FAHL, F. C. Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: A multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. **Applied Geography**, v. 55, p. 300-312, 2014.

HÉRAULT, B.; PIPONIOT, C. Key drivers of ecosystem recovery after disturbance in a neotropical. **Forest Ecosystem**, v. 5, n. 2, 2018.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, In: H.S., Chapter 2, v. 4, 2006.

PCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, In: H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (Eds.), IGES, Japan.

JANDL, R.; BAUHUS, J.; BOLTE, A.; SCHINDLBACHER, A.; SCHULLER, S. Effect of climate-adapted forest management on carbon pools and greenhouse gas emissions. **Curr. For. Rep.**, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2015.

KLINK, C. A.; MACEDO, R. H.; MUELLER, C. C. **De Grão em Grão, o Cerrado Perde Espaço**. Brasília: Fundo Mundial para a Natureza. (World Wildlife Fund -WWF), 1995. 66p.

LAFLEUR, B.; FENTON, N. J.; SIMARD, M.; LEDUC, A.; PARÉ, D.; VALERIA, O.; BERGERON, Y. Ecosystem management in paludified boreal forests: enhancing wood production, biodiversity, and carbon sequestration at the landscape level. **Forest Ecosystems**, v. 5, n. 27, 2018.

LEE, J.; YOON, T. K.; HAN, S.; KIM, S.; YI, M. J.; PARK, G. S.; KIM, C.; SON, Y. M.; KIM, R.; SON, Y. Estimating the carbon dynamics of South Korean forests from 1954 to 2012. **Biogeosciences**, v. 11, p. 4637–4650, 2014.

LIMA, R. B. de; APARÍCIO, P. da S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, W. C. da; GUEDES, M.C.; OLIVEIRA, P.C. de et al., (2014) Volumetria e classificação da capacidade produtiva para Mora paraenses (Ducke) no estuário Amapaense. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v.42, n. 101, p. 141–154.

LOPES, R. B.; MIOLA D. T. B. Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do Cerrado. **SYNTHESIS Revista Digital FAPAM**, v.2, n.2, 127-143, nov. 2010.

MARRIS, E. Conservation in Brazil: The forgotten ecosystem. **Nature**, v. 437, n. 7061, p. 944–945, 2005.

MENDONÇA, R.C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA-JR, M. C.; REZENDE, A.V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. & FAGG, C. W. 2008. Flora vascular do cerrado: Checklist com 12.356 espécies. **In Cerrado: ecologia e flora** (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). Embrapa, Planaltina, p.417-1279.

MMA, M. M. A. **Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado** 2013. Brasília: MMA SBF, 2015.

MONTEIRO, J. M. G. **Fluxos de CO₂ em um cerrado *sensu stricto***. Brasília, 1995. 61f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília.

NOORMETS, A.; EPRON, D.; DOMEQ, J. C.; McCNULTY, S. G.; FOX, T.; SUN, G.; KING, J. S. Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: a review and hypothesis. **Forest Ecology and Management**, v. 355, p. 124-140, 2015.

OUÉDRAOGO, O.; BONDÉ, L.; BOUSSIM, J. I.; LINSTÄDTER, A. Caught in a human disturbance trap: Responses of tropical savanna trees to increasing land-use pressure. **Forest Ecology and Management**, v. 354, p. 68–76, 2015.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado *sensu stricto* do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v. 35. p. 527-538, 2011.

PAN, S.; BIRDSEY, R.A.; FANG, R.; HOUGHTON, P. E.; KAUPPI, W. A.; KURZ, O. L.; PHILIPS, A.; SHVIDENKO, S. L.; LEWIS, J. G.; CANADELL, P.; CIAIS, R. B.; JACKSON, S. W.; PACALA, A. D.; McGUIRE, S.; PIAO, A.; RAUTIAINEN, A.; SITCH, S.; HAYES, D. A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 988-993, 2011.

PASSOS, C. A. M.; BRAZ, E. M. Sistemas silviculturais e agroflorestais na fronteira agrícola da Amazônia. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 1, p. 91-98, 2004.

PEREIRA, K. M. G.; CORDEIRO, N. G.; TERRA, M. de C. N. S.; PYLES, M. V.; CABACINHA, C. D.; MELLO, J. M. de; VAN DEN BERG, E. Protection status as determinant of carbon stock drivers in cerrado *sensu stricto*. **Journal of Plant Ecology**, v. 13, n. 3, p. 361–368, 2020.

PROTÁSIO, T. P.; SCATOLINO, M. V.; ARAÚJO, A. C. C.; OLIVEIRA, A. F. C. F.; FIGUEIREDO, I. C. R.; ASSIS, M. R.; TRUGILHO, P. F. Assessing proximate composition, extractive concentration, and lignin quality to determine appropriate parameters for selection of superior Eucalyptus firewood. **BioEnergy Research**, v. 12, p. 626-641, 2019.

PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M. Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 317-326, 2012.

PYLES, M. V.; PRADO-JUNIOR, J. A.; MAGNAGO, L. F. S.; PAULA, A.; MEIRA-NETO, J. A. Loss of biodiversity and shifts in aboveground biomass drivers in tropical rainforests with different disturbance histories. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, n. 12, p. 3215–3231, 2018.

