



**VOLUME E BIOMASSA LENHOSA DE UM CERRADO
SENSU STRICTO MONITORADO POR 27 ANOS APÓS
INTERVENÇÕES SILVICULTURAIS**

GILENO BRITO DE AZEVEDO

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**VOLUME E BIOMASSA LENHOSA DE UM CERRADO
SENSU STRICTO MONITORADO POR 27 ANOS APÓS
INTERVENÇÕES SILVICULTURAIS**

GILENO BRITO DE AZEVEDO

**ORIENTADORA: Dra. ALBA VALÉRIA REZENDE
COORIENTADOR: Dr. EDER PEREIRA MIGUEL**

**TESE DE DOUTORADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD-081.2017
BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO - 2017**

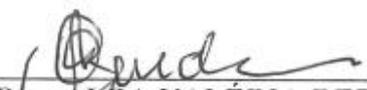
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

“VOLUME E BIOMASSA LENHOSA DE UM CERRADO *sensu stricto*
MONITORADO POR 27 ANOS APÓS INTERVENÇÕES SILVICULTURAIS”

GILENO BRITO DE AZEVEDO

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

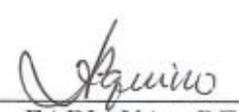
APROVADA POR:



Profa. Dra. ALBA VALÉRIA REZENDE (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Presidente)



Prof. Dr. REGINALDO SÉRGIO PEREIRA (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Examinador Interno)



Dra. FABIANA DE GÓIS AQUINO (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA);
(Examinadora Externa)



Dr. LUCAS JOSÉ MAZZEI DE FREITAS (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA);
(Examinador Externo)

Prof. Dr. AILTON TEIXEIRA DO VALE (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB).
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 13 de dezembro de 2017.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

AAZ994v Azevedo, Gileno Brito de
Volume e biomassa lenhosa de um cerrado *sensu stricto*
monitorado por 27 anos após intervenções silviculturais /
Gileno Brito de Azevedo; orientador Alba Valéria Rezende;
co-orientador Eder Pereira Miguel. -- Brasília, 2017.
94 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências Florestais) --
Universidade de Brasília, 2017.

1. Sistemas silviculturais. 2. Regeneração natural. 3.
Modelagem do crescimento e produção. 4. Manejo florestal. 5.
Efeito do fogo. I. Rezende, Alba Valéria, orient. II.
Miguel, Eder Pereira, co-orient. III. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AZEVEDO, G. B. 2017. **Volume e biomassa lenhosa de um cerrado *sensu stricto* monitorado por 27 anos após intervenções silviculturais.** Tese de doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD-081.2017. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 94 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gileno Brito de Azevedo

TÍTULO: Volume e biomassa lenhosa de um cerrado *sensu stricto* monitorado por 27 anos após intervenções silviculturais.

GRAU: Doutor; ANO: 2017; ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Manejo florestal.

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Gileno Brito de Azevedo
gilenoba@hotmail.com

*“A ciência nunca resolve um
problema sem criar pelo
menos outros dez.”*

(George Bernard Shaw)

*Aos meus pais (Kito e Terezinha), à minha
esposa (Glauce), ao meu irmão (Gilson) e
aos meus sogros (Costinha e Júnia).*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, acima de tudo, por iluminar meus caminhos e guiar meus passos para que eu chegasse até aqui.

À Universidade de Brasília e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela oportunidade.

À minha orientadora Alba Valéria Rezende. Obrigado pela amizade, confiança, atenção, correções, ensinamentos, esclarecimentos e por todo o auxílio necessário durante o doutorado. Enfim, obrigado pela valiosa orientação e por me dar oportunidade de realizar esse trabalho.

Ao meu coorientador Eder Pereira Miguel. Obrigado pela amizade, esclarecimentos e todo apoio necessário para a conclusão desse trabalho.

Aos membros da banca, Lucas Mazzei, Fabiana Aquino, Reginaldo Pereira e Ailton Vale. Obrigado por dedicarem parte de seus tempos para leitura dessa tese, e pelas valiosas contribuições que com certeza estão por vir.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos no período inicial do doutorado, sem a qual não seria possível realizar o mesmo.

Aos Professores Renato Castro, Ricardo Gaspar, Anderson Marcos, Reginaldo Pereira, Alcides Gatto, Eraldo Matricardi, Ailton Vale e José Roberto. Obrigado pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos funcionários da pós-graduação que estiveram sempre dispostos a me ajudar quando precisei.

A todos que contribuíram diretamente e indiretamente com a obtenção dos dados utilizados na tese. Com certeza foram muitos, afinal o experimento foi idealizado a quase 30 anos. Obrigado a todos.

Aos queridos amigos conquistados em Brasília desde a época do mestrado: Valderli Piontekowski e Fabiana Ribeiro (*primeiras pessoas que conheci na UnB*); Josiane Bruzinga (*Mana Josi*) e Piaba (*Mano π*), Leônidas Murta e Erika Carolina (*o casal de jovencinhos*), Lidiomar Soares, Luduvico (*José Raimundo*), Lamartine Oliveira, Milton Serpa, Silvia Mota, Henrique e Tita Mews, Patrícia Pires e Vitor Junqueira, Tangrienne Nemer, Marcia Fernandes, Pedro Rocha, Marina Monteiro, Fabrícia Mota, Genilda Amaral, Ilvan Júnior. Obrigado pela amizade e momentos de descontração no período.

Aos conhecidos de longas datas: Sidnei Marilton (*Magal*), Alcides Neto (*Netão*), Helene França (*Lanítica*), Siléia Guimarães (*Si*), Pedro Cerqueira, Giovanni Vieira, etc. Tem muito mais (*e o tempo está curto*). Obrigado a todos amigos pela amizade.

Ao amigo e colega de trabalho Paulo Teodoro (*Mito*). Obrigado pelos valiosos ensinamentos estatísticos.

Aos demais amigos e professores da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul, obrigado pela receptividade. Alô pessoal das “*Reuniões de sexta*”, logo eu volto.

À minha família. Em especial, aos meus pais Kito e Terezinha, meu irmão Gilson e meus sogros Costinha e Júnia, pelo apoio e pelos ensinamentos de vida que tanto me fortaleceram como pessoa, ensinando-me a buscar o caminho do bem.

E por fim, a minha esposa Glauce que um dia me proferiu as seguintes palavras: “... *e te prometo ser fiel na alegria e na tristeza, na saúde e na doença, amando-te e respeitando-te todos os dias da minha vida.*” Coitada! Acredito que ela não imaginava que nesse pacote incluía todo o suporte necessário a elaboração de uma tese. É merecedora do título de “*Co-Doutorado*”. Obrigado pelo amor, amizade, parceria, compreensão, ... Enfim, obrigado por tudo!

Muito obrigado a todos!

RESUMO

VOLUME E BIOMASSA LENHOSA DE UM CERRADO *SENSU STRICTO* MONITORADO POR 27 ANOS APÓS INTERVENÇÕES SILVICULTURAIS

Autor: Gileno Brito de Azevedo

Orientador: Dra. Alba Valéria Rezende

Coorientador: Dr. Eder Pereira Miguel

Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais

Brasília/DF, Dezembro de 2017.

O manejo sustentável da vegetação do cerrado para a produção de produtos madeireiros, constitui uma alternativa de exploração ao desmatamento e permite a obtenção de renda, mantendo as funções ecossistêmicas da vegetação. Entretanto, pouco se conhece sobre o crescimento e produção de volume de madeira e biomassa da vegetação lenhosa regenerada nessas áreas após a implantação de sistemas silviculturais. Esse conhecimento é fundamental para sua conservação, restauração e manejo, principalmente em face aos cenários de mudanças climáticas. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e produção em volume e biomassa lenhosa aérea de um cerrado *sensu stricto*, após a implantação de sistemas silviculturais. Em 1988, dezoito parcelas experimentais (20 m x 50 m cada) foram submetidas a seis sistemas silviculturais, definidos com base em diferentes técnicas de corte, extração da produção madeireira e limpeza da área, seguido da regeneração natural. Desde então, a área encontra-se protegida de ações antrópicas, exceto a ocorrência de três incêndios florestais não planejados (1, 6 e 23 anos após o corte). A vegetação lenhosa presente na área, resultante do processo de regeneração natural, foi monitorada em oito ocasiões: 8, 10, 12, 14, 17, 20, 23 (antes do incêndio) e 27 anos após o corte. Os indivíduos lenhosos com diâmetro tomado a 0,30 m do solo, igual ou superior a 5 cm tiveram seu diâmetro e altura registrados e foram identificados botanicamente. Os dados obtidos foram utilizados para realizar a modelagem do crescimento e produção do volume e biomassa. Também foram utilizados para avaliar as mudanças ocorridas ao longo do tempo na estrutura da comunidade e das principais espécies que ocorrem na área. Os sistemas silviculturais influenciaram no volume e na biomassa da vegetação lenhosa regenerada, com tendência de recuperação mais lenta de sua produção nas áreas com intervenções silviculturais mais intensas. Esses estoques foram estimados a partir da área basal do povoamento, que foi indicada na análise de trilha como a variável com maior efeito direto sobre essas variáveis. O período avaliado foi suficiente para o cerrado estudado recuperar sua densidade de indivíduos, área basal, volume e biomassa para níveis superiores aos da implantação dos sistemas silviculturais e aos de áreas sem intervenções. As projeções realizadas a partir dos modelos ajustados indicam que, caso não tivesse ocorrido o incêndio, os valores máximos de incremento médio anual de volume de madeira ($\sim 1,8$ a $2,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e de biomassa ($\sim 0,9$ a $1,1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) ocorreriam entre 23 e 27 anos após o corte, sendo esse período variável entre os sistemas silviculturais. A rotação de corte que permite a máxima produtividade de madeira (24 a 26 anos) não foi suficiente para recuperar a estrutura original da comunidade e das principais espécies. Os incêndios florestais afetam negativamente a produção volumétrica e os estoques de biomassa na área, e transforma o cerrado em uma fonte de emissões de CO_2 para a atmosfera.

Palavras-chave: Sistemas silviculturais; Regeneração natural; Modelagem do crescimento e produção; Manejo florestal; Efeito do fogo; Sequestro de carbono.

ABSTRACT

VOLUME AND BIOMASS WOODY OF A CERRADO *SENSU STRICTO* MONITORED FOR 27 YEARS AFTER SILVICULTURAL INTERVENTIONS

Author: Gileno Brito de Azevedo

Advisor: Dra. Alba Valéria Rezende

Co-advisor: Dr. Eder Pereira Miguel

Forest Science Postgraduate Programme

Brasília/DF, December 2017.

The sustainable management of cerrado vegetation for the yield of wood products is an alternative to deforestation and allows obtaining income while maintaining the ecosystem functions of the vegetation. However, little is known about the growth and production of wood volume and biomass of the regenerated woody vegetation in these areas after the implementation of silvicultural systems. This knowledge is fundamental for its conservation, restoration and management, especially in the climate change scenarios. Thus, the present work had as objective to evaluate the growth and production of aerial woody volume and biomass of a cerrado *sensu stricto* after the implementation of silvicultural systems. In 1988, eighteen experimental plots (20 m x 50 m each) were submitted to six silvicultural systems, defined based on different cutting techniques, logging extraction and cleaning of the area, followed by natural regeneration. Since then, the area has been protected from anthropogenic actions, except for the occurrence of three unplanned forest fires (1, 6 and 23 years after cutting). The woody vegetation present in the area, resulting from the natural regeneration process, was monitored on eight occasions: 8, 10, 12, 14, 17, 20, 23 (before the fire) and 27 years after cutting. Woody individuals with a diameter taken at 0,30 m from the soil, equal or superior to 5 cm had their diameter and height registered and were identified botanically. The data obtained were used to perform the growth and yield modeling of volume and biomass. The data were also used to evaluate the changes that occurred over time in the community structure and the main species occurring in the area. Silvicultural systems influenced the volume and biomass of regenerated woody vegetation, with a tendency of slower recovery of their production in areas with more intensive silvicultural interventions. These stocks were estimated from the basal area of the stand, which was indicated in the path analysis as the variable with the greatest direct effect on these variables.

The evaluated period was enough for the studied cerrado to recover its density of individuals, basal area, volume and biomass to levels higher than the period of the implementation of the silvicultural systems and also to those of areas without interventions. Projections made from the adjusted models indicate that, in the absence of fire, the maximum values of mean annual increment of wood volume ($\sim 1,8$ a $2,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) and biomass ($\sim 0,9$ to $1,1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) would occur between 23 and 27 years after cutting, being this period variable between silvicultural systems. The cutting rotation that allows maximum wood yield (24 to 26 years) was not enough to recover the original structure of the community and the main species. Forest fires adversely affect volumetric yield and biomass stocks in the area and turn the cerrado into a source of CO₂ emissions into the atmosphere.

Keywords: Silvicultural systems; Natural regeneration; Growth and yield modeling; Forest management; Fire effect; Carbon sequestration.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVOS	4
GERAL	4
ESPECÍFICOS	4
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
<i>Capítulo 1 - MODELAGEM DA PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA DE UM CERRADO SENSU STRICTO NO BRASIL CENTRAL: UMA FERRAMENTA PARA O MANEJO DO CERRADO.....</i>	<i>8</i>
RESUMO	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1 ÁREA DE ESTUDO	11
2.2 BASE DE DADOS	11
2.3 ANÁLISE DOS DADOS.....	13
2.3.1 Obtenção de variáveis da comunidade.....	13
2.3.2 Seleção das variáveis independentes para o ajuste dos modelos de crescimento e produção volumétrica.....	13
2.3.3 Ajuste, seleção e validação dos modelos de crescimento e produção volumétrica	15
2.3.4 Aplicação dos modelos ajustados	16
2.3.5 Avaliação da estrutura da vegetação.....	17
3. RESULTADOS	17
3.1 MODELAGEM DA PRODUÇÃO EM VOLUME.....	17
3.2 APLICAÇÃO DOS MODELOS AJUSTADOS PARA AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA.....	24
3.3 ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO APÓS A IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS SILVICULTURAIS	26
4. DISCUSSÃO	30
4.1 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES, AJUSTE E VALIDAÇÃO DOS MODELOS	30

4.2 EFEITO DOS SISTEMAS SILVICULTURAIS SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA	32
4.3 ESTRUTURA DA COMUNIDADE APÓS A IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS SILVICULTURAIS.....	34
4.4 EFEITO DO INCÊNDIO SOBRE A PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA.....	35
4.5 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS PARA O MANEJO FLORESTAL NO CERRADO	36
5. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

Capítulo 2 - ACÚMULO DE BIOMASSA AÉREA LENHOSA EM UM CERRADO DO BRASIL CENTRAL APÓS A IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS SILVICULTURAIS..... 46

RESUMO	46
1. INTRODUÇÃO.....	47
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	48
2.1 ÁREA DE ESTUDO	48
2.2 BASE DE DADOS	49
2.3 ANÁLISE DE DADOS	52
3. RESULTADOS	53
4. DISCUSSÃO.....	59
5. CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

Capítulo 3 - MODELAGEM DA BIOMASSA LENHOSA AÉREA DE UM CERRADO SENSU STRICTO APÓS IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS SILVICULTURAIS.... 67

RESUMO	67
1. INTRODUÇÃO.....	68
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	70
2.1 ÁREA DE ESTUDO	70
2.2 BASE DE DADOS	70
2.3 ANÁLISE DE DADOS	72
2.3.1 Seleção das variáveis independentes dos modelos de crescimento e produção de biomassa.....	72
2.3.2 Ajuste, seleção e validação dos modelos de crescimento e produção de biomassa	73
2.3.3 Aplicação dos modelos ajustados	74
3. RESULTADOS	74
4. DISCUSSÃO.....	83

5. CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
APÊNDICE	94

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis analisadas sobre a produção volumétrica da comunidade lenhosa do cerrado <i>sensu stricto</i>	20
Tabela 2	Sistema de equações selecionado para a prognose da produção volumétrica da comunidade lenhosa do cerrado <i>sensu stricto</i> após a implantação de sistemas silviculturais.	21
Tabela 3	Volume de madeira ($m^3 ha^{-1}$), ao longo do tempo, após a aplicação de sistemas silviculturais (S.S) em uma área de cerrado <i>sensu stricto</i>	24

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Densidade média ponderada do fuste (lenho + casca) de espécies de cerrado <i>sensu stricto</i> . Adaptado de Vale (2000).	51
Tabela 2	Estoques de biomassa viva, morta e total, ao longo do tempo, após a aplicação de sistemas silviculturais (S.S) em uma área de cerrado <i>sensu stricto</i>	53

CAPÍTULO 3

Tabela 1	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis analisadas sobre os estoques de biomassa viva (Bv) e total (Bt) acumulados em um cerrado <i>sensu stricto</i> após aplicação de sistemas silviculturais...	77
Tabela 2	Sistemas de equações selecionados para a prognose da produção de biomassa viva e total da vegetação lenhosa do cerrado <i>sensu stricto</i>	77

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1** Boxplot das variáveis volume – V ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); densidade – N (ind. ha^{-1}); área basal – G ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$); Db médio quadrático – q (cm); Db médio das árvores dominantes – DD (cm); altura de Lorey – HL (m) e altura média das árvores dominantes – HD (m), registradas na comunidade lenhosa arbórea-arbustiva viva de um cerrado *sensu stricto*, após a implantação de sistemas silviculturais. Os gráficos auxiliares (fundo cinza) para as variáveis V, N e G representam a fração morta dessas variáveis, caso considerasse o total de árvores (vivas + mortas). 19
- Figura 2** Rede de correlações de Pearson entre variáveis que expressam o porte médio das árvores e a estrutura da vegetação em um cerrado *sensu stricto* após a implantação de sistemas silviculturais, em 1988. Em que: V = volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); N = densidade de indivíduos (ind. ha^{-1}); G = área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$); q = Db médio quadrático (cm); DD = Db médio das árvores dominantes (cm); HL = altura de Lorey (m); e HD = altura média das árvores dominantes (m). 20
- Figura 3** Distribuição gráfica dos resíduos obtidos a partir da prognose do volume (V_2) e área basal (G_2), para ocasiões futuras para a comunidade lenhosa de um cerrado *sensu stricto* após a implantação de sistemas silviculturais. 22
- Figura 4** Validação do sistema de equações selecionado para a prognose da produção em volume em uma ocasião futura, a partir dos monitoramentos realizados no período entre 8 e 20 anos e projetados para 23 anos após a implantação de sistemas silviculturais na comunidade lenhosa de um cerrado *sensu stricto*. Volume médio observado ao longo do tempo (—○—); volume médio prognosticado ao longo do tempo (•◊•); ano de início da projeção (●); erro médio entre valores observados e prognosticados (+); amplitude de erro entre valores observados e prognosticados (■). As barras verticais representam os valores máximos e mínimos observados (cor cinza) e prognosticados (cor preta). 23
- Figura 5** Projeções de incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) para cada um dos grupos envolvendo diferentes sistemas silviculturais aplicados na vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto*. A seta indica o incremento médio anual observado após a ocorrência do incêndio florestal. 25
- Figura 6** Projeções da produção volumétrica da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* a partir de dados mensurados aos 23 e 27 anos (antes e depois do fogo) após a implantação dos sistemas silviculturais. 26

Figura 7	Comparação entre distribuição diamétrica dos indivíduos lenhosos, antes da implantação dos sistemas silviculturais, e distribuição diamétrica dos indivíduos regenerados ao longo do tempo, após a implantação dos sistemas silviculturais em um cerrado <i>sensu stricto</i> . Os gráficos auxiliares apresentam o comparativo do percentual de indivíduos em cada classe de Db para cada uma das ocasiões.	27
Figura 8	Posição do índice de valor de cobertura (IVC) de espécies lenhosas em área de cerrado <i>sensu stricto</i> ao longo de 27 anos após a implantação de sistemas silviculturais. A e C) Comportamento, ao longo do tempo, das espécies que apresentavam maior IVC antes do corte da vegetação em 1988. B e D) Espécies que apareceram entre as dez espécies de maior IVC durante o período monitorado no presente trabalho (8 a 27 anos após o corte). Grupo 1: Sistemas silviculturais S1 e S2; Grupo 2: Sistemas silviculturais S3, S4, S5 e S6.	29
Figura 9	Fração do volume total ao longo do monitoramento, representada pelas dez espécies de maior volume por grupo de sistemas silviculturais, 27 anos após o corte da vegetação de um cerrado <i>sensu stricto</i> . As linhas na cor vermelha indicam as espécies com potencial energético, definidas por Vale et al. (2010).	30

CAPÍTULO 2

Figura 1	Contribuição das espécies com a biomassa lenhosa viva durante o período de monitoramento em área de cerrado <i>sensu stricto</i> submetida a diferentes sistemas silviculturais em 1988. Grupo 1: sistemas silviculturais S1 e S2; Grupo 2: sistemas silviculturais S3, S4, S5 e S6. 1 = <i>Schefflera macrocarpa</i> ; 2 = <i>Eriotheca pubescens</i> ; 3 = <i>Miconia leucocarpa</i> ; 4 = <i>Tachigali vulgaris</i> ; 5 = <i>Blepharocalyx salicifolius</i> ; 6 = <i>Eremanthus glomerulatus</i> ; 7 = <i>Stryphnodendron adstringens</i> ; 8 = <i>Qualea grandiflora</i> ; 9 = <i>Piptocarpha rotundifolia</i> ; 10 = <i>Styrax ferrugineus</i> ; 11 = <i>Caryocar brasiliense</i> ; 12 = <i>Dalbergia miscolobium</i> ; 13 = <i>Mimosa clausenii</i> ; 14 = <i>Ouratea hexasperma</i> ; 15 = <i>Kielmeyera coriacea</i> ; 16 = <i>Myrsine guianensis</i> ; 17 = <i>Qualea parviflora</i> ; 18 = <i>Roupala montana</i> ; 19 = <i>Solanum lycocarpum</i> ; 20 = Outras espécies. O percentual de contribuição de cada espécie, com seu número correspondente, é representado pela largura da faixa em cada idade.	55
Figura 2	Biomassa aérea viva, área basal e densidade de indivíduos, por grupos de sistemas silviculturais, para as espécies <i>Miconia leucocarpa</i> , <i>Myrsine guianensis</i> , <i>Blepharocalyx salicifolius</i> , <i>Tachigali vulgaris</i> , <i>Schefflera macrocarpa</i> , <i>Qualea grandiflora</i> , <i>Dalbergia miscolobium</i> , <i>Eriotheca pubescens</i> , <i>Qualea parviflora</i> e <i>Caryocar brasiliense</i> , regeneradas em área de cerrado <i>sensu stricto</i> submetido a diferentes sistemas silviculturais no ano de 1988.	57

Figura 3	Biomassa viva, área basal e densidade de indivíduos, por grupos de sistemas silviculturais, para as espécies <i>Styrax ferrugineus</i> , <i>Roupala montana</i> , <i>Piptocarpha rotundifolia</i> , <i>Stryphnodendron adstringens</i> , <i>Kielmeyera coriacea</i> , <i>Eremanthus glomerulatus</i> , <i>Ouratea hexasperma</i> , <i>Mimosa clausenii</i> , <i>Solanum lycocarpum</i> e outras espécies, regeneradas em área de cerrado <i>sensu stricto</i> submetido a diferentes sistemas silviculturais no ano de 1988.	58
-----------------	---	----

CAPÍTULO 3

Figura 1	Biomassa lenhosa aérea em um cerrado <i>sensu stricto</i> monitorado por 27 anos após a aplicação de sistemas silviculturais. A) Acúmulo de biomassa (viva + morta) nos diferentes sistemas ao longo do tempo. B) Fração da biomassa total representada pela biomassa de árvores mortas. Em que: S1 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha; S2 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha + fogo; S3 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha; S4 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo; S5 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + 2 gradagens (24"); S6 - Corte com motosserra de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo + destoca + 2 gradagens (24"); M - Média dos sistemas silviculturais.	75
Figura 2	Distribuição gráfica dos resíduos obtidos a partir da prognose da biomassa aérea viva (Bv_2) e total (Bt_2) e da área basal viva (Gv_2) e total (Gt_2) para ocasiões futuras em uma área de cerrado <i>sensu stricto</i> após a implantação de sistemas silviculturais.	78
Figura 3	Validação dos sistemas de equações selecionados para a prognose da produção de biomassa aérea viva e total em uma ocasião futura, considerando os dados do inventário realizado aos 8 a 20 anos após a implantação de sistemas silviculturais e projetadas para a idade de 23 anos, em um cerrado <i>sensu stricto</i> . Biomassa aérea média observada ao longo do tempo (—○—); biomassa aérea média prognosticada ao longo do tempo (••◇••); ano de início da projeção (●); erro médio entre valores observados e prognosticados (+); amplitude de erro entre valores observados e prognosticados (■). As barras verticais representam os valores máximos e mínimos observados (cor cinza) e prognosticados (cor preta).	80
Figura 4	Projeções dos incrementos médio anual (IMA) e corrente anual (ICA), para cada um dos sistemas silviculturais envolvendo diferentes técnicas de corte da vegetação lenhosa do cerrado <i>sensu stricto</i> em 1988. Em que: S1 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha; S2 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha + fogo; S3 - Corte com trator de lâmina de todos os	

indivíduos + retirada da lenha; S4 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo; S5 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + 2 gradagens (24"); S6 - Corte com motosserra de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo + destoca + 2 gradagens (24"). 81

Figura 5 Biomassa aérea viva e total e fração da biomassa morta observadas no período de monitoramento e projetadas a partir de dados observados aos 17 anos após o corte da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* em 1988. Em que: S1 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha; S2 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha + fogo; S3 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha; S4 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo; S5 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + 2 gradagens (24"); S6 - Corte com motosserra de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo + destoca + 2 gradagens (24") 82

Figura 6 Relação entre biomassa aérea e área basal de um cerrado *sensu stricto* antes e após o fogo ocorrido em 2011. S1 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha; S2 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha + fogo; S3 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha; S4 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo; S5 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + 2 gradagens (24"); S6 - Corte com motosserra de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo + destoca + 2 gradagens (24") 84

INTRODUÇÃO GERAL

As savanas tropicais, que cobrem aproximadamente 23 milhões de km² (cerca de 20% da superfície terrestre) e encontram-se distribuídas pela África, Austrália, América do Sul e Ásia, são um importante componente da vegetação mundial (LEHMANN et al., 2014). Constituem-se em ambientes extremamente dinâmicos e heterogêneos em termos espaciais e temporais (RATTER; BRIDGEWATER; RIBEIRO, 2003; ALMEIDA et al., 2014; LEHMANN et al., 2014; ABREU et al., 2017) e sua vegetação é determinada por fatores como clima, solo, hidrologia, geomorfologia, fogo, herbivoria e ações antrópicas (COLE, 1986; RIBEIRO; WALTER, 2008; LEHMANN et al., 2014). São ecossistemas complexos, caracterizados pela coexistência de uma camada contínua de vegetação herbácea e de um componente lenhoso descontínuo (RATNAM et al., 2011; WHITLEY et al., 2016).

Em todo o planeta, 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). A intervenção humana nas formações savânicas é tão antiga quanto a existência do homem, já que sua vegetação arbórea nativa é fonte de energia, fibras e madeira e a vegetação herbácea é utilizada para pastagem de animais, o que propicia a formação de savanas secundárias ou antropizadas (GOEDERT; WAGNER; BARCELLOS, 2008).

Nesse contexto, também está inserido o Cerrado brasileiro, uma savana neotropical, com cerca de dois milhões de quilômetros quadrados de área, considerado o segundo maior bioma da América do Sul e do Brasil, superado em área apenas pela Amazônia (KLINK; MACHADO, 2005). O Cerrado possui a mais rica flora dentre as savanas do mundo (12.423 espécies), apresenta alto nível de endemismo (40%) (MENDONÇA et al., 2008; MMA, 2015; STRASSBURG et al., 2017) e elevada ameaça à sua biodiversidade (SILVA; BATES, 2002; HUNKE et al., 2015). Portanto, é considerado um dos *hotspots* mundiais para a conservação da biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2005, 2011; STRASSBURG et al., 2017). Além disso, o bioma também é estratégico para o Brasil 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 país (MMA, 2015).

Até poucas décadas atrás, 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). Porém, nas últimas décadas, o Cerrado tem passado por 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). Isso tem causado elevado prejuízo econômico, perda de biodiversidade, danos ao solo e emissão de carbono (PASSOS; BRAZ, 2004; KLINK; MACHADO, 2005; AQUINO; MIRANDA, 2008; DIAS, 2008; BUSTAMANTE et al., 2012).

Nesse contexto, o uso de sistemas silviculturais se torna importante para a retenção ou reintrodução do componente arbóreo na paisagem, mitigando os efeitos do desmatamento, da queima e da eliminação total da biodiversidade (PASSOS; BRAZ, 2004). As áreas do Cerrado que são passíveis de praticar o manejo sustentável (cerca de 50 milhões de hectares), não precisam ser vistas como um ônus para as propriedades rurais, por serem improdutivas, pois podem ser manejada para a geração de benefícios diretos, além daqueles decorrentes da proteção ao solo, aos recursos hídricos e à biodiversidade (DURIGAN, 2005; FIGUEIREDO et al., 2010).

Contudo, as informações que possam subsidiar o manejo da vegetação lenhosa do Cerrado são incipientes, sendo escassos os estudos sobre técnicas modernas de manejo florestal, em que se integram aspectos silviculturais, ambientais e econômicos (SCOLFORO et al., 2000; FIGUEIREDO et al., 2010). É necessário que se realizem estudos criteriosos sobre as alternativas de exploração sustentada da vegetação de cada tipologia florestal, levando em consideração uma série de informações como a quantidade e distribuição dos recursos, as possibilidades de mercado, os aspectos da regeneração natural, o momento ótimo e intervalos para realização das intervenções silviculturais (SCOLFORO et al., 2000; THIBAU, 2000).

Dessa forma, acompanhar a regeneração natural de áreas de Cerrado após intervenções silviculturais, permite entender os processos e mecanismos mantenedores da comunidade e o comportamento da vegetação frente ao manejo adotado. Além disso, 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 sujeitas a regime de manejo (SILVA NETO et al., 2015).

Portanto, o conhecimento dos efeitos de intervenções silviculturais sobre a dinâmica do crescimento e produção florestal em ecossistemas naturais, como o Cerrado, tanto em nível de comunidade quanto em nível de espécies, é importante para a tomada de decisões

em relação à conservação, restauração e manejo desses ecossistemas. Nesse sentido a presente tese busca responder algumas questões relacionadas ao crescimento e produção da vegetação lenhosa regenerada em área de cerrado *sensu stricto* submetida a diferentes sistemas silviculturais. Para tanto, a presente tese foi dividida em três capítulos, conforme descritos a seguir:

Capítulo 1 - *Modelagem da produção volumétrica de um cerrado sensu stricto no Brasil Central: uma ferramenta para o manejo do cerrado* - Inicialmente, foram selecionadas variáveis independentes para a modelagem do crescimento e produção da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* monitorado por 27 anos após intervenções silviculturais. Os modelos ajustados foram utilizados para realizar a prognose do volume de madeira em idades futuras, permitindo avaliar o efeito dos sistemas silviculturais sobre a regeneração da vegetação lenhosa e determinar uma rotação de corte com base na máxima produtividade. Foi avaliado se a rotação de corte sugerida foi suficiente para a recuperação da estrutura original da vegetação. Os modelos ajustados também foram utilizados para avaliar os efeitos de um incêndio florestal não planejado sobre a produção volumétrica.

Capítulo 2 - *Acúmulo de biomassa aérea lenhosa em um cerrado do Brasil Central após a implantação de sistemas silviculturais* - Foi avaliada a biomassa aérea (viva + morta) acumulada a partir da regeneração natural da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto*, após a implantação de sistemas silviculturais, monitorada por 27 anos. Primeiramente, foi verificado se os sistemas silviculturais influenciaram na recuperação da biomassa da área. Posteriormente, foram verificadas quais espécies apresentaram maior contribuição com os estoques de biomassa ao longo do tempo (8 a 27 anos após o corte) e como os sistemas silviculturais influenciaram em cada uma delas. Por fim, avaliou-se quais espécies se mostraram mais resistentes à ocorrência de incêndios florestais não planejados, mantendo ou aumentando os seus estoques de biomassa no período pós fogo.

Capítulo 3 - *Modelagem da biomassa lenhosa aérea de um cerrado sensu stricto após a implantação de sistemas silviculturais* - Primeiramente buscou selecionar as variáveis relacionadas a estrutura da vegetação e ao porte das árvores que apresentam maior efeito direto sobre a biomassa aérea viva e total acumulada em uma área de cerrado *sensu stricto* após a implantação de sistemas silviculturais. Os modelos ajustados foram utilizados para gerar estimativas da biomassa acumulada ao longo do tempo nas parcelas submetidas à cada um dos sistemas silviculturais. O modelo também foi utilizado para fazer inferências sobre o efeito de um incêndio florestal não planejado sobre os estoques de biomassa e carbono na área.

OBJETIVOS

GERAL

Avaliar o crescimento e a produção em volume e biomassa lenhosa aérea de um cerrado *sensu stricto*, monitorado por 27 anos, após a implantação de sistemas silviculturais, para subsidiar a conservação e o manejo da vegetação.

ESPECÍFICOS

- Selecionar variáveis explicativas para a modelagem do crescimento e produção do volume e biomassa lenhosa aérea no cerrado *sensu stricto*.
- Sugerir uma rotação adequada para o manejo da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto*, considerando a sua máxima produtividade em volume de madeira.
- Verificar se a rotação definida com base na máxima produtividade em volume de madeira na área é suficiente para as espécies recuperarem seus estoques e estrutura originais.
- Avaliar se os diferentes sistemas silviculturais influenciaram na recuperação da biomassa da vegetação lenhosa.
- Avaliar a contribuição das principais espécies com o total de biomassa da área, bem como o efeito de diferentes sistemas silviculturais sobre a biomassa acumulada pelas mesmas.
- Avaliar o efeito de um incêndio florestal não planejado sobre a produção em volume e biomassa da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, R. C. R.; HOFFMANN, W. A.; VASCONCELOS, H. L.; PILON, N. A.; ROSSATTO, D. R.; DURIGAN, G. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science Advances**, v. 3, n. 8, p. e1701284, 2017.

ALMEIDA, R. F.; FAGG, C. W.; OLIVEIRA, M. C.; MUNHOZ, C. B. R.; LIMA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. B. Mudanças florísticas e estruturais no cerrado *sensu stricto* ao longo de 27 anos (1985-2012) na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. **Rodriguésia**, v. 65, n. 1, p. 1–19, 2014.

