



**BIOMASSA, FLUXOS DE CARBONO E ENERGIA EM ÁREA DE CERRADO
SENTIDO RESTRITO E PLANTIO DE EUCALIPTO NO DISTRITO FEDERAL**

FABRÍCIA CONCEIÇÃO MENEZ MOTA

**TESE DE DOUTORADO NO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS FLORESTAIS**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**BIOMASSA, FLUXOS DE CARBONO E ENERGIA EM ÁREA DE CERRADO
SENTIDO RESTRITO E PLANTIO DE EUCALIPTO NO DISTRITO FEDERAL**

FABRÍCIA CONCEIÇÃO MENEZ MOTA

**ORIENTADOR: REGINALDO SÉRGIO PEREIRA
COORIENTADOR: MÁRIO BENJAMIM BAPTISTA DE SIQUEIRA**

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

BRASÍLIA/DF, 31 DE MARÇO DE 2017

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**BIOMASSA, FLUXOS DE CARBONO E ENERGIA EM ÁREA DE CERRADO
SENTIDO RESTRITO E PLANTIO DE EUCALIPTO NO DISTRITO FEDERAL**

FABRÍCIA CONCEIÇÃO MENEZ MOTA

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM CIÊNCIAS FLORESTAIS (HABILITAÇÃO EM MANEJO FLORESTAL)

APROVADA POR:

**Dr. Reginaldo Sérgio Pereira (Departamento de Engenharia Florestal - UnB)
(Orientador)**

**Dr. Mário Benjamim Baptista de Siqueira (Departamento de Engenharia Mecânica- UnB)
(Coorientador)**

**Dra. Alba Valéria Rezende (Departamento de Engenharia Florestal - UnB)
(Examinador interno)**

**Dr. Alcides Gatto (Departamento de Engenharia Florestal - UnB)
(Examinador interno)**

**Dra. Selma Regina Maggiotto (Faculdade de Agronomia e Veterinária - UnB)
(Examinador externo)**

**Dra. Eloisa Aparecida Belleza Ferreira (Embrapa Cerrados - CPAC)
(Examinador externo)**

**Dr. José Roberto Rodrigues Pinto (Departamento de Engenharia Florestal - UnB)
(Suplente)**

BRASÍLIA/DF, 31 DE MARÇO DE 2017

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

CM917b Conceição Menez Mota, Fabrícia
Biomassa, fluxos de Carbono e energia em área de
Cerrado sentido restrito e plantio de Eucalipto no
Distrito Federal / Fabrícia Conceição Menez Mota;
orientador Reginaldo Sérgio Pereira; co-orientador
Mário Benjamim Baptista de Siqueira. -- Brasília,
2017.
157 p.

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

1. Fluxo de energia e massa. 2. Biomassa. 3.
Carbono. 4. Eucalyptus. 5. Cerrado sentido restrito.
I. Sérgio Pereira, Reginaldo, orient. II. Benjamim
Baptista de Siqueira, Mário, co-orient. III. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MOTA, F.C.M (2017). Biomassa, fluxos de Carbono e energia em área de Cerrado sentido restrito e plantio de Eucalipto no Distrito Federal. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Publicação PPG/EFL. TD. 078/2017, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 157 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Fabrícia Conceição Menez Mota

TÍTULO: Biomassa, fluxos de Carbono e energia em área de Cerrado sentido restrito e plantio de Eucalipto no Distrito Federal.

GRAU: Doutora; ANO: 2017; ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Manejo Florestal

Concedo à Universidade de Brasília-UnB permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestá-las somente para propósitos acadêmicos e científicos. Reservo outros direitos de publicação, de forma que nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem minha autorização por escrito.

Fabrícia Conceição Menez Mota
Endereço eletrônico: fabriaciomm@gmail.com

DEDICATÓRIA

Sim, ao único e sábio Deus seja dada Glória, por intermédio de Jesus Cristo, para todo o sempre. Amém! Romanos 16:27

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Socorro e Elizabete, obrigada pelo apoio, amor, compreensão e carinho, ao meu irmão, Diego, e a Eloa Lourenço.

Aos tios, Elane, Rosária, Corina e Ailton, aos primos, Nayelle, Maísa, Dani, Táina, Leonai, Júnior e Adriana, pela atenção e palavras de ânimo.

A comunidade Atos dos Apóstolos, em especial, Renato, Mariane, Rafael, Elza, Reginaldo, Raquel, Cristiane, Hélivio, Nayara, Paulo, Priscila, Bruno, Marcos Paulo, Juliene, Jane, Gelly e Glendinha.

Aos amigos, Layse, Luiz, Erica, Laurinha, Washigton, Adalberto, Anita, Denise, Débora, Waltinho, Marina e Shiguek Onoyama. Aos amigos que a UnB me proporcionou, Fabio, Glória, Érica, Andrea, Fabiana, Marco Bruno, Karla, Joabel, Renanzinho, Mateus, Jonas, Danielzinho, Mirella, Alexandre, Lidiomar, Juliana, Ilvan, Leonidas, Genilda, Géssica, Priscilla, Edilene, Olívia, Milton, Glauce, Aramis, Filipe e Josiane Bruzinga (Obrigada pela amizade na fase final de elaboração da Tese).

Aos alunos da graduação, Maria Helena, Bianca, Bruna, Thiago, Eduardo e Fabíula, pela ajuda nas coletas de dados em campo.