RAHMAN, M.; ISLAM, M.; ISAM, R.; SOBUJ, N. A. Towards sustainability of tropical forests: implications for enhanced carbon stock and climate change mitigation J. Forest. Environ. **Sci**, v. 33, n. 4, p. 281-294, 2017.

RATTER, J. A. et al. Estudo preliminar da distribuição das espécies lenhosas da fitofisionomia cerrado sentido restrito nos estados compreendidos pelo bioma Cerrado. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, v. 5, p.5-43, 2000.

REIS, A. F.; SCHIMIELE, M. Characteristics and potentialities of Savanna fruits in the food industry. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15017>.

REZENDE, A. V. **Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado sensu stricto submetido a diferentes distúrbios por desmatamento**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. Brasília 2020. 269f. 2002.

RIBEIRO, J. F.; SILVA, J. C. S.; BATMANIAN, G. J. Fitossociologia de tipos fisionômicos de Cerrado em Planaltina-DF. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 8, p. 131-142, 1985.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). **Cerrado: Ambiente e Flora**. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, p. 89-166, 1998.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Volume 1. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 151-212, 2008.

ROTH, P. et al. **Manual do Técnico Florestal**. Rio Branco: Design gráfico Guilherme K. Noronha, 2009. Disponível em: <http://www.portal.ufra.edu.br/attachments/1026_MANUAL%20DO%20T%C3%89CNICO%20FLORESTAL.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021

SANO, E. E.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S.; BETTIOL, G. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; BEZERRA, A. S. et al. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and

prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818–828, 2019.

SANTOS, G. L.; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; TORRES, J. L. R. Natural regeneration in anthropogenic environments due to agricultural use in the Cerrado. Uberaba, MG, Brazil. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 1, p. 169-176, 2017.

SAWYER, D.; MESQUITA B.; COUTINHO, B.; ALMEIDA, F. V.; FIGUEIREDO, I.; LAMAS, I.; PEREIRA, L. E.; PINTO, L. P.; PIRES, O. P.; KASECKER, T. **Perfil Do Ecosistema Hotspot de Biodiversidade Cerrado**. Brasília: ISPN. 2016.

SNIF (Sistema Nacional de Informação Florestal) - **Serviço Florestal Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/bens-e-servicos-que-a-floresta-fornece>>. Acesso em: 13 mar. 2021.

SILVA NETO, C. M.; VENTUROLI, F.; GONÇALVES, B. B.; FERREIRA, G. A. Incremento diamétrico de *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand em floresta estacional semidecídua sob manejo, em Pirenópolis, Goiás, Brasil. **Interciência**, v. 40, n. 8, p. 564–569, 2015.

SOBRINHO, J. C. P. et al. **Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS): um estudo de caso no estado de Rondônia**. Centro de apoio operacional do meio ambiente. Porto Velho, 2010.

STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREN, A.; CROUZELLES, R.; LOYOLA, R. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v.1, p. 1-3, 2017.

TRABAQUINI, K.; GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; ARAGÃO, L. E. O. C. Soil, land use time, and sustainable intensification of agriculture in the Brazilian Cerrado region. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, n. 70, p. 1-15, 2017.

TREVISAN, D. P.; BISPO, P. C.; ALMEIDA, D.; IMANI, M.; BALTZTER, H.; MOSHINI, L. E. Environmental vulnerability index: An evaluation of the water and the vegetation quality in a Brazilian Savanna and Seasonal Forest biome. **Ecological Indicators**, v. 112: 2020.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. **Disponibilidade de energia na forma de calor da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília**. In: 3º Encontro de Energia Rural, AGRENER, 2000. Campinas - SP.

VELAZCO, S. J. E.; GALVAO, F.; KELLER, H. A.; BEDRIJ, N. A. Florística e

fitossociologia de uma Floresta Estacional Semidecidual, Reserva Privada Osununú-Misiones, Argentina. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 1-12, 2015.

WALTER, B. M. T.; CARVALHO, A. M.; RIBEIRO, J. F. O conceito de savana e de seu componente Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Vol.1, Ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 19–45.

WOOD, T. E.; CAVALERI, M. A.; REED, S. C. **Tropical forest carbon balance in a warmer world: a critical review spanning microbial- to ecosystem-scale processes** Biol. Rev., v. 87, n. 4, p. 912-927, 2012.

ZAPPI, D. C.; FABIANA L. R. F.; LEITMAN P.; SOUSA, V. C.; WALTER, B. M. T.; PIRANI, J. R.; MORIM, M. P. et al. Growing Knowledge: An Overview of Seed Plant Diversity in Brazil. **Rodriguesia**, v. 66, n. 4, p. 1085 - 1113, 2015.

ZENG, W.; FU, L.; XU, M.; WANG, X. CHEN, Z. YAO, S. Developing individual tree-based models for estimating aboveground biomass of five key coniferous species in China. **Journal of Forest Research**, v. 29, n. 5, p. 1251-1261, 2018.

ZENG, Z.; PIAO, S.; Li, L.Z.X.; ZHOU, L.; CIAIS, P.; WANG, T. et al. Climate mitigation from vegetation biophysical feedbacks during the past three decades. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 6, p. 432–436, 2017.

ZOMER R. J.; TRABUCCO, A.; BOSSIO, D. A.; VERCHOT, L. V. Climate change mitigation: a spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation. **Agriculture Ecosystem. Environmental**, v. 126, p. 67 – 80, 2008.