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. (Ed.). **Cerrado:**

- Ecologia e Flora. Volume 1.** Planaltina-DF: Embrapa-CPAC, 2008. p. 385–398.
- 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.
- COLE, M. M. **The savannas: biogeography and geobotany.** London: Academic Press, 1986.
- DIAS, B. F. Conservação da biodiversidade no bioma Cerrado: histórico dos impactos antrópicos no bioma Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Ed.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais.** Planaltina, DF: EMBRAPA CERRADOS, 2008. p. 303–333.
- DURIGAN, G. Cerrado: técnicas e normas podem reduzir desmatamento. **Visão Agrícola**, p. 20–23, dez. 2005.
- DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; MAX, J. C. M.; BOAS, O. V.; CONTIERI, W. A.; RAMOS, V. S. **Manual para recuperação da vegetação de cerrado.** São Paulo: SMA, 2011.
- FIGUEIREDO, M. A. P.; SOUZA, A. L.; MEIRA NETO, J. A. A.; SILVA, A. F.; FIGUEIREDO, L. H. A. Alteração estrutural de uma área de cerrado explorada sob regime de manejo no município de João Pinheiro - Minas Gerais-Brasil. **Revista Arvore**, v. 34, n. 3, p. 521–528, 2010.
- GOEDERT, W. J.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. O. Savanas tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Ed.). **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.
- HUNKE, P.; MUELLER, E. N.; SCHRÖDER, B.; ZEILHOFER, P. The Brazilian Cerrado: Assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. **Ecohydrology**, v. 8, n. 6, p. 1154–1180, 2015.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005.
- LEHMANN, C. E. R.; ANDERSON, T. M.; SANKARAN, M.; HIGGINS, S. I.; ARCHIBALD, S.; HOFFMANN, W. A.; HANAN, N. P.; WILLIAMS, R. J.; FENSHAM, R. J.; FELFILI, J.; HUTLEY, L. B.; RATNAM, J.; JOSE, J. S.; MONTES, R.; FRANKLIN, D.; RUSSELL-SMITH, J.; RYAN, C. M.; DURIGAN, G.; HIERNAUX, P.; HAIDAR, R.; BOWMAN, D. M. J. S.; BOND, W. J. Savanna vegetation-fire-climate relationships differ among continents. **Science**, v. 343, p. 548–553, 2014.
- 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 JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. Flora vascular do bioma Cerrado: Check list com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Flora. Volume 2.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 723–1279.

- MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMANN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOUREX, J.; FONSECA, G. A. B. **Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered ecoregions**. Washington: Conservation International, 2005.
- MITTERMEIER, R. A.; TURNER, W. R.; LARSEN, F. W.; BROOKS, T. M.; GASCON, C. **Biodiversity hotspots**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- MMA, M. M. A. **Mapeamento do uso e cobertura do cerrado: projeto terraclass cerrado 2013**. Brasília: MMA SBF, 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.
- 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.
- RATNAM, J.; BOND, W. J.; FENSHAM, R. J.; HOFFMANN, W. a.; ARCHIBALD, S.; LEHMANN, C. E. R.; ANDERSON, M. T.; HIGGINS, S. I.; SANKARAN, M. When is a “forest” a savanna, and why does it matter? **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 5, p. 653–660, 2011.
- RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the Floristic Composition of the Brazilian Cerrado Vegetation Iii: Comparison of the Woody Vegetation of 376 Areas. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 60, n. 1, p. 57–109, 2003.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Flora. Volume 1**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 151–212.
- 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-U263, 2017.
- SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, A. A.; FERREIRA, D. F. Avaliação de diferentes níveis de intervenção no desenvolvimento da área basal e número se árvores de uma área de cerrado *stricto sensu*. **Cerne**, v. 6, n. 2, p. 25–34, 2000.
- SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic Patterns and Conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot. **BioScience**, v. 52, n. 3, p. 225, 2002.
- 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.
- STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; SCARAMUZZA, C. A. de M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, p. 1–3, 2017.
- THIBAU, C. E. **Produção sustentada em florestas: conceitos e tecnologias, biomassa energética, pesquisas e constatações**. Belo Horizonte: O autor, 2000.
- 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.

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. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Vol.1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 19–45.

WHITLEY, R.; BERINGER, J.; HUTLEY, L.; ABRAMOWITZ, G.; DE KAUWE, M. G.; DUURSMA, R.; EVANS, B.; HAVERD, V.; LI, L.; RYU, Y.; SMITH, B.; WANG, Y.-P.; WILLIAMS, M.; YU, Q. A model inter-comparison study to examine limiting factors in modelling Australian tropical savannas. **Biogeosciences Discussions**, v. 13, n. 23, p. 3245–3265, 2016.

CAPÍTULO 1

MODELAGEM DA PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA DE UM CERRADO *SENSU STRICTO* NO BRASIL CENTRAL: UMA FERRAMENTA PARA O MANEJO DO CERRADO

RESUMO

O manejo sustentável da vegetação do Cerrado para a produção de produtos madeireiros e não madeireiros, além de ser uma alternativa de exploração ao desmatamento, permite a obtenção de renda na região e mantém as funções ecossistêmicas da vegetação. Mas, informações técnicas que possam subsidiar o manejo dessa vegetação ainda são muito escassas. Portanto, este estudo buscou avaliar o crescimento e produção volumétrica da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto*, após a implantação de sistemas silviculturais. Dezoito parcelas experimentais (20 m x 50 m cada) submetidas a seis sistemas silviculturais (em 1988) foram monitoradas quanto à regeneração de sua vegetação lenhosa em oito ocasiões (8, 10, 12, 14, 17, 20, 23, 27 anos após o corte), permitindo avaliar a recuperação da estrutura da vegetação e modelar o seu crescimento e produção volumétrica. A produção volumétrica da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* pode ser estimada a partir de sua área basal, que foi considerada a variável com maior efeito direto sobre o volume, de acordo com a análise de trilha. A idade de corte ou rotação silvicultural, que permite a máxima produtividade de madeira (1,8 a 2,0 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), ocorre entre 24 e 26 anos, dependendo do sistema silvicultural adotado. Na idade de rotação, a produção volumétrica total supera o valor encontrado antes da implantação dos sistemas silviculturais. Contudo, a estrutura da vegetação original da comunidade e das principais espécies não é recuperada, com maior concentração de indivíduos nas menores classes de diâmetro. Incêndios florestais devem ser evitados no manejo da vegetação do cerrado para fins produtivos, pois contribui para a redução da produção volumétrica.

Palavras-chave: Sistemas silviculturais, regeneração natural, rotação de corte, manejo florestal, incêndios florestais.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro representa a maior área de savana neotropical do planeta e é o segundo maior bioma da América do Sul e do Brasil, sendo superado em área apenas pela Floresta Amazônica (KLINK; MACHADO, 2005). Contudo, o Cerrado está incluído na lista dos *hotspots* mundiais para a conservação da biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2005, 2011; WILLIAMS et al., 2011), pois, embora seja um dos biomas mais ricos em biodiversidade do mundo (MYERS et al., 2000; RATTER; BRIDGEWATER; RIBEIRO, 2006; MARCHESE, 2015), com elevado grau de endemismo (FORZZA et al., 2012) e com a mais rica flora dentre as savanas mundiais, com mais 12.000 espécies vasculares (MENDONÇA et al., 2008), se destaca também como a savana mais ameaçada do planeta (SILVA; BATES, 2002; HUNKE et al., 2015).

Apesar de sua importância, a cobertura vegetal original desse bioma tem sido palco de acelerada e intensa ocupação desde a década de 70, impulsionada principalmente pelas atividades agropecuárias (FURLEY, 1999; SANO et al., 2010; GRECCHI et al., 2014; HUNKE et al., 2015; SANTOS et al., 2017; TRABAQUINI et al., 2017). Conseqüentemente, esse bioma apresenta grande quantidade de áreas desmatadas e, em 2013, contava com aproximadamente 54% de seu território com vegetação natural (MMA, 2015). Além disso, na região do Cerrado, concentra-se o extrativismo de madeira nativa para a produção de lenha e carvão vegetal (THIBAU, 2000; DUBOC, 2008).

A produção de lenha e carvão de florestas plantadas tem sido insuficiente para atender a demanda, o que contribui para ampliar a “pressão” sobre as formações florestais naturais, em especial as do Cerrado brasileiro (SIMIONI et al., 2017). Portanto, a implantação de técnicas que busquem obter uma produção lenhosa constante em cortes sucessivos é uma das melhores alternativas para o aproveitamento dos cerrados e, quando for largamente difundida, poderá possibilitar o estabelecimento de produtores permanentes (THIBAU, 2000). O manejo sustentável da vegetação de Cerrado para a produção de madeira ou lenha, embora não muito lucrativo, tem custos quase nulos, baixo impacto ambiental (DURIGAN, 2005) e é uma alternativa para fixação do homem no campo, assegurando o emprego ao trabalhador rural e evitando os efeitos de sazonalidade enfrentados na atividade agrária (FIGUEIREDO et al., 2010).

Entretanto, do ponto de vista econômico, é difícil manter áreas naturais de Cerrado para exploração sustentada dos produtos madeiros (THIBAU, 2000). De uma forma geral, as áreas naturais são mantidas apenas em unidades de conservação e em áreas de preservação

permanente e reserva legal, estabelecidas pelo Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012). Estima-se que cerca de 50 milhões de hectares do Cerrado são passíveis de serem manejados de forma sustentável tanto para geração de benefícios diretos quanto indiretos, como proteção do solo, dos recursos hídricos e da biodiversidade, mas, em geral, tais áreas são consideradas um ônus para os proprietários rurais que as qualificam como áreas improdutivas (DURIGAN, 2005; FIGUEIREDO et al., 2010).

Informações que permitem subsidiar o manejo da vegetação lenhosa do Cerrado, como técnicas que integram aspectos silviculturais, ambientais e econômicos, são incipientes (SCOLFORO et al., 2000; FIGUEIREDO et al., 2010), havendo necessidade de estudos criteriosos sobre alternativas de exploração ou uso sustentável da vegetação para cada fitofisionomia do Cerrado, considerando vários aspectos como, quantidade e distribuição dos recursos, possibilidades de mercado, aspectos da regeneração natural e intervalos para realização das intervenções silviculturais (SCOLFORO et al., 2000; THIBAU, 2000).

Modelos de crescimento e produção florestal são de grande importância no manejo, pois, além de permitirem avaliar a dinâmica florestal ao longo do tempo, são capazes de prever a produção futura e explorar alternativas de manejo e opções silviculturais (VANCLAY, 1995; PENG, 2000; CAMPOS; LEITE, 2017). De acordo com Yue et al. (2016), previsões precisas e confiáveis da evolução da produtividade florestal são fundamentais para a gestão eficaz de seus recursos.

Nesse sentido, este estudo foi realizado com o objetivo de responder algumas questões relacionadas ao crescimento e produção volumétrica da vegetação lenhosa regenerada em uma área de cerrado *sensu stricto* submetida a diferentes sistemas silviculturais em 1988 e que vem sendo monitorada periodicamente ao longo do tempo. O cerrado *sensu stricto* é uma fitofisionomia que se destaca na região do Cerrado, especialmente pela grande extensão de área que ocupa, e é caracterizado pela presença de árvores e arbustos, em diferentes densidades, que se distribuem de forma aleatória, sem que se forme um dossel contínuo (EITEN, 1972; RIBEIRO; WALTER, 2008).

O estudo buscou atender as seguintes hipóteses: (1) variáveis dendrométricas de fácil obtenção podem ser utilizadas como variáveis independentes para a modelagem da produção volumétrica da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* submetida a diferentes sistemas silviculturais; (2) os sistemas silviculturais influenciam na regeneração natural e, conseqüentemente, na idade de rotação ou idade de corte, baseada na máxima produtividade, a ser adotada no manejo da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto*; (3) a regeneração natural, após a implantação de sistemas silviculturais, permite à vegetação lenhosa do

cerrado *sensu stricto* recuperar a sua produção e estrutura original, no período de rotação silvicultural; (4) a ocorrência de incêndios florestais ocasionais provocam a redução da produção volumétrica da vegetação de cerrado *sensu stricto*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi realizado em uma área experimental de cerrado *sensu stricto*, localizada na Reserva Ecológica e Experimental da Universidade de Brasília, Fazenda Água Limpa (FAL), situada em Brasília, Distrito Federal, Brasil. A FAL ocupa cerca de 4.340 ha e está localizada a uma altitude média de 1.100 m, entre as coordenadas geográficas 15°56' - 15°59' S e 47°53' - 47°59' W. O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw (ALVARES et al., 2013), com temperaturas médias variando de 12 °C a 28,5 °C. A precipitação média anual é de 1.600 mm, com pronunciada estação seca nos meses de julho a setembro. As classes de solo predominantes são os Latossolos, com alto teor de alumínio e baixos teores de cálcio e magnésio (HARIDASAN, 1990).

A vegetação predominante é o cerrado *sensu stricto*, que ocupa cerca de 1.480 ha, mas, existem também áreas cobertas por outras fitofisionomias do Cerrado, que variam desde campo limpo até florestas de galeria. Registros indicam que cerca de 1.100 espécies de plantas distribuídas entre 135 famílias botânicas já foram identificadas na área. As famílias mais comuns são Leguminosae, Myrtaceae, Rubiaceae, Vochysiaceae, Gramineae e Compositae (FELFILI et al., 1994).

2.2 BASE DE DADOS

O experimento foi implantado em 1988, em uma área natural de cerrado *sensu stricto* circundada por grandes extensões de vegetação natural desta fitofisionomia. Na época foram estabelecidos três blocos de 192 x 216 m cada, distribuídos casualmente na área. Cada bloco foi dividido em seis faixas de 32 x 216 m e estas foram subdivididas em três subfaixas de 32 x 72 m. No centro de cada sub-faixa foram demarcadas parcelas de 1.000 m² (20 x 50 m).

Em cada parcela, a vegetação lenhosa foi inventariada com o objetivo de caracterizar a vegetação local. Todos os indivíduos lenhosos arbóreos-arbustivos com diâmetro tomado a 30 cm do nível do solo (Db), igual ou superior a 5 cm (FELFILI; CARVALHO; HAIDAR,

2005), foram identificados botanicamente, ao nível de gênero, espécie e família, e tiveram seus diâmetros e alturas registrados. A adoção do diâmetro mínimo de 5 cm se deve ao pequeno porte de algumas árvores e a tendência para bifurcação das espécies do cerrado *sensu stricto* (FELFILI; SILVA JÚNIOR, 1988). A medição do diâmetro a 0,30 m do solo se justifica pelo fato da maioria dos estudos no cerrado *sensu stricto* considerar tal altura como padrão (FELFILI; SILVA JÚNIOR, 1988, 1993; ASSUNÇÃO; FELFILI, 2004; REZENDE et al., 2006; AQUINO et al., 2014), permitindo, portanto, a comparação de resultados de diferentes áreas.

Após realizado o inventário da vegetação lenhosa, uma das três parcelas de 1.000 m² de cada faixa de 32 x 216 m foi selecionada aleatoriamente para aplicação de sistemas silviculturais, definidos com base em diferentes técnicas de corte, extração da produção madeireira e limpeza da área, seguido da regeneração natural, totalizando 18 parcelas experimentais. Os sistemas silviculturais consistiram em: S1 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha; S2 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha + fogo; S3 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha; S4 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo; S5 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + 2 gradagens (24"); S6 - Corte com motosserra de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo + destoca + 2 gradagens (24"). Como cada parcela experimental foi alocada no centro de uma sub-faixa, todas as parcelas submetidas aos sistemas silviculturais permaneceram circundadas por vegetação natural do cerrado.

Toda a vegetação lenhosa arbórea-arbustiva regenerante estabelecida nas parcelas submetidas a cada sistema silvicultural foi monitorada em oito ocasiões: 8, 10, 12, 14, 17, 20, 23 e 27 anos após o corte. Em cada ocasião, todos os indivíduos lenhosos (vivos e mortos em pé), com Db igual ou superior a 5 cm, presentes nas parcelas de 20 x 50 m, foram identificados botanicamente e tiveram seus diâmetros e alturas registradas. Indivíduos com mais de um fuste com Db \geq 5 cm, despontando a uma altura inferior a 0,30 m do solo, foram medidos separadamente. Todos os indivíduos regenerados na área receberam uma etiqueta de alumínio contendo um número de registro, que permitiu o acompanhamento de seu crescimento, durante todo o período monitorado.

Ao longo do período monitorado não houve qualquer outra intervenção silvicultural na área experimental, contudo, foram registrados na FAL três incêndios florestais que também atingiram todo o experimento. Os incêndios ocorreram aos um, seis e 23 (após o monitoramento) anos após o corte.

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

2.3.1 Obtenção de variáveis da comunidade

A partir dos dados de Db e altura total dos indivíduos lenhosos registrados em cada período monitorado e em cada parcela de cada sistema silvicultural, foram obtidas as seguintes variáveis que foram consideradas representativas tanto da estrutura da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto*, quanto do porte médio de suas árvores: densidade de indivíduos por hectare (N); área basal, em $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ (G); volume lenhoso, em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ (V); Db médio quadrático, em centímetros (q); Db médio das árvores dominantes, em centímetros (DD); altura de Lorey, em metros (HL) e altura média das árvores dominantes, em metros (HD). Estas variáveis foram consideradas como possíveis variáveis explicativas a serem utilizadas no ajuste dos modelos de prognose do crescimento e produção do volume de madeira para o cerrado *sensu stricto*.

As árvores dominantes foram definidas de acordo com o conceito de Assmann (1970), ou seja, as 10 árvores de maior Db em cada uma das parcelas de 0,1 ha. O volume lenhoso de cada parcela foi obtido pelo somatório dos volumes individuais de cada fuste registrado em cada parcela. A estimativa do volume por fuste foi obtida pela equação $V = 0,000109.Db^2 + 0,0000451.Db^2.Ht$, em que: V = volume (m^3); Db = diâmetro à 0,30 m do nível do solo (cm) e Ht = altura total (m), desenvolvida por Rezende et al. (2006), para o cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa. Esta equação estima o volume lenhoso por fuste com $Db \geq 5$ cm e considera os componentes fuste e galhos com diâmetro mínimo da ponta igual a 3 cm. O volume lenhoso estimado por parcela foi extrapolado para a unidade $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$.

2.3.2 Seleção das variáveis independentes para o ajuste dos modelos de crescimento e produção volumétrica

Para identificar as variáveis independentes a serem incluídas nos modelos de crescimento e produção volumétrica, foi avaliada inicialmente a correlação entre todas as variáveis relacionadas a estrutura da vegetação e ao porte médio das árvores, obtidas para as parcelas de cada sistema silvicultural e em cada ocasião monitorada. A correlação de Pearson $|r_{ij}|$ foi representada por uma rede de correlações (FRUCHTERMAN; REINGOLD, 1991). Nesta rede, as variáveis (nós) são conectadas por linhas, que possuem espessura proporcional ao valor absoluto da correlação entre as mesmas. O comprimento das linhas indica a

intensidade das correlações, de maneira que, linhas mais curtas representam correlações mais fortes (EPSKAMP et al., 2012). A espessura das linhas foi controlada aplicando um valor de corte igual 0,85, o que significa que apenas $|r_{ij}| \geq 0,85$ tem as suas arestas em destaque. As correlações positivas foram destacadas na cor verde, enquanto as negativas foram representadas em vermelho.

Para evitar equívocos na seleção das variáveis explicativas, já que a elevada correlação pode ser resultante do efeito de uma terceira ou de um grupo de variáveis, foi aplicada a análise de trilha, proposta por Wright (1921), que permite melhor compreender a associação entre variáveis, através do desdobramento dos coeficientes de correlação em efeitos diretos e indiretos sobre uma variável principal (DAS et al., 2010; TEODORO et al., 2015; COUTO; TEODORO; TRUGILHO, 2017). A análise de trilha é uma técnica estatística multivariada, utilizada tanto para avaliar as relações entre duas variáveis quanto para descrever o impacto de variáveis independentes sobre uma variável dependente (JIANG et al., 2017), permitindo, desta forma, selecionar as variáveis independentes que apresentam maior contribuição direta com a variável dependente.

Para realizar a análise de trilha, inicialmente foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade da matriz de correlações $X'X$, com base no seu número de condições (NC), obtido pela razão entre o maior e o menor autovalor da matriz. Como as possíveis variáveis independentes apresentavam multicolinearidade severa ($NC > 1000$), conforme a classificação de Montgomery (2012), a constante $k = 0,05$ foi adicionada à diagonal principal da matriz $X'X$, proporcionando multicolinearidade fraca ($NC < 100$). Assim, a análise de trilha permitiu selecionar as variáveis independentes com maior efeito direto sobre o volume. Foram consideradas adequadas, as variáveis com efeito direto maior que o efeito residual. O diagnóstico de multicolinearidade entre essas variáveis foi realizado para garantir a não multicolinearidade entre as variáveis independentes utilizadas no ajuste dos modelos. Essas análises foram realizadas com auxílio dos programas GENES (CRUZ, 2013) e Rbio (BHERING, 2017).

Tanto na seleção das variáveis independentes quanto no ajuste dos modelos de crescimento e produção, não foram incluídos os dados do inventário realizado 27 anos após a implantação dos sistemas silviculturais, já que o incêndio ocorrido 23 anos após o corte alterou, de forma significativa, o padrão de crescimento da vegetação registrado no período entre 8 e 23 anos.

2.3.3 Ajuste, seleção e validação dos modelos de crescimento e produção volumétrica

Inicialmente foram selecionadas aleatoriamente duas parcelas de cada sistema silvicultural para o ajuste dos modelos e uma para a validação das estimativas do modelo selecionado, totalizando 12 parcelas para o ajuste e 6 para a validação. Esse critério de seleção foi adotado de forma que os dados utilizados no ajuste representassem eventuais diferenças existentes entre os sistemas silviculturais, permitindo gerar um modelo único para estimar a produção volumétrica da comunidade.

Considerando que os intervalos das medições na área experimental foram variáveis (monitoramentos a cada dois ou três anos), decidiu-se por decompor os dados das parcelas de cada período monitorado em intervalos anuais. Assim, para um determinado ano i em que não houve monitoramento da vegetação, os valores das variáveis utilizadas no ajuste dos modelos foram obtidos da seguinte forma:

$$Y_{ij} = Y_{ij-1} + IPA_n$$

Em que: Y_{ij} = Valor da variável relacionada a estrutura da vegetação ou ao porte médio das árvores, obtido na parcela j , no ano i , dentro do período monitorado; Y_{ij-1} = Valor da variável relacionada a estrutura da vegetação ou ao porte médio das árvores, obtido na parcela j , no ano anterior ($i-1$), dentro do período monitorado; IPA_n = Incremento periódico anual obtido entre duas ocasiões sucessivas.

A partir dos valores das variáveis por ano, foram ajustados modelos de regressão linear e não linear, em que a produção volumétrica de uma ocasião futura (V_2) foi relacionada com as variáveis explicativas selecionadas na análise de trilha ($X1_2, X2_2, \dots, Xn_2$). Assim, foi necessário utilizar um sistema de equações, composto de equações que estimam V_2 e, também, cada uma das variáveis explicativas presentes no modelo, numa ocasião futura. Portanto, cada variável explicativa numa ocasião futura foi relacionada com seus valores em uma ocasião atual ($X1_1, X2_1, \dots, Xn_1$) e com a idade após a realização do corte. Isto permitiu utilizar os dados dessas variáveis na ocasião atual para prognosticar seus valores no futuro. Para cada variável, foram ajustados diversos modelos de comportamento exponencial e sigmoidal disponíveis na literatura, sendo selecionado o de melhor desempenho para as estimativas. Para obter os modelos que melhor se adequassem aos dados, estes foram ajustados com as variáveis em sua escala original e com transformações. Os ajustes dos modelos foram realizados com auxílio dos *softwares* Excel e Curve Expert.

Para todas as variáveis, a seleção do melhor modelo foi baseada nas seguintes estatísticas de precisão: a) coeficiente de correlação entre valores observados e estimados (r); b) erro padrão da estimativa, em % ($S_{xy}\%$); c) distribuição gráfica dos resíduos (DRAPER; SMITH, 1998), sendo todas estas estatísticas calculadas considerando a variável dependente em sua escala original.

A validação do sistema de equações foi realizada utilizando os dados não empregados no ajuste dos modelos. Os dados obtidos em cada ocasião, a partir de 8 anos após o corte, foram utilizados para realizar a prognose do volume (V_2) para cada uma das ocasiões futuras, até os 23 anos. Este procedimento foi repetido até realizar a prognose do V_2 aos 23 anos, a partir dos dados observados 20 anos após o corte. A qualidade da prognose foi avaliada pela análise gráfica do erro entre o valor observado e o valor prognosticado a partir das medições em cada uma das ocasiões.

2.3.4 Aplicação dos modelos ajustados

A influência dos sistemas silviculturais no acúmulo na produção volumétrica, ao longo do tempo, foi avaliada considerando um delineamento em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas 8 x 6 (monitoramento em oito ocasiões e seis sistemas silviculturais), com três repetições. As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$). As análises foram realizadas com auxílio do *software* Rbio (BHERING, 2017).

Para cada grupo de sistemas silviculturais identificado no teste de Scott-Knott, o sistema de equações selecionado foi utilizado para realizar a prognose do volume de cada grupo em intervalos de tempo anuais, considerando todos os dados coletados (ajuste + validação). As projeções foram realizadas até os 35 anos após o corte, sendo possível obter as curvas de incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA).

O IMA foi obtido pela relação entre o volume prognosticado para cada ano e a “idade” em que se obteve essa produção. Para tanto, o ano 1988, quando os tratamentos foram implantados, foi considerado como o ano zero para a obtenção da “idade” do cerrado *sensu stricto* regenerado. O ICA foi obtido a partir do volume prognosticado acumulado no período de um ano. As curvas de IMA e ICA foram expressas graficamente e o ponto em que essas curvas se tocaram foi considerado a “idade de corte ou idade de rotação silvicultural”, onde ocorre a máxima produtividade em volume da comunidade lenhosa arbórea arbustiva do cerrado *sensu stricto* (m^3 de madeira $ha^{-1} ano^{-1}$), permitindo, assim, inferir que esse seria a

idade de rotação a ser adotada em eventuais projetos de manejo da vegetação natural do cerrado *sensu stricto*.

O sistema de equações obtido neste estudo foi utilizado também para avaliar o possível impacto do fogo ocorrido 23 anos após o corte sobre a produção volumétrica no cerrado. Para tanto, as projeções realizadas para 27 anos após o corte, a partir das medições aos 23 anos (antes do fogo), foram comparadas com os valores reais registrados nas áreas, aos 27 anos após o corte, permitindo assim obter a diferença do volume observado e o esperado, na ausência de incêndio.

2.3.5 Avaliação da estrutura da vegetação

Para verificar se ocorreram modificações na estrutura da vegetação do cerrado, em decorrência da implantação dos sistemas silviculturais, e, se a idade de rotação sugerida era suficiente para a recuperação da estrutura da vegetação, foi realizada a comparação das características estruturais durante o período de monitoramento com as obtidas no inventário realizado antes da implantação do experimento.

A distribuição diamétrica dos indivíduos lenhosos foi realizada considerando o diâmetro mínimo de inclusão e uma amplitude de classe de 2 cm (REZENDE; SANQUETTA; FIGUEIREDO FILHO, 2005). A estrutura horizontal da vegetação foi avaliada através do índice de valor de cobertura (IVC), obtido pelo somatório da densidade e da dominância relativa (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974), sendo o resultado expresso a partir da lista das dez espécies de maior IVC em cada período. Também foi avaliada a contribuição (%) das espécies para o volume total da comunidade ao longo do período monitorado. Todas as análises da estrutura da vegetação foram realizadas separadamente para cada grupo de sistemas silviculturais identificado no teste de Scott-Knott.

3. RESULTADOS

3.1 MODELAGEM DA PRODUÇÃO EM VOLUME

Todas as variáveis da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* relacionadas ao porte médio de suas árvores apresentaram comportamento crescente ao longo do período monitorado (8 a 27 anos após a implantação dos sistemas silviculturais). Contudo, a mesma

tendência não foi observada para as variáveis relacionadas com a estrutura da vegetação, ou seja, volume, número de indivíduos e área basal por hectare. Até os 23 anos após a implantação dos sistemas silviculturais, os valores destas variáveis aumentaram com o tempo, mas, entre 23 e 27 anos, houve uma queda destes valores na ordem de 9%, 26% e 14%, respectivamente (Figura 1), que é explicada sobretudo pelo incêndio registrado na FAL, imediatamente após o inventário da vegetação 23 anos após a implantação dos sistemas, e que causou a mortalidade de várias árvores, afetando a estrutura da comunidade lenhosa em termos de densidade, área basal e volume.

Quanto ao total de árvores da comunidade (vivas + mortas), verifica-se que a fração de árvores mortas em relação as variáveis densidade de indivíduos, área basal e volume total por hectare foi variável ao longo do monitoramento (Figura 1). Nas avaliações realizadas oito e dez anos após o corte, ou seja, dois e quatro anos após o segundo incêndio na área experimental, essa fração representava cerca de 15% do total dessas variáveis. Contudo esses valores reduziram com o passar do tempo e manteve-se em torno de 2% no período compreendido entre 14 e 23 anos após o corte (8 a 17 anos após o segundo incêndio), voltando a se elevar para cerca de 10% na primeira avaliação realizada após o terceiro incêndio na área experimental.

De uma forma geral, as variáveis analisadas se correlacionaram fortemente entre si, em sua grande maioria (Figura 2). A produção volumétrica apresentou correlação positiva ($p < 0,0001$) com todas as variáveis analisadas, ao longo do período monitorado (8 a 23 anos após o corte), mas, as maiores correlações ($r > 0,85$) foram observadas com área basal, densidade de indivíduos e Db médio das árvores dominantes.

A análise de trilha revelou que tanto a área basal quanto a densidade apresentam maior efeito direto sobre o volume (Tabela 1). As demais variáveis, apesar de positivamente correlacionadas com o volume, apresentam menor influência direta e seus efeitos são explicados indiretamente via área basal e densidade. No entanto, como entre estas variáveis ocorre multicolinearidade que varia de moderada a forte ($NC = 173$), a área basal foi selecionada como a variável explicativa a ser utilizada no ajuste dos modelos de regressão para estimar a produção em volume, já que apresentou maior efeito direto sobre o mesmo.

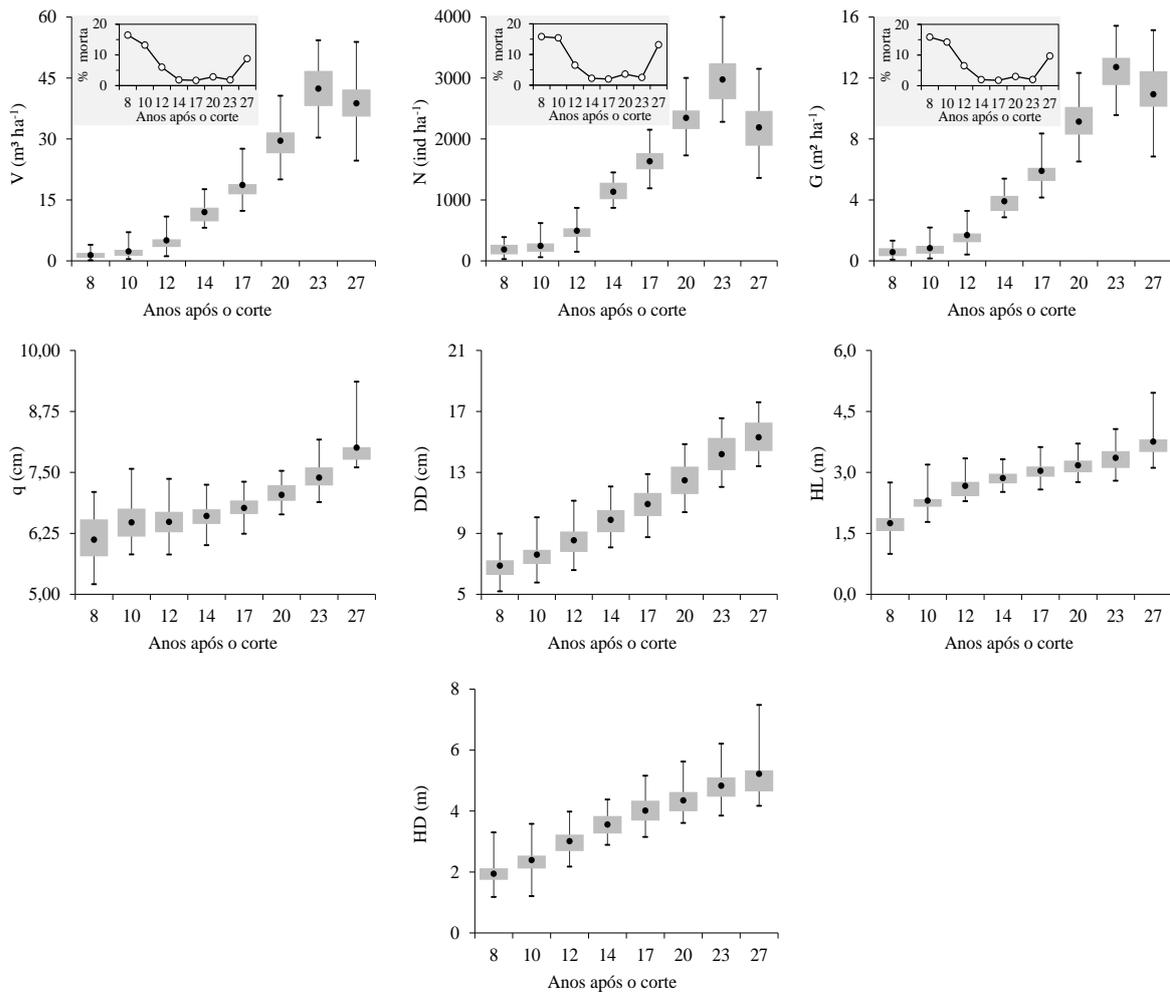


Figura 1. Boxplot das variáveis volume – V ($m^3 ha^{-1}$); densidade – N ($ind.ha^{-1}$); área basal – G ($m^2 ha^{-1}$); Db médio quadrático – q (cm); Db médio das árvores dominantes – DD (cm); altura de Lorey – HL (m) e altura média das árvores dominantes – HD (m), registradas na comunidade lenhosa arbórea-arbustiva viva de um cerrado *sensu stricto*, após a implantação de sistemas silviculturais. Os gráficos auxiliares (fundo cinza) para as variáveis V , N e G representam a fração morta dessas variáveis, caso considerasse o total de árvores (vivas + mortas).

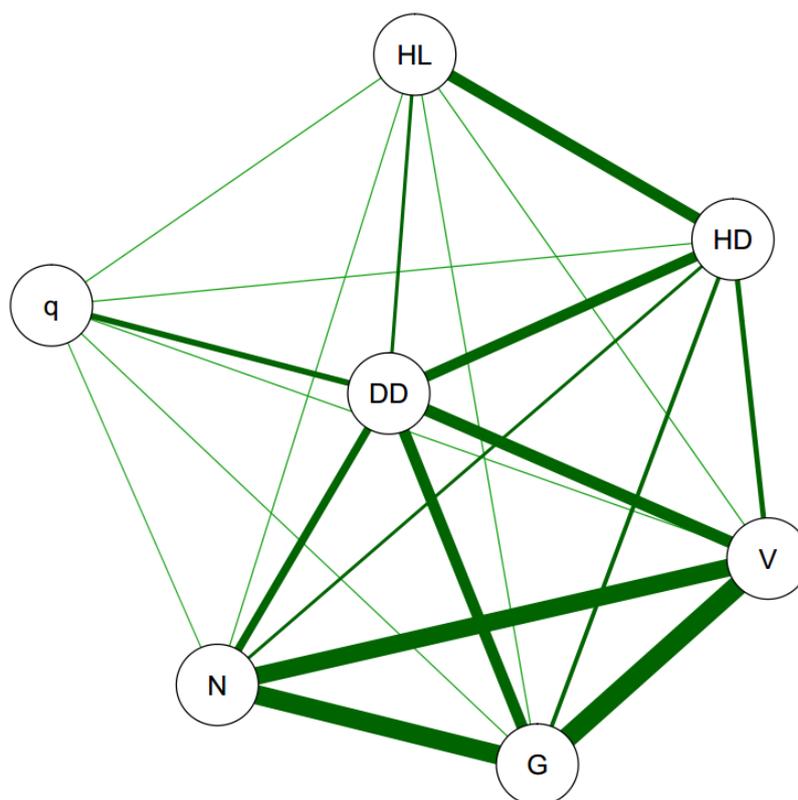


Figura 2. Rede de correlações de Pearson entre variáveis que expressam o porte médio das árvores e a estrutura da vegetação em um cerrado *sensu stricto* após a implantação de sistemas silviculturais, em 1988. Em que: V = volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); N = densidade de indivíduos (ind. ha^{-1}); G = área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$); q = Db médio quadrático (cm); DD = Db médio das árvores dominantes (cm); HL = altura de Lorey (m); e HD = altura média das árvores dominantes (m).