Aos professores, Eraldo Matricardi, Ailton Vale, Mauro Nappo, José Roberto, Ricardo Oliveira, Alvaro Nogueira, Rosana Carvalho, Ildeu Carvalho, Eder Miguel e Renato Castro.

Ao professor Augusto Franco, pela contribuição na área de Ecofisiologia Vegetal, e pelo uso do laboratório de Bioquímica Vegetal, Departamento de Botânica, a Marina Scalon pela ajuda nas análises.

Ao professor Ailton Vale, pela disponibilidade do uso do Laboratório de Tecnologia Florestal, e ao Técnico, Vandú. Ao professor Jader Busato, pelo uso do Laboratório de Química do Solo e ao Técnico Marcelo. Ao professor Tairone Leão, pelo uso do Laboratório de Física do solo, e ao Técnico Carlos.

Aos Funcionários da Fazenda Água Limpa, sr. Sebastião, Geraldo, Mauro, Zico, pela grande ajuda na coleta de dados em campo, Machado, Guilherme, Valdemar e Luciano pela logística na coleta de dados.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, Chiquinho, Yuri, Flávia, Milena e Ana.

Aos Drs (as), professores/pesquisadores pelo aceite do convite para participar na banca de defesa, Alba, Alcides, José Roberto, Selma e Eloisa. Obrigada!

Aos orientadores, Reginaldo Pereira, e ao Mário Siqueira pela oportunidade concedida para participar do projeto CNPq número 486654/2013-3, “Estudo de consequências

hidrológicas, meteorológicas, climáticas locais e regionais da substituição de Cerrado nativo por plantação de Eucalipto”, meu muito obrigada!

A CAPES pela concessão da Bolsa de Doutorado.

RESUMO GERAL

BIOMASSA, FLUXOS DE CARBONO E ENERGIA EM ÁREA DE CERRADO SENTIDO RESTRITO E PLANTIO DE EUCALIPTO NO DISTRITO FEDERAL

Essa pesquisa teve como objetivo caracterizar as diferenças no estoque de Carbono e na dinâmica de trocas de massa e de energia em dois ambientes: o natural, representado pelo Cerrado sentido restrito, e floresta plantada, representada por povoamento de Eucalipto híbrido clonal, *Eucalyptus urophylla x grandis*. Todo o experimento foi conduzido na Fazenda Água Limpa (FAL), Brasília - Distrito Federal, Brasil. Foi utilizado o seguinte estudo integrado: combinando dados mensurados em campo; medição de fluxos de massa e energia; fluxos turbulentos verticais mensurados pelo método de Covariância de Vórtices Turbulentos, “*Eddy Covariance*”; e a modelagem baseada em processos, uma vez que o modelo utilizado (Biome-BGC) avalia a interação entre os componentes edáficos, fisiológicos e meteorológicos e suas repostas na troca líquida de Carbono (NEE) para o ecossistema simulado. Utilizou-se o modelo Biome-BGC para estimar a troca líquida de Carbono anual para o Cerrado e o Eucalipto. A variabilidade da troca líquida de Carbono não foi bem representada, especialmente para o Cerrado sentido restrito, o que pode estar relacionada às características intrínsecas e fenológicas desse ambiente, bem como às limitações e habilidades preditivas do modelo Biome-BGC para estimar a NEE em ecossistema que apresenta heterogeneidade espacial e elevada diversidade de espécies vegetais. A substituição do uso do solo de Cerrado para cultivos de Eucalipto, alterou o estoque de Carbono no solo e na biomassa. O valor do estoque de Carbono total para a área de Cerrado sentido restrito foi de 257,72 Mg ha⁻¹ e para o povoamento de Eucalipto, 203,23 Mg ha⁻¹. No entanto, o Eucalipto avaliado, na faixa de idade estudada, 36 meses, ainda não alcançou a produção máxima de biomassa, em decorrência desse fato, durante o intervalo de tempo monitorado nesse estudo, a área de Cerrado apresentou maior estoque de Carbono total. A troca líquida de Carbono e o fluxo de energia, calor latente (LE), calor sensível (H) e para o solo (G) de cada ecossistema, Cerrado sentido restrito e *Eucalyptus urophylla x grandis*, apresentaram dinâmica compatível com as suas sazonalidades e fenologias. Em relação ao particionamento da energia, a área de Eucalipto nos anos de 2014 e 2015, apresentou menores valores da razão de Bowen, quando comparados com os valores referentes ao ano de 2016, o que pode estar associado à maior taxa de crescimento na etapa inicial e os processos relacionados a evapotranspiração, perda de vapor d’água, e fotossíntese. Durante o período seco, as duas vegetações apresentaram os maiores valores da razão de Bowen, no entanto, nos primeiros anos, a maior partição de energia foi para o Cerrado. O somatório da NEE para a área de Cerrado sentido restrito, período de 2013 a 2015, foi de 1.535,0 gC m⁻², enquanto que para o Eucalipto foi de 1.490,8 gC m⁻². Até o presente momento, por meio dessa pesquisa, há indicação de que o aumento da temperatura e de CO₂, tem aumentado a assimilação de Carbono no ecossistema para o Cerrado sentido restrito avaliado, fato evidenciado por meio da troca líquida de Carbono anual observada de 2013 a 2015, (439, 518 e 578 gC m⁻² ano⁻¹), na taxa de recrutamento 3,43% e incremento de biomassa na vegetação arbustivo-arbórea de 1,37 MgC ha⁻¹, referente ao intervalo de 15 meses, abrangendo o ano de 2015, o qual apresentou o maior percentual de incremento em temperatura nos últimos anos. Para compreender esse conjunto de processos, será necessário o monitoramento a longo prazo para a área de Cerrado sentido restrito, assim como, faz-se necessário o monitoramento do povoamento de Eucalipto a longo prazo para avaliar as consequências na dinâmica dos fluxos de massa e energia, como também a capacidade de estoque de Carbono no ecossistema em função da substituição do uso do solo.