Tabela 1. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis analisadas sobre a produção volumétrica da comunidade lenhosa do cerrado *sensu stricto*.

Efeito	N	G	q	DD	HL	HD
Direto sobre V	0,271	0,510	0,036	0,141	-0,009	0,049
Indireto via N	---	0,268	0,190	0,244	0,206	0,234
Indireto via G	0,504	---	0,386	0,473	0,393	0,445
Indireto via q	0,025	0,027	---	0,032	0,028	0,028
Indireto via DD	0,127	0,131	0,125	---	0,122	0,130
Indireto via HL	-0,007	-0,007	-0,007	-0,008	---	-0,009
Indireto via HD	0,042	0,043	0,038	0,045	0,045	---
Total	0,976	0,997	0,770	0,934	0,784	0,879

Coeficiente de determinação: 0,9675; Efeito residual: 0,1804

Em que: V = volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); N = densidade de indivíduos (ind. ha^{-1}); G = área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$); q = Db médio quadrático (cm); DD = Db médio das árvores dominantes (cm); HL = altura de Lorey (m); e HD = altura média das árvores dominantes (m).

O sistema de equações resultante do ajuste dos modelos de regressão ajustados visando estimar o crescimento e a produção da comunidade lenhosa do cerrado *sensu stricto*, com suas respectivas estatísticas de ajuste, encontra-se na Tabela 2. Dentre os diversos modelos avaliados, estes se mostraram mais adequados para estimar o volume e a área basal em uma idade futura.

Tabela 2. Sistema de equações selecionado para a prognose da produção volumétrica da comunidade lenhosa do cerrado *sensu stricto* após a implantação de sistemas silviculturais.

Sistema	Equação	r	S _{yx} %
Equação 1	$V_2 = 2,74332 \cdot G_2^{1,07722}$	0,9967	6,05
Equação 2	$G_2 = 17,37727 \cdot e^{-e^{1,08284 + 0,18484G_1 \frac{I_2}{I_1}}}$	0,9897	7,27

Em que: V_2 = volume em idade futura ($m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); G_1 e G_2 = área basal nas idades atual e futura ($m^2 \text{ ha}^{-1}$); I_1 e I_2 = idades atual e futura, em anos; r = correlação entre os valores observados e estimados; S_{yx}% = erro padrão residual, em %.

A equação que estima a produção volumétrica apresentou alta correlação entre os valores observados e estimados, baixo erro padrão residual e estimativas não tendenciosas, com erros variando entre $\pm 11,4\%$ (Figura 3). A equação para estimar área basal futura também apresentou estatísticas de ajuste favoráveis, porém, com tendência em superestimar seus valores inferiores a $5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, registrados no período inicial da regeneração. Contudo, a partir desse valor, as estimativas obtidas não foram tendenciosas, com erros compreendidos entre $\pm 10\%$.

O mesmo comportamento foi verificado na validação do sistema de equações selecionado (Figura 4), em que as projeções a partir das medições realizadas aos 14, 17 e 20 anos, até os 23 anos após o corte, encontram-se dentro da faixa de valores observados nas parcelas de validação e não apresentam tendenciosidades nas estimativas, com erros máximos de $\pm 20\%$. Portanto, a partir dessas idades, o sistema de equações foi considerado adequado para a projeção das variáveis volume e área basal em idades futuras.

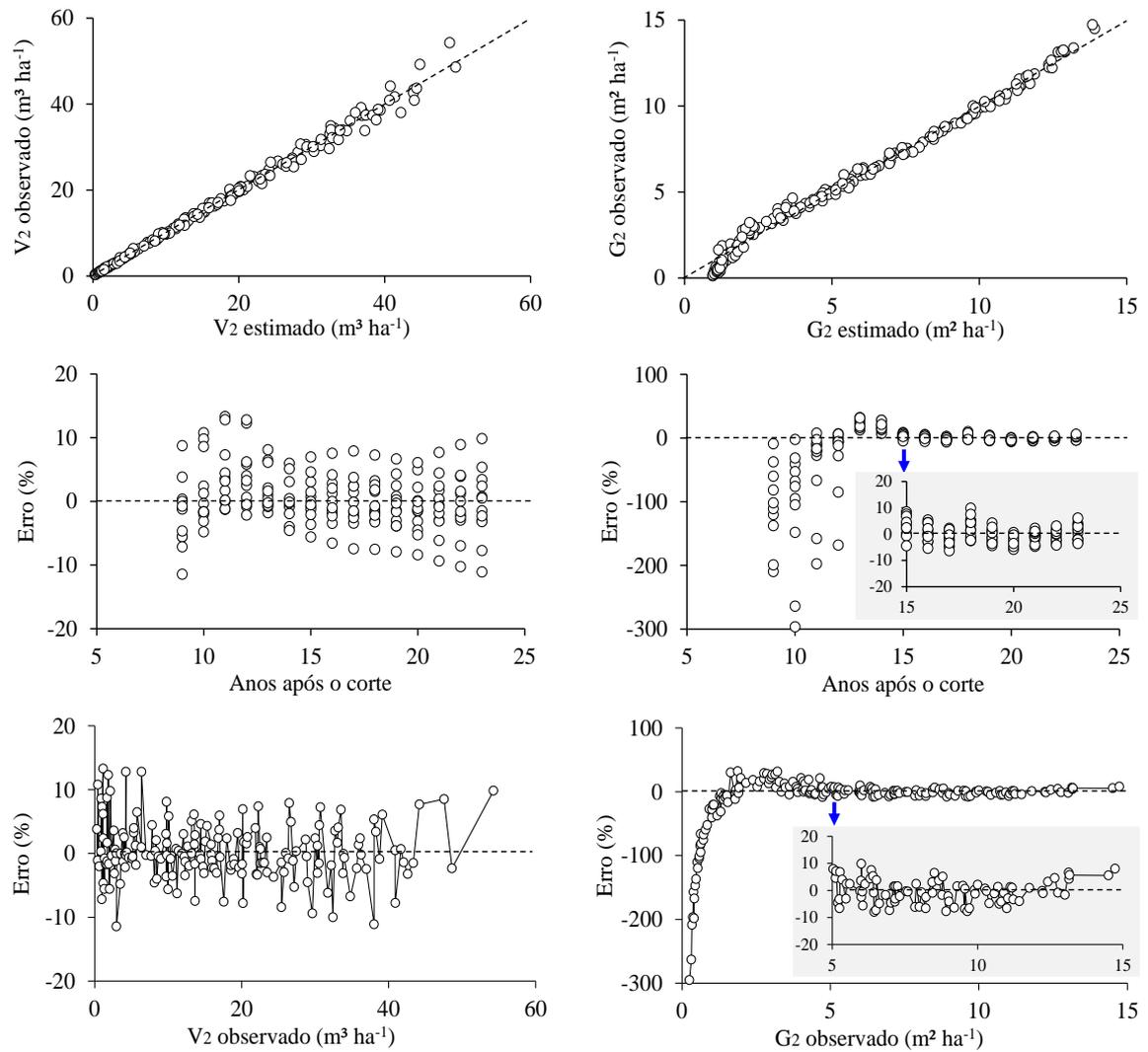


Figura 3. Distribuição gráfica dos resíduos obtidos a partir da prognose do volume (V₂) e área basal (G₂), para ocasiões futuras para a comunidade lenhosa de um cerrado *sensu stricto* após a implantação de sistemas silviculturais.

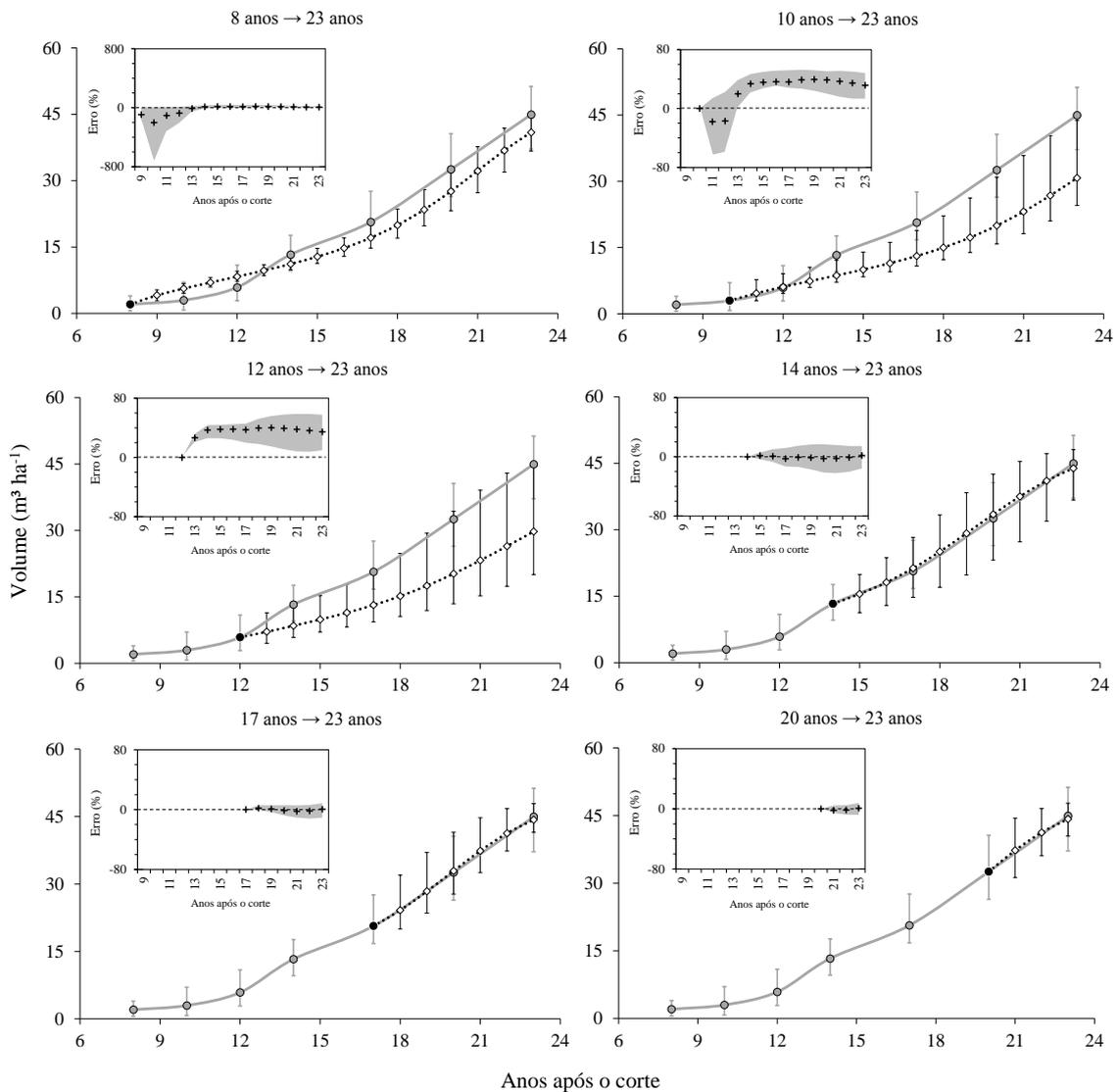


Figura 4. Validação do sistema de equações selecionado para a prognose da produção em volume em uma ocasião futura, a partir dos monitoramentos realizados no período entre 8 e 20 anos e projetados para 23 anos após a implantação de sistemas silviculturais na comunidade lenhosa de um cerrado *sensu stricto*. Volume médio observado ao longo do tempo (—●—); volume médio prognosticado ao longo do tempo (··◇··); ano de início da projeção (●); erro médio entre valores observados e prognosticados (+); amplitude de erro entre valores observados e prognosticados (■). As barras verticais representam os valores máximos e mínimos observados (cor cinza) e prognosticados (cor preta).

3.2 APLICAÇÃO DOS MODELOS AJUSTADOS PARA AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA

A produção em volume não foi influenciada pela interação entre os fatores ano após o corte e sistema silvicultural ($p = 0,9997$), e sim por estes isoladamente ($p < 0,0189$). Independente do sistema silvicultural adotado, houve aumento do volume acumulado ao longo do tempo, exceto entre as medições realizadas aos 23 e 27 anos após o corte, que foram diferentes entre si e superiores aos demais anos avaliados. Independente do ano avaliado, os sistemas silviculturais S1 e S2 (que não incluíram trator de lâmina no corte da vegetação) proporcionaram produção volumétrica superior aos demais (Tabela 3). Assim, os sistemas silviculturais formaram dois grupos distintos em relação à produção volumétrica (Grupo 1 = S1 e S2; Grupo 2 = S3, S4, S5 e S6), permitindo realizar a prognose do crescimento da produção volumétrica para os dois grupos separadamente.

Tabela 3. Volume de madeira ($m^3 ha^{-1}$), ao longo do tempo, após a aplicação de sistemas silviculturais (S.S) em uma área de cerrado *sensu stricto*.

S.S.	Anos após o corte								Média
	8	10	12	14	17	20	23	27	
S1	2,59	4,41	7,10	14,10	21,59	31,73	44,91	36,93	20,42 A
S2	1,85	3,54	6,89	13,70	20,89	31,01	43,74	40,24	20,23 A
S3	1,00	1,86	5,04	11,55	17,04	27,98	41,96	43,37	18,72 B
S4	0,52	1,17	3,08	9,71	16,49	27,42	39,92	33,18	16,44 B
S5	1,09	1,65	4,07	11,12	17,85	28,69	39,88	39,97	18,04 B
S6	1,47	1,43	4,11	11,77	18,26	30,49	43,85	38,93	18,79 B
Média	1,42 f	2,34 f	5,05 f	11,99 e	18,68 d	29,55 c	42,38 b	38,77 a	
	Coeficiente de variação 1 = 25,07%				Coeficiente de variação 2 = 22,60%				

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas iguais nas colunas não se diferenciam pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

As projeções realizadas com dados observados 14 e 17 anos após a implantação dos sistemas silviculturais foram consistentes, uma vez que as estimativas da produção volumétrica possibilitaram a obtenção de valores de IMA semelhantes aos observados até os 23 anos após o corte, antes da ocorrência do terceiro incêndio florestal na área experimental (Figura 5). O máximo ICA ocorreu aos 20 anos para o grupo 1 ($\sim 4,5 m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) e aos 22 anos para o grupo 2 ($\sim 4,2 m^3 ha^{-1} ano^{-1}$). Se não tivesse ocorrido o incêndio 23 anos após o corte, as projeções indicam que o máximo IMA, identificado quando as curvas de ICA e

IMA se encontram, ocorreria próximo aos 24 anos após o corte para o Grupo 1 ($\sim 2,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e próximo aos 26 anos para o Grupo 2 ($\sim 1,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

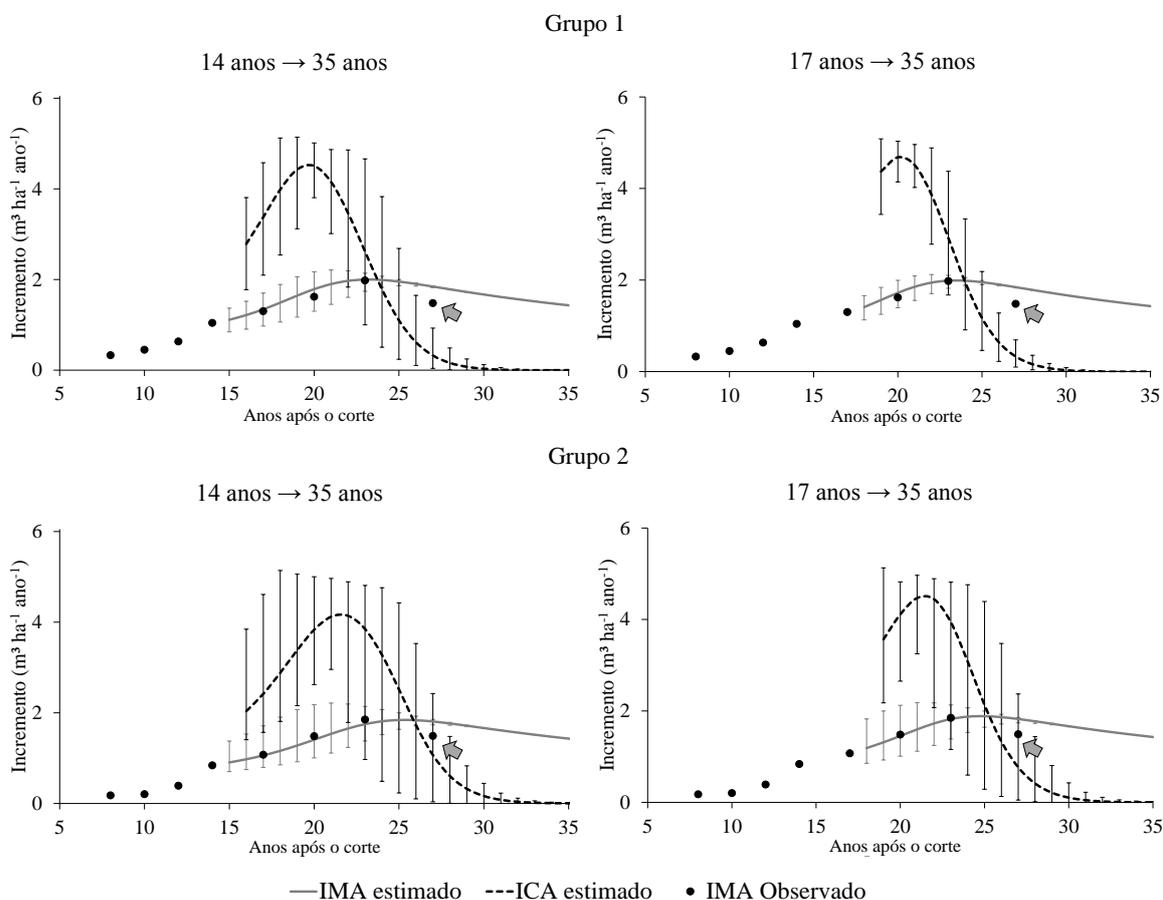


Figura 5. Projeções de incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) para cada um dos grupos envolvendo diferentes sistemas silviculturais aplicados na vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto*. A seta indica o incremento médio anual observado após a ocorrência do incêndio florestal.

As projeções da produção em volume da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* revelam que, caso não tivesse ocorrido o terceiro incêndio florestal, a produção entre os grupos a partir dos 27 anos se tornaria semelhante, com produção próxima à máxima prognosticada pelo modelo ($\sim 48 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Figura 6). Após o incêndio registrado aos 23 anos, houve redução na produção volumétrica esperada para os 27 anos nos dois grupos de sistemas silviculturais (Grupo 1 = 24,6 %; Grupo 2 = 23,6%) (Figura 6). As projeções a partir do monitoramento aos 27 anos revelam que a partir desse ano os grupos seguiriam tendência de crescimento semelhante e cerca de 6 anos após o terceiro incêndio florestal, os

grupos alcançariam valores próximos aos prognosticados utilizando dados antes da ocorrência do mesmo.

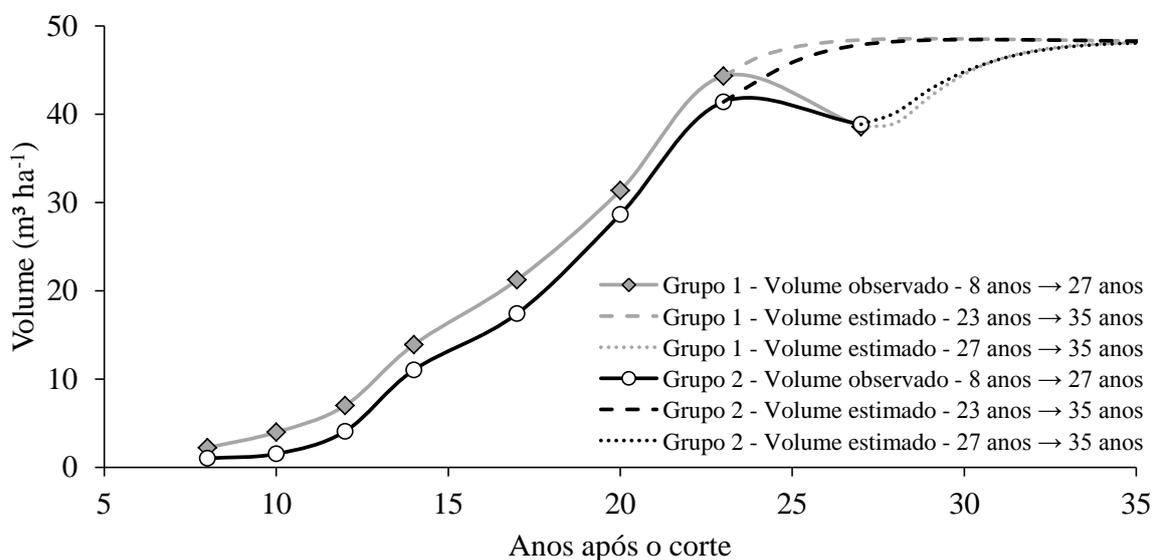


Figura 6. Projeções da produção volumétrica da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* a partir de dados mensurados aos 23 e 27 anos (antes e depois do fogo) após a implantação dos sistemas silviculturais.

3.3 ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO APÓS A IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS SILVICULTURAIS

Antes da implantação dos sistemas silviculturais, os valores de produção volumétrica, densidade de indivíduos e área basal eram iguais a $14,65 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, 692 ind. ha^{-1} e $5,49 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente. Em todos os sistemas silviculturais, os valores dessas variáveis foram recuperados aos 17, 14 e 17 anos após o corte, respectivamente (Figura 1). Apesar da recuperação da estrutura da comunidade, o período de 27 anos não foi suficiente para o cerrado *sensu stricto* recuperar sua a estrutura diamétrica em padrões semelhantes ao registrado na área antes da implantação dos sistemas silviculturais (Figura 7). Em 1988, aproximadamente 90% dos indivíduos apresentavam diâmetros inferiores a 15 cm, e o diâmetro máximo alcançado foi de 38 cm.

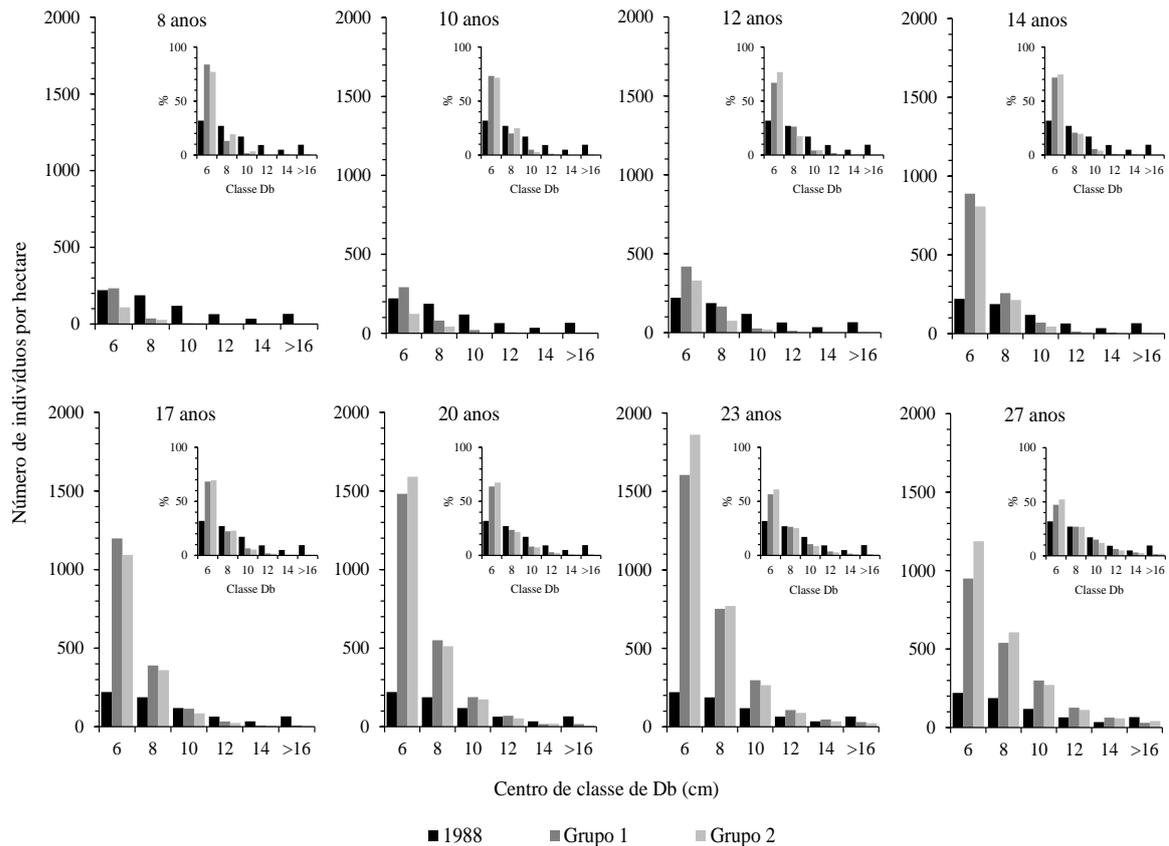


Figura 7. Comparação entre distribuição diamétrica dos indivíduos lenhosos, antes da implantação dos sistemas silviculturais, e distribuição diamétrica dos indivíduos regenerados ao longo do tempo, após a implantação dos sistemas silviculturais em um cerrado *sensu stricto*. Os gráficos auxiliares apresentam o comparativo do percentual de indivíduos em cada classe de Db para cada uma das ocasiões.

A recuperação do número de indivíduos por classe diamétrica tendeu a ser mais rápida nos sistemas que envolveram apenas o corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou superior a 5 cm (grupo 1). Aos 23 anos após o corte, os dois grupos já haviam superado o número de indivíduos para as classes com diâmetros inferiores a 15 cm. Entretanto, 23 e 27 anos após o corte, indivíduos com Db > 15 cm ainda representavam no máximo 1,8% dos indivíduos da comunidade, com diâmetros máximos alcançados de 29 cm no grupo 1 e 23,5 cm no grupo 2. Durante o monitoramento, a proporção de indivíduos da classe de 5 a 7 cm foi bastante superior aos observados em 1988, porém, com o passar do tempo, foi ocorrendo redução da proporção de indivíduos nas classes inferiores e aumento nas classes superiores.

O período de 27 anos também não foi suficiente para o cerrado *sensu stricto* recuperar a estrutura diamétrica das principais espécies registradas na área antes da implantação dos sistemas silviculturais. Além disso, o comportamento das espécies foi variável em função do sistema silvicultural (Figuras 8A e 8C). Em todas as ocasiões monitoradas, as dez espécies com maior índice de valor de cobertura (IVC) nos dois grupos formados pelos sistemas silviculturais eram representadas por apenas parte (três a sete) das dez espécies de maior IVC em 1988. No grupo 1, as espécies *Caryocar brasiliense*, *Qualea grandiflora* e *Miconia leuocarpa* se mantiveram entre as dez espécies de maior IVC durante todo o período monitorado. No grupo 2 esse fato ocorreu apenas para a *Miconia leuocarpa*. As espécies *Stryphnodendron adstringens* e *Tachigali vulgaris* estiveram presentes no período inicial de monitoramento, desaparecendo dessa lista num período máximo de 20 anos, em ambos os grupos. Já espécies como *Byrsonima pachyphylla*, *Dalbergia miscolobium* e *Ouratea hexasperma* precisaram de um tempo de no mínimo 20 anos para voltar a aparecer entre as dez espécies de maior IVC, ou, dependendo do grupo, nem apareceram.

Por outro lado, algumas espécies demonstraram boa capacidade de ocupação da área após a implantação dos sistemas silviculturais. Estas apareceram entre as de maior IVC apenas após o corte, com comportamento variável em função do tempo e do sistema silvicultural (Figuras 8B e 8D). Durante todo período monitorado *Blepharocalyx salicifolius*, *Piptocarpha rotundifolia* e *Schefflera macrocarpa*, no grupo 1, e *Eriotheca pubescens* e *Piptocarpha rotundifolia*, no grupo 2, se mantiveram nessa lista. A espécie *Eremanthus glomerulatus* esteve presente até os 20 anos após o corte em ambos os grupos, enquanto *Mimosa claussoni* e *Solanum lycocarpum* apareceram apenas até 10 anos após o corte nas áreas do grupo 2. Por outro lado, *Myrsine guianensis* apareceu apenas no grupo 2, aos 17 anos, ocupando a primeira posição do IVC a partir de 20 anos após o corte.

Os sistemas silviculturais influenciaram também na recuperação do volume de cada espécie (Figura 9). Nos sistemas do grupo 1 apenas *T. vulgaris* e *P. emarginatus* estavam presentes entre as dez espécies de maior volume na área, 27 anos após o corte e, juntas contribuíram com no máximo 12,3% do volume total ao longo do monitoramento. Já no grupo 2, *T. vulgaris* e *D. miscolobium* se fizeram presentes, contribuindo com no máximo 7,8% do volume. Das 77 espécies presentes na área, 27 anos após o corte, as dez de maior volume representavam 72,6% do volume total no grupo 1 e 66,5% no grupo 2.

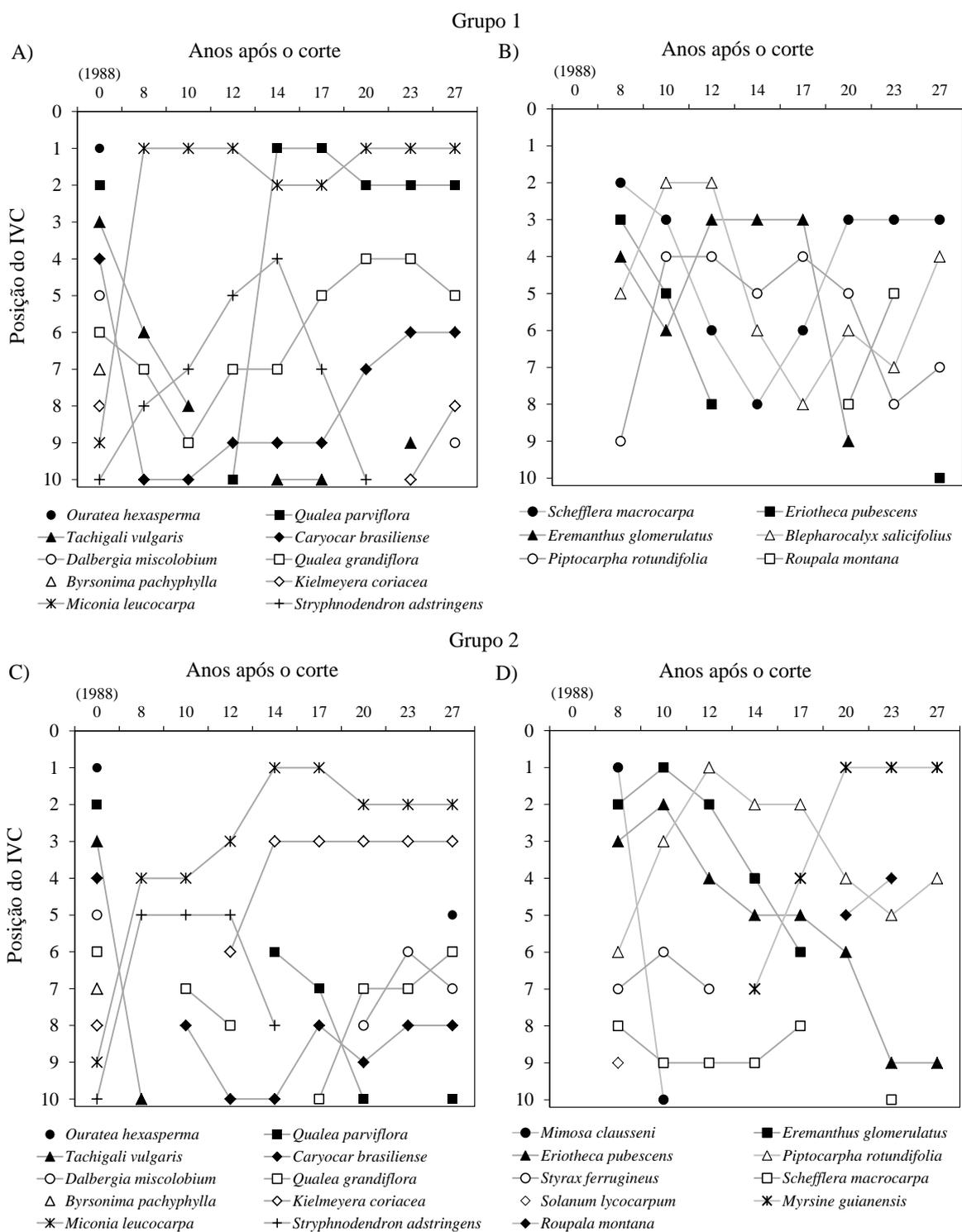


Figura 8. Posição do índice de valor de cobertura (IVC) de espécies lenhosas em área de cerrado *sensu stricto* ao longo de 27 anos após a implantação de sistemas silviculturais. A e C) Comportamento, ao longo do tempo, das espécies que apresentavam maior IVC antes do corte da vegetação em 1988. B e D) Espécies que apareceram entre as dez espécies de maior IVC durante o período monitorado no presente trabalho (8 a 27 anos após o corte). Grupo 1: Sistemas silviculturais S1 e S2; Grupo 2: Sistemas silviculturais S3, S4, S5 e S6.

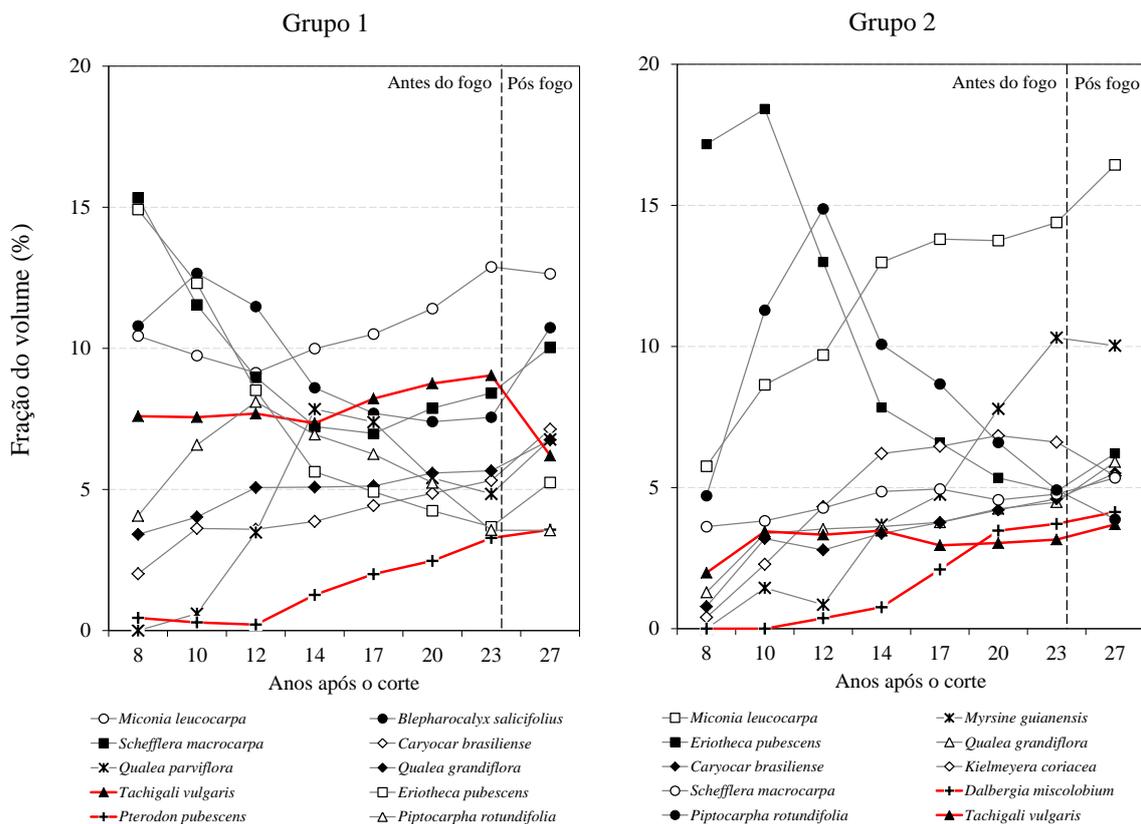


Figura 9. Fração do volume total ao longo do monitoramento, representada pelas dez espécies de maior volume por grupo de sistemas silviculturais, 27 anos após o corte da vegetação de um cerrado *sensu stricto*. As linhas na cor vermelha indicam as espécies com potencial energético, definidas por Vale et al. (2010).

4. DISCUSSÃO

4.1 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES, AJUSTE E VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Até os 23 anos após o corte, o comportamento crescente nos valores das variáveis representativas da estrutura da vegetação lenhosa regenerada do cerrado *sensu stricto* e do porte médio de suas árvores é justificado pela forte correlação positiva existente entre tais variáveis. Entretanto, é importante destacar que nem todas as variáveis correlacionadas com a produção em volume apresentam influência direta sobre a mesma, ou seja, tem relação de causa e efeito, conforme revelado na análise de trilha (Tabela 1). O alto valor do coeficiente de determinação (0,9675) e o baixo efeito residual (0,1804) verificados nessa análise indicam que a variação do volume foi explicada pelo conjunto de variáveis analisadas.

Portanto, a análise de trilha foi adequada para obter as relações de causa e efeito das variáveis dendrométricas sobre a produção em volume.

Esta é uma técnica ainda pouco empregada em estudos na Ciência Florestal, contudo, vem sendo muito utilizada principalmente na seleção de caracteres relevantes para o melhoramento genético (SANTOS; XAVIER; CRUZ, 2006; AGUIAR et al., 2010; DAS et al., 2010; TEIXEIRA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2015b; SALLA et al., 2015; COUTO; TEODORO; TRUGILHO, 2017) bem como em outros estudos, como: avaliação da qualidade de sementes (LORENTZ; FORTES; LÚCIO, 2006), relação entre variáveis de crescimento e qualidade de mudas (BINOTTO; LÚCIO; LOPES, 2010), efeito do clima sobre o crescimento de florestas (BRIENEN et al., 2010), efeito da granulometria do solo sobre o índice de sítio (COUTINHO et al., 2017), influência da floresta sobre o abastecimento de água de uma cidade (JIANG et al., 2017), entre outros. Sua aplicação como ferramenta para a seleção de variáveis explicativas para a modelagem do crescimento e produção florestal não foi encontrada na literatura.

De acordo com a análise de trilha, a área basal do povoamento é a variável mais adequada para a prognose da produção volumétrica ao longo do tempo. Em geral, esta variável é bastante utilizada na modelagem do crescimento e produção florestal, pois, além de ser facilmente obtida, se correlaciona fortemente com a produção volumétrica (WEST, 2006, 2009). A área basal tem forte relação com a idade das árvores e com a densidade de indivíduos (WEST, 2009), o que pode ser verificado nos resultados obtidos nas análises de correlação e de trilha.

As estatísticas de ajuste (Tabela 2) e a análise gráfica dos resíduos da equação 1 (Figura 3) confirmam que a área basal do povoamento é adequada para realizar a prognose da produção volumétrica. Contudo, estimativas da produção volumétrica são limitadas pelos valores de área basal prognosticados pela equação 2, já que, estimativas a partir de valores de área basal inferiores a $5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ na idade atual podem ser tendenciosas (Figura 3). O valor máximo possível de ser prognosticado para essa variável é de $17,37 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, definido pela assíntota do modelo sigmoidal de Gompertz. Esses valores encontram-se próximos ao intervalo de área basal comumente observado em outras áreas de cerrado *sensu stricto* no Brasil Central ($5,79$ a $14,54 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) (SCOLFORO et al., 2000; FELFILI et al., 2000, 2002, 2004; ASSUNÇÃO; FELFILI, 2004; AQUINO; WALTER; RIBEIRO, 2007; ROITMAN; FELFILI; REZENDE, 2008; LIMA et al., 2010; MEWS et al., 2011a; FERNANDES et al., 2013; LEMOS et al., 2013; ALMEIDA et al., 2014; AQUINO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015a).

Em relação ao volume de madeira, apesar de sua importância, há grande escassez de estudos envolvendo esta variável em ambientes de cerrado *sensu stricto*, entretanto, os poucos existentes indicam que o volume de madeira no cerrado *sensu stricto* varia entre 14,66 m³ ha⁻¹ e 61,6 m³ ha⁻¹ (PAULA; IMAÑA-ENCINAS; SUGIMOTO, 1998; REZENDE et al., 2006; FIGUEIREDO et al., 2010; MEIRA JUNIOR et al., 2016), e estes valores são compatíveis aos prognosticados no presente estudo. Dessa forma, considera-se que o sistema de equações obtido pode ser utilizado para a prognose da produção volumétrica em outras áreas com vegetação de cerrado *sensu stricto*.

Na literatura não foram encontrados trabalhos envolvendo a projeção da produção volumétrica a partir de variáveis em uma idade atual, porém, a área basal é comumente utilizada, juntamente com outras variáveis (como exemplo: densidade de indivíduos, diâmetro médio, altura média, altura dominante, índice de vegetação, entre outras) para estimar os estoques presentes em volume, biomassa e carbono em idades atuais (SOUZA; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014; MIGUEL et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016; SOARES et al., 2016). Cabe destacar que as demais variáveis avaliadas apresentaram pouca influência direta sobre o volume (Tabela 1).

4.2 EFEITO DOS SISTEMAS SILVICULTURAIS SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA

A produção volumétrica foi influenciada pelos sistemas silviculturais, formando dois grupos distintos. As maiores diferenças entre os grupos ocorreram no período inicial do processo de regeneração do cerrado *sensu stricto*, entre 8 e 12 anos após o corte. Nesse período, a produção volumétrica do grupo 1 (S1 e S2) foi 40% superior a produção do grupo 2. Doze após o corte, as áreas submetidas aos sistemas silviculturais S1 e S2 já se destacavam em relação aos demais, pois apresentavam maior recuperação da densidade de indivíduos e área basal (REZENDE; SANQUETTA; FIGUEIREDO FILHO, 2005), o que pode ter refletido nos maiores estoques em volume desses sistemas nos anos iniciais. Ao longo do período de monitoramento as diferenças entre os dois grupos tornaram-se menos acentuadas e, a partir de 20 anos após o corte, essa diferença se tornou inferior a 10%, com tendência a se tornarem semelhantes a partir de 27 anos após o corte (Figura 6).

A maior regeneração da vegetação lenhosa do grupo 1 no período inicial pode ser explicada pelo corte realizado com motosserra apenas dos indivíduos com Db ≥ 5 cm, o que favoreceu o crescimento dos indivíduos menores que já estavam estabelecidos nas áreas dos

dois sistemas silviculturais incluídos no grupo. Esses sistemas também podem ter sido favorecidos por outros fatores como a capacidade de brotação das espécies a partir da cepa e/ou a partir de raízes, a manutenção do banco de sementes e plântulas no local e a menor compactação do solo.

A rebrota dos indivíduos é uma estratégia de sobrevivência que permite às espécies de ambientes savânicos resistirem ao fogo, corte e herbivoria (KASCHULA; TWINE; SCHOLLES, 2005; AERTS et al., 2008; SOUCHIE et al., 2017). A manutenção do banco de sementes e plântulas (favorecido pelo corte com motosserra) pode ter influenciado a maior densidade inicial de indivíduos (IKEDA et al., 2008; SCOTT et al., 2010) e o maior porte dos mesmos na ocasião dos três incêndios ocorridos após o corte, conferindo-lhes maior resistência ao fogo. Por outro lado, a menor produção volumétrica nas áreas dos sistemas silviculturais do grupo 2 pode estar relacionada também à compactação do solo provocada pelo tráfego do maquinário de corte e pela gradagem (REZENDE; SANQUETTA; FIGUEIREDO FILHO, 2005).

Por consequência, os valores máximos de IMA ($< 2,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foram obtidos mais tardiamente nos sistemas silviculturais do grupo 2 em relação ao grupo 1 (Figura 5). Assim, pode-se inferir que eventuais projetos de manejo da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto*, que visem a extração da máxima produtividade de madeira por unidade de área, deverá adotar uma rotação de corte compatível com a regeneração de cada sistema silvicultural adotado. Portanto, a rotação de corte de 24 anos para o grupo 1 e de 26 anos para o grupo 2 são as mais indicadas.

Esse período é bastante superior ao ciclo de corte sugerido por Scolforo et al. (2000) para uma área de cerrado *sensu stricto* em Minas Gerais, onde foram realizadas intervenções com remoção de 50%, 70%, 80%, 90% e 100% da área basal, com posterior proteção das áreas contra o fogo. Esses autores consideraram o ciclo de corte de 10 anos suficiente para que todos os tratamentos apresentassem área basal superior à observada na época em que foram realizadas as intervenções. Considerando os critérios adotados por esses autores, a recuperação da área basal inicial (1988), a partir da regeneração da vegetação, ocorreria apenas 17 (grupo 1) e 18 anos (grupo 2) após a aplicação dos sistemas silviculturais. Nesse período, o máximo IMA da produção volumétrica seria de apenas 1,3 e 1,1 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para os grupos 1 e 2, respectivamente, não permitindo obter a máxima produtividade em volume da área.

Figueiredo et al. (2010) também destacaram que num período de 10 anos, a vegetação de um cerrado *sensu stricto* em Minas Gerais, explorada sob plano de manejo, ainda se

encontrava em fase inicial de recuperação. Oito anos após a exploração, esses autores verificaram na área explorada apenas 19,7% do volume de uma área não explorada ($61,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), o que resultaria em um IMA de $1,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Esses resultados evidenciam a necessidade de padronização dos critérios para o estabelecimento de idades de rotação para o manejo da vegetação do cerrado *sensu stricto*, bem como a determinação de idades de rotação em sítios específicos, uma vez que fatores como tipologia florestal, características do sítio, composição florística, técnicas silviculturais, demanda de mercado, entre outros, podem influenciar na definição da idade de rotação. Assim, é importante que os programas de exploração da produção sejam compatíveis com o real incremento de cada povoamento natural, uma vez que, se a demanda de mercado for superior ao incremento, a pressão sobre a floresta será maior do que a sua capacidade de regeneração (THIBAU, 2000).

4.3 ESTRUTURA DA COMUNIDADE APÓS A IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS SILVICULTURAIS

A vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* demonstrou grande resiliência aos sistemas silviculturais, sendo que o efeito destes foi mais expressivo no início do processo de regeneração das áreas, com tendência a diminuir ao longo do tempo. A partir da regeneração natural foi possível recuperar, em um período máximo de 17 anos, a produção volumétrica, a densidade de indivíduos e a área basal da comunidade antes da implantação dos sistemas, e até mesmo alcançar níveis bem superiores, como observado para a densidade de indivíduos. As mudanças na estrutura original da vegetação provocadas pela aplicação do manejo equivale a um “rejuvenescimento e adensamento” das populações lenhosas, razão pela qual o estoque final de um certo sítio após exploração pode ser maior que o inicial, antes da exploração (GARIGLIO et al., 2010).

Além disso, o cerrado avaliado também recuperou a estrutura da comunidade em níveis superiores aos registrados em áreas adjacentes, sem intervenções antrópicas, exceto com o mesmo regime de fogo (ALMEIDA et al., 2014). Os valores das variáveis estruturais, registrados entre 17 e 27 anos após o corte, são próximos dos registrados na literatura em outras áreas de cerrado *sensu stricto* localizadas no Brasil Central, não submetidas a corte (PAULA; IMAÑA-ENCINAS; SUGIMOTO, 1998; SCOLFORO et al., 2000; FELFILI et al., 2000, 2002, 2004; ASSUNÇÃO; FELFILI, 2004; REZENDE et al., 2006; AQUINO; WALTER; RIBEIRO, 2007; ROITMAN; FELFILI; REZENDE, 2008; LIMA et al., 2010;

FIGUEIREDO et al., 2010; MEWS et al., 2011a; FERNANDES et al., 2013; LEMOS et al., 2013; ALMEIDA et al., 2014; AQUINO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015a; MEIRA JUNIOR et al., 2016).

A recuperação da produção volumétrica e da estrutura diamétrica original apresentaram padrões diferentes. As idades de rotação sugeridas (24 e 26 anos), embora tenham permitido recuperar e aumentar a produção volumétrica da comunidade, não permitem obter árvores com as mesmas dimensões daquelas exploradas inicialmente. Isso implica que a idade de rotação deve ser recomendada em função do produto final a ser obtido com o manejo. Por exemplo, em áreas que se deseja obter produtos de maiores dimensões e qualidade, os ciclos de corte serão maiores do que naquelas onde se deseja apenas recuperar o volume original (GARIGLIO et al., 2010). Porém, é importante mencionar que rotações maiores nem sempre garantem maior produtividade, pois o IMA tende a ser menor com o passar do tempo.

Os sistemas silviculturais adotados também modificaram a estrutura e composição das principais espécies que ocorriam na área. Isso é de extrema importância para o manejo florestal, uma vez que ao retirar o volume de uma determinada espécie de interesse econômico, espera-se que esse volume seja recuperado em quantidade e qualidade no final da rotação de corte, mantendo a sustentabilidade do ecossistema objeto de manejo. Assim, cabe ao manejador avaliar se os sistemas silviculturais adotados favorecem ou não as espécies de seu interesse. Por exemplo, as espécies *T. vulgaris*, *D. miscolobium* e *P. emarginatus*, consideradas por Vale et al. (2010) como de elevado potencial energético, em áreas adjacentes às do presente estudo, não apresentaram boa recuperação de seus parâmetros estruturais após o corte (Figura 9), refletindo na baixa contribuição dessas espécies com o volume total da comunidade ao longo do monitoramento (Figura 10). Da mesma forma, espécies que anteriormente apresentavam baixa produção volumétrica, podem se tornar predominantes na área e apresentar potencial de utilização econômica.

4.4 EFEITO DO INCÊNDIO SOBRE A PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA

A redução da produção em volume, densidade de indivíduos e área basal da vegetação lenhosa verificada 27 anos após o corte (quatro anos após o incêndio) (Figuras 1 e 6), corrobora os resultados de Libano e Felfili (2007) e Almeida et al. (2014). Esses autores verificaram em suas áreas de cerrado *sensu stricto* decréscimos na densidade e na área basal dos indivíduos lenhosos, sempre que ocorriam incêndios florestais na área. A vegetação do

cerrado está constantemente ameaçada por fatores externos como o fogo (FELFILI et al., 2000; ALMEIDA et al., 2014), que age como uma forma de desbaste da vegetação lenhosa (FELFILI et al., 2000; LIBANO; FELFILI, 2007), reduzindo a sua área basal (FELFILI et al., 2000; ALMEIDA et al., 2014) e, conseqüentemente, a produção em volume.

Os decréscimos são explicados principalmente pela alta mortalidade dos indivíduos de menor porte, que são geralmente mais frágeis e propensos a danos causados pelo fogo (FIEDLER et al., 2004; MEDEIROS; MIRANDA, 2005; LAWES et al., 2011; RIBEIRO et al., 2012; ARAUJO et al., 2013). Por outro lado, a baixa mortalidade das árvores de maior porte justifica a manutenção dos aumentos dos valores de Db médio quadrático, Db médio das árvores dominantes, altura de Lorey e altura média das árvores dominantes verificados entre 23 e 27 anos após o corte (Figura 1).

As projeções indicam que o cerrado *sensu stricto* é capaz de recuperar sua produção volumétrica para patamares semelhantes àqueles caso não tivesse ocorrido o fogo, confirmando a resiliência de sua vegetação lenhosa frente a este distúrbio (FELFILI et al., 2000; MEWS et al., 2011b). A manutenção da comunidade lenhosa do cerrado *sensu stricto* está sujeita a um período mínimo de cinco anos de proteção ao fogo (RIBEIRO et al., 2012), sendo esse período próximo ao prognosticado no presente trabalho para a recuperação da produção volumétrica após a ocorrência do incêndio (Figura 6).

A ausência de incêndios florestais proporciona aumento na densidade, área basal, resultando também no aumento da biomassa (ROITMAN; FELFILI; REZENDE, 2008; MEWS et al., 2011b; ALMEIDA et al., 2014). Um longo período de proteção da vegetação do cerrado contra o fogo pode permitir o estabelecimento de espécies sensíveis ao mesmo, convergindo para fisionomias mais fechadas (FELFILI et al., 2000; MOREIRA, 2000; LOPES; VALE; SCHIAVINI, 2009; ALMEIDA et al., 2014). Assim, o fogo constitui um dos principais elementos a serem levados em consideração na elaboração de políticas públicas e estratégias que visem o manejo e conservação dos recursos naturais do Cerrado.

4.5 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS PARA O MANEJO FLORESTAL NO CERRADO

A modelagem do crescimento e produção florestal é essencial para o planejamento de uso e conservação dos recursos florestais (VANCLAY, 1995; PENG, 2000; CAMPOS; LEITE, 2017). É importante destacar que este é o primeiro trabalho envolvendo modelagem por regressão, para prognose do crescimento e produção da vegetação lenhosa em ambientes de cerrado *sensu stricto* após a aplicação de sistemas silviculturais. Acredita-se que o mesmo

possa subsidiar a tomada de decisões e desenvolvimento de políticas públicas e estratégias que envolvam o manejo e a conservação dos recursos naturais no bioma Cerrado. Como o sistema de equações obtido utiliza a área basal para projetar a produção volumétrica ao longo do tempo, o efeito de intervenções silviculturais, ou até mesmo de incêndios florestais ou de outras perturbações, sobre a produção volumétrica pode ser avaliado a partir de simulações considerando um determinado percentual de área basal removida com esses eventos.

Os sistemas silviculturais avaliados neste estudo proporcionaram a recuperação da produção volumétrica da área experimental a partir do processo de regeneração natural. Dessa forma, a capacidade de rebrota da vegetação lenhosa após o corte, juntamente com o banco de sementes e plântulas, garante a recuperação do volume, sem que haja custos de plantio ou condução das árvores para o produtor. Outro fator que também deve ser levado em consideração é a manutenção da vegetação natural de cerrado *sensu stricto* no entorno da área experimental. Essa vegetação atuou como fonte potencial de propágulos (SILVESTRINI et al., 2012), contribuindo para acelerar o processo de regeneração natural de todos os sistemas silviculturais.

Sugere-se que projetos de manejo que visem a exploração sustentada dos recursos madeireiros do cerrado devem ser executados com a simples divisão da área a ser manejada em unidades de manejo (talhões ou faixas) que serão exploradas anualmente, preferencialmente de forma alternada. O número de unidades de manejo deve corresponder ao número de anos da rotação a ser adotada (24-26 anos), que dependerá do sistema silvicultural utilizado.

Essa alternativa de manejo garante ao produtor a obtenção de receitas anuais durante todo período de rotação, além da manutenção da cobertura vegetal na maior parte da área, que favorece a regeneração natural para a próxima rotação e mantém as funções ecossistêmicas da vegetação. Assim, um programa de cortes parciais, com idade de rotação compatível com a sua regeneração, atende aos aspectos conservacionistas da fauna e da flora, pois impede a exploração total, permitindo a continuidade e a sustentação da produção e dos animais silvestres (THIBAU, 2000).

Apesar da recuperação e do aumento da produção volumétrica original, a adoção dos sistemas silviculturais alteraram as características originais da comunidade lenhosa, como observado em outras áreas manejadas (THIBAU, 2000; GARIGLIO et al., 2010; AVILA et al., 2015, 2017; MARTIN et al., 2015). Isso implica que o manejador deve estar atento se as possíveis mudanças ocorridas na vegetação afetam a quantidade e a qualidade do produto do manejo, devendo a vegetação ser periodicamente monitorada a fim de subsidiar tomadas de

decisões quanto às intervenções silviculturais para manejar a área, ou até mesmo verificar se a rotação de corte está compatível com a regeneração. A partir dos resultados obtidos, será possível definir se esses planos são sustentáveis e se haverá possibilidade de nova intervenção ao final do ciclo de corte (FIGUEIREDO et al., 2010).

Apesar da resiliência das espécies lenhosas do cerrado *sensu stricto* ao fogo (FELFILI et al., 2000; MEWS et al., 2011b), a ocorrência de incêndios florestais provoca alterações na estrutura da comunidade, com redução da produção volumétrica. Portanto, áreas a serem manejadas para fins produtivos devem ser protegidas dos incêndios florestais. Em eventuais ocorrências de incêndios, o comportamento da vegetação frente à esse distúrbio deve ser avaliado, de forma a estabelecer estratégias silviculturais que minimizem seus impactos sobre a produção.

5. CONCLUSÕES

A área basal permite realizar com precisão a prognose do crescimento e produção em volume da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* após a implantação de sistemas silviculturais.

Os sistemas silviculturais influenciam a idade de rotação a ser adotada no manejo da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto*, que, considerando a máxima produtividade por unidade de área, varia de 24 a 26 anos.

A idade de rotação é suficiente para que a vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* supere a produção volumétrica encontrada antes da implantação dos sistemas silviculturais, contudo, não é suficiente para recuperar a estrutura diamétrica da comunidade e para que as espécies retornem às suas condições anteriores ao corte.

Os incêndios florestais reduzem consideravelmente a área basal e o volume de madeira presente na área de cerrado *sensu stricto*, e, portanto, devem ser evitados no manejo da vegetação do cerrado para fins produtivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERTS, R.; NOVEMBER, E.; MAES, W.; BORGHT, I. Van der; NEGUSSIE, A.; AYNEKULU, E.; HERMY, M.; MUYS, B. In situ persistence of African wild olive and forest restoration in degraded semiarid savanna. **Journal of Arid Environments**, v. 72, n.

6, p. 1131–1136, 2008.

AGUIAR, A. T. E.; MARTINS, A. L. M.; GONÇALVES, E. C. P.; SCALOPPI JÚNIOR, E. J.; BRANCO, R. B. F. Correlações e análise de trilha em clones de seringueira. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 602–607, 2010.

ALMEIDA, R. F.; FAGG, C. W.; OLIVEIRA, M. C.; MUNHOZ, C. B. R.; LIMA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. B. Mudanças florísticas e estruturais no cerrado *sensu stricto* ao longo de 27 anos (1985-2012) na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. **Rodriguésia**, v. 65, n. 1, p. 1–19, 2014.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

AQUINO, F. G.; PEREIRA, C. S.; PASSOS, F. B.; DE OLIVEIRA, M. C. Composição florística e estrutural de um Cerrado sentido restrito na área de proteção de manancial Mestre D'Armas, Distrito Federal. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 565–575, 2014.

AQUINO, F. G.; WALTER, B. M. T.; RIBEIRO, J. F. Woody community dynamics in two fragments of “cerrado” *stricto sensu* over a seven-year period (1995-2002), MA, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 1, p. 113–121, 2007.

ARAUJO, H. J. B.; OLIVEIRA, L. C.; VASCONCELOS, S. S.; CORREIA, M. F. Danos provocados pelo fogo sobre a vegetação natural em uma floresta primária no Estado do Acre, Amazônia Brasileira. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 297–308, 2013.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970.

ASSUNÇÃO, S. L.; FELFILI, J. M. Fitossociologia de um fragmento de cerrado *sensu stricto* na APA do Paranoá, DF, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 4, p. 903–909, 2004.

AVILA, A. L.; RUSCHEL, A. R.; CARVALHO, J. O. P.; MAZZEI, L.; SILVA, J. N. M.; LOPES, J. C.; ARAUJO, M. M.; DORMANN, C. F.; BAUHUS, J. Medium-term dynamics of tree species composition in response to silvicultural intervention intensities in a tropical rain forest. **Biological Conservation**, v. 191, p. 577–586, 2015.

AVILA, A. L.; SCHWARTZ, G.; RUSCHEL, A. R.; LOPES, J. do C.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. de; DORMANN, C. F.; MAZZEI, L.; SOARES, M. H. M.; BAUHUS, J. Recruitment, growth and recovery of commercial tree species over 30 years following logging and thinning in a tropical rain forest. **Forest Ecology and Management**, v. 385, p. 225–235, 2017.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 17, p. 187–190, 2017.

BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson Quality Index in forest seedlings. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 457–464, 2010.

BRIENEN, R. J. W.; LEBRIJA-TREJOS, E.; ZUIDEMA, P. A.; MARTÍNEZ-RAMOS, M. Climate-growth analysis for a Mexican dry forest tree shows strong impact of sea surface temperatures and predicts future growth declines. **Global Change Biology**, v. 16, p. 2001–2012, 2010.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2017.

COUTINHO, V. M.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; BEHLING, A.;

- SANQUETTA, M. N. I. Análise de trilha para avaliação dos efeitos da granulometria do solo sobre o índice de sítio para *Acacia mearnsii* De. Wild. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 24, p. 152–166, 2017.
- COUTO, A. M.; TEODORO, P. E.; TRUGILHO, P. F. Path analysis of the energy density of wood in eucalyptus clones. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. gmr16019536, 2017.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271–276, 2013.
- DAS, S.; MISRA, R. C.; MAHAPATRA, A. K.; GANTAYAT, B. P.; PATTNAIK, R. K. Genetic variability, character association and path analysis in *Jatropha curcas*. **World Applied Science Journal**, v. 8, n. 11, p. 1304–1308, 2010.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. Third edit ed. New York: Wiley-Interscience, 1998.
- DUBOC, E. **O cerrado e o setor florestal brasileiro**. Planaltina - DF: Embrapa Cerrados, 2008.
- DURIGAN, G. Cerrado: técnicas e normas podem reduzir desmatamento. **Visão Agrícola**, p. 20–23, dez. 2005.
- EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201–338, 1972.
- EPSKAMP, S.; CRAMER, A. O. J.; WALDORP, L. J.; SCHMITTMANN, V. D.; BORSBOOM, D. qgraph : Network Visualizations of Relationships in Psychometric Data. **Journal of Statistical Software**, v. 48, n. 4, p. 1–18, 2012.
- FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; HAIDAR, R. F. **Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal** Brasília, 2005.
- FELFILI, J. M.; FILGUEIRAS, T. S.; HARIDASAN, M.; SILVA JÚNIOR, M. C.; MENDONÇA, R.; REZENDE, A. V. Projeto biogeografia do bioma cerrado: vegetação e solos. **Cadernos de Geociências (Rio de Janeiro)**, v. 12, p. 75–166, 1994.
- FELFILI, J. M.; NOGUEIRA, P. E.; SILVA JÚNIOR, M. C.; MARIMON, B. S.; DELITTI, W. B. C. Composição florística e fitossociologia do cerrado sentido restrito no município de Água Boa - MT. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 1, p. 103–112, 2002.
- FELFILI, J. M.; REZENDE, A. V.; SILVA JÚNIOR, M. C.; SILVA, M. A. Changes in the floristic composition of cerrado *sensu stricto* in Brazil over a nine-year period. **Journal of Tropical Ecology**, v. 16, n. 4, p. 579–590, 2000.
- FELFILI, J. M.; SILVA, M. C.; SEVILHA, A. C.; FAGG, C. W.; WALTER, B. M. T.; NOGUEIRA, P. E.; REZENDE, A. V. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. **Plant Ecology**, v. 175, n. 1, p. 37–46, 2004.
- FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C. Distribuição dos diâmetros numa faixa de cerrado na Fazenda Água Limpa (FAL), em Brasília-DF. **Acta Botanica Brasilica**, v. 2, n. 1–2, p. 85–105, 1988.
- FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C. A comparative study of cerrado (*sensu stricto*) vegetation in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 9, n. 3, p. 277–289, 1993.
- FERNANDES, M. H.; ZOCH, V. P.; MATA, R. A.; WALTER, B. M. T. Fitossociologia do componente arbóreo e florística de um remanescente de cerrado sentido restrito contíguo a

áreas de agricultura da porção leste do Distrito Federal, Brasil. **Heringeriana**, v. 7, n. 1, p. 7–32, 2013.

FIEDLER, N. C.; NUNO, I.; AZEVEDO, C. De; MEDEIROS, M. B. De; VENTUROIL, F. Efeito de incêndios florestais na estrutura e composição florística de uma área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa-DF. **Revista Árvore**, v. 28, p. 129–138, 2004.

FIGUEIREDO, M. A. P.; SOUZA, A. L.; MEIRA NETO, J. A. A.; SILVA, A. F.; FIGUEIREDO, L. H. A. Alteração estrutural de uma área de cerrado explorada sob regime de manejo no município de João Pinheiro - Minas Gerais-Brasil. **Revista Arvore**, v. 34, n. 3, p. 521–528, 2010.

FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ, J. F. A.; BICUDO, C. E. M.; CANHOS, D. A. L.; CARVALHO, A. A.; COELHO, M. A. N.; COSTA, A. F.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M. G.; LEITMAN, P. M.; LOHMANN, L. G.; LUGHADHA, E. N.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L. P.; SOUZA, S.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J. R.; SYLVESTRE, L. S.; WALTER, B. M. T.; ZAPPI, D. C. New brazilian floristic list highlights conservation challenges. **BioScience**, v. 62, n. 1, p. 39–45, jan. 2012.

FRUCHTERMAN, T. M. J.; REINGOLD, E. M. Graph drawing by force-directed placement. **Software: Practice and Experience**, v. 21, n. 11, p. 1129–1164, 1991.

FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, v. 8, n. 3–4, p. 223–241, 1999.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

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.

HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal. In: NOVAES-PINTO, M. (Ed.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1990. p. 309–330.

HUNKE, P.; MUELLER, E. N.; SCHRÖDER, B.; ZEILHOFER, P. The Brazilian Cerrado: Assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. **Ecohydrology**, v. 8, n. 6, p. 1154–1180, 2015.

IKEDA, F. S.; MITJA, D.; VILELA, L.; SILVA, J. C. S. Banco de sementes em cerrado *sensu stricto* sob queimada e sistemas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 6, p. 667–673, 2008.

JIANG, Y. Q.; CHEN, K.; CHEN, T. F.; LI, X. T. A PATH ANALYSIS OF THE IMPACTS OF VALUE TRANSFER ABOUT FOREST ECOLOGICAL SERVICE FROM UPPER WATERSHED OF HUNHE ON WATER SUPPLY IN SHENYANG CITY IN CHINA. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 15, n. 4, p. 467–485, 2017.

KASCHULA, S. A.; TWINE, W. C.; SCHOLLES, M. C. The effect of catena position and stump characteristics on the coppice response of three savannah fuelwood species. **Environmental Conservation**, v. 32, n. 1, p. 76–84, 2005.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005.