Palavras-chave: Fluxo de massa e energia, Carbono, Savana, Eucalipto, Mudança do uso do solo

GENERAL ABSTRACT

BIOMASS, CARBON FLOWS AND ENERGY IN AREA CERRADO SENSE RESTRICT AND EUCALYPTUS PLANTIO IN THE DISTRITO FEDERAL

The objective of this research was to characterize the differences in the carbon stock and the dynamics of mass and energy exchanges in two environments: the natural, represented by the Cerrado restrict sense, and planted forest, represented by clonal hybrid Eucalyptus, *Eucalyptus urophylla x grandis*. The whole experiment was conducted at Fazenda Água Limpa (FAL), Brasília - Distrito Federal, Brazil. The following integrated study was used: combining data measured in the field; measurement of mass and energy flows; vertical turbulent flows measured by the Turbulent Vortices Covariance method, "Eddy Covariance"; and process-based modeling, since the model used (Biome-BGC) evaluates the interaction between edaphic, physiological and meteorological components and their responses in the net carbon exchange (NEE) for the simulated ecosystem. The Biome-BGC model was used to estimate the net annual carbon exchange for the Cerrado and Eucalyptus. The variability of the net carbon exchange was not well represented, especially for the Cerrado restrict sense, which may be related to the intrinsic and phenological characteristics of this environment, as well as the limitations and predictive abilities of the Biome-BGC model to estimate the NEE in ecosystem which presents spatial heterogeneity and high diversity of plant species. The substitution of the Cerrado soil for Eucalyptus plantations, altered the carbon stock in the soil and biomass. The value of the total carbon stock for the area Cerrado restrict sense was 257,72 Mg ha⁻¹ and for the Eucalyptus stand, 203, 23 Mg ha⁻¹. However, the evaluated Eucalyptus, in the studied age range, 36 months, still did not reach the maximum production of biomass, as a result of this fact, during the time interval monitored in this study, the Cerrado area presented higher total Carbon stock. The net carbon exchange and the energy flux, latent heat (LE), sensible heat (H) and for the soil (G) of each ecosystem, Cerrado restrict sense and *Eucalyptus urophylla x grandis*, presented dynamics compatible with their seasonalities and phenologies. In relation to energy partitioning, the Eucalyptus area in 2014 and 2015 presented lower values of the Bowen ratio when compared to the values for 2016, which may be associated with the higher growth rate in the initial stage and processes related to evapotranspiration, loss of water vapor, and photosynthesis. During the dry period, the two vegetations presented the highest values of the Bowen ratio, however, in the first years, the largest energy partition was for the Cerrado. The sum of the NEE for the area Cerrado restrict sense, period from 2013 to 2015, was 1,535.0 gC m⁻², while for Eucalyptus it was 1,490.8 gC m⁻². Up to the present time, through this research, there is indication that the increase of temperature and CO₂, has increased the assimilation of Carbon in the ecosystem to the Cerrado restrict sense evaluated, fact evidenced by means of the annual net carbon change observed of 2013 to 2015, (439, 518 and 578 gC m⁻² year⁻¹), in the recruitment rate 3,43% and biomass increment in the shrub-tree vegetation of 1, 37 MgC ha⁻¹, referring to the interval of 15 Months, covering the year 2015, which presented the highest percentage of increase in temperature in recent years. In order to understand this set of processes, it will be necessary the long-term monitoring for the Cerrado restricted sense area, as well as, it is necessary the monitoring of the long-term Eucalyptus settlement to evaluate the consequences in the dynamics of mass and energy

flows, as well as the Carbon stock capacity in the ecosystem due to the substitution of land use.

Key words: Carbon flows and energy, Carbon, Savanna, Eucalyptus, Change in land use

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.2 - OBJETIVO GERAL	3
1.2.1 - Objetivos específicos	4
1.2.2 - Questões de Pesquisa	4
1.3 - HIPÓTESES	4
1.4 - REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
1.4.1 - Cerrado sentido restrito e povoamentos de Eucalipto.....	5
1.4.2 - Solos de ecossistemas florestais e serapilheira	6
1.4.3 - Modelagem aplicada à quantificação do CO ₂ e ao fluxo de energia	8
2 - ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NO SOLO E DA VEGETAÇÃO EM CERRADO SENTIDO RESTRITO E EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO NA FAZENDA ÁGUA LIMPA, DF.....	12
2.1 - RESUMO.....	12
2.2 - ABSTRACT.....	13
2.3 - INTRODUÇÃO	14
2.4 - MATERIAL E MÉTODOS	15
2.4.1 - Área de estudo.....	15
2.4.2 - Caracterização dos atributos do solo e da vegetação	17
2.4.2.1 - Atributos físicos e químicos do solo	17
2.4.2.2 - Florística, estrutura e dinâmica da vegetação lenhosa arbórea-arbustiva do Cerrado	19
2.4.2.3 - Estoque de biomassa e Carbono na parte aérea da vegetação para a área de Cerrado sentido restrito e Eucalipto.	19
2.4.2.4 - Estoque de biomassa e Carbono no solo, no componente radicular e na serapilheira para a área de Cerrado sentido restrito e Eucalipto.....	23
2.4.2.5 - Fluxo de Carbono na biomassa para área de Cerrado sentido restrito e Eucalipto	25
2.4.2.6 - Comportamento do Fluxo de biomassa e serapilheira para área de Cerrado sentido restrito e de Eucalipto.....	26
2.4.2.7 - Índice de área foliar.....	28
2.4.2.8 - Análise estatística.....	28
2.5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
2.5.1 - Caracterização dos atributos do solo na área de Cerrado sentido restrito e no povoamento de Eucalipto.....	29
2.5.2 - Florística, estrutura e dinâmica da vegetação lenhosa arbórea-arbustiva do Cerrado	32
2.5.3 - Características dendrométricas e volume para o povamento de Eucalipto.....	35

2.5.4 - Estoque de biomassa e Carbono na parte aérea da vegetação para a área de Cerrado e para o povoamento de Eucalipto	37
2.5.5 - Estoque de biomassa e Carbono em serapilheira, compartimento radicular e no solo para a área de Cerrado e para o povoamento de Eucalipto.....	38
2.5.6 - Estoque de Carbono total na área de Cerrado sentido restrito e para o povoamento de Eucalipto.....	41
2.5.7 - Fluxo de biomassa para área de Cerrado sentido restrito e Eucalipto.....	43
2.5.8 - Comportamento do fluxo de biomassa, serapilheira, para área de Cerrado sentido restrito e Eucalipto.....	44
2.5.9 - Índice de área foliar	46
2.6 - CONCLUSÃO	48
3 - DIFERENÇA NA TROCA LÍQUIDA DE CO ₂ , CALOR LATENTE, SENSÍVEL E PARA O SOLO ENTRE VEGETAÇÃO NATIVA DO CERRADO SENTIDO RESTRITO E DO POVOAMENTO DE EUCALIPTO.....	49
3.1 - RESUMO.....	49
3.2 - ABSTRACT.....	50
3.3 - INTRODUÇÃO	51
3.4 - MATERIAL E MÉTODOS	52
3.4.1 - Área de estudo.....	52
3.4.2 - Torres de medição de fluxo de energia	52
3.4.3.- Dados de covariância de vórtices turbulentos	54
3.4.4 - Processamentos dos fluxos de LE, H, G e CO ₂	56
3.5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
3.5.1 - Dados meteorológicos.....	58
3.5.2 - Dados de covariância de vórtices, processamento dos fluxos NEE.....	60
3.5.2 - Dados de covariância de vórtices, processamento dos fluxos de LE, H e G	65
3.6 - CONCLUSÃO	67
4 - APLICAÇÃO DO MODELO BIOME-BGC PARA SIMULAR O FLUXO DE CO ₂ EM ÁREA DE CERRADO SENTIDO RESTRITO E EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO, BRASIL	69
4.1 - RESUMO.....	69
4.2 - ABSTRACT.....	70
4.3 - INTRODUÇÃO	71
4.3.1 - Pressuposto crítico, estrutura e detalhes do modelo.....	72
4.3.1.1 - Processos físicos.....	73
4.3.1.2 - Processos fisiológicos	74
4.3.1.2.1 - Ciclo de Carbono e Nitrogênio: reservas e fluxos.....	74