- LAWES, M. J.; ADIE, H.; RUSSELL-SMITH, J.; MURPHY, B.; MIDGLEY, J. J. How do small savanna trees avoid stem mortality by fire? The roles of stem diameter, height and bark thickness. **Ecosphere**, v. 2, n. 4, p. art42, 2011.
- LEMONS, H. L.; PINTO, J. R. R.; MEWS, H. A.; LENZA, E. Structure and floristic relationships between Cerrado *sensu stricto* sites on two types of substrate in northern Cerrado, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 13, n. 4, p. 121–132, 2013.
- LIBANO, A. M.; FELFILI, J. M. Fitossociologia de um cerrado *sensu stricto* no Brasil Central ao longo de 18 anos. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 90–92, 2007.
- LIMA, T. A.; PINTO, J. R. R.; LENZA, E.; PINTO, A. S. Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em uma área de cerrado rupestre no Parque Estadual da Serra de Caldas Novas, Goiás. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 2, p. 159–166, 2010.
- LOPES, S. F.; VALE, V. S.; SCHIAVINI, I. Efeito de queimadas sobre a estrutura e composição da comunidade vegetal lenhosa do cerrado sentido restrito em Caldas Novas, GO. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 695–704, 2009.
- LORENTZ, L. H.; FORTES, F. de O.; LÚCIO, A. D. Análise de trilha entre as variáveis das análises de sementes de espécies florestais exóticas do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 567–574, 2006.
- MARCHESE, C. Biodiversity hotspots: A shortcut for a more complicated concept. **Global Ecology and Conservation**, v. 3, p. 297–309, jan. 2015.
- MARTIN, P. A.; NEWTON, A. C.; PFEIFER, M.; KHOO, M. S.; BULLOCK, J. M. Impacts of tropical selective logging on carbon storage and tree species richness: A meta-analysis. **Forest Ecology and Management**, v. 356, p. 224–233, 2015.
- MEDEIROS, M. B.; MIRANDA, H. S. Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 3, p. 493–500, 2005.
- MEIRA JUNIOR, M. S.; ENCINAS, J. I.; PINTO, J. R. R.; MOTA, S. da L. L. Functional diversity influence in forest wood stock: a study of the brazilian savanna. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 6, p. 1619–1631, 2016.
- MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. Flora vascular do bioma Cerrado: Check list com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Flora. Volume 2**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 723–1279.
- MEWS, H. A.; MARIMON, B. S.; MARACAHIPES, L.; FRANCAZAK, D. D.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Dinâmica da comunidade lenhosa de um Cerrado Típico na região Nordeste do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 73–82, 2011a.
- MEWS, H. A.; MARIMON, B. S.; MARACAHIPES, L.; FRANCAZAK, D. D.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Dinâmica da comunidade lenhosa de um Cerrado Típico na região Nordeste do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 1–10, 2011b.
- MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T.; VALE, A. T.; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerrado com dados de satélite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 829–839, 2015.
- MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMANN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.;

- MITTERMEIER, C. G.; LAMOUREX, J.; FONSECA, G. A. B. **Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered ecoregions**. Washington: Conservation International, 2005.
- MITTERMEIER, R. A.; TURNER, W. R.; LARSEN, F. W.; BROOKS, T. M.; GASCON, C. **Biodiversity hotspots**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- MMA, M. M. A. **Mapeamento do uso e cobertura do cerrado: projeto terraclass cerrado 2013**. Brasília: MMA SBF, 2015.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.
- MOREIRA, A. G. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 27, n. 4, p. 1021–1029, 2000.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: Wiley, 1974.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. P.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. February, p. 853–858, 2000.
- OLIVEIRA, C. P.; FRANCELINO, M. R.; CYSNEIROS, V. C.; ANDRADE, F. C.; BOOTH, M. C. Composição florística e estrutura de um cerrado *sensu stricto* no oeste da Bahia. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 545–552, 2015a.
- OLIVEIRA, W. B. S.; FERREIRA, A.; GUILHEN, J. H. S.; MARÇAL, T. S.; FERREIRA, M. F. S.; SENRA, J. F. B. Análise de trilha e diversidade genética de *Euterpe edulis* Martius para caracteres vegetativos e de frutos. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 303–311, 2015b.
- OLIVEIRA, X. M.; MAYRINCK, R. C.; SILVA, G. C. C.; FERRAZ FILHO, A. C.; MELLO, J. M. Modelo de estimativa de volume e carbono por hectare para fragmentos de cerrado *sensu stricto* em Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 802–811, 2016.
- PAULA, J. E.; IMAÑA-ENCINAS, J.; SUGIMOTO, N. Levantamento quantitativo em três hectares de vegetação de cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 33, n. 5, p. 613–620, 1998.
- PENG, C. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. **Forest Ecology and Management**, v. 132, p. 259–279, 2000.
- RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Biodiversity patterns of the woody vegetation of the Brazilian cerrado. In: PENNINGTON, T.; LEWIS, G. P.; RATTER, J. A. (Ed.). **Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests**. London: Taylor & Francis Group, 2006. p. 31–66.
- REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 65–76, 2006.
- REZENDE, A. V.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A. Efeito do desmatamento no estabelecimento de espécies lenhosas em um cerrado *sensu stricto*. **Floresta**, v. 35, p. 69–88, 2005.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Flora. Volume**

1. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 151–212.
- RIBEIRO, M. N.; SANCHEZ, M.; PEDRONI, F.; PEIXOTO, K. da S. Fogo e dinâmica da comunidade lenhosa em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, Mato Grosso. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 1, p. 203–217, 2012.
- ROITMAN, I.; FELFILI, J. M.; REZENDE, A. V. Tree dynamics of a fire-protected cerrado *sensu stricto* surrounded by forest plantations, over a 13-year period (1991-2004) in Bahia, Brazil. **Plant Ecology**, v. 197, n. 2, p. 255–267, 2008.
- SALLA, V. P.; DANNER, M. A.; CITADIN, I.; SASSO, S. A. Z.; DONAZZOLO, J.; GIL, B. V. Análise de trilha em caracteres de frutos de jaboticabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 218–223, 2015.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 166, n. 1–4, p. 113–124, 2010.
- SANTOS, G. A.; XAVIER, A.; CRUZ, C. D. Desempenho silvicultural de progênes de *Eucalyptus grandis* em relação às árvores matrizes. **Scientia Forestalis**, n. 70, p. 67–76, 2006.
- 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-U263, 2017.
- SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, A. A.; FERREIRA, D. F. Avaliação de diferentes níveis de intervenção no desenvolvimento da área basal e número se árvores de uma área de cerrado *stricto sensu*. **Cerne**, v. 6, n. 2, p. 25–34, 2000.
- SCOTT, K.; SETTERFIELD, S.; DOUGLAS, M.; ANDERSEN, A. Soil seed banks confer resilience to savanna grass-layer plants during seasonal disturbance. **Acta Oecologica**, v. 36, n. 2, p. 202–210, 2010.
- SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic Patterns and Conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot. **BioScience**, v. 52, n. 3, p. 225, 2002.
- SILVESTRINI, M.; CYSNEIRO, A. de D.; LIMA, A. L.; VEIGA, L. G.; ISERNHAGEN, I.; TAMASHIRO, J. Y.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Natural regeneration in abandoned fields following intensive agricultural land use in an Atlantic Forest Island, Brazil. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 659–671, 2012.
- SIMIONI, F. J.; MOREIRA, J. M. M. Á. P.; FACHINELLO, A. L.; BUSCHINELLI, C. C. A.; MATSUURA, M. I. S. F. Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal da silvicultura no Brasil. **Ciencia Florestal**, v. 27, n. 2, p. 731–742, 2017.
- SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R.; MARTINS, F. B.; FIGUEIREDO, L. T. M. Equações para estimar estoque de carbono por hectare nos fustes das árvores de floresta estacional semidecidual. **Ciencia Florestal**, v. 26, n. 2, p. 579–588, 2016.
- SOUCHIE, F. F.; PINTO, J. R. R.; LENZA, E.; GOMES, L.; MARACAHIPES-SANTOS, L.; SILVÉRIO, D. V. Post-fire resprouting strategies of woody vegetation in the Brazilian savanna. **Acta Botanica Brasilica**, v. 31, n. 2, p. 260–266, 2017.
- SOUZA, R. F.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelagem da biomassa total e da lenha por unidade de área para bracingais nativos. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 53–62, 2014.
- TEIXEIRA, D. H. L.; OLIVEIRA, M. do S. P.; GONÇALVES, F. M. A.; NUNES, J. A. R.

Correlações genéticas e análise de trilha para componentes da produção de frutos de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 1135–1142, 2012.

TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; CORRÊA, C. C.; LUZ JÚNIOR, R. A. A.; ZANUCIO, A. dos S.; CAPRISTO, D. P.; TORRES, F. E. Path analysis in soybean genotypes as function of growth habit. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 3, p. 794–799, 2015.

THIBAU, C. E. **Produção sustentada em florestas: conceitos e tecnologias, biomassa energética, pesquisas e constatações**. Belo Horizonte: O autor, 2000.

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.

VALE, A. T.; DIAS, Í. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. **Ciencia Florestal**, v. 20, n. 1, p. 137–146, 2010.

VANCLAY, J. K. Growth models for tropical forests: A synthesis of models and methods. **Forest Science**, v. 41, n. 1, p. 7–42, 1995.

WEST, P. W. **Growing plantation forests**. Berlin: Springer-Verlag, 2006. v. 9783319018

WEST, P. W. **Tree and forest measurement**. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 2009.

WILLIAMS, K. J.; FORD, A.; ROSAUER, D. F.; SILVA, N.; MITTERMEIER, R.; BRUCE, C.; LARSEN, F. W.; MARGULES, C. Forests of East Australia: The 35th Biodiversity Hotspot. In: ZACHOS, F.; JC, H. (Ed.). **Biodiversity Hotspots**. Berlin: Springer-Verlag, 2011. p. 295–310.

WRIGHT, S. Correlation and Causation. **Journal of Agriculture Research**, v. 20, n. 7, p. 557–585, 1921.

YUE, C.; KAHLE, H.-P.; VON WILPERT, K.; KOHNLE, U. A dynamic environment-sensitive site index model for the prediction of site productivity potential under climate change. **Ecological Modelling**, v. 337, p. 48–62, 2016.

CAPÍTULO 2

ACÚMULO DE BIOMASSA AÉREA LENHOSA EM UM CERRADO DO BRASIL CENTRAL APÓS A IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS SILVICULTURAIS

RESUMO

O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro, tem passado por transformações na paisagem natural, decorrentes, em grande parte, por atividades antrópicas. Contudo, muito pouco se conhece sobre os efeitos dessas atividades sobre a regeneração natural da vegetação do Cerrado. Portanto, este trabalho objetivou avaliar o estoque de biomassa aérea acumulada a partir da regeneração natural da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto*, após a implantação de seis sistemas silviculturais envolvendo diferentes técnicas de corte da vegetação lenhosa, monitorado por 27 anos. Também foi avaliado os impactos de um incêndio florestal não planejado, sobre a biomassa da comunidade lenhosa e suas populações. Ao longo de 27 anos após a implantação dos sistemas silviculturais foi realizado o monitoramento da regeneração natural estabelecida em 18 parcelas experimentais de 20 x 50 m. Os monitoramentos foram realizados em oito ocasiões: 8, 10, 12, 14, 17, 20, 23 e 27 anos após o corte da vegetação. Durante esse período, a área se manteve protegida de distúrbios antrópicos, com exceção de três incêndios florestais não planejados que atingiram a área cerca de um, seis e 23 anos após a implantação do experimento. Um período de 17 anos foi suficiente para a comunidade lenhosa do cerrado *sensu stricto* recuperar naturalmente o seu estoque original de biomassa aérea após a aplicação de sistemas silviculturais. Poucas espécies contribuem com a biomassa aérea total acumulada ao longo do tempo, e tal contribuição é variável com o tempo e com o tipo de sistema silvicultural. O tipo de sistema silvicultural influencia na quantidade total de biomassa aérea acumulada por espécie, podendo ser favorável ou não para uma determinada espécie. Independentemente do tipo de sistema silvicultural utilizado, a ocorrência de incêndios florestais afeta o acúmulo de biomassa lenhosa aérea, com o aumento da fração da biomassa de indivíduos mortos e a redução da biomassa de indivíduos vivos, provoca maior redução da biomassa de espécies sensíveis ao fogo e transforma o cerrado *sensu stricto* de um sumidouro de carbono para uma fonte de emissões de CO₂ para a atmosfera.

Palavras-chave: Regeneração natural; Espécies sensíveis ao fogo; Emissão de CO₂.

1. INTRODUÇÃO

As savanas tropicais cobrem cerca de 23 milhões de km² ou 20% da superfície terrestre e estão distribuídas pela África (65%), Austrália (60%), América do Sul (45%), Índia e Sudeste Asiático (10%) (COLE, 1986). No Brasil, são representadas pelo bioma Cerrado, que ocupa cerca de 23% de seu território.

O Cerrado é uma das savanas mais ricas do mundo (MENDONÇA et al., 2008), sendo apontado como um dos *hotspots* mundiais para conservação da biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2005, 2011; WILLIAMS et al., 2011). É composto por um mosaico de fisionomias, apresentando formações campestres, savânicas e florestais (EITEN, 1972; COUTINHO, 2006; RIBEIRO; WALTER, 2008), condicionadas a diferentes fatores, tais como clima, solo, geomorfologia, hidrologia, fogo e ação antrópica (EITEN, 1972; COLE, 1986; FURLEY, 1999; RIBEIRO; WALTER, 2008).

Nas últimas décadas, a ocupação de áreas naturais do Cerrado por atividades antrópicas tem aumentado progressivamente e de forma bastante expressiva, e já causou a fragmentação e destruição de extensas áreas da cobertura original desse importante ecossistema. A ocorrência frequente de incêndios florestais é bastante comum na maioria das savanas do mundo, o que leva alguns cientistas a considerar este ecossistema como resultante direto da ação do fogo (WALTER; CARVALHO; RIBEIRO, 2008).

O fogo altera a estrutura original da vegetação, a composição de espécies e a ciclagem de nutrientes, provocando mudanças na densidade dos indivíduos lenhosos e dos arbustivo-herbáceos (KAUFFMAN; CUMMINGS; WARD, 1994). Estudos têm demonstrado que a ausência do fogo aumenta a densidade e a área basal da comunidade, e, conseqüentemente, leva ao aumento da biomassa (ROITMAN; FELFILI; REZENDE, 2008; MEWS et al., 2011a; ALMEIDA et al., 2014). Contudo, longos períodos de proteção contra incêndios florestais permitem o estabelecimento de espécies sensíveis ao fogo, o que pode convergir a cobertura original para fisionomias mais fechadas (FELFILI et al., 2000; MOREIRA, 2000; LOPES; VALE; SCHIAVINI, 2009; ALMEIDA et al., 2014). Isto demonstra que, embora a vegetação do Cerrado seja adaptada ao fogo (EITEN, 1972), a ocorrência de incêndios influencia a composição florística das áreas atingidas, agindo positivamente sobre as espécies resistentes e negativamente sobre as espécies sensíveis ao fogo (FIEDLER et al., 2004; LIBANO; FELFILI, 2007; WALTER; CARVALHO; RIBEIRO, 2008; RIBEIRO et al., 2009; ALMEIDA et al., 2014).

Além dos incêndios florestais, a exploração de material lenhoso para fins energéticos, a ocupação de áreas naturais pela agricultura e pastagem, bem como a exploração extrativista contínua de produtos não madeireiros, estão entre os potenciais transformadores da paisagem natural do Cerrado. Essas atividades podem causar impactos diretos e indiretos sobre a estrutura, composição florística e dinâmica da vegetação.

Portanto, entender como as diferentes intervenções antrópicas podem influenciar de forma positiva ou negativa este ecossistema é importante não apenas para subsidiar a elaboração de estratégias de conservação e restauração de suas diferentes fisionomias, mas, também, para indicar medidas de manejo ou uso sustentável da vegetação. Os ecossistemas naturais oferecem grande variedade de espécies com diferentes características ecológicas e silviculturais, no entanto, ainda são muito escassas as informações sobre as estratégias que as plantas utilizam para estabelecer e crescer, seja em áreas intactas, exploradas, ou sujeitas a algum regime de manejo (SILVA NETO et al., 2015).

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o acúmulo da biomassa lenhosa aérea numa área de cerrado *sensu stricto* monitorada por 27 anos após a implantação de diferentes sistemas silviculturais e avaliar os impactos de um incêndio florestal não planejado (23 anos após a implantação dos sistemas silviculturais), sobre a biomassa da comunidade lenhosa e suas populações. O estudo buscou atender as seguintes hipóteses: (1) Um período de 27 anos é suficiente para a comunidade lenhosa do cerrado *sensu stricto* recuperar seu estoque de biomassa aérea após a implantação dos sistemas silviculturais; (2) a contribuição das espécies lenhosas para o total de biomassa lenhosa aérea acumulada varia ao longo do tempo e em função do sistema silvicultural adotado; (3) algumas espécies lenhosas acumulam mais biomassa aérea em determinados sistemas silviculturais; (4) incêndios florestais eventuais causam a redução da biomassa acumulada; e (5) espécies menos resistentes ao fogo contribuem para a maior redução da biomassa aérea.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi desenvolvido em uma área experimental de cerrado *sensu stricto*, localizada na Reserva Ecológica e Experimental da Universidade de Brasília, Fazenda Água Limpa (FAL), situada em Brasília, Distrito Federal, Brasil. A FAL ocupa cerca de 4.340 ha

e está localizada a uma altitude média de 1.100 m, entre as coordenadas geográficas 15°56' - 15°59' S e 47°53' - 47°59' W. A região apresenta clima do tipo Aw de Köppen (ALVARES et al., 2013), com temperaturas médias variando de 12,0 °C a 28,5 °C. A precipitação média anual é de 1.600 mm, com pronunciada estação seca nos meses de julho a setembro. As classes de solo predominantes são os Latossolos, com alto teor de alumínio e baixos teores de cálcio e magnésio (HARIDASAN, 1990).

2.2 BASE DE DADOS

Em 1988 foram implantados na área experimental de cerrado *sensu stricto*, três blocos, ocupando cada um 41.472 m² (192 x 216 m), visando a implantação de sistemas silviculturais na vegetação lenhosa. Os blocos foram distribuídos aleatoriamente na área. Cada bloco foi subdividido em 6 faixas de 6.912 m² (32 x 216 m) e, posteriormente, cada faixa foi subdividida em três sub-faixas de 2.304 m² (32 x 72 m).

Antes da implantação dos sistemas silviculturais, a vegetação lenhosa de cada bloco foi inventariada com o objetivo de caracterizar a vegetação local. O inventário foi realizado em parcelas de 1.000 m² (20 x 50 m) demarcadas no centro de cada sub-faixa de 32 x 72 m. Todos os indivíduos lenhosos arbóreos-arbustivos com diâmetro tomado a 30 cm do nível do solo (Db) igual ou superior a 5 cm (FELFILI; CARVALHO; HAIDAR, 2005), foram identificados botanicamente, ao nível de gênero, espécie e família, e tiveram seus diâmetros e alturas registrados.

Após realizado o inventário da vegetação lenhosa, cada bloco foi submetido a diferentes sistemas silviculturais, definidos com base em diferentes técnicas de corte, extração da produção madeireira e limpeza da área, seguido da regeneração natural. Os sistemas silviculturais consistiram em: S1 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha; S2 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha + fogo; S3 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha; S4 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo; S5 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + 2 gradagens (24''); S6 - Corte com motosserra de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo + destoca + 2 gradagens (24''). Cada sistema foi aplicado em uma parcela de 20 x 50 m, selecionada aleatoriamente, dentro de cada faixa de 32 x 216 m. Portanto, todas as parcelas submetidas aos sistemas silviculturais permaneceram circundadas por vegetação natural do cerrado.

Toda a vegetação lenhosa arbórea-arbustiva regenerante estabelecida nas parcelas submetidas a cada sistema silvicultural foi monitorada em oito ocasiões: 8, 10, 12, 14, 17, 20, 23 e 27 anos após o corte. Em cada ocasião, todos os indivíduos lenhosos (vivos e mortos em pé), com Db igual ou superior a 5 cm, presentes nas parcelas de 20 x 50 m, foram identificados botanicamente e tiveram seus diâmetros e alturas registradas. Indivíduos com mais de um fuste com $Db \geq 5$ cm, despontando a uma altura inferior a 0,30 m do solo, foram medidos separadamente. Ao longo do período monitorado não houve qualquer outra intervenção silvicultural na área experimental, contudo, foram registrados na FAL três incêndios florestais que também atingiram todo o experimento. Os incêndios ocorreram aos um, seis e 23 anos após o corte.

A biomassa aérea dos indivíduos lenhosos regenerados nas parcelas submetidas aos sistemas silviculturais foi estimada em cada período monitorado a partir do produto entre o volume lenhoso e a densidade média ponderada do fuste (lenho + casca). O volume lenhoso (V) de cada indivíduo foi estimado utilizando uma equação desenvolvida para o cerrado *sensu stricto* da FAL, dada por: $V = 0,000109Db^2 + 0,0000451Db^2Ht$, em que: V = volume (m^3); Db = diâmetro tomado à 0,30 m do nível do solo (cm) e Ht = altura total (m). Essa equação gera estimativas de volume considerando os componentes fuste e galhos com diâmetro mínimo da ponta igual a 3 cm (REZENDE et al., 2006).

A densidade média ponderada do fuste de cada espécie registrada na área foi obtida a partir de informações da massa seca e densidade, do lenho e da casca, obtidas em uma área de cerrado de *sensu stricto* adjacente a área deste experimento (VALE, 2000). Para as espécies comuns ao presente estudo, a densidade média ponderada do fuste foi determinada pela fórmula: $DF = (MS_{madeira} \cdot DS_{madeira} + MS_{casca} \cdot DS_{casca}) / (MS_{madeira} + MS_{casca})$, em que: DF = densidade média ponderada do fuste ($kg\ m^{-3}$); MS = massa seca ($kg\ árvore^{-1}$); DS = densidade ($kg\ m^{-3}$). Para as espécies sem informações disponíveis, a densidade média ponderada do fuste foi considerada como sendo a média das densidades das espécies comuns. As espécies comuns representaram de 80% a 95% dos indivíduos amostrados durante o período de monitoramento. A Tabela 1 apresenta a densidade média ponderada do fuste utilizada para a obtenção da biomassa de cada uma das espécies registradas na área experimental.

Tabela 1. Densidade média ponderada do fuste (lenho + casca) de espécies de cerrado *sensu stricto*. Adaptado de Vale (2000).

Espécie	Densidade (kg m⁻³)
<i>Miconia ferruginata</i> DC.	590
<i>Miconia leucocarpa</i> DC.	560
<i>Acosmium dasycarpum</i> (Vogel) Yakovlev	680
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	560
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	480
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	470
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	550
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	510
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) Rich. ex Juss.	470
<i>Caryocar brasiliense</i> A.St.-Hil.	530
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	470
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	680
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	630
<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F.Macbr.	570
<i>Eremanthus glomerulatus</i> Less.	460
<i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	360
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.	410
<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hil.	470
<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	490
<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	470
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	460
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	520
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	600
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Hayne	730
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	380
<i>Kielmeyera speciosa</i> A.St.-Hil.	530
<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	710
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	480
<i>Palicourea rigida</i> Kunth	410
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	380
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	500
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	600
<i>Psidium laruotteanum</i> Cambess.	360
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	670
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	620
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	600
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	630

Continua...

Tabela 1. *Continuação.*

Espécie	Densidade (kg m⁻³)
<i>Rourea induta</i> Planch.	520
<i>Schefflera macrocarpa</i> (Cham. & Schltdl.) Frodin	610
<i>Strychnos pseudoquina</i> A. St.-Hil.	670
<i>Styphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	510
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	480
<i>Symplocos rhamnifolia</i> A.DC.	270
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	680
<i>Vochysia elliptica</i> Mart.	530
<i>Vochysia rufa</i> Mart.	380
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	500
Média geral	530

2.3 ANÁLISE DE DADOS

A influência dos sistemas silviculturais no acúmulo da biomassa total (Mg ha⁻¹), ao longo do tempo, foi avaliada considerando um delineamento em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas 8 x 6 (monitoramento em oito ocasiões e seis sistemas silviculturais), com três repetições. As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$). As análises foram realizadas com auxílio do *software* Rbio (BHERING, 2017).

Para cada grupo de sistemas silviculturais identificado no teste de Scott-Knott foi avaliada a contribuição percentual da biomassa de cada espécie para a biomassa total acumulada em cada período de monitoramento. As espécies que mais contribuíram para a biomassa total foram selecionadas a partir de uma lista composta pelas cinco espécies com maior biomassa acumulada, em cada sistema silvicultural e em cada ocasião monitorada. Esse critério foi utilizado com o objetivo de representar as espécies que mais contribuíram com o acúmulo de biomassa na área em todos os sistemas silviculturais, durante todo período monitorado.

Para avaliar o efeito dos sistemas silviculturais sobre o acúmulo individual de biomassa dessas espécies ao longo do período monitorado, foi empregada a análise de agrupamento, pelo método de Ward (1963), tendo como medida de dissimilaridade a Distância Euclidiana média padronizada (EVERITT; DUNN, 2001), da biomassa acumulada pela espécie em cada uma das ocasiões monitoradas.

3. RESULTADOS

Os estoques de biomassa viva, morta e total da área antes da implantação dos sistemas silviculturais eram iguais a 8,32 Mg ha⁻¹, 0,39 Mg ha⁻¹ e 8,71 Mg ha⁻¹, respectivamente. A recuperação desses estoques após a implantação dos sistemas silviculturais foi influenciada tanto pelo sistema quanto pelo tempo decorrido após o corte da vegetação lenhosa (Tabela 2).

Tabela 2. Estoques de biomassa viva, morta e total, ao longo do tempo, após a aplicação de sistemas silviculturais (S.S) em uma área de cerrado *sensu stricto*.

S.S.	Anos após o corte								Média
	8	10	12	14	17	20	23	27	
Biomassa Viva (Mg ha ⁻¹)									
S1	1,32	2,23	3,58	7,27	11,29	16,87	24,28	20,03	10,86 A
S2	0,98	1,87	3,66	7,42	11,40	17,00	24,26	22,15	11,09 A
S3	0,48	0,91	2,47	5,90	8,86	14,75	22,24	23,54	9,89 B
S4	0,25	0,59	1,60	5,10	8,71	14,57	21,26	17,81	8,74 B
S5	0,53	0,76	1,88	5,31	8,63	14,20	20,04	20,27	8,95 B
S6	0,75	0,68	1,97	5,85	9,17	15,39	22,36	20,36	9,56 B
Média	0,72 e	1,17 e	2,53 e	6,14 d	9,68 c	15,46 b	22,4 a	20,69 a	
					Coeficiente de variação 1 = 28,45% Coeficiente de variação 2 = 22,13%				
Biomassa morta (Mg ha ⁻¹)									
S1	0,24 bA	0,23 bA	0,26 bA	0,13 bA	0,23 bA	0,49 bA	0,65 bA	2,93 aB	0,64
S2	0,15 bA	0,09 bA	0,14 bA	0,17 bA	0,13 bA	0,57 bA	0,32 bA	3,92 aA	0,69
S3	0,03 bA	0,03 bA	0,03 bA	0,17 bA	0,41 bA	0,52 bA	0,66 bA	1,58 aC	0,43
S4	0,05 bA	0,06 bA	0,01 bA	0,01 bA	0,03 bA	0,51 bA	0,30 bA	1,73 aC	0,34
S5	0,25 aA	0,24 aA	0,24 aA	0,17 aA	0,17 aA	0,34 aA	0,24 aA	0,91 aC	0,32
S6	0,16 bA	0,4 bA	0,19 bA	0,12 bA	0,09 bA	0,24 bA	0,28 bA	1,56 aC	0,38
Média	0,15	0,18	0,14	0,13	0,18	0,44	0,41	2,10	
					Coeficiente de variação 1 = 132,72% Coeficiente de variação 2 = 98,28%				
Biomassa total (Mg ha ⁻¹)									
S1	1,56	2,46	3,84	7,40	11,52	17,36	24,93	22,95	11,50 A
S2	1,14	1,97	3,80	7,59	11,52	17,57	24,58	26,07	11,78 A
S3	0,51	0,94	2,50	6,07	9,27	15,27	22,90	25,12	10,32 B
S4	0,30	0,65	1,60	5,11	8,75	15,08	21,55	19,54	9,07 B
S5	0,78	1,00	2,12	5,48	8,79	14,54	20,29	21,18	9,27 B
S6	0,91	1,07	2,16	5,96	9,26	15,64	22,63	21,91	9,94 B
Média	0,87 e	1,35 e	2,67 e	6,27 d	9,85 c	15,91 b	22,81 a	22,80 a	
					Coeficiente de variação 1 = 26,71% Coeficiente de variação 2 = 22,29%				

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas iguais nas colunas não se diferenciam pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Os estoques de biomassa dos indivíduos mortos foram influenciados pela interação entre os fatores tempo e sistema silvicultural ($p = 0,0010$). Para todos os sistemas silviculturais, exceto no S5, os estoques registrados 27 anos após o corte (quatro anos após o incêndio florestal) foram estatisticamente superiores aos dos demais monitoramentos, que não diferiram significativamente um do outro. A biomassa morta nos diferentes sistemas foram estatisticamente iguais até 23 anos após o corte. Porém aos 27 anos, o maiores estoques foram observados em S1 e S2, que diferiram tanto entre si quanto entre os demais sistemas. Em todos os sistemas, a fração de biomassa morta foi mais elevada no período inicial do monitoramento e no último período monitorado. Entre 14 e 23 anos após o corte, seus valores representaram menos de 3% da biomassa total acumulada na área.

Os estoques de biomassa viva e biomassa total apresentaram comportamento semelhante e não foram influenciados pela interação entre os fatores tempo e sistema silvicultural ($p > 0,9972$). Porém, isoladamente, os fatores influenciaram nos seus estoques ($p < 0,0008$). De forma geral, independente do sistema silvicultural adotado, houve aumento da biomassa viva e total acumulada ao longo do tempo, exceto entre as medições realizadas aos 23 e 27 anos após o corte, que foram semelhantes entre si e superiores aos demais anos avaliados. Independente do ano avaliado, S1 e S2 proporcionaram estoques de biomassa superiores aos demais (Tabela 2). Assim, os sistemas silviculturais formaram dois grupos distintos em relação aos estoques de biomassa viva e total recuperada na área (Grupo 1 = S1 e S2; Grupo 2 = S3, S4, S5 e S6).

A contribuição de cada uma das espécies em relação ao total de biomassa dos indivíduos vivos variou entre os grupos e durante o período de monitoramento (Figura 1). Por exemplo, oito anos após o corte, *M. clausenii* contribuiu com 32,3% da biomassa no grupo 2 e apenas 1,6% no grupo 1, com redução drástica de sua participação nas ocasiões seguintes. As espécies *E. glomerulatus*, *S. adstringens* e *P. rotundifolia* aumentaram sua contribuição até o período intermediário de monitoramento e, posteriormente, tenderam a reduzir a sua contribuição. As espécies *C. brasiliense*, *Q. grandiflora*, *Q. parviflora* e *M. guianensis* tenderam a aumentar sua contribuição ao longo do tempo. Aos 27 anos após o corte, as espécies que mais contribuíram com a biomassa do grupo 1 foram: *M. leucocarpa*, *S. macrocarpa*, *B. salicifolius*, *T. vulgaris* e *Q. grandiflora*. Para o grupo 2 foram: *M. leucocarpa*, *M. guianensis*, *Q. grandiflora* e *S. macrocarpa*. Durante o monitoramento, *M. leucocarpa* se destacou nos dois grupos, com tendência em aumentar sua contribuição com a biomassa ao longo do tempo (9,8% a 13,0% no grupo 1 e 6,5% a 17,2% no grupo 2).

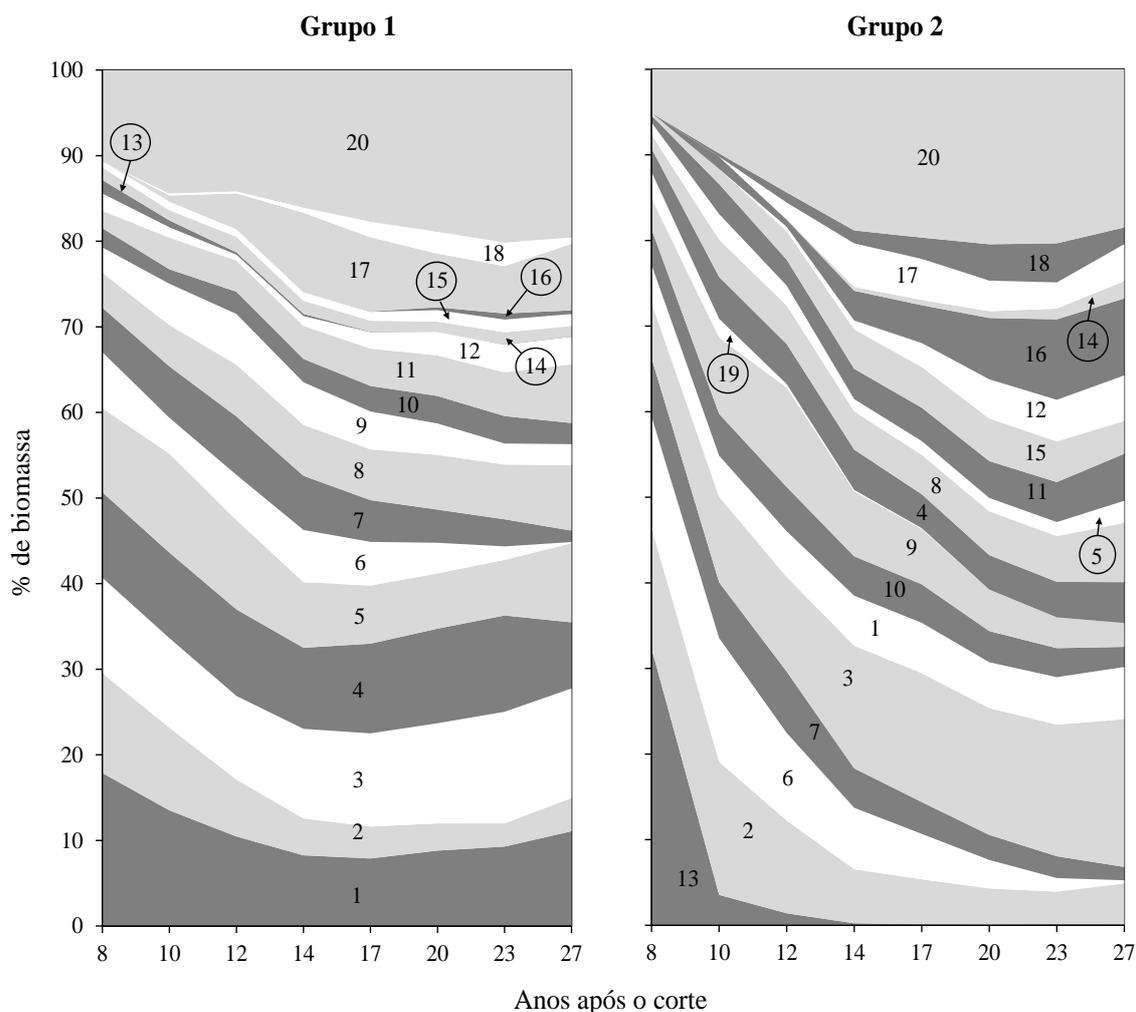


Figura 1. Contribuição das espécies com a biomassa lenhosa viva durante o período de monitoramento em área de cerrado *sensu stricto* submetida a diferentes sistemas silviculturais em 1988. Grupo 1: sistemas silviculturais S1 e S2; Grupo 2: sistemas silviculturais S3, S4, S5 e S6. 1 = *Schefflera macrocarpa*; 2 = *Eriotheca pubescens*; 3 = *Miconia leuocarpa*; 4 = *Tachigali vulgaris*; 5 = *Blepharocalyx salicifolius*; 6 = *Eremanthus glomerulatus*; 7 = *Stryphnodendron adstringens*; 8 = *Qualea grandiflora*; 9 = *Piptocarpha rotundifolia*; 10 = *Styrax ferrugineus*; 11 = *Caryocar brasiliense*; 12 = *Dalbergia miscolobium*; 13 = *Mimosa clausenii*; 14 = *Ouratea hexasperma*; 15 = *Kielmeyera coriacea*; 16 = *Myrsine guianensis*; 17 = *Qualea parviflora*; 18 = *Roupala montana*; 19 = *Solanum lycocarpum*; 20 = Outras espécies. O percentual de contribuição de cada espécie, com seu número correspondente, é representado pela largura da faixa em cada idade.

Os sistemas silviculturais influenciaram de forma diferenciada no acúmulo de biomassa (viva) das espécies presentes na área, como revelado na análise de agrupamento realizada para a biomassa das espécies individualmente (Figuras 2 e 3). Dentre as espécies avaliadas, *M. leuocarpa* foi a única espécie cuja biomassa regenerada não foi influenciada pelos sistemas. Essa espécie apresentou os maiores estoques de biomassa durante o monitoramento, sendo registrados valores semelhantes apenas aos 23 anos após o corte para *M. guianensis*, regenerada nos sistemas S5 e S6. Além destas, os maiores estoques de biomassa foram registrados para as espécies *B. salicifolius* (S2), *T. vulgaris* (S1, S2 e S3), *S. macrocarpa* (S1 e S2) e *Q. grandiflora* (S2). Essas espécies também apresentaram maiores valores de densidade de indivíduos e área basal.

De maneira geral, a biomassa das espécies lenhosas regeneradas em cada sistema silvicultural apresentou tendência semelhante quanto aos valores de densidade de indivíduos e área basal, sendo o acúmulo de biomassa fortemente influenciado por essas variáveis (Figuras 2 e 3). Algumas espécies como, *M. leuocarpa*, *B. salicifolius*, *S. macrocarpa*, *Q. grandiflora*, *D. miscolobium*, *E. pubescens*, *Q. parviflora* e *C. brasiliense* apresentaram acréscimos de biomassa ao longo de todo o período monitorado.

A redução da biomassa observada 27 anos após implantação dos sistemas silviculturais, em relação aos valores registrados aos 23 anos (antes do fogo), foi verificada para as espécies *M. guianensis*, *T. vulgaris*, *S. ferrugineus*, *R. montana*, *P. rotundifolia*, *S. adstringens* e *K. coriacea*. Para *E. glomerulatus*, o estoque máximo de biomassa foi registrado aos 20 anos após o corte, com redução de seus valores nas medições posteriores. Apenas *M. clausenii* e *S. lycocarpum* apresentaram seus estoques máximos aos oito anos após o corte, com redução e/ou ausência de seus estoques nas avaliações seguintes.