4.3.1.2.2 - Respiração de manutenção e crescimento	75
4.3.1.2.3 - Fotossíntese	76
4.3.1.2.4 - Decomposição	76
4.3.1.2.5 - Alocação e mortalidade	77
4.4 - MATERIAL E MÉTODOS	78
4.4.1 - Área de estudo	78
4.4.2 - Parâmetros utilizados no modelo Biome-BGC	78
4.4.3 - Simulações	80
4.4.4 - Parametrização e análise de sensibilidade para o modelo Biome-BGC	81
4.4.4.1 - Parametrização e calibração para o povoamento de Eucalipto	82
4.4.4.2 - Parametrização e calibração para o Cerrado sentido restrito	86
4.4.5 - Calibração e validação do Modelo Biome-BGC	89
4.5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	90
4.5.1 - Parametrização e calibração para o povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>grandis</i>	90
4.5.2 - Parametrização e calibração para a vegetação Cerrado sentido restrito	94
4.5.3 - NEE simulada pelo Biome-BGC para <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>grandis</i> e para a área de Cerrado sentido restrito	98
4.6 - CONCLUSÃO	104
5 - QUESTÕES DE PESQUISAS REVISITADAS	104
6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
7 - REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	109
8 - APÊNDICES	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos ajustados para estimar o volume (m ³) das árvores no plantio de Eucalipto.	22
Tabela 2 - Atributos do solo amostrados nas áreas de Cerrado sentido restrito e de Eucalyptus grandis x urophylla. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, na coluna, pelo teste de Tukey (p > 0,05). Letras maiúsculas referem a comparação entre as diferentes profundidades na vegetação. Letras minúsculas referem a comparação de profundidades iguais entre os dois tipos de vegetação avaliados.	29
Tabela 3 - Características química dos solos amostrados na área de Cerrado sentido restrito e no povoamento de Eucalyptus urophylla x grandis. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, na coluna, pelo teste de Tukey (p > 0,05). Letras maiúsculas referem a comparação entre diferentes profundidades na vegetação. Letras minúsculas referem a comparação de profundidades iguais entre os dois tipos de vegetação avaliados.	31
Tabela 4 - Espécies arbustivo-arbóreas vivas (Db ≥ 5 cm), registradas no interior das 12 parcelas de 20 m × 50 m, do Cerrado sentido restrito amostrado na Fazenda Água Limpa, DF no ano de 2014. As espécies estão dispostas em ordem decrescente de valor de importância.	33
Tabela 5 - Estimativas dos parâmetros das equações ajustadas para volume em função da idade para o povoamento de Eucalyptus urophylla x grandis, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF.	36
Tabela 6 - Variáveis dendrométricas em função da idade para o povoamento de Eucalyptus urophylla x grandis, amostradas na Fazenda Água Limpa, DF.	37
Tabela 7 - Biomassa e estoque de Carbono de raízes (Mg ha ⁻¹) em área de Cerrado sentido restrito, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF.	39
Tabela 8 - Biomassa e estoque de Carbono de raízes (Mg ha ⁻¹) em área de Eucalyptus urophylla x grandis, amostrados na Fazenda Água Limpa, DF.	40
Tabela 9 - Estoque de Carbono (EC) no solo (Mg ha ⁻¹) em área de Eucalyptus urophylla x grandis e Cerrado sentido restrito, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, na coluna, pelo teste de Tukey (p > 0,05). Letras maiúsculas referem a comparação entre diferentes profundidades na vegetação. Letras minúsculas referem a comparação de profundidades iguais entre os dois tipos de vegetação avaliados.	41
Tabela 10 - Índice de área foliar para as áreas de Cerrado sentido restrito e Eucalyptus urophylla x grandis, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF. AD – percentual de abertura do dossel. ...	47
Tabela 11 - Valores dos parâmetros médios mensais de NEE para a área de Eucalipto nos meses de agosto a outubro, de 2014 a 2016, amostrados na Fazenda Água Limpa, DF.	64
Tabela 12 - Parâmetros necessários para executar o modelo Biome-BGC.	79
Tabela 13 - Parâmetros meteorológicos utilizados para executar o modelo Biome-BGC.	79
Tabela 14 - Parâmetros ecofisiológicos necessários para executar o modelo Biome-BGC.	80
Tabela 15 - Parâmetros utilizados no modelo Biome - BGC, parametrização e calibração para o Eucalyptus urophylla x grandis, amostrados na Fazenda Água Limpa, DF. Parâmetro obtido em campo, área experimental de pesquisa - AP e em literatura – L (realizadas pelos autores listados). Os parâmetros que apresentaram valores (-) não foram parametrizados para a corrida Spinup.	91
Tabela 16 - Parâmetros utilizados no modelo Biome - BGC, parametrização e calibração para o Cerrado sentido restrito, amostrados na Fazenda Água Limpa, DF. Parâmetro obtido em campo, área experimental de pesquisa (AP), literatura, realizados pelos autores listados (L), e estimado, simulado pelo Biome-BGC (E).	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de Cerrado sentido restrito e do plantio de Eucalipto na Fazenda Água Limpa (FAL), Distrito Federal, Brasil.	15
Figura 2 - Biomassa e Carbono da parte aérea, estimados para os indivíduos vivos, em função da idade, para os anos de 2014 e 2016 em área de Cerrado e para o povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>grandis</i> , amostrados na Fazenda Água Limpa, DF.	38
Figura 3 - Estoque de Carbono ($Mg\ ha^{-1}$) para os compartimentos mensurados nas áreas de Cerrado sentido restrito e <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>urophylla</i> , amostrados na Fazenda Água Limpa, DF.	42
Figura 4 - Deposição de serapilheira no período de dezembro de 2014 a setembro de 2016 para as áreas de Cerrado sentido restrito e Eucalipto, amostrada na Fazenda Água Limpa, DF.	44
Figura 5 - A – Percentual dos componentes depositados em Cerrado sentido restrito; B - Componentes em percentual da serapilheira depositada em <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>grandis</i> , amostrado na Fazenda Água Limpa, DF, referente ao período de coleta de setembro de 2015 a agosto de 2016.	45
Figura 6 - Vista panorâmica das áreas de estudo na Fazenda Água Limpa, DF. A – Cerrado sentido restrito, e B - <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>grandis</i> , a partir do andaime das torres de fluxos.	52
Figura 7 - Dados meteorológicos, em dias juliano, da área de estudo na Fazenda Água Limpa, DF. A - Radiação Global ($W\ m^{-2}$); B - Deficit de Pressão de Vapor (kPa); C- Umidade relativa do ar (%); D - Temperatura média ($^{\circ}C$) e E - Precipitação (mm).	59
Figura 8 - Média diária do fluxo de NEE, CO_2 em ($g\ m^{-2}$), nas vegetações de Eucalipto (A) e Cerrado (B) no período de 2012 a 2016, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF.	61
Figura 9 - Fluxo da NEE, médias diárias de CO_2 em ($g\ m^{-2}$), para as áreas de Cerrado sentido restrito e <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>grandis</i> , amostrado na Fazenda Água Limpa, DF.	62
Figura 10 - Médias diárias do fluxo de CO_2 em ($g\ m^{-2}$) por meio da assimilação (GEP) e respiração (RE) no período de 2012 a 2016, amostradas na Fazenda Água Limpa, DF.	63
Figura 11 - Média mensal do fluxo de CO_2 nos meses de agosto a outubro, de 2013 a 2015.	64
Figura 12 - Médias diárias do fluxo de energia, LE e H no período de 2012 a 2016 para as áreas de Cerrado e Eucalipto, amostradas na Fazenda Água Limpa, DF.	65
Figura 13 - Absorção e emissão do fluxo de calor no solo (G) em área de Cerrado e de de Eucalipto, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF.	67
Figura 14 - Fechamento do balanço de energia para área de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>grandis</i> e para o Cerrado sentido restrito, amostrada na Fazenda Água Limpa, DF.	67
Figura 15 - Atenuação da radiação no Biome-BGC. Fonte: Modificado de Thornton (1998).	73
Figura 16 - Fluxos e reservas de água no Biome-BGC. Fonte: Modificado de Thornton (1998).	74
Figura 17 - Reservatórios de Carbono e nitrogênio no modelo Biome-BGC. Fonte: Modificado de Thornton 1998.	75
Figura 18 - Fluxos de Carbono e nitrogênio no Biome – BGC oriundo de compartimentos da planta em decomposição. Fonte: Modificado de Thornton (1998).	77
Figura 19 - NEE observada e simulada por meio do modelo Biome-BGC para a vegetação de Cerrado sentido restrito e <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>urophylla</i> , amostrada na Fazenda Água Limpa, DF.	98