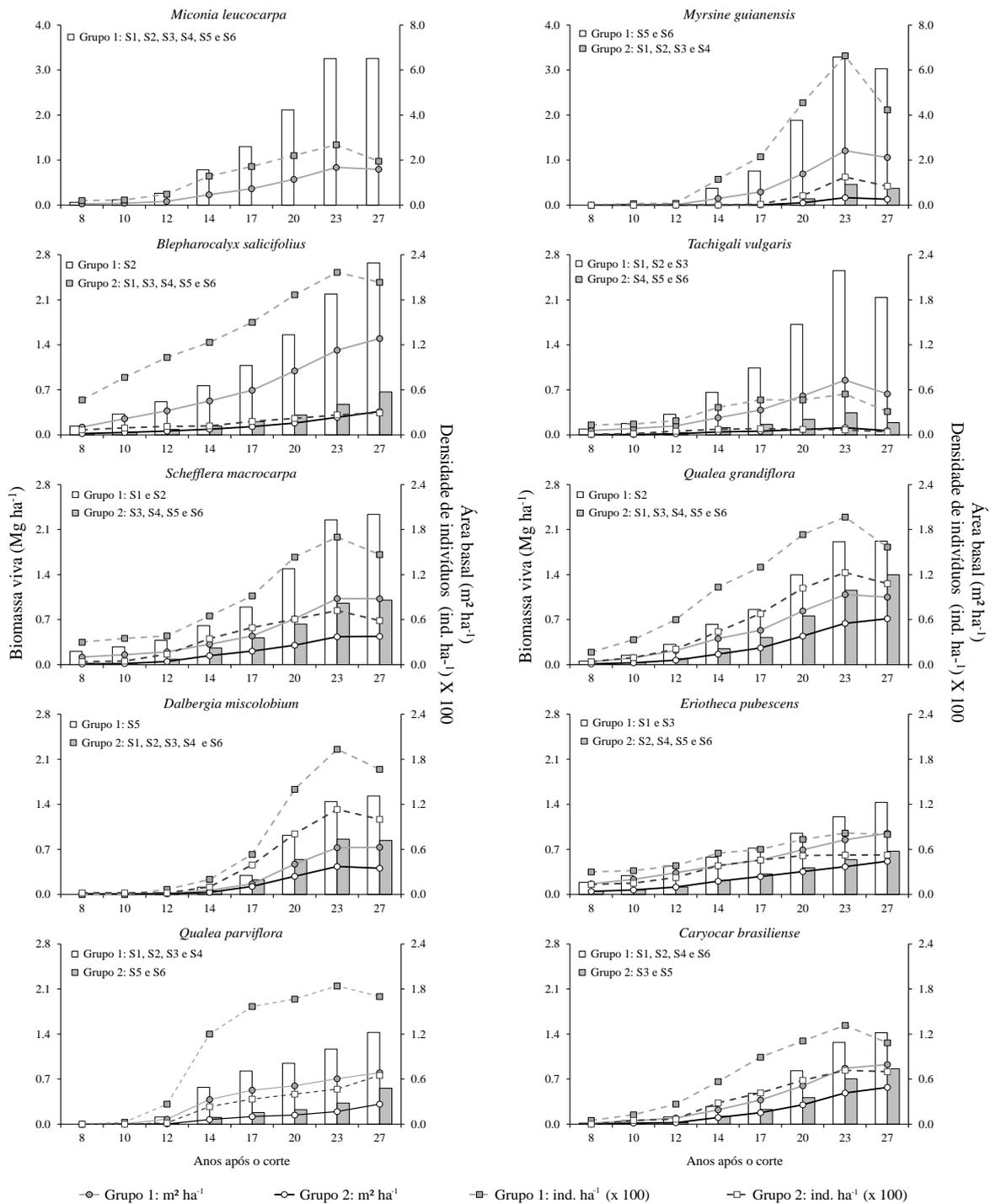


Figura 2. Biomassa aérea viva, área basal e densidade de indivíduos, por grupos de sistemas silviculturais, para as espécies *Miconia leuocarpa*, *Myrsine guianensis*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Tachigali vulgaris*, *Schefflera macrocarpa*, *Qualea grandiflora*, *Dalbergia miscolobium*, *Eriotheca pubescens*, *Qualea parviflora* e *Caryocar brasiliense*, regeneradas em área de cerrado *sensu stricto* submetido a diferentes sistemas silviculturais no ano de 1988.

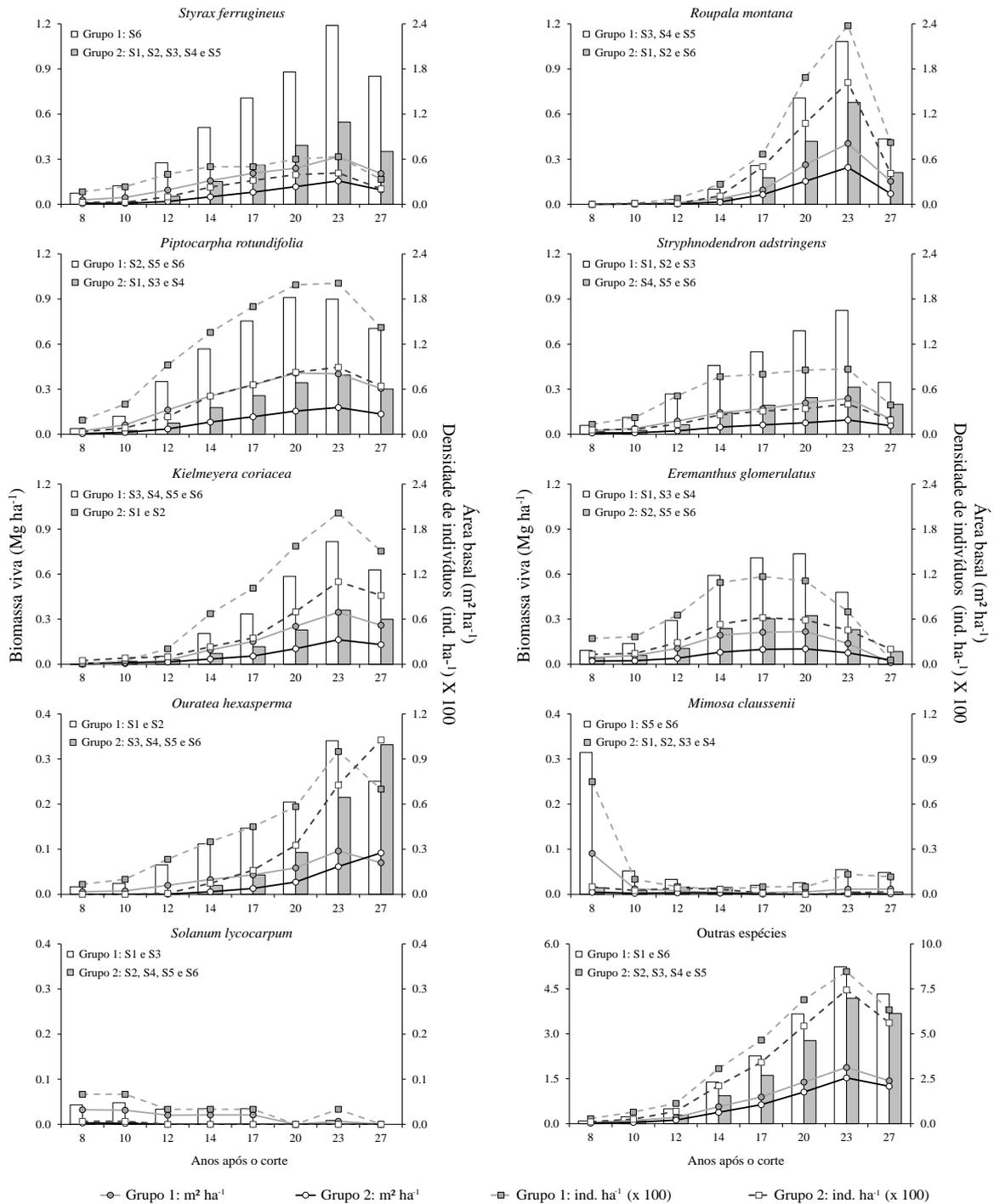


Figura 3. Biomassa viva, área basal e densidade de indivíduos, por grupos de sistemas silviculturais, para as espécies *Styrax ferrugineus*, *Roupala montana*, *Piptocarpha rotundifolia*, *Stryphnodendron adstringens*, *Kielmeyera coriacea*, *Eremanthus glomerulatus*, *Ouratea hexasperma*, *Mimosa clausenii*, *Solanum lycocarpum* e outras espécies, regeneradas em área de cerrado *sensu stricto* submetido a diferentes sistemas silviculturais no ano de 1988.

4. DISCUSSÃO

Os resultados encontrados no presente estudo mostram que a regeneração natural de áreas do cerrado *sensu stricto* submetidas a sistemas silviculturais consiste em uma estratégia eficiente para a recuperação e acúmulo de biomassa. A biomassa registrada aos 23 e 27 anos após o corte é, em média, 2,6 vezes maior que a registrada antes da implantação dos sistemas silviculturais, e um período de apenas 17 anos é suficiente para a vegetação lenhosa do cerrado recuperar seus estoques iniciais de biomassa. A biomassa registrada neste período (8,75 a 11,52 Mg ha⁻¹) é semelhante à registrada em áreas circunvizinhas não submetidas ao corte: 9,85 Mg ha⁻¹ (REZENDE et al., 2006) e 12,4 Mg ha⁻¹ (VALE; FELFILI, 2005).

Em decorrência da heterogeneidade encontrada nas diferentes fitofisionomias do Cerrado, a sua biomassa apresenta grande variação espacial (MIRANDA et al., 2014). Diferentes fisionomias do Cerrado, próximas à Brasília-DF, apresentaram biomassa lenhosa (árvores + arbustos, com altura > 2 m) variando de 1,7 Mg ha⁻¹ (campo sujo) a 16,1 Mg ha⁻¹ (cerrado denso) (CASTRO; KAUFFMAN, 1998). Outra área de cerrado *sensu stricto* próxima à Brasília apresentava biomassa lenhosa (árvore + arbusto, com circunferência a 30 cm do solo > 6 cm) de 24,5 Mg ha⁻¹ (ABDALA et al., 1998).

A maior biomassa lenhosa registrada nos sistemas S1 e S2 (grupo 1) pode estar relacionada à capacidade de brotação das espécies a partir de cepas e raízes, que consiste em uma estratégia de sobrevivência de espécies savânicas a ações antrópicas, como fogo e corte (KASCHULA; TWINE; SCHOLLES, 2005; AERTS et al., 2008; SOUCHIE et al., 2017). Outro fator que pode ter contribuído para isso foi a manutenção dos indivíduos com Db ≤ 5 cm e do banco de plântulas, que favoreceu a maior densidade inicial de indivíduos e o maior desenvolvimento da comunidade lenhosa após o corte (IKEDA et al., 2008; SCOTT et al., 2010).

É importante mencionar que no período entre 8 e 23 anos após o corte (antes da ocorrência do fogo), houve acréscimo da biomassa acumulada em todos os sistemas silviculturais, com incremento periódico anual (IPA) médio de 1,46 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no grupo 1 e de 1,30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no grupo 2. Vários estudos têm demonstrado que áreas de cerrado *sensu stricto* protegidas do fogo têm aumentado sua densidade de indivíduos e área basal (SCOLFORO et al., 2000; LIBANO; FELFILI, 2007; MEWS et al., 2011b; ALMEIDA et al., 2014; REIS et al., 2015), refletindo no acúmulo de biomassa (MIRANDA et al., 2017) e, conseqüentemente, no estoque de carbono fixado. Portanto, isso evidencia que a conservação das áreas de Cerrado, bem como a regeneração natural de sua vegetação lenhosa

após a aplicação de sistemas silviculturais, contribui para a diminuição do CO₂ atmosférico, tornando o Cerrado um sumidouro de carbono.

Por outro lado, a ocorrência de fogo pode reduzir a biomassa total, sobretudo da camada arbórea e arbustiva (MIRANDA et al., 2004), como verificado no presente trabalho. Aos 27 anos após o corte, o cerrado *sensu stricto* estudado apresentava biomassa acumulada inferior à registrada em 2011 (grupo 1 = - 9,7% e grupo 2 = -4,6%), com IPA de -0,79 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no grupo 1 e -0,24 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no grupo 2. É importante destacar que a avaliação 27 anos após o corte foi realizada quase quatro anos após o fogo e que uma avaliação realizada pouco tempo após a sua ocorrência certamente revelaria uma perda ou redução de biomassa mais acentuada.

As espécies que mais contribuíram para a redução da biomassa aérea no local foram *M. guianensis*, *T. vulgaris*, *S. ferrugineus*, *R. montana*, *P. rotundifolia*, *S. adstringens* e *K. coriacea*. Apesar dessas espécies terem apresentado incrementos em biomassa positivos no período entre oito e 23 anos após o corte (média de 0,37 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no grupo 1 e 0,43 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no grupo 2), entre 23 e 27 anos após o corte, apresentaram IPA negativos (-0,64 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no grupo 1 e -0,40 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no grupo 2), reduzindo também sua contribuição com a biomassa total da comunidade, indicando que essas espécies são mais sensíveis aos eventos de fogo.

Individualmente, as espécies que apresentaram maior redução de biomassa aérea quatro anos após a ocorrência do fogo foram *R. montana* (64,3%), seguida de *S. adstringens* (47,2%), *S. ferrugineus* (32,1%) e *T. vulgaris* (30,4%) (Figuras 2 e 3). Esse fato pode ser explicado pela redução da densidade de indivíduos e área basal dessas espécies após o fogo. Em uma área adjacente de cerrado *sensu stricto* monitorada por 27 anos (ALMEIDA et al., 2014), essas espécies reduziram sua densidade de indivíduos em todas as três avaliações realizadas após a ocorrência do fogo, entretanto, apresentaram acréscimos após um período sem ocorrência do mesmo, o que indica que as mesmas voltariam a contribuir com o acúmulo de biomassa na área.

Esses resultados demonstram que o cerrado *sensu stricto* monitorado atuou como uma fonte de emissões de CO₂ para a atmosfera. Assim, a proteção de áreas do cerrado *sensu stricto* contra o fogo, bem como a seleção de espécies resistentes a esse fenômeno para serem utilizadas em projetos silviculturais, permite aumentar os estoques de carbono nessas áreas. As queimadas no Cerrado limitam o sequestro de carbono que ocorreria se as espécies lenhosas pudessem atingir a idade adulta em vez de serem mortas pelo fogo nos primeiros anos de vida (SAWYER, 2009). É importante ressaltar que áreas de savana que se mantêm

protegidas do fogo apresentam aumento de seus estoques de biomassa (ABREU et al., 2017; STEVENS et al., 2017). Apesar desse fato permitir a otimização do serviço ecossistêmico de armazenamento de carbono, pode apresentar alguns efeitos indesejados, como a redução da flora lenhosa, especialmente daquelas típicas de ambientes de savana (ABREU et al., 2017), e a redução da produção de água (HONDA; DURIGAN, 2017).

Os resultados do presente trabalho indicam que as espécies *M. leucocarpa*, *B. salicifolius*, *S. macrocarpa*, *Q. grandiflora*, *D. miscolobium*, *E. pubescens*, *Q. parviflora* e *C. brasiliense*, além de representarem a maior fração de biomassa acumulada na área em 27 anos após o corte (62,5% no grupo 1 e 52,8% no grupo 2), se mostraram mais resistentes ao fogo, pois, estas mantiveram ou aumentaram sua biomassa quatro anos após a ocorrência do mesmo. Entre 23 e 27 anos após o corte, essas espécies em conjunto apresentaram IPA de 0,15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (grupo 1) e de 0,33 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (grupo 2), enquanto que no período entre 8 e 23 anos, o IPA médio foi mais elevado (grupo 1 = 0,75 Mg ha⁻¹ ano⁻¹; grupo 2 = 0,52 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). O decréscimo dos valores de IPA pode ser explicado pela redução da densidade de indivíduos pós fogo. Entretanto, a manutenção ou aumento da área basal no mesmo período demonstra que essas espécies também foram afetadas pelo fogo, porém, de forma menos severa que as demais.

Os sistemas silviculturais adotados também influenciaram no acúmulo de biomassa das espécies mencionadas anteriormente, podendo ser mais ou menos favorável ao desenvolvimento de uma determinada espécie. Por exemplo, nos sistemas silviculturais que mantiveram os indivíduos com Db < 5 cm (S1 e S2), a maioria das espécies sobressaiu em relação aos demais sistemas. Outras espécies como *M. guianensis* e *D. miscolobium* se desenvolveram melhor em áreas com intervenção mais severa (sistemas S5 e S6). O destaque de *M. leucocarpa* em todos os sistemas demonstra a capacidade dessa espécie em se adaptar a diversas situações e pode estar relacionado ao fato da população dessa espécie ser proveniente tanto do banco de sementes local quanto da chuva de sementes provenientes de áreas vizinhas (REZENDE; SANQUETTA; FIGUEIREDO FILHO, 2005).

A área de estudo, portanto, apresentou resiliência e recuperou seus estoques de biomassa, demonstrando que a recuperação de áreas de cerrado *sensu stricto* após a implantação de sistemas silviculturais pode ser de elevada importância para o ciclo global do carbono. É importante destacar que cerca de 70% da biomassa acumulada na vegetação do cerrado *sensu stricto* encontra-se em compartimentos abaixo do solo (ABDALA et al., 1998; CASTRO; KAUFFMAN, 1998; PAIVA; REZENDE; PEREIRA, 2011), o que indica que o verdadeiro estoque de biomassa do cerrado vai além do registrado no presente trabalho.

Porém, é importante destacar ainda que a biomassa acumulada em áreas de cerrado *sensu stricto* é também fortemente influenciada pela ocorrência de fogo (MIRANDA et al., 2004), tornando esse ecossistema um emissor de CO₂ para a atmosfera. Assim, quando o interesse é aumentar a biomassa, devem ser indicadas aquelas espécies que apresentam maior acúmulo de biomassa e maior resistência ao fogo. Entretanto, no presente estudo, as espécies sugeridas como resistentes passaram por apenas um evento de fogo durante o período monitorado, sendo importante dar continuidade ao monitoramento a fim de verificar o seu comportamento frente a novos eventos de fogo. É importante também avaliar o comportamento daquelas espécies que se mostraram sensíveis ao fogo, após estas ficarem um período protegidas do mesmo.

5. CONCLUSÕES

Para áreas de cerrado *sensu stricto* submetidas a diferentes sistemas silviculturais, que envolvam especificamente a retirada de todos os indivíduos lenhosos com $Db \geq 5$ cm ou, até mesmo, o corte raso de toda a vegetação lenhosa com o uso de lâmina e posterior gradagem do solo, os resultados da presente pesquisa permitem concluir que:

- Um período de 17 anos é considerado suficiente para que tais áreas consigam recuperar naturalmente o estoque original de biomassa lenhosa aérea em nível de comunidade;
- Poucas espécies lenhosas contribuem com a biomassa aérea total acumulada ao longo do tempo, e tal contribuição é variável com o tempo e com o tipo de sistema silvicultural;
- O tipo de sistema silvicultural influencia na quantidade total de biomassa aérea acumulada por espécie, podendo ser favorável ou não para uma determinada espécie;
- Independentemente do tipo de sistema silvicultural utilizado, a ocorrência de incêndios florestais afeta o acúmulo de biomassa lenhosa aérea, com o aumento da fração da biomassa de indivíduos mortos e a redução da biomassa de indivíduos vivos;
- A ocorrência de incêndios florestais provoca maior redução da biomassa de espécies sensíveis ao fogo e transforma o cerrado *sensu stricto* de um sumidouro de carbono para uma fonte de emissões de CO₂ para a atmosfera.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALA, G.; CALDAS, L.; HARIDASAN, M.; EITEN, G. Above and Belowground Organic Matter and Root:Shot Ratio in a Cerrado in Central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, v. 2, n. 1, p. 11–23, 1998.
- ABREU, R. C. R.; HOFFMANN, W. A.; VASCONCELOS, H. L.; PILON, N. A.; ROSSATTO, D. R.; DURIGAN, G. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science Advances**, v. 3, n. 8, p. e1701284, 2017.
- AERTS, R.; NOVEMBER, E.; MAES, W.; BORGHT, I. Van der; NEGUSSIE, A.; AYNEKULU, E.; HERMY, M.; MUYS, B. In situ persistence of African wild olive and forest restoration in degraded semiarid savanna. **Journal of Arid Environments**, v. 72, n. 6, p. 1131–1136, 2008.
- ALMEIDA, R. F.; FAGG, C. W.; OLIVEIRA, M. C.; MUNHOZ, C. B. R.; LIMA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. B. Mudanças florísticas e estruturais no cerrado *sensu stricto* ao longo de 27 anos (1985-2012) na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. **Rodriguésia**, v. 65, n. 1, p. 1–19, 2014.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 17, p. 187–190, 2017.
- CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, n. 3, p. 263–283, 1998.
- COLE, M. M. **The savannas: biogeography and geobotany**. London: Academic Press, 1986.
- COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 1, p. 13–23, 2006.
- EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201–338, 1972.
- EVERITT, B. S.; DUNN, G. **Applied multivariate data analysis**. West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd., 2001.
- FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; HAIDAR, R. F. **Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal**, Brasília, 2005.
- FELFILI, J. M.; REZENDE, A. V.; SILVA JÚNIOR, M. C.; SILVA, M. A. Changes in the floristic composition of cerrado *sensu stricto* in Brazil over a nine-year period. **Journal of Tropical Ecology**, v. 16, n. 4, p. 579–590, 2000.
- FIEDLER, N. C.; NUNO, I.; AZEVEDO, C. De; MEDEIROS, M. B. De; VENTUROIL, F. Efeito de incêndios florestais na estrutura e composição florística de uma área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa-DF. **Revista Árvore**, v. 28, p. 129–138, 2004.
- FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, v. 8, n. 3–4, p. 223–241, 1999.

- HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal. In: NOVAES-PINTO, M. (Ed.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1990. p. 309–330.
- HONDA, E. A.; DURIGAN, G. A restauração de ecossistemas e a produção de água. **Hoehnea**, v. 44, n. 3, p. 315–327, 2017.
- IKEDA, F. S.; MITJA, D.; VILELA, L.; SILVA, J. C. S. Banco de sementes em cerrado *sensu stricto* sob queimada e sistemas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 6, p. 667–673, 2008.
- KASCHULA, S. A.; TWINE, W. C.; SCHOLE, M. C. The effect of catena position and stump characteristics on the coppice response of three savannah fuelwood species. **Environmental Conservation**, v. 32, n. 1, p. 76–84, 2005.
- KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **Journal of Ecology**, v. 82, n. 3, p. 519–531, 1994.
- LIBANO, A. M.; FELFILI, J. M. Fitossociologia de um cerrado *sensu stricto* no Brasil Central ao longo de 18 anos. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 90–92, 2007.
- LOPES, S. F.; VALE, V. S.; SCHIAVINI, I. Efeito de queimadas sobre a estrutura e composição da comunidade vegetal lenhosa do cerrado sentido restrito em Caldas Novas, GO. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 695–704, 2009.
- MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. Flora vascular do bioma Cerrado: Check list com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Flora. Volume 2**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 723–1279.
- MEWS, H. A.; MARIMON, B. S.; MARACAHIPES, L.; FRANZAK, D. D.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Dinâmica da comunidade lenhosa de um Cerrado Típico na região Nordeste do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 73–82, 2011a.
- MEWS, H. A.; MARIMON, B. S.; MARACAHIPES, L.; FRANZAK, D. D.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Dinâmica da comunidade lenhosa de um Cerrado Típico na região Nordeste do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 1–10, 2011b.
- MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; AMDARADE, S. M.; HARIDASAN, M.; MORAES, H. C. Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos. In: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A. (Ed.). **Cerrado: ecologia e caracterização**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. p. 69–123.
- MIRANDA, S. C.; BUSTAMANTE, M.; PALACE, M.; HAGEN, S.; KELLER, M.; FERREIRA, L. G. Regional variations in biomass distribution in Brazilian Savanna Woodland. **Biotropica**, v. 46, n. 2, p. 125–138, 2014.
- MIRANDA, S. C.; CARVALHO, P. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; SILVA JÚNIOR, M. C. Variação temporal na estrutura da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos. **Revista Espacios**, v. 38, n. 4, p. 1–13, 2017.
- MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMANN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOUREX, J.; FONSECA, G. A. B. **Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered ecoregions**. Washington: Conservation International, 2005.

- MITTERMEIER, R. A.; TURNER, W. R.; LARSEN, F. W.; BROOKS, T. M.; GASCON, C. **Biodiversity hotspots**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- MOREIRA, A. G. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 27, n. 4, p. 1021–1029, 2000.
- PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 527–538, 2011.
- REIS, S. M.; LENZA, E.; MARIMON, B. S.; GOMES, L.; FORSTHOFER, M.; MORANDI, P. S.; MARIMON JUNIOR, B. H.; FELDPAUSCH, T. R.; ELIAS, F. Post-fire dynamics of the woody vegetation of a savanna forest (Cerradão) in the Cerrado-Amazon transition zone. **Acta Botanica Brasilica**, v. 29, n. 3, p. 408–416, 2015.
- REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 65–76, 2006.
- REZENDE, A. V.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A. Efeito do desmatamento no estabelecimento de espécies lenhosas em um cerrado *sensu stricto*. **Floresta**, v. 35, p. 69–88, 2005.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Flora. Volume 1**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 151–212.
- RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; SOUZA, A. L.; NARDELLI, A. M. B. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 33, n. 5, p. 917–926, 2009.
- ROITMAN, I.; FELFILI, J. M.; REZENDE, A. V. Tree dynamics of a fire-protected cerrado *sensu stricto* surrounded by forest plantations, over a 13-year period (1991-2004) in Bahia, Brazil. **Plant Ecology**, v. 197, n. 2, p. 255–267, 2008.
- SAWYER, D. Fluxos de carbono na Amazônia e no Cerrado: um olhar socioecossistêmico. **Sociedade e Estado**, v. 24, n. 1, p. 149–171, 2009.
- SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, A. A.; FERREIRA, D. F. Avaliação de diferentes níveis de intervenção no desenvolvimento da área basal e número de árvores de uma área de cerrado *stricto sensu*. **Cerne**, v. 6, n. 2, p. 25–34, 2000.
- SCOTT, K.; SETTERFIELD, S.; DOUGLAS, M.; ANDERSEN, A. Soil seed banks confer resilience to savanna grass-layer plants during seasonal disturbance. **Acta Oecologica**, v. 36, n. 2, p. 202–210, 2010.
- 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.
- SOUCHIE, F. F.; PINTO, J. R. R.; LENZA, E.; GOMES, L.; MARACAHIPES-SANTOS, L.; SILVÉRIO, D. V. Post-fire resprouting strategies of woody vegetation in the Brazilian savanna. **Acta Botanica Brasilica**, v. 31, n. 2, p. 260–266, 2017.
- STEVENS, N.; LEHMANN, C. E. R.; MURPHY, B. P.; DURIGAN, G. Savanna woody encroachment is widespread across three continents. **Global Change Biology**, v. 23, n. 1, p.

235–244, 2017.

VALE, A. T. **Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado *sensu stricto* da região de Brasília para uso energético**. 2000. Universidade Estadual Paulista, 2000.

VALE, A. T.; FELFILI, J. M. Dry biomass distribution in a Cerrado *sensu strictu* site in central Brazil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 661–669, 2005.

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. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Vol.1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 19–45.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, n. 301, p. 236–244, 1963.

WILLIAMS, K. J.; FORD, A.; ROSAUER, D. F.; SILVA, N.; MITTERMEIER, R.; BRUCE, C.; LARSEN, F. W.; MARGULES, C. Forests of East Australia: The 35th Biodiversity Hotspot. In: ZACHOS, F.; JC, H. (Ed.). **Biodiversity Hotspots**. Berlin: Springer-Verlag, 2011. p. 295–310.

CAPÍTULO 3

MODELAGEM DA BIOMASSA LENHOSA AÉREA DE UM CERRADO *SENSU STRICTO* APÓS IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS SILVICULTURAIS

RESUMO

O monitoramento dos estoques de biomassa em ecossistemas florestais é importante não apenas para obter informações sobre o potencial da vegetação em sequestrar carbono, como também para subsidiar a elaboração de políticas e estratégias para o manejo, uso e conservação dos recursos florestais. Portanto, o objetivo deste estudo foi modelar o crescimento e produção da biomassa aérea da vegetação lenhosa regenerada em uma área de cerrado *sensu stricto*, localizada na região do Brasil Central, que foi submetida a diferentes sistemas silviculturais. Em 1988, dezoito parcelas experimentais (20 m x 50 m cada), submetidas a seis sistemas silviculturais envolvendo o corte da vegetação lenhosa. Os indivíduos lenhosos com diâmetro tomado a 0,30 m do solo, igual ou superior a 5 cm foram mensurados em oito ocasiões (8, 10, 12, 14, 17, 20, 23, 27 anos após o corte), permitindo quantificar a biomassa acumulada ao longo do tempo. O acúmulo de biomassa na área ao longo do tempo pôde ser estimado a partir da área basal do povoamento, que foi indicada na análise de trilha como a variável com maior efeito direto sobre a biomassa. Um sistema de equações foi obtido e gerou estimativas consistentes tanto da biomassa viva quanto da biomassa total e indicou que os valores máximos do incremento médio anual (~0,9 a 1,1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) ocorreriam entre 23 a 27 anos após o corte. No entanto, é importante destacar que tais valores variam em função dos sistemas silviculturais. Os resultados mostram também que o uso de sistemas silviculturais em áreas naturais do cerrado *sensu stricto* pode ser de grande importância para o ciclo global do carbono, contribuindo para a redução do CO₂ atmosférico. Contudo, essa função pode ser limitada pela ocorrência do fogo, que afeta negativamente os estoques de biomassa na área.

Palavras-chave: Regeneração natural; Modelos de crescimento e produção; Sumidouro de carbono; Conservação.

1. INTRODUÇÃO

Estimativas de biomassa acumulada na vegetação lenhosa são imprescindíveis para subsidiar a tomada de decisões relacionadas, principalmente, ao manejo, uso e conservação dos recursos florestais (ALBUQUERQUE et al., 2015), a recuperação ou restauração de ambientes, e, até mesmo, a elaboração de políticas públicas florestais.

O monitoramento dos estoques da biomassa lenhosa em uma área permite estimar a quantidade de carbono sequestrada pela vegetação (CHEN; HUTLEY; EAMUS, 2003; SILVEIRA et al., 2008; ABREU et al., 2017), a quantidade de CO₂ emitida para a atmosfera por diferentes formas de uso do solo (HIGUCHI et al., 1998; FEARNSIDE et al., 2009) e, também, a quantidade de carbono fixada pela vegetação (BUSTAMANTE et al., 2012; MUKUL; HERBOHN; FIRN, 2016; MA et al., 2017). Além disso, as informações obtidas pelo monitoramento da biomassa lenhosa são importantes em estudos de ciclagem de nutrientes (SELLE, 2007; GATTO et al., 2014; PAIVA; SILVA; HARIDASAN, 2015), avaliação do crescimento e produtividade das florestas (KEELING; PHILLIPS, 2007; CHAVE et al., 2008; MALHI et al., 2015), quantificação da vegetação para fins energéticos (FERNANDES; COSTA, 2010; ROBERTS et al., 2015), entre outros.

Nas últimas décadas, demandas relacionadas a quantificação de biomassa lenhosa têm aumentado em diversos ecossistemas do mundo (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989; CAIRNS et al., 1997; CHEN; HUTLEY; EAMUS, 2003; DJOMO; KNOHL; GRAVENHORST, 2011; RYAN; WILLIAMS; GRACE, 2011; MUKUL; HERBOHN; FIRN, 2016; MA et al., 2017). Nos biomas brasileiros podem ser citados estudos na Amazônia (HIGUCHI et al., 1998; CASTILHO et al., 2006; MAZZEI et al., 2010; BARNI et al., 2016), na Mata Atlântica (VIEIRA et al., 2008; PAULA; COSTA; TABARELLI, 2011; WATZLAWICK et al., 2012), na Caatinga (IMANÃ-ENCINAS et al., 2008; MENDONÇA et al., 2013; COSTA et al., 2014; ALBUQUERQUE et al., 2015) e no Cerrado (CASTRO; KAUFFMAN, 1998; REZENDE et al., 2006; SCOLFORO et al., 2008; PAIVA; REZENDE; PEREIRA, 2011; RIBEIRO et al., 2011; LOIOLA; SCHERER-LORENZEN; BATALHA, 2015).

Os resultados desses estudos mostram que os estoques de biomassa lenhosa são variáveis entre os diferentes ecossistemas e, essa variação pode ser resultante da interação entre vários fatores, tais como estágios de sucessão, regime de manejo, sítio, composição de espécies, clima, ocorrência de fogo, entre outros (DALLAGNOL et al., 2011; MUKUL; HERBOHN; FIRN, 2016). De forma geral, os incrementos em biomassa são maiores em

áreas de vegetação em processos de sucessão ou plantios jovens, enquanto que as florestas primárias e os plantios maduros já alcançaram o estado de equilíbrio quanto ao acúmulo de biomassa (SILVEIRA et al., 2008; HIGA et al., 2014).

Apesar da importância dos ecossistemas florestais para o ciclo global do carbono, muitos têm passado por mudanças de uso da terra, contribuindo, conseqüentemente, para o aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera. Nesse contexto, encontra-se o Cerrado, que é o segundo maior bioma do Brasil, e uma das savanas mais ricas do mundo (MENDONÇA et al., 2008), com alto nível de endemismo (MENDONÇA et al., 2008; STRASSBURG et al., 2017), apontado como um dos *hotspots* mundiais para conservação da biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2011; WILLIAMS et al., 2011; STRASSBURG et al., 2017) e que provisiona uma série de serviços ecossistêmicos (KLINK; MACHADO, 2005). As mudanças nesse ecossistema têm provocado diversos danos ambientais (KLINK; MACHADO, 2005; AQUINO; MIRANDA, 2008; BUSTAMANTE et al., 2012), que limitam a sustentabilidade e o futuro socioeconômico na região do Cerrado, especialmente em face dos cenários de mudanças climáticas (BUSTAMANTE et al., 2012).

Porém, pouco se conhece a respeito da regeneração natural nessas áreas após diferentes intervenções, sendo de fundamental importância acompanhar as mudanças ocorridas no acúmulo de biomassa ao longo do tempo, e, conseqüentemente compreender a seu impacto no ciclo global do carbono. Nesse sentido, os modelos de crescimento e produção surgem como uma ferramenta que permite avaliar as mudanças na comunidade ao longo do tempo, sendo capazes de prever a produção futura em diferentes alternativas de manejo e opções silviculturais, além de fornecer informações essenciais para o gerenciamento dos recursos florestais (VANCLAY, 1995; PENG, 2000; YUE et al., 2016; CAMPOS; LEITE, 2017).

Dessa forma, conhecer o acúmulo de biomassa em área de cerrado *sensu stricto* após a aplicação de sistemas silviculturais é de fundamental importância para compreender a regeneração da vegetação frente às intervenções antrópicas e para a tomada de decisões direcionadas à conservação e ao manejo dos recursos naturais no Cerrado. Diante do exposto, esse estudo teve como objetivo modelar o crescimento e produção da biomassa aérea lenhosa em um cerrado *sensu stricto*, monitorado por 27 anos, após a implantação de sistemas silviculturais. O estudo buscou atender as seguintes hipóteses: (1) variáveis dendrométricas de fácil obtenção podem ser utilizadas como variáveis preditoras dos estoques de biomassa da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* submetida a diferentes sistemas silviculturais; (2) as projeções realizadas pelos modelos de crescimento e produção são consistentes e permitem obter estimativas do incremento e da produção máxima de biomassa em cada

sistema silvicultural; (3) os modelos também podem ser utilizados para simular o impacto de eventos que modificam a estrutura da comunidade, como os eventos de fogo, sobre os estoques em biomassa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho foi desenvolvido em uma área experimental de cerrado *sensu stricto*, localizada na Reserva Ecológica e Experimental da Universidade de Brasília, Fazenda Água Limpa (FAL), situada em Brasília, Distrito Federal, Brasil. A FAL ocupa cerca de 4.340 ha e está localizada a uma altitude média de 1.100 m, entre as coordenadas geográficas 15°56' - 15°59' S e 47°53' - 47°59' W. A região apresenta clima do tipo Aw de Köppen (ALVARES et al., 2013), com temperaturas médias variando de 12,0 °C a 28,5 °C. A precipitação média anual é de 1.600 mm, com pronunciada estação seca nos meses de julho a setembro. As classes de solo predominantes são os Latossolos, com alto teor de alumínio e baixos teores de cálcio e magnésio (HARIDASAN, 1990).

2.2 BASE DE DADOS

Em 1988 foram implantados na área experimental de cerrado *sensu stricto*, três blocos, ocupando cada um 41.472 m² (192 x 216 m), visando a implantação de sistemas silviculturais na vegetação lenhosa. Os blocos foram distribuídos aleatoriamente na área. Cada bloco foi subdividido em 6 faixas de 6.912 m² (32 x 216 m) e, posteriormente, cada faixa foi subdividida em três sub-faixas de 2.304 m² (32 x 72 m). No centro de cada sub-faixa foram demarcadas parcelas de 1.000 m² (20 x 50 m). Em cada bloco, foram selecionadas aleatoriamente seis parcelas (uma em cada faixa) que foram submetidas a sistemas silviculturais.

Os sistemas silviculturais foram definidos com base em diferentes técnicas de corte, extração da produção madeireira e limpeza da área, seguido da regeneração natural. Os sistemas silviculturais consistiram em: S1 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha; S2 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha + fogo; S3 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha; S4 - Corte com trator de lâmina de todos os

indivíduos + retirada da lenha + fogo; S5 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + 2 gradagens (24''); S6 - Corte com motosserra de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo + destoca + 2 gradagens (24'').

A área experimental é circundada por grandes extensões de vegetação natural de cerrado *sensu stricto* e desde a implantação dos sistemas silviculturais, encontra-se protegida de intervenções antrópicas, sendo registrado apenas a ocorrência de três incêndios florestais, ocorridos um, seis e 23 anos após a implantação dos sistemas silviculturais. Toda a vegetação lenhosa arbórea e arbustiva presente na área, resultante do processo de regeneração natural, foi monitorada em oito ocasiões: 8, 10, 12, 14, 17, 20, 23 (antes do fogo) e 27 anos após o corte. Em cada ocasião, todos os indivíduos lenhosos arbóreos-arbustivos (vivos e mortos em pé), com diâmetro tomado a 30 cm do nível do solo (Db) maiores ou igual a 5 cm, foram identificados botanicamente e tiveram Db e altura total (Ht) registrados. Nos indivíduos com mais de um fuste abaixo de 0,30 m do solo, cada fuste foi medido separadamente.

A biomassa aérea dos indivíduos lenhosos regenerados nas parcelas submetidas aos sistemas silviculturais foi estimada em cada período monitorado, a partir do produto entre o volume lenhoso e a densidade média ponderada do fuste (lenho + casca). O volume lenhoso de cada fuste (V, em m³) foi estimado pela equação $V = 0,000109Db^2 + 0,0000451Db^2Ht$, desenvolvida para o cerrado *sensu stricto* da FAL (REZENDE et al., 2006). Essa equação gera estimativas de volume de madeira por indivíduo, considerando os componentes fuste e galhos com diâmetro mínimo da ponta igual a 3 cm (REZENDE et al., 2006).

Para obtenção da densidade média ponderada do fuste de cada espécie registrada na área experimental foram utilizados dados de massa seca e densidade, da madeira e da casca, gerados por (VALE, 2000) para uma área de cerrado de *sensu stricto* adjacente a área deste estudo. No caso das espécies comuns a ambas as áreas, a densidade do fuste foi calculada a partir da fórmula: $DF = (MS_{madeira} \cdot DS_{madeira} + MS_{casca} \cdot DS_{casca}) / (MS_{madeira} + MS_{casca})$, em que: DF = densidade do fuste (kg m⁻³); MS = massa seca (kg árvore⁻¹); DS = densidade (kg m⁻³). Tais espécies representaram de 80% a 95% dos indivíduos amostrados em todo período de monitoramento. Para as espécies não registradas no estudo de Vale (2000) e para as árvores mortas em pé, a densidade do fuste foi considerada como sendo igual ao valor médio das densidades das espécies comuns a área de Vale (2000). Obtida a densidade média ponderada do fuste de cada espécie e das árvores mortas em pé, foi calculada a biomassa lenhosa aérea de cada parcela a partir do somatório da biomassa de todos os fustes presentes na parcela. O valor encontrado foi extrapolado para a unidade de Mg ha⁻¹.

Para a modelagem do crescimento e produção da biomassa lenhosa aérea foram consideradas diferentes variáveis relacionadas tanto com a estrutura da vegetação quanto com o porte médio das árvores, ou seja: densidade de indivíduos por hectare (N); área basal, em $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ (G); Db médio quadrático, em centímetros (q); Db médio das árvores dominantes, em centímetros (DD); altura de Lorey, em metros (HL) e altura média das árvores dominantes, em metros (HD). As árvores dominantes foram definidas conforme Assmann (1970). Todas as variáveis foram quantificadas considerando duas situações: total de árvores (vivas + mortas em pé) e apenas árvores vivas. Isto permitiu realizar, separadamente, a modelagem do crescimento e produção da biomassa aérea viva (Bv) e da biomassa aérea total (Bt). Como ocorreu um incêndio florestal 23 anos após a implantação dos sistemas silviculturais, não foram utilizados no ajuste dos modelos, os dados coletados aos 27 anos.

2.3 ANÁLISE DE DADOS

2.3.1 Seleção das variáveis independentes dos modelos de crescimento e produção de biomassa

A análise de trilha, proposta por Wright (1921), foi utilizada como ferramenta de seleção das variáveis independentes para a projeção de Bv e Bt. Para proceder a análise de trilha, inicialmente foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade da matriz de correlações $X'X$, com base no seu número de condições (NC), obtido pela razão entre o maior e o menor autovalor da matriz. Como as possíveis variáveis independentes apresentaram multicolinearidade severa ($NC > 1000$), conforme a classificação de Montgomery et al. (2012), a constante $k = 0,05$ foi adicionada à diagonal principal da matriz $X'X$, proporcionando multicolinearidade fraca ($NC < 100$). Assim, foi realizada a análise de trilha, permitindo selecionar as variáveis independentes com maior efeito direto sobre a biomassa. Foram consideradas como adequadas aquelas variáveis que apresentavam efeito direto maior que o efeito residual. Posteriormente, também foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade entre essas variáveis, de modo a garantir que as variáveis independentes utilizadas no ajuste dos modelos não apresentassem problemas de multicolinearidade. Essas análises foram feitas com auxílio dos programas GENES (CRUZ, 2013) e Rbio (BHERING, 2017).

2.3.2 Ajuste, seleção e validação dos modelos de crescimento e produção de biomassa

Inicialmente, os dados obtidos nas 18 parcelas ao longo do monitoramento foram divididos em dois subconjuntos. Das três parcelas de cada sistema silvicultural, duas foram selecionadas aleatoriamente para o ajuste dos modelos e uma para a validação das estimativas, totalizando 12 parcelas para o ajuste e 6 para a validação. Esse critério foi adotado de forma a garantir que os dados utilizados no ajuste dos modelos tivessem a mesma representatividade para todos os sistemas silviculturais, permitindo obter um único modelo para estimar a biomassa na área.

Considerando que os intervalos das medições na área experimental foram variáveis (monitoramentos a cada dois ou três anos), decidiu-se por decompor os dados das parcelas de cada período monitorado em intervalos anuais. Assim, para um determinado ano i em que não houve monitoramento da vegetação, os valores das variáveis utilizadas no ajuste dos modelos foram obtidos da seguinte forma:

$$Y_{ij} = Y_{ij-1} + IPA_n$$

Em que: Y_{ij} = Valor da variável relacionada a estrutura da vegetação ou ao porte médio das árvores, obtido na parcela j , no ano i , dentro do período monitorado; Y_{ij-1} = Valor da variável relacionada a estrutura da vegetação ou ao porte médio das árvores, obtido na parcela j , no ano anterior ($i-1$), dentro do período monitorado; IPA_n = Incremento periódico anual obtido entre duas ocasiões sucessivas.

A biomassa aérea viva e total de ocasiões futuras (Bv_2 e Bt_2) foram relacionadas com as variáveis explicativas selecionadas na análise de trilha ($X1_2, X2_2, \dots, Xn_2$), a partir de modelos de regressão lineares e não lineares. Assim, foi necessário utilizar um sistema de equações, composto de equações que estimassem tanto a biomassa aérea quanto cada uma das variáveis independentes presentes no modelo, numa ocasião futura. Portanto, cada uma das variáveis explicativas numa ocasião futura ($X1_2, X2_2, \dots, Xn_2$) foi relacionada com seus valores em uma ocasião atual ($X1_1, X2_1, \dots, Xn_1$) e com a idade após a realização do corte, o que permitiu utilizar os dados dessas variáveis na ocasião atual para realizar a prognose de seus valores no futuro. Para todas as variáveis foram ajustados diversos modelos de comportamento exponencial e sigmoidal disponíveis na literatura, sendo selecionado o de melhor desempenho para as estimativas. Os ajustes dos modelos foram realizados com auxílio dos *softwares* Excel e Curve Expert.

Para todas as variáveis, a seleção da melhor equação foi baseada nas seguintes estatísticas de precisão: a) coeficiente de correlação entre valores observados e estimados (r); b) erro padrão da estimativa, em % ($S_{xy}\%$); e c) distribuição gráfica dos resíduos (DRAPER; SMITH, 1998). Todas estas estatísticas foram calculadas considerando a variável dependente em sua escala original.

A validação do sistema de equações foi realizada utilizando os dados não empregados no ajuste dos modelos. Os dados obtidos em cada ocasião, a partir de 8 anos após a implantação dos sistemas silviculturais, foram utilizados para estimar Bv_2 e Bt_2 em cada uma das ocasiões futuras, até 23 anos após o corte. A qualidade da prognose foi avaliada por meio da análise gráfica entre os valores observados e os estimados considerando as medições em cada uma das ocasiões.

2.3.3 Aplicação dos modelos ajustados

Os sistemas de equações obtidos foram aplicados ao conjunto de dados (ajuste + validação) para realizar a prognose de Bv e Bt , para cada sistema silvicultural, em intervalos anuais de tempo. Assim, foi possível obter as curvas de incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA). O IMA foi obtido pela relação entre as biomassas prognosticadas para cada ano e a “idade” em que se obteve essa produção. Para tanto, o ano 1988, quando os tratamentos foram implantados, foi considerado como o ano zero para a obtenção da “idade” do cerrado *sensu stricto*. O ICA foi obtido a partir das biomassas prognosticadas acumuladas no período de um ano.

Os sistemas de equações foram utilizados também para avaliar o possível impacto do fogo ocorrido 23 anos após a implantação dos sistemas silviculturais sobre o acúmulo de biomassa aérea na área. Para tanto, as projeções da biomassa aérea realizadas para os 27 anos, a partir das medições de 23 anos (antes do fogo), foram comparadas com os valores reais registrados na medição de 27 anos (depois do fogo), permitindo assim obter a diferença do volume observado e o esperado, caso não tivesse ocorrido o incêndio florestal.

3. RESULTADOS

O acúmulo de Bv e Bt ao longo do tempo foi influenciado pelos diferentes sistemas silviculturais. Durante todo o período monitorado, os maiores estoques de Bv e Bt foram registrados nas parcelas submetidas aos sistemas S1 e S2, que envolveram o corte da

vegetação lenhosa com motosserra apenas dos indivíduos com $Db \geq 5$. Estes sistemas também apresentaram estoques superiores à média registrada nos demais sistemas silviculturais (Figura 1A).

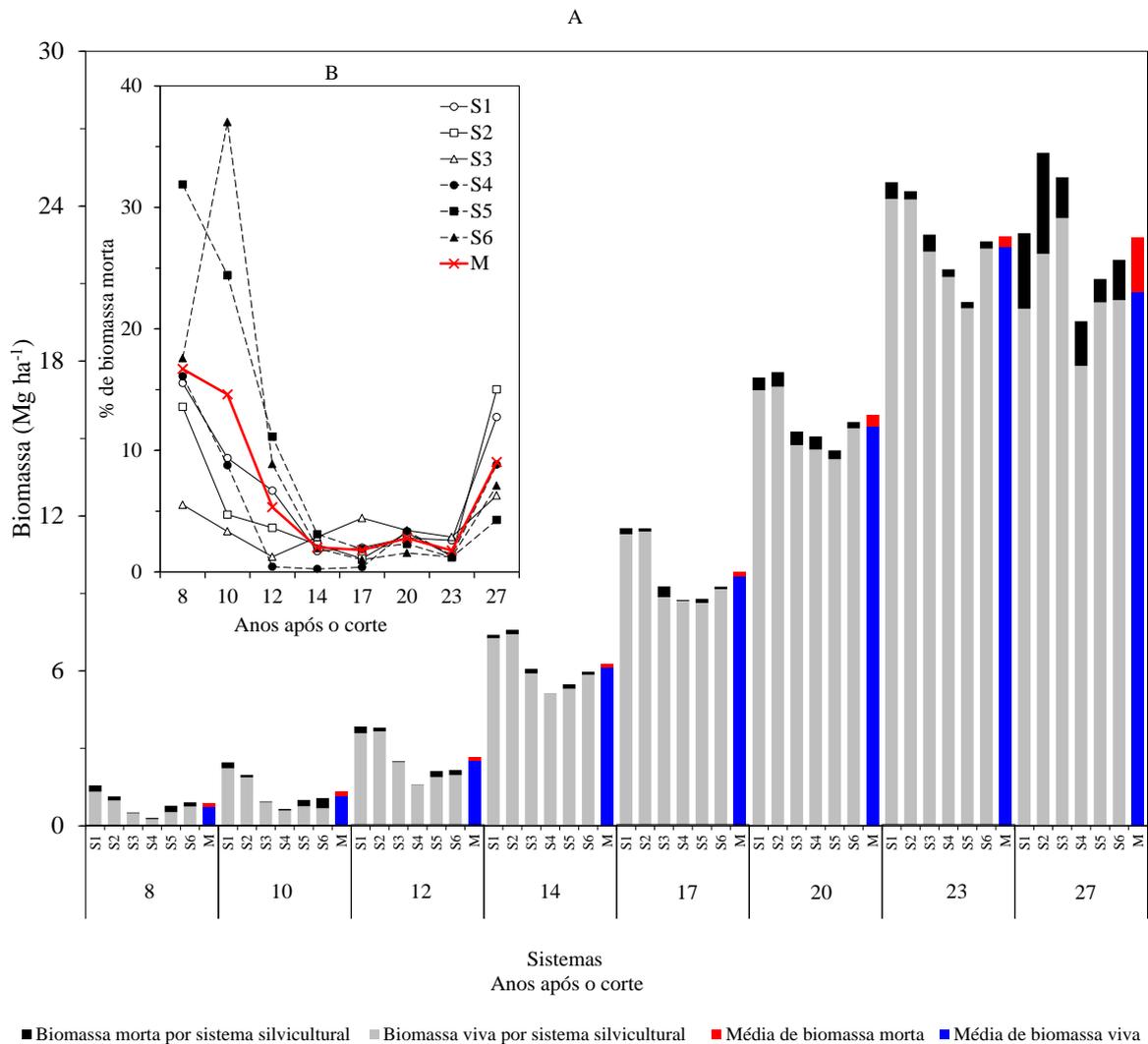


Figura 1. Biomassa lenhosa aérea em um cerrado *sensu stricto* monitorado por 27 anos após a aplicação de sistemas silviculturais. A) Acúmulo de biomassa (viva + morta) nos diferentes sistemas ao longo do tempo. B) Fração da biomassa total representada pela biomassa de árvores mortas. Em que: S1 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha; S2 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha + fogo; S3 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha; S4 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo; S5 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + 2 gradagens (24''); S6 - Corte com motosserra de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo + destoca + 2 gradagens (24''); M - Média dos sistemas silviculturais.

A biomassa aérea viva representou a maior fração da Bt em todos os sistemas e seus estoques apresentaram comportamento crescente ao longo de todo o período, exceto na avaliação realizada 27 anos após o corte (quatro anos após o fogo). A fração de Bt representada pela biomassa morta (Bm) foi mais acentuada no período inicial de monitoramento e na última avaliação (quatro anos após o fogo ocorrido 23 anos após o corte). No período compreendido entre 12 e 23 anos após o corte a Bm representou no máximo 4,3% da Bt (Figura 1B).

Os estoques de Bv e Bt acumulados a partir da regeneração natural da vegetação lenhosa são positivamente correlacionadas com as variáveis que expressam a estrutura (N e G) e o porte da vegetação (q, DD, HL e HD) ($p < 0.0001$). As maiores correlações foram observadas com as variáveis N e G ($r > 0,95$). A análise de trilha indicou que essas duas variáveis também apresentam os maiores efeitos diretos sobre a biomassa, com valores superiores aos observados para o efeito residual (Tabela 1). Os altos valores de coeficiente de determinação ($R^2 > 0,96$) e baixos valores de efeito residual ($ER < 0,20$) indicaram que a análise de trilha foi adequada para expressar a relação de causa e efeito entre as variáveis analisadas, permitindo selecionar variáveis explicativas para modelagem da biomassa acumulada ao longo do tempo.

É importante destacar que as variáveis N e G (viva e total) são altamente correlacionadas entre si ($r > 0,98$) e apresentam colinearidade moderada a severa (vivas: $NC = 174$; total: $NC = 102$). Assim, por apresentar maior efeito direto sobre a biomassa, a área basal foi a única variável explicativa utilizada no ajuste dos modelos para prognose da biomassa em idades futuras.

As equações obtidas para estimar Bv e Bt, em função de área basal viva (Gv) e total (Gt), respectivamente, proporcionaram alta correlação entre os valores observados e estimados ($r > 0,99$) e baixo erro padrão residual ($S_{yx}\% < 10\%$) (Tabela 2). Estatísticas de ajuste semelhantes também foram obtidas para as equações que estimam Gv e Gt em idades futuras. Estas equações foram obtidas a partir do ajuste do modelo sigmoidal de Gompertz, sendo área basal futura (G_2) na idade futura (I_2) estimada a partir de área basal atual (G_1) na idade atual (I_1).

Tabela 1. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis analisadas sobre os estoques de biomassa viva (Bv) e total (Bt) acumulados em um cerrado *sensu stricto* após aplicação de sistemas silviculturais.

Efeito	Nv	Gv	Qv	DDv	HLv	HDv
Direto sobre Bv	0,257	0,518	0,037	0,131	-0,013	0,064
Indireto via Nv	---	0,254	0,180	0,232	0,195	0,222
Indireto via Gv	0,513	---	0,392	0,482	0,399	0,453
Indireto via qv	0,026	0,028	---	0,033	0,029	0,029
Indireto via DDv	0,118	0,121	0,116	---	0,114	0,122
Indireto via HLv	-0,010	-0,010	-0,011	-0,012	---	-0,013
Indireto via HDv	0,056	0,056	0,051	0,060	0,061	---
Total	0,972	0,993	0,768	0,932	0,783	0,881
Coeficiente de determinação: 0,9604; Efeito residual: 0,1989						
Efeito	Nt	Gt	Qt	DDt	HLt	HDt
Direto sobre Bt	0,217	0,474	0,096	0,135	-0,074	0,146
Indireto via Nt	---	0,213	0,158	0,193	0,158	0,184
Indireto via Gt	0,465	---	0,386	0,442	0,336	0,416
Indireto via qv	0,070	0,078	---	0,088	0,061	0,078
Indireto via DDt	0,120	0,126	0,124	---	0,101	0,125
Indireto via HLt	-0,054	-0,052	-0,047	-0,055	---	-0,059
Indireto via HDt	0,124	0,128	0,120	0,136	0,117	---
Total	0,952	0,990	0,840	0,944	0,696	0,898
Coeficiente de determinação: 0,9636; Efeito residual: 0,1915						

Em que: N = densidade de indivíduos (ind. ha⁻¹); G = área basal (m² ha⁻¹); q = Db médio quadrático (cm); DD = Db médio das árvores dominantes (cm); HL = altura de Lorey (m); e HD = altura média das árvores dominantes (m). Variáveis acompanhadas da letra “v” foram obtidas considerando apenas as árvores vivas e as acompanhadas da letra “t” consideraram árvores vivas e mortas.

Tabela 2. Sistemas de equações selecionados para a prognose da produção de biomassa viva e total da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto*.

Biomassa	Equação	Equação	r	S _{yx} %
Viva	Eq. 1	$Bv_2 = 1,36328.Gv_2^{1,10374}$	0,9929	9,08
	Eq. 2	$Gv_2 = 17,37727.e^{-1,08284-0,18484Gv_1 \frac{I_2}{I_1}}$	0,9948	7,27
Total	Eq. 3	$Bt_2 = 1,35037 .Gt_2^{1,10606}$	0,9931	8,95
	Eq. 4	$Gt_2 = 17,60095.e^{-1,08155-0,18239Gt_1 \frac{I_2}{I_1}}$	0,9960	7,12

Em que: Bv₂ e Bt₂ = biomassa aérea viva e total na idade futura (Mg ha⁻¹), respectivamente; Gv₁ e Gt₁ = área basal viva e total na idade atual (m² ha⁻¹), respectivamente; Gv₂ e Gt₂ = área basal viva e total na idade futura (m² ha⁻¹), respectivamente; I₁ e I₂ = idades atual e futura, em anos, respectivamente; r = correlação entre os valores observados e estimados; S_{yx}% = erro padrão residual, em %.

Embora os sistemas de equações tenham apresentado estatísticas de ajustes favoráveis para a modelagem de Bv e de Bt , as equações para prognose de G_2 tendem a gerar superestimativas quando as projeções são realizadas a partir de valores de G_1 inferiores à $5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, geralmente observados em um período inferior à 14 anos após o corte (Figura 2). Contudo, a partir desse valor, as estimativas obtidas não foram tendenciosas, com erros compreendidos em torno de $\pm 10\%$ para a área basal e de $\pm 20\%$ para a biomassa.

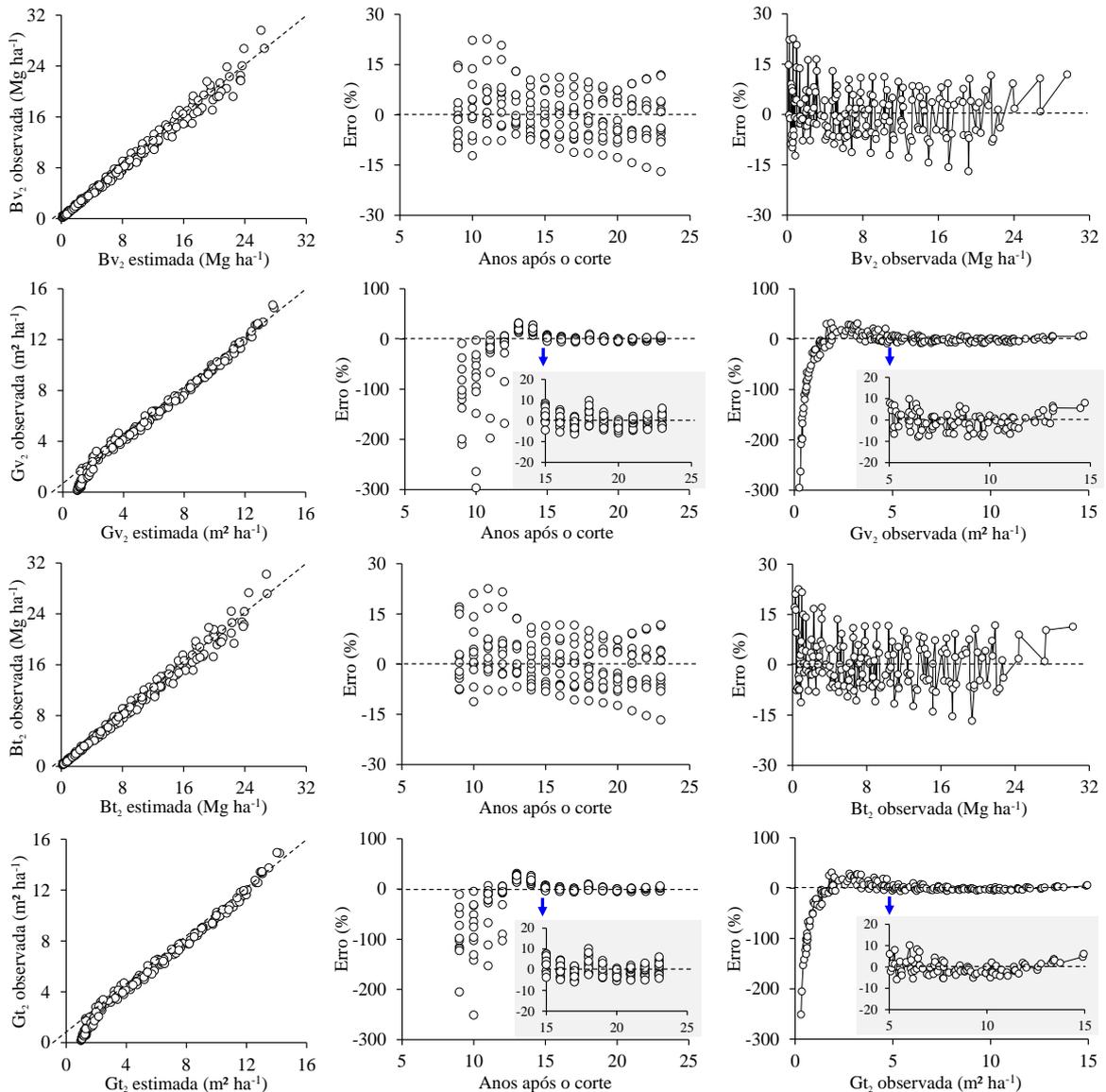


Figura 2. Distribuição gráfica dos resíduos obtidos a partir da prognose da biomassa aérea viva (Bv_2) e total (Bt_2) e da área basal viva (Gv_2) e total (Gt_2) para ocasiões futuras em uma área de cerrado *sensu stricto* após a implantação de sistemas silviculturais.

O mesmo comportamento foi verificado na validação dos sistemas de equações que projetam Bv e Bt (Figura 3). As projeções dessas variáveis até os 23 anos após o corte, a partir das medições realizadas aos 14, 17 e 20 anos ficaram distribuídas dentro da faixa dos valores observados nas parcelas e sem tendências nas estimativas ao longo do tempo. Os erros máximos entre valores observados e estimados ficaram em torno de $\pm 20\%$ para as projeções realizadas a partir dos 14 anos e de $\pm 10\%$ para as projeções a partir de 17 e 20 anos. Portanto, os sistemas de equações foram considerados adequados para as projeções da área basal e biomassa aérea (viva e total) em idades futuras.

Os sistemas de equações obtidos foram utilizados para a projeção dos estoques de Bv e Bt nas 18 parcelas experimentais (ajuste + validação), a partir dos dados do inventário realizado 17 anos após o corte. As projeções feitas para cada sistema silvicultural foram consistentes, uma vez que as estimativas tanto de Bv quanto de Bt possibilitaram a obtenção de valores de IMA semelhantes aos observados até os 23 anos após o corte (antes da ocorrência do fogo) (Figura 4). Os valores máximos de ICA variaram de $1,90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (S5) a $2,66 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (S6) para Bv e de $1,87 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (S5) a $2,70 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (S6) para Bt, e, foram registrados entre 20 e 22 anos após o corte. Caso não tivesse ocorrido o incêndio na área aos 23 anos após o corte, as projeções indicam que em todos os sistemas silviculturais, o máximo IMA, identificado quando as curvas de ICA e IMA se encontram, ocorreria entre 23 e 27 anos após o corte, com tendência dessa idade ser mais próxima ao limite inferior desse intervalo nos sistemas silviculturais que proporcionaram maior IMA. O máximo IMA esperado para Bv variou de $0,94 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (S5) a $1,04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (S1) e para Bt variou de $0,95 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (S5) a $1,06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (S1).

Os valores máximos de Bv e Bt projetados pelo sistema de equações foram iguais a $25,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $26,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente, sendo alcançados aos 28 anos após o corte nos sistemas S1, S2 e S6 e aos 30 anos nos demais sistemas. As projeções indicam que Bm, obtida pela diferença entre Bv e Bt, representaria de 0,03 a 4,27% da biomassa total nos diferentes sistemas silviculturais, ao longo do tempo, sendo esses valores próximos aos registrados no período que a vegetação estava protegida do fogo. Entretanto, depois do incêndio registrado aos 23 anos após o corte, houve redução da biomassa viva em todos os sistemas silviculturais (Figura 5). Essa redução variou de 8,0% (S3) a 30,4% (S4) (média = 19,3%) em relação aos valores que seriam esperados aos 27 anos após o corte, caso não tivesse ocorrido o incêndio. Já para a biomassa aérea total, essa redução foi menos acentuada e variou de 0,1% (S2) a 24,4% (S4) (média = 12,0%).

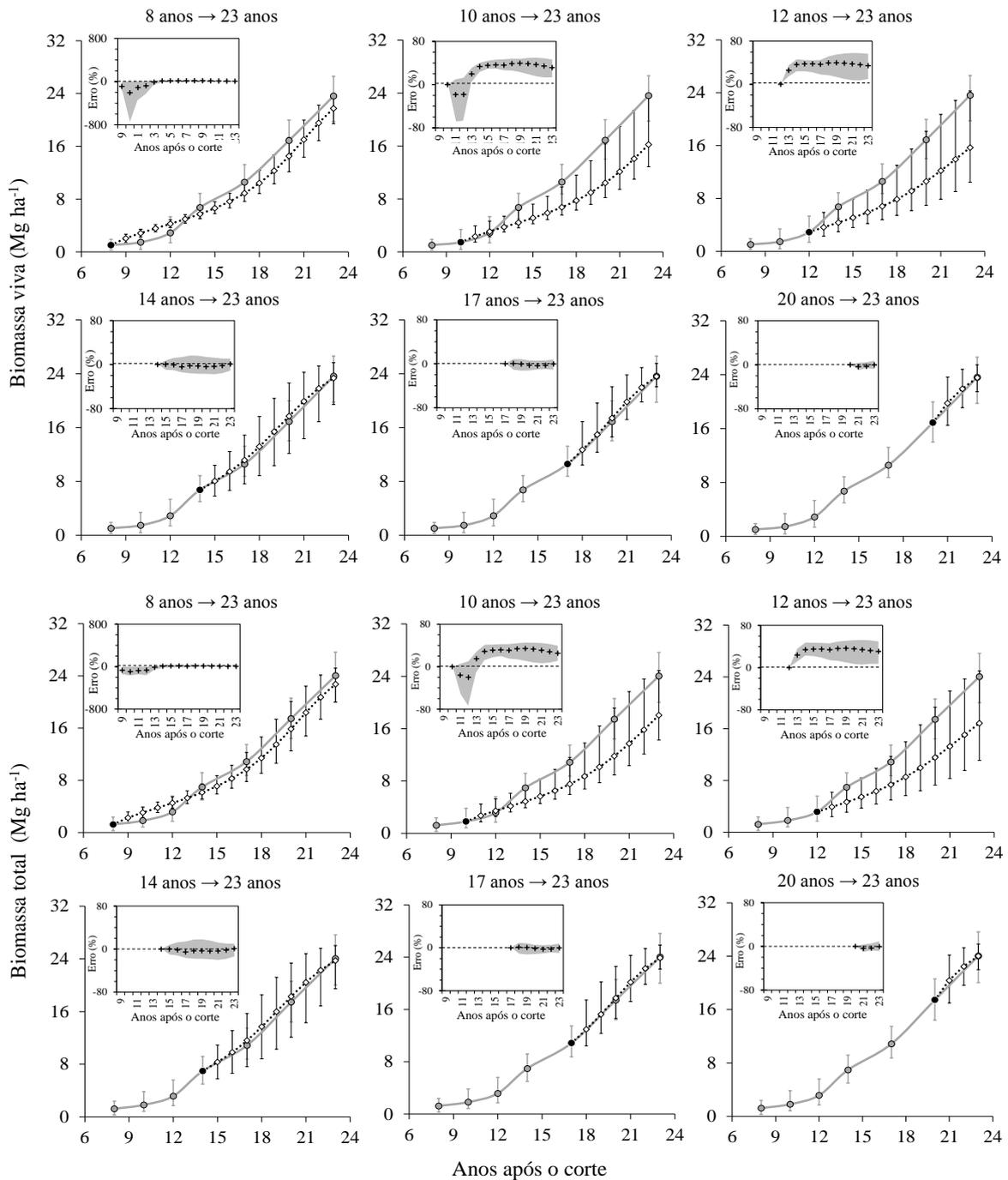


Figura 3. Validação dos sistemas de equações selecionados para a prognose da produção de biomassa aérea viva e total em uma ocasião futura, considerando os dados do inventário realizado aos 8 a 20 anos após a implantação de sistemas silviculturais e projetadas para a idade de 23 anos, em um cerrado *sensu stricto*. Biomassa aérea média observada ao longo do tempo (—●—); biomassa aérea média prognosticada ao longo do tempo (··◇··); ano de início da projeção (●); erro médio entre valores observados e prognosticados (+); amplitude de erro entre valores observados e prognosticados (■). As barras verticais representam os valores máximos e mínimos observados (cor cinza) e prognosticados (cor preta).

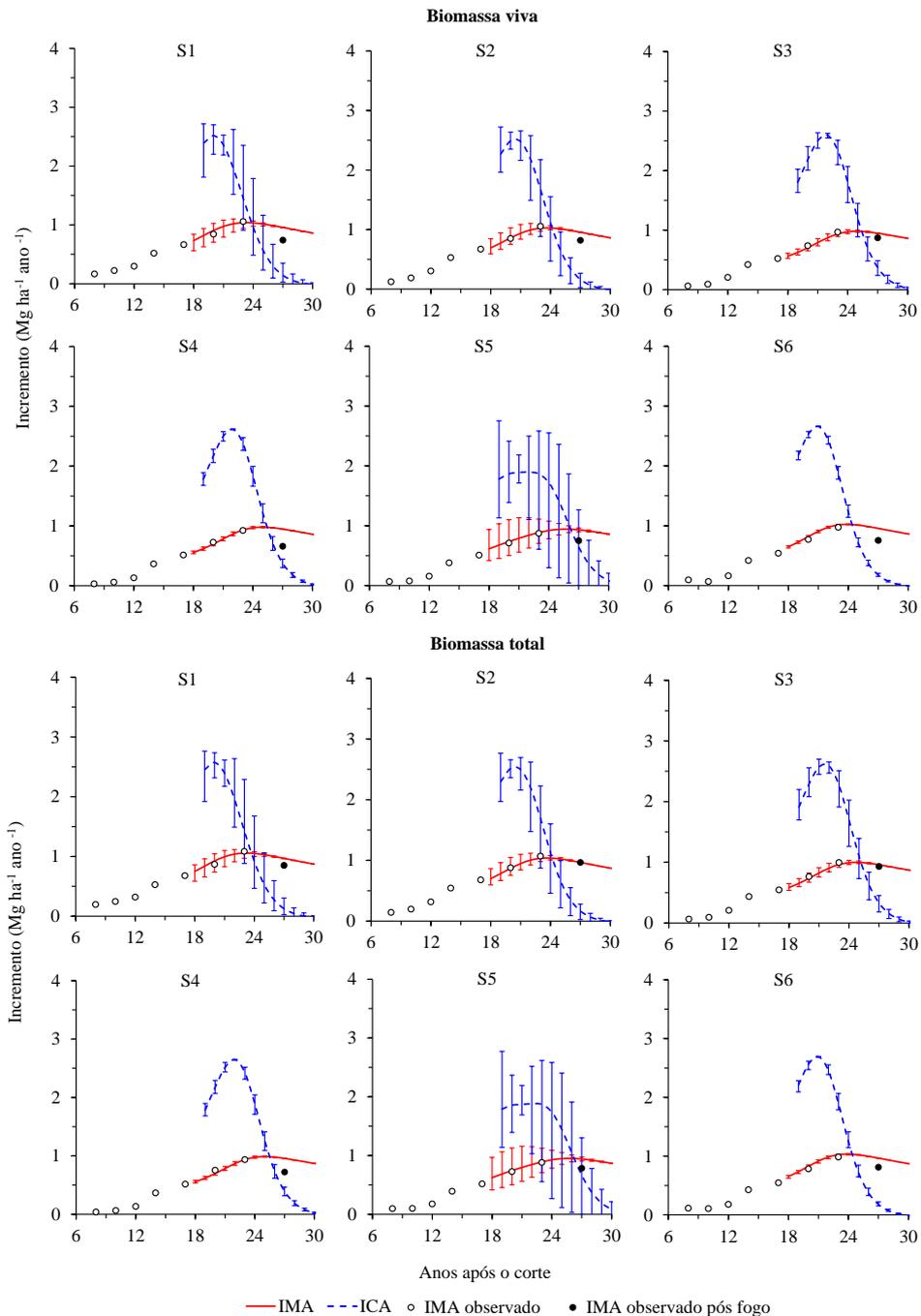


Figura 4. Projeções dos incrementos médio anual (IMA) e corrente anual (ICA), para cada um dos sistemas silviculturais envolvendo diferentes técnicas de corte da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* em 1988. Em que: S1 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha; S2 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha + fogo; S3 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha; S4 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo; S5 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + 2 gradagens (24''); S6 - Corte com motosserra de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo + destoca + 2 gradagens (24'').