Figura 20 - NEE estimada e observada, validação do modelo Biome - BGC, para a vegetação de Cerrado sentido restrito, Sim. I – Simulação I e obs. – valores observados pelo método de covariância de vórtices turbulentos, amostradas na Fazenda Água Limpa, DF.	100
Figura 21 - A - variação de CO ₂ e anomalias da temperatura global. Fonte: adaptado (NOAA, 2017 a,b) e B - simulação I e II para o fluxo da NEE (Biome-BGC) e dados observados (Covariância de vórtices turbulentos).	101
Figura 22 - Anomalias da temperatura terrestre e oceânica de 2013 a 2016, com relação a um período de base de 1981 a 2010 e B – percentis de temperatura terrestre e oceânica de 2013 a 2016. Fonte: Adaptado NOAA (2017c).	102

1 - INTRODUÇÃO GERAL

Dentre os fatores que favorecem a vida existente na biosfera, preconiza – se o processo natural chamado de “efeito estufa” (NOBRE et al., 2012). O dióxido de Carbono (CO₂) é o principal gás de efeito estufa: está presente na atmosfera e é estocado em diversos reservatórios, como oceanos, solos e vegetação (HOUGHTON; WOODWELL, 1989; TRUSILOVA; TREMBATH; CHURKINA, 2009). Em concentrações adequadas, o CO₂ presente na atmosfera é essencial na manutenção do equilíbrio climático e para o metabolismo das plantas (LARCHER, 2006).

O fluxo de Carbono compreende os processos da fotossíntese, fotorrespiração e respiração da vegetação, somado à respiração do solo (KELL, 2012). A absorção de CO₂ por meio da produção de biomassa vem sendo alvo de estudos acerca do papel que a vegetação exerce sobre o CO₂ excedente na atmosfera.

Nas últimas décadas, as concentrações de CO₂ na atmosfera têm apresentado aumentos significativos (NOAA, 2017a), decorrentes, principalmente, de atividades antrópicas e da emissão de gases de efeito estufa, como o CO₂ e o vapor d’água, causando alterações no clima. Dentre as ações estratégicas utilizadas para minimizar e mitigar os efeitos dessas alterações está a manutenção de florestas nativas e a produção de biomassa por meio do plantio de florestas (fonte de energia renovável).

Na literatura são notadas duas hipóteses, quanto à influência do aquecimento global e o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera sobre a alteração do fluxo de energia e evapotranspiração. A primeira, considera que o aumento de CO₂ na atmosfera e o aquecimento global provocam a aceleração do ciclo hidrológico por meio do aumento da transpiração e evaporação (CASE, 2006). Contudo, a segunda hipótese acredita que estes ocasionam a redução na transpiração e na evaporação (BIUDES et al., 2012; DUBREUIL et al., 2012) e, conseqüentemente, diminuição na precipitação.

Os estômatos das plantas apresentam menor abertura na presença de altas concentrações de CO₂ (FIELD et al., 1995), o que reduz diretamente o fluxo de vapor de água da superfície para a atmosfera (SELLERS; RANDERSON; MALMSTRONG, 1996). Isto pode aumentar a temperatura do ar próximo da superfície terrestre pelo aumento da razão entre o fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente, razão de Bowen

(SALAZAR; NOBRE; OYAMA, 2007) e também contribuir para um decréscimo na precipitação (BETTS et al., 2004).

Registros históricos indicam a ocorrência de mudanças climáticas globais influenciadas pelas altas concentrações de CO₂ na atmosfera, provocando extinção significativa de várias espécies vegetais (STEINTHORSDOTTIR et al., 2012). A extinção pode ter acontecido devido às respostas fisiológicas das plantas em relação à concentração de CO₂ e aumento de temperatura.

A substituição da vegetação nativa por culturas comerciais é um fator que pode influenciar na concentração de CO₂ e no fluxo de energia. Essa substituição pode potencialmente alterar a hidrologia regional no Cerrado (OLIVEIRA et al., 2005; SILVA et al., 2006a). Estudos realizados por Ferreira et al. (2007) e Oliveira et al. (2005) mostraram que a diminuição da umidade do solo em função do aumento da taxa de evapotranspiração pode atingir camadas profundas do solo (até 10 m de profundidade) permitindo que a transpiração seja mantida mesmo durante a estação seca (período de maio a agosto em áreas localizadas no Bioma Cerrado). Segundo Goldstein et al. (2008) e Meinzer et al. (1999), embora as árvores do Cerrado tenham acesso à reservas de água em diferentes estratos de profundidade, elas mantêm taxas semelhantes de perda de água por dia durante todo o ano devido a restrições hidráulicas.

A evapotranspiração no Cerrado pode variar de 800 mm ano⁻¹ a 1500 mm ano⁻¹ (CABRAL et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2014; VOURLITIS et al., 2014; ANDRADE et al., 2014; GIAMBELLUCA et al., 2009; ANDRADE et al., 2009; QUESSADA et al., 2008). A partir dos estudos acima, infere-se que a evapotranspiração pode contribuir com até 80 % da precipitação anual, média de 800 mm. A precipitação é controlada pelas dimensões físicas da vegetação e pelos processos de extração ativa de água resultantes de atributos fisiológicos de plantas que compõem determinado ecossistema (ZOU et al., 2014), ou seja, alterando o tipo de vegetação, pode-se alterar a quantidade de precipitação regional no Cerrado.

Segundo Lascher (2006), o ciclo da água é o maior movimento de matéria da Terra, e, ao mesmo tempo, o mais importante fluxo de energia, pois, grande parte da energia solar absorvida pela superfície terrestre é consumida para a evaporação da água. Portanto, predominam mecanismos de *feedback* e retroalimentação, isto é, com uma menor evaporação, consequência da diminuição da precipitação, maior será a quantidade

de energia solar armazenada na superfície terrestre, contribuindo para o aumento da temperatura (BROVKIN, 2002).

Diante do exposto, é necessário utilizar mecanismos para a quantificação da alocação de Carbono e dos fluxos de CO₂ e água nos ecossistemas terrestres. Dentre esses mecanismos há o desenvolvimento e ajustes de modelos matemáticos que fornecem estimativas confiáveis de Produtividade Primária Líquida (PPL).

Nesta pesquisa, em relação ao fluxo e a alocação de Carbono, foram avaliados por meio da assimilação na vegetação e pelo fluxo presente na atmosfera em dois ambientes: o natural; Cerrado sentido restrito e plantada; povoamento de Eucalipto, híbrido clonal, *Eucalyptus urophylla x grandis*, decorrente da substituição da vegetação natural por plantada. Após obter dados da estimativa da biomassa e dos fluxos de energia que envolvem esses dois ambientes foi possível estimar a assimilação de Carbono dessas áreas, assim como estimar para outros povoamentos de Eucalipto que se assemelham em condições edafoclimáticas, bem como, idade, espécie e espaçamento. Para tanto, foi utilizado o modelo baseado em processo *Biome – BioGeoChemistry* – (Biome - BGC). Esse modelo é associado a medições ecológicas e climáticas.

O ajuste do modelo baseado em processos, Biome-BGC, fornecerá base para quantificar o fluxo entre a atmosfera e a biosfera, por meio da validação, comparando-o com fluxos turbulentos verticais mensurados por meio de torres de fluxos. Através dessa ferramenta será possível compreender os mecanismos que a envolvem e comparar com os outros meios de quantificação e, assim, obter parâmetros para avaliar o desempenho desse modelo. Por fim, espera-se que a abordagem utilizada nessa pesquisa seja adequada para o desenvolvimento de uma parametrização geral para o Cerrado sentido restrito e para povoamentos de Eucalipto na simulação de estimativas regionais de estoque e fluxo de Carbono.

1.2 - OBJETIVO GERAL

- ✓ Compreender as implicações das trocas de energia e massa pelo ecossistema na substituição da vegetação nativa do Cerrado sentido restrito por povoamento de Eucalipto (híbrido clonal, *Eucalyptus urophylla x grandis*) para fins energéticos.

1.2.1 - Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar a área de Cerrado sentido restrito e do povoamento de Eucalipto quanto às condições edáficas, produção de biomassa e atributos da vegetação;
- ✓ Modelar, por meio da assimilação de CO₂ e do fluxo de energia, o estoque e o fluxo de Carbono em área de Cerrado sentido restrito natural e em área de povoamento de Eucalipto implantada em área que originalmente era coberta por Cerrado sentido restrito;
- ✓ Modular os fluxos e energia resultantes pelo método de Covariância de Vórtices Turbulentos, “*Eddy Covariance*”, em área de vegetação nativa de Cerrado sentido restrito e de povoamento de Eucalipto;
- ✓ Parametrizar, calibrar e validar o modelo baseado em processos Biome - BGC em vegetação nativa de Cerrado sentido restrito e de povoamento de Eucalipto.

1.2.2 - Questões de Pesquisa

Qual o comportamento do fluxo de Carbono e energia na vegetação de Cerrado sentido restrito e no povoamento de Eucalipto (híbrido *Eucalyptus urophylla x grandis*) implantado em área que originalmente era coberta por Cerrado sentido restrito, considerando características intrínsecas de ambas vegetações e de suas condições edafoclimáticas?