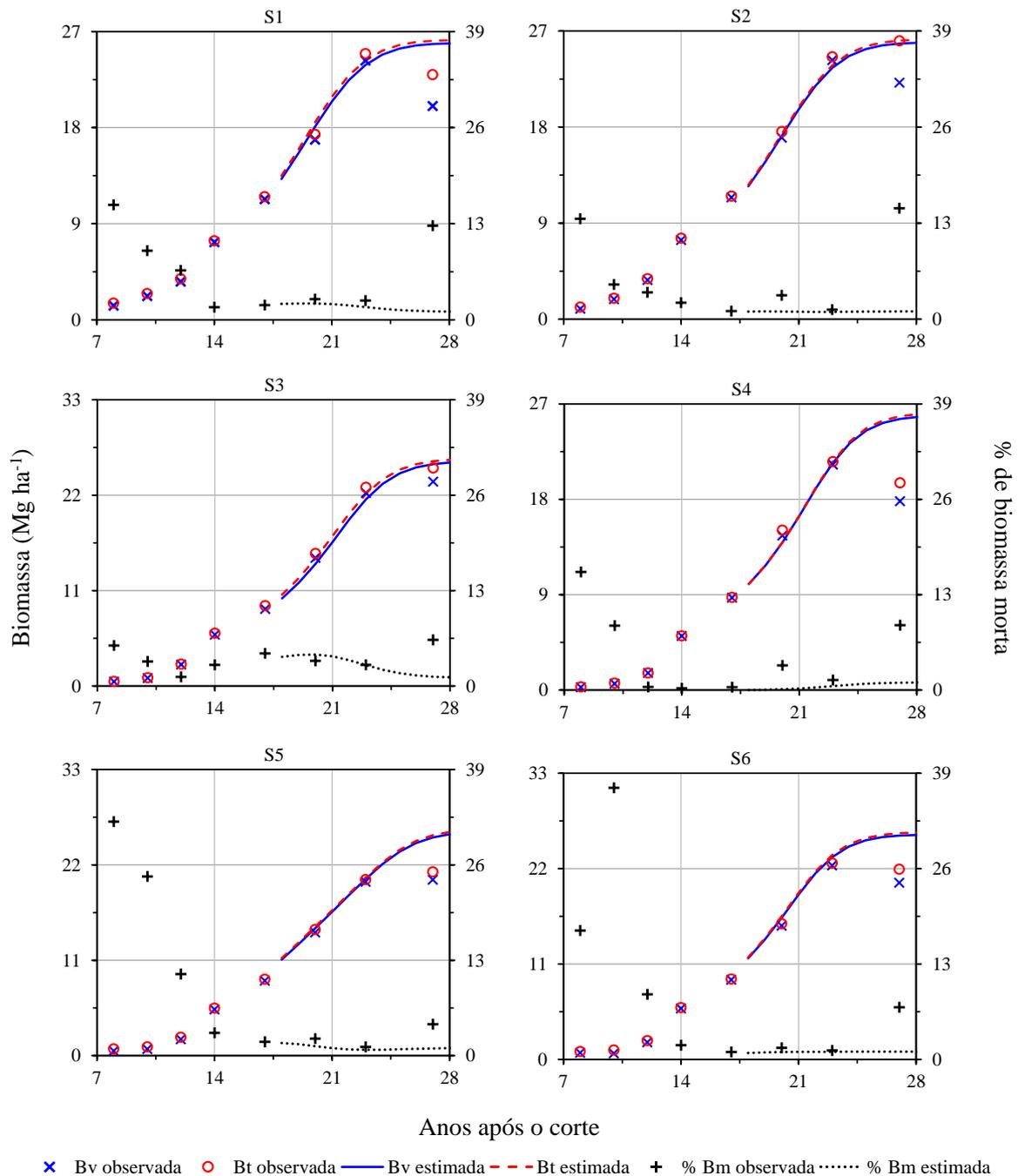


Figura 5. Biomassa aérea viva e total e fração da biomassa morta observadas no período de monitoramento e projetadas a partir de dados observados aos 17 anos após o corte da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* em 1988. Em que: S1 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha; S2 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha + fogo; S3 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha; S4 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo; S5 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + 2 gradagens (24''); S6 - Corte com motosserra de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo + destoca + 2 gradagens (24'').

4. DISCUSSÃO

O acúmulo de biomassa lenhosa aérea na vegetação do cerrado *sensu stricto* após a implantação dos sistemas silviculturais é influenciado pelas diferentes técnicas de corte. Áreas com menor intensidade de degradação, como nas parcelas em que o corte da vegetação foi realizado com auxílio de motosserra e mantidos os indivíduos com Db inferior a 5 cm (S1 e S2), tenderam a proporcionar maiores estoques em biomassa aérea durante todo o monitoramento. Isso pode ser explicado pela maior densidade inicial de indivíduos na área, uma vez que essa variável, juntamente com a área basal, são as variáveis que apresentam maior correlação e efeito direto sobre os estoques de biomassa aérea (viva e total) (Tabela 1). Outro fator que pode ter contribuído para essa tendência da biomassa aérea é a manutenção das cepas nas áreas desses tratamentos. A capacidade de rebrota, seja a partir da cepa ou a partir de raízes, é uma das estratégias de sobrevivência de espécies lenhosas de formações savânicas a ações antrópicas, como fogo e corte (KASCHULA; TWINE; SCHOLLES, 2005; AERTS; HONNAY, 2011; SOUCHIE et al., 2017). Portanto, o menor estoque de biomassa nos sistemas silviculturais que envolveram o uso de tratores de lâmina para corte da vegetação e/ou gradagens (S3 a S6) pode ser explicado pela eliminação das cepas, do banco de plântulas, e, também, pela possível compactação do solo causada por máquinas, como tratores de lâmina e de gradagem (REZENDE; SANQUETTA; FIGUEIREDO FILHO, 2005).

A ocorrência do incêndio na área experimental também mostrou ser um dos principais elementos que influenciam os estoques de biomassa em áreas de cerrado *sensu stricto*. A fração de Bm tende a ser maior no período imediatamente após a ocorrência do incêndio, enquanto que, maior tempo de proteção da vegetação contra incêndios, proporciona acréscimo nos estoques de biomassa aérea total, com redução da fração de biomassa morta (Figura 1). Alguns estudos demonstram que áreas de cerrado *sensu stricto* protegidas do fogo têm aumentado a densidade e a área basal de indivíduos lenhosos (SCOLFARO et al., 2000; LIBANO; FELFILI, 2007; MEWS et al., 2011; ALMEIDA et al., 2014; REIS et al., 2015), refletindo no acúmulo de biomassa (MIRANDA et al., 2017). Por outro lado, a ocorrência do fogo contribui para a redução na densidade e área basal de indivíduos da comunidade (FELFILI et al., 2000; ALMEIDA et al., 2014), refletindo também na redução da biomassa aérea (Figuras 1 e 5).

O acúmulo de biomassa aérea ao longo do tempo é fortemente relacionado com a área basal registrada nas parcelas submetidas aos diferentes sistemas silviculturais (Figura 6).

Portanto, esta variável é adequada para a modelagem do crescimento e produção da biomassa aérea em áreas de cerrado *sensu stricto*. A área basal é facilmente obtida nos levantamentos florestais e apresenta forte correlação com a produção (WEST, 2006, 2009), sendo comumente utilizada como variável independente na estimativa de estoques em volume, biomassa e carbono em diferentes situações (SOUZA; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014; MIGUEL et al., 2015; AZEVEDO et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2016; SOARES et al., 2016). Dessa forma, a análise de trilha mostrou ser uma ferramenta eficiente para a seleção de variáveis independentes a serem utilizadas na modelagem do crescimento e produção florestal.

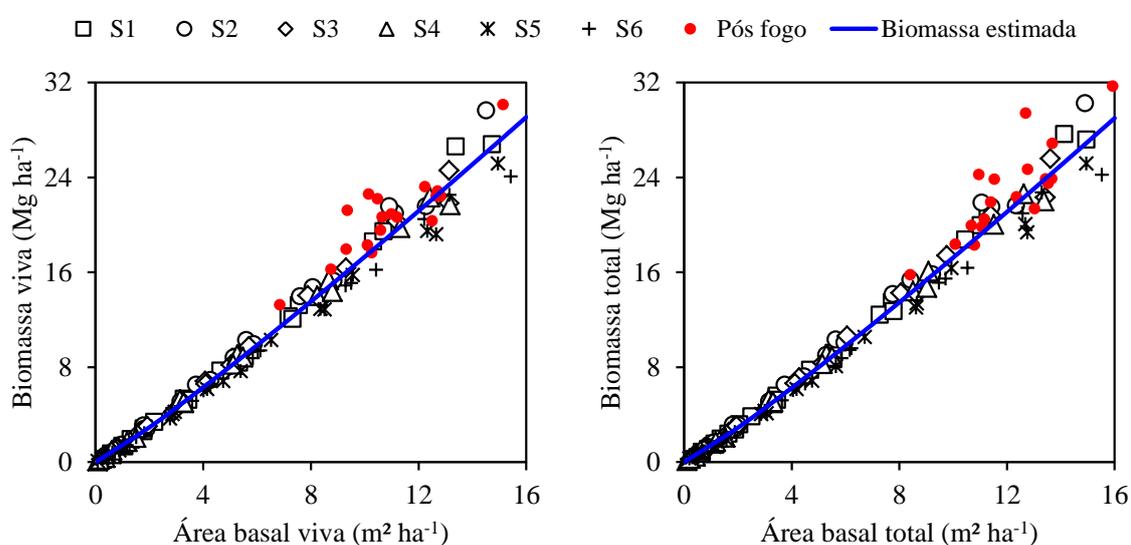


Figura 6. Relação entre biomassa aérea e área basal de um cerrado *sensu stricto* antes e após o fogo ocorrido em 2011. S1 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha; S2 - Corte com motosserra dos indivíduos com Db igual ou maior que 5 cm + retirada da lenha + fogo; S3 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha; S4 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo; S5 - Corte com trator de lâmina de todos os indivíduos + retirada da lenha + 2 gradagens (24''); S6 - Corte com motosserra de todos os indivíduos + retirada da lenha + fogo + destoca + 2 gradagens (24'').

Os sistemas de equações obtidos apresentaram boas estatísticas de ajuste, gerando estimativas confiáveis da biomassa a partir de uma área basal de 5 m² ha⁻¹ na idade atual, uma vez que a análise gráfica dos resíduos (Figura 2) e a validação das equações (Figura 3) não revelaram tendências a partir desse valor. A área basal em áreas de cerrado *sensu*

stricto no Brasil Central geralmente encontra-se na faixa de 5,79 a 14,54 m² ha⁻¹ (SCOLFORO et al., 2000; FELFILI et al., 2000, 2002, 2004; ASSUNÇÃO; FELFILI, 2004; AQUINO; WALTER; RIBEIRO, 2007; ROITMAN; FELFILI; REZENDE, 2008; LIMA et al., 2010; MEWS et al., 2011; FERNANDES et al., 2013; LEMOS et al., 2013; ALMEIDA et al., 2014; AQUINO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015) e, portanto, os sistemas de equações obtidos se mostram adequados para estimar estoques de biomassa aérea de outras áreas de cerrado *sensu stricto* com características semelhantes às do presente estudo.

Embora o incêndio ocorrido na área de estudo tenha causado redução na área basal da comunidade lenhosa nas áreas submetidas a todos os sistemas silviculturais, a relação entre área basal e a biomassa aérea (viva e total) se manteve semelhante à observada antes do fogo (Figura 6), demonstrando assim, que os sistemas de equações obtidos poderiam também ser utilizados para simular o efeito do fogo sobre a biomassa a partir dos valores da área basal pós fogo. Na literatura não foram encontrados estudos que realizaram a projeção da produção em biomassa de áreas de cerrado *sensu stricto*, como no presente trabalho, sendo seus estoques geralmente estimados apenas em idades atuais (MIGUEL et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016).

Os estoques máximos de biomassa aérea projetados pelos sistemas de equações (~26 Mg ha⁻¹) seriam alcançados em um período de 28 a 30 anos após o corte. Esses estoques são próximos ao limite superior do intervalo de 9,9 a 24,5 Mg ha⁻¹, registrado em outras áreas de cerrado *sensu stricto* no Brasil Central (ABDALA et al., 1998; CASTRO; KAUFFMAN, 1998; VALE; FELFILI, 2005; REZENDE et al., 2006; MIRANDA et al., 2017), e isto indica que as estimativas geradas pelos sistemas de equações são consistentes.

Os maiores ICAs para biomassa aérea (~1,9 a 2,7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) ocorreram no período entre 20 e 22 anos após o corte, enquanto os máximos IMAs (~0,9 a 1,1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) ocorreram entre 23 e 27 anos. Tais incrementos foram variáveis em função dos sistemas silviculturais avaliados (Figura 3). Caso os valores de biomassa aérea fossem convertidos para sequestro de CO₂, o cerrado *sensu stricto* absorveria de 3,5 a 5,0 Mg de CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹, com IMA variando de 1,7 a 2,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. É importante destacar que cerca de 70% da biomassa total acumulada na vegetação do cerrado *sensu stricto* encontra-se em compartimentos abaixo do solo (ABDALA et al., 1998; CASTRO; KAUFFMAN, 1998; PAIVA; REZENDE; PEREIRA, 2011), o que indica que os estoques de biomassa do cerrado *sensu stricto* vão além do registrado no presente trabalho que avaliou apenas a biomassa aérea. Considerando essa proporção entre biomassa abaixo e acima do solo, os máximos valores de ICA para CO₂ na área iriam variar de 11,6 a 16,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto que os

máximos IMAs seriam de 5,5 a 6,7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Isso evidencia que a implantação de sistemas silviculturais no cerrado *sensu stricto* pode ser de grande importância para o ciclo global do carbono, contribuindo para a redução do CO₂ atmosférico.

A contribuição da vegetação do cerrado *sensu stricto* para a mitigação das mudanças climáticas é condicionada à ocorrência do fogo (MIRANDA et al., 2004). Quatro anos após a ocorrência do incêndio na área, a biomassa aérea viva e total eram 19,3% e 12,0%, respectivamente, inferiores aos valores projetados para esse ano, caso não tivesse ocorrido o fogo (Figura 5). Esses valores correspondem a uma emissão de 9,1 Mg de CO₂ por hectare considerando apenas as árvores vivas e de 5,7 Mg de CO₂ por hectare considerando o total de árvores da área (vivas + mortas). É importante destacar que, se o monitoramento tivesse sido realizado imediatamente após a ocorrência do incêndio, certamente revelaria uma emissão ainda mais acentuada. Dessa forma, o fogo transformou o cerrado *sensu stricto* em uma fonte de emissões de CO₂ para a atmosfera, tornando-se um dos principais elementos a ser levado em consideração quando se pensa no manejo e conservação deste ecossistema.

Como as estimativas de biomassa aérea acumulada ao longo do tempo são obtidas a partir da área basal do povoamento, o efeito do fogo e de outros distúrbios que causam a redução da biomassa pode ser avaliado a partir de simulações utilizando as equações obtidas no presente estudo. Para tanto, será preciso considerar um determinado percentual de área basal removida com esses eventos. É importante destacar que este é o primeiro trabalho envolvendo modelagem por regressão, da prognose do crescimento e produção da biomassa (viva e total) da vegetação lenhosa em ambientes de cerrado *sensu stricto* após a implantação de sistemas silviculturais, e acredita-se que o mesmo irá poder subsidiar na tomada de decisões e no desenvolvimento de políticas públicas e estratégias para o manejo e a conservação dos recursos naturais no bioma Cerrado.

5. CONCLUSÕES

A área basal permite obter estimativas precisas e consistentes de estoques de biomassa aérea, viva e total, por unidade de área, acumulados ao longo do tempo na vegetação lenhosa regenerada em área de cerrado *sensu stricto* após a implantação de sistemas silviculturais.

Após a implantação de sistemas silviculturais na vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* o máximo incremento médio anual de biomassa aérea (viva e total) ocorre de 23 a 27 anos após o corte. Os estoques máximos de biomassa aérea viva (25,9 Mg ha⁻¹) e total (26,2 Mg ha⁻¹) são esperados para um período entre 28 e 30 anos após o corte. A recuperação mais

rápida da biomassa aérea ocorre nos sistemas silviculturais com menor intervenção no corte, ou seja, naqueles que utilizam apenas corte com motosserra de indivíduos lenhosos com Db ≥ 5 cm.

A regeneração natural da vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto* após a implantação de sistemas silviculturais é de fundamental importância para o ciclo global do carbono, contribuindo para a redução do CO₂ atmosférico. Contudo, essa função pode ser limitada pela ocorrência de incêndios florestais, que afeta negativamente os estoques de biomassa e torna o ecossistema em uma fonte de emissões de CO₂ para a atmosfera.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, G.; CALDAS, L.; HARIDASAN, M.; EITEN, G. Above and Belowground Organic Matter and Root:Shoot Ratio in a Cerrado in Central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, v. 2, n. 1, p. 11–23, 1998.

ABREU, R. C. R.; HOFFMANN, W. A.; VASCONCELOS, H. L.; PILON, N. A.; ROSSATTO, D. R.; DURIGAN, G. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science Advances**, v. 3, n. 8, p. e1701284, 2017.

AERTS, R.; HONNAY, O. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. **BMC Ecology**, v. 11, n. 29, p. 1–10, 2011.

ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C.; ARAÚJO, E. L. Root biomass under stem bases and at different distances from trees. **Journal of Arid Environments**, v. 116, p. 82–88, 2015.

ALMEIDA, R. F.; FAGG, C. W.; OLIVEIRA, M. C.; MUNHOZ, C. B. R.; LIMA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. B. Mudanças florísticas e estruturais no cerrado *sensu stricto* ao longo de 27 anos (1985-2012) na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. **Rodriguésia**, v. 65, n. 1, p. 1–19, 2014.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

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. (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Flora. Volume 1**. Planaltina-DF: Embrapa-CPAC, 2008. p. 385–398.

AQUINO, F. G.; PEREIRA, C. S.; PASSOS, F. B.; DE OLIVEIRA, M. C. Composição florística e estrutural de um Cerrado sentido restrito na área de proteção de manancial Mestre D'Armas, Distrito Federal. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 565–575, 2014.

AQUINO, F. G.; WALTER, B. M. T.; RIBEIRO, J. F. Woody community dynamics in two fragments of “cerrado” *stricto sensu* over a seven-year period (1995-2002), MA, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 1, p. 113–121, 2007.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970.

- ASSUNÇÃO, S. L.; FELFILI, J. M. Fitossociologia de um fragmento de cerrado *sensu stricto* na APA do Paranoá, DF, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 4, p. 903–909, 2004.
- AZEVEDO, G. B.; OLIVEIRA, E. K. B.; AZEVEDO, G. T. O. S.; BUCHMANN, H. M.; MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V. Modelagem da produção em nível de povoamento e por distribuição diamétrica em plantios de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p. 1–11, 2016.
- BARNI, P. E.; MANZI, A. O.; CONDÉ, T. M.; BARBOSA, R. I.; FEARNSTIDE, P. M. Spatial distribution of forest biomass in Brazil's state of Roraima, northern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 377, p. 170–181, 2016.
- BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 17, p. 187–190, 2017.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v. 35, p. 881–902, 1989.
- 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.
- CAIRNS, M. A.; BROWN, S.; HELMER, E. H.; BAUMGARDNER, G. A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, v. 111, p. 1–11, 1997.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2017.
- CASTILHO, C. V.; MAGNUSSON, W. E.; ARAÚJO, R. N. O.; LUIZÃO, R. C. C.; LUIZÃO, F. J.; LIMA, A. P.; HIGUCHI, N. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography. **Forest Ecology and Management**, v. 234, n. 1–3, p. 85–96, 2006.
- CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, n. 3, p. 263–283, 1998.
- CHAVE, J.; OLIVIER, J.; BONGERS, F.; CHÂTELET, P.; FORGET, P.; MEER, P. Van Der; NORDEN, N.; RIÉRA, B.; CHARLES-DOMINIQUE, P. Above-ground biomass and productivity in a rain forest of eastern South America. **Journal of Tropical Ecology**, v. 24, p. 355–366, 2008.
- CHEN, X.; HUTLEY, L. B.; EAMUS, D. Carbon balance of a tropical savanna of northern Australia. **Oecologia**, v. 137, n. 3, p. 405–416, 2003.
- COSTA, T. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALES, M. F.; ACCIOLY, L. J. O.; ALTHOFF, T. D.; PAREYN, F. G. C.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; MENEZES, R. S. C. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and Soil**, v. 378, n. 1–2, p. 113–123, 2014.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271–276, 2013.
- DALLAGNOL, F. S.; MOGNON, F.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 410–416, 2011.

- DJOMO, A. N.; KNOHL, A.; GRAVENHORST, G. Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 8, p. 1448–1459, 2011.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. Third edit ed. New York: Wiley-Interscience, 1998.
- FEARNSIDE, P. M.; RIGHI, C. A.; GRAÇA, P. M. L.; ALENCASTRO; KEIZER, E. W. H.; CERRI, C. C.; NOGUEIRA, E. M.; BARBOSA, R. I. Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and Rondônia. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 9, p. 1968–1978, 2009.
- FELFILI, J. M.; NOGUEIRA, P. E.; SILVA JÚNIOR, M. C.; MARIMON, B. S.; DELITTI, W. B. C. Composição florística e fitossociologia do cerrado sentido restrito no município de Água Boa - MT. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 1, p. 103–112, 2002.
- FELFILI, J. M.; REZENDE, A. V.; SILVA JÚNIOR, M. C.; SILVA, M. A. Changes in the floristic composition of cerrado *sensu stricto* in Brazil over a nine-year period. **Journal of Tropical Ecology**, v. 16, n. 4, p. 579–590, 2000.
- FELFILI, J. M.; SILVA, M. C.; SEVILHA, A. C.; FAGG, C. W.; WALTER, B. M. T.; NOGUEIRA, P. E.; REZENDE, A. V. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. **Plant Ecology**, v. 175, n. 1, p. 37–46, 2004.
- FERNANDES, M. H.; ZOCH, V. P.; MATA, R. A.; WALTER, B. M. T. Fitossociologia do componente arbóreo e florística de um remanescente de cerrado sentido restrito contíguo a áreas de agricultura da porção leste do Distrito Federal, Brasil. **Heringeriana**, v. 7, n. 1, p. 7–32, 2013.
- FERNANDES, U.; COSTA, M. Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 5, p. 661–666, 2010.
- GATTO, A.; BUSSINGUER, A. P.; RIBEIRO, F. C.; AZEVEDO, G. B.; BUENO, M. C.; MONTEIRO, M. M.; SOUZA, P. F. Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de *Eucalyptus* sp., no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 38, n. 3, p. 879–887, 2014.
- HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal. In: NOVAES-PINTO, M. (Ed.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1990. p. 309–330.
- HIGA, R. C. V.; CARDOSO, D. J.; ANDRADE, J. C.; ZANATTA, J. A.; ROSSI, L. M. B.; PULROLNIK, K.; NICODEMO, M. L. F.; GARRASTAZU, M. C.; VASCONCELOS, S. S.; SALIS, S. M. **Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. v. 1
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 153–165, 1998.
- IMANÃ-ENCINAS, J.; SANTANA, O. A.; PAULA, J. E. De; RIBEIRO, G. S. Volume de madeira de um hectare de Cerrado *sensu stricto* em Planaltina de Goiás. **IX Simpósio Nacional Cerrado: Desafios e Estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**, v. D, p. 1–7, 2008.
- KASCHULA, S. A.; TWINE, W. C.; SCHOLE, M. C. The effect of catena position and stump characteristics on the coppice response of three savannah fuelwood species.

Environmental Conservation, v. 32, n. 1, p. 76–84, 2005.

KEELING, H. C.; PHILLIPS, O. L. The global relationship between forest productivity and biomass. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, n. 5, p. 618–631, 2007.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005.

LEMOS, H. L.; PINTO, J. R. R.; MEWS, H. A.; LENZA, E. Structure and floristic relationships between Cerrado *sensu stricto* sites on two types of substrate in northern Cerrado, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 13, n. 4, p. 121–132, 2013.

LIBANO, A. M.; FELFILI, J. M. Fitossociologia de um cerrado *sensu stricto* no Brasil Central ao longo de 18 anos. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 90–92, 2007.

LIMA, T. A.; PINTO, J. R. R.; LENZA, E.; PINTO, A. S. Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em uma área de cerrado rupestre no Parque Estadual da Serra de Caldas Novas, Goiás. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 2, p. 159–166, 2010.

LOIOLA, P. P.; SCHERER-LORENZEN, M.; BATALHA, M. A. The role of environmental filters and functional traits in predicting the root biomass and productivity in savannas and tropical seasonal forests. **Forest Ecology and Management**, v. 342, p. 49–55, 2015.

MA, L.; SHEN, C.; LOU, D.; FU, S.; GUAN, D. Ecosystem carbon storage in forest fragments of differing patch size. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–8, 2017.

MALHI, Y.; DOUGHTY, C. E.; GOLDSMITH, G. R.; METCALFE, D. B.; GIRARDIN, C. A. J.; MARTHEWS, T. R.; AGUILA-PASQUEL, J.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; BRANDO, P.; L. DA COSTA, A. C.; SILVA-ESPEJO, J. E.; FARFÁN AMÉZQUITA, F.; GALBRAITH, D. R.; QUESADA, C. A.; ROCHA, W.; SALINAS-REVILLA, N.; SILVÉRIO, D.; MEIR, P.; PHILLIPS, O. L. The linkages between photosynthesis, productivity, growth and biomass in lowland Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 21, p. 2283–2295, 2015.

MAZZEI, L.; SIST, P.; RUSCHEL, A.; PUTZ, F. E.; MARCO, P.; PENA, W.; FERREIRA, J. E. R. Above-ground biomass dynamics after reduced-impact logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 3, p. 367–373, 2010.

MENDONÇA, A. V. R.; SOUZA, J. S.; GIULIETTI, A. M.; BERG, C. V. D. Estimativa de biomassa aérea de espécies da caatinga no norte da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 76, p. 355–368, 2013.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. Flora vascular do bioma Cerrado: Check list com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Flora. Volume 2**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 723–1279.

MEWS, H. A.; MARIMON, B. S.; MARACAHIPES, L.; FRANZAK, D. D.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Dinâmica da comunidade lenhosa de um Cerrado Típico na região Nordeste do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 1–10, 2011.

MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T.; VALE, A. T.; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerradão com dados de satélite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 829–839, 2015.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; AMDARADE, S. M.; HARIDASAN, M.; MORAES, H.

- C. Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos. In: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A. (Ed.). **Cerrado: ecologia e caracterização**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. p. 69–123.
- MIRANDA, S. C.; CARVALHO, P. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; SILVA JÚNIOR, M. C. Variação temporal na estrutura da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos. **Revista Espacios**, v. 38, n. 4, p. 1–13, 2017.
- MITTERMEIER, R. A.; TURNER, W. R.; LARSEN, F. W.; BROOKS, T. M.; GASCON, C. **Biodiversity hotspots**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.
- MUKUL, S. A.; HERBOHN, J.; FIRN, J. Tropical secondary forests regenerating after shifting cultivation in the Philippines uplands are important carbon sinks. **Scientific Reports**, v. 6, n. September 2015, p. 1–12, 2016.
- OLIVEIRA, C. P.; FRANCELINO, M. R.; CYSNEIROS, V. C.; ANDRADE, F. C.; BOOTH, M. C. Composição florística e estrutura de um cerrado *sensu stricto* no oeste da Bahia. **Cernea**, v. 21, n. 4, p. 545–552, 2015.
- OLIVEIRA, X. M.; MAYRINCK, R. C.; SILVA, G. C. C.; FERRAZ FILHO, A. C.; MELLO, J. M. Modelo de estimativa de volume e carbono por hectare para fragmentos de cerrado *sensu stricto* em Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 802–811, 2016.
- PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 527–538, 2011.
- PAIVA, A. O.; SILVA, L. C. R.; HARIDASAN, M. Productivity-efficiency tradeoffs in tropical gallery forest-savanna transitions: linking plant and soil processes through litter input and composition. **Plant Ecology**, 2015.
- PAULA, M. D.; COSTA, C. P. A.; TABARELLI, M. Carbon storage in a fragmented landscape of Atlantic forest: the role played by edge-affected habitats and emergent trees. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 349–358, 2011.
- PENG, C. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. **Forest Ecology and Management**, v. 132, p. 259–279, 2000.
- REIS, S. M.; LENZA, E.; MARIMON, B. S.; GOMES, L.; FORSTHOFER, M.; MORANDI, P. S.; MARIMON JUNIOR, B. H.; FELDPAUSCH, T. R.; ELIAS, F. Post-fire dynamics of the woody vegetation of a savanna forest (Cerradão) in the Cerrado-Amazon transition zone. **Acta Botanica Brasilica**, v. 29, n. 3, p. 408–416, 2015.
- REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 65–76, 2006.
- REZENDE, A. V.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A. Efeito do desmatamento no estabelecimento de espécies lenhosas em um cerrado *sensu stricto*. **Floresta**, v. 35, p. 69–88, 2005.
- RIBEIRO, S. C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; KLEINN, C.; DE OLIVEIRA GASPAR, R. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 3, p. 491–499, 2011.

- ROBERTS, J. J.; CASSULA, A. M.; OSVALDO PRADO, P.; DIAS, R. A.; BALESTIERI, J. A. P. Assessment of dry residual biomass potential for use as alternative energy source in the party of General Pueyrredón, Argentina. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 568–583, 2015.
- ROITMAN, I.; FELFILI, J. M.; REZENDE, A. V. Tree dynamics of a fire-protected cerrado *sensu stricto* surrounded by forest plantations, over a 13-year period (1991-2004) in Bahia, Brazil. **Plant Ecology**, v. 197, n. 2, p. 255–267, 2008.
- RYAN, C. M.; WILLIAMS, M.; GRACE, J. Above- and belowground carbon stocks in a Miombo woodland landscape of Mozambique. **Biotropica**, v. 43, n. 4, p. 423–432, 2011.
- SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, A. A.; FERREIRA, D. F. Avaliação de diferentes níveis de intervenção no desenvolvimento da área basal e número se árvores de uma área de cerrado *stricto sensu*. **Cerne**, v. 6, n. 2, p. 25–34, 2000.
- SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.; PEREIRA, R. M.; N., S. F.; GUEDES, I. C. L. Volumetria, peso de matéria seca e carbono. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. (Ed.). **Inventário Florestal de Minas Gerais: Cerrado - Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal**. Lavras: UFLA, 2008. p. 361–438.
- SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 4, p. 29–39, 2007.
- SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O Estado da arte aa estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n. 1, p. 185–206, 2008.
- SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R.; MARTINS, F. B.; FIGUEIREDO, L. T. M. Equações para estimar estoque de carbono por hectare nos fustes das árvores de floresta estacional semidecidual. **Ciencia Florestal**, v. 26, n. 2, p. 579–588, 2016.
- SOUCHIE, F. F.; PINTO, J. R. R.; LENZA, E.; GOMES, L.; MARACAHIPES-SANTOS, L.; SILVÉRIO, D. V. Post-fire resprouting strategies of woody vegetation in the Brazilian savanna. **Acta Botanica Brasilica**, v. 31, n. 2, p. 260–266, 2017.
- SOUZA, R. F.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelagem da biomassa total e da lenha por unidade de área para bracingais nativos. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 53–62, 2014.
- STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; SCARAMUZZA, C. A. de M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, p. 1–3, 2017.
- VALE, A. T. **Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado *sensu stricto* da região de Brasília para uso energético**. 2000. Universidade Estadual Paulista, 2000.
- VALE, A. T.; FELFILI, J. M. Dry biomass distribution in a Cerrado *sensu strictu* site in central Brazil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 661–669, 2005.
- VANCLAY, J. K. Growth models for tropical forests: A synthesis of models and methods. **Forest Science**, v. 41, n. 1, p. 7–42, 1995.
- VIEIRA, S. A.; ALVES, L. F.; AIDAR, M.; ARAÚJO, L. S.; BAKER, T.; BATISTA, J. L. F.; CAMPOS, M. C.; CAMARGO, P. B.; CHAVE, J.; DELITTI, W. B. C.; HIGUCHI, N.;

- HONORIO, E.; JOLY, C. A.; KELLER, M.; MARTINELLI, L. A.; MATTOS, E. A.; METZKER, T.; PHILLIPS, O.; SANTOS, F. A. M.; SHIMABUKURO, M. T.; SILVEIRA, M.; TRUMBORE, S. E. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 2, p. 21–29, 2008.
- WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 353–362, 2012.
- WEST, P. W. **Growing plantation forests**. Berlin: Springer-Verlag, 2006. v. 9783319018
- WEST, P. W. **Tree and forest measurement**. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 2009.
- WILLIAMS, K. J.; FORD, A.; ROSAUER, D. F.; SILVA, N.; MITTERMEIER, R.; BRUCE, C.; LARSEN, F. W.; MARGULES, C. Forests of East Australia: The 35th Biodiversity Hotspot. In: ZACHOS, F.; JC, H. (Ed.). **Biodiversity Hotspots**. Berlin: Springer-Verlag, 2011. p. 295–310.
- WRIGHT, S. Correlation and Causation. **Journal of Agriculture Research**, v. 20, n. 7, p. 557–585, 1921.
- YUE, C.; KAHLE, H.-P.; VON WILPERT, K.; KOHNLE, U. A dynamic environment-sensitive site index model for the prediction of site productivity potential under climate change. **Ecological Modelling**, v. 337, p. 48–62, 2016.

APÊNDICE

ARQUIVO FOTOGRÁFICO



Área do experimento



Medição do diâmetro e da altura.