Quais os principais fatores biofísicos que interferem na variabilidade do fluxo de Carbono dos dois tipos de vegetação (natural e plantada)?

1.3 - HIPÓTESES

I - A substituição da vegetação nativa, Cerrado sentido restrito, em função da vegetação monoespecífica de Eucalipto, altera a dinâmica e a troca dos fluxos de energia e CO₂, da superfície para a atmosfera, resultando, a longo prazo, no aumento do calor latente (LE) e diminuição do calor sensível (H).

II – O modelo Biome – BGC irá modelar os fluxos e trocas de massa no Cerrado sentido restrito, partindo dos seguintes pressupostos: o modelo estima processos e fluxos por

unidade de área, assim como a dinâmica em um ponto no espaço de um tipo de vegetação funcional (WARING; RUNNING, 2007); a alta diversidade de espécies e a complexidade na interação entre os grupos funcionais de plantas no Cerrado dificulta a predição de trocas de energia e massa no ecossistema, fundamentado na mensuração ao nível de planta (GIAMBELLUCA et al., 2009).

1.4 - REFERENCIAL TEÓRICO

1.4.1 - Cerrado sentido restrito e povoamentos de Eucalipto

O Cerrado sentido restrito, considerada a vegetação típica do Cerrado, abrange cerca de 60 a 70% do bioma (SOLBRIG, 1996; RIBEIRO; WALTER, 1998; FELFILLI; SILVA-JÚNIOR, 2005). Este bioma é considerado a savana tropical mais rica do mundo em espécies vegetais (RIBEIRO; WALTER, 2008), segundo maior bioma da América do Sul depois da Floresta Amazônica, ocupando cerca de 22% do território brasileiro (JEPSON, 2005). A flora desse Cerrado conta com 12.356 espécies (MENDONÇA et al., 1998) distribuídas em várias fitofisionomias, com destaque para algumas plantas endêmicas, aproximadamente 40 % (MYERS et al., 2000).

O Cerrado sentido restrito é caracterizado por uma paisagem composta por um estrato herbáceo dominado, em termos de biomassa por gramíneas e, um estrato arbóreo-arbustivo variando em cobertura de 10 a 60% (EITEN, 1972). Apesar da alta diversidade de espécies registradas no bioma, grande parte de sua cobertura original já foi devastada, aproximadamente 55% (SANO et al., 2010), contribuindo para a perda de biodiversidade.

Essa fitofisionomia pode ser subdividida em Cerrado denso, Cerrado ralo, Cerrado rupestre e Cerrado típico, dependendo da cobertura do estrato arbóreo e das condições de sítio (RIBEIRO; WALTER, 1998). O uso de árvores do Cerrado mais comumente citado na literatura é a utilização da madeira para produção de lenha (VALE; BRASIL; LEÃO, 2002) e carvão (DUBOC et al., 2007; ABRAF, 2012).

Haridasan (2000) afirma que o Cerrado apresenta característica peculiar, bastante típica, quando comparada a outros tipos de vegetação, ou seja, apresenta alta proporção de biomassa subterrânea em relação à parte aérea, resultado de elevado quociente entre raiz e parte aérea. Paiva et al. (2011) quantificaram o estoque de Carbono em uma área de Cerrado sentido restrito e concluíram que a maior concentração de Carbono se encontra na camada subterrânea, incluindo solo e biomassa subterrânea. Dentre os processos que

contribuem para o estoque de Carbono no solo destacam-se: a fotossíntese que leva o Carbono para as estruturas de raiz por meio de exsudatos (KELL, 2012) e a serapilheira, na formação da matéria orgânica (LARCHER, 2006). Todos estes processos contribuem para que o solo do Cerrado sentido restrito seja um componente do ecossistema que armazena grandes quantidades de Carbono.

A manutenção de formações vegetais naturais bem como formação de plantações florestais são instrumentos úteis de assimilação e fixação de Carbono, e podem influenciar na distribuição de Carbono entre os diferentes componentes do material orgânico de cada ecossistema (COSTA et al., 2005). De uma forma geral, o Carbono estocado no solo e na vegetação representa cerca de 20 a 25 % do Carbono terrestre mundial (CERRI et al., 2001) sendo o restante estocado nos oceanos.

No Brasil, o Eucalipto é a principal espécie utilizada em plantios florestais para fins industriais, cuja produtividade é considerada a maior do mundo (STCP, 2012). A área de floresta plantada brasileira ocupa a 5º posição mundial (FAO, 2012). Cerca de 5,56 milhões de hectares são plantações de Eucalipto, o que representa 72,2% da área total plantada. As plantações estão localizadas principalmente nos estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%) (IBA, 2016).

Existem alguns fatores que influenciam o plantio de Eucalipto no Brasil. Elencam-se: investimentos governamentais e não governamentais, condições edafoclimáticas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento e melhoramento genético. Associam-se às condições favoráveis: o rápido crescimento; ciclo curto de corte; e, a elevada produtividade, que pode alcançar em média $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, dependendo da capacidade de sítio, adoção de práticas silviculturais adequadas e manejo florestal. As plantações de Eucalipto devido ao rápido crescimento e produção de biomassa, têm potencial de capturar e imobilizar Carbono em grandes quantidades (GATTO et al., 2010), absorvendo CO_2 da atmosfera e alocando em sua biomassa e no solo (DU TOIT, 2008). Esses plantios de Eucalipto, após pesquisas, podem ser considerados relevante na absorção do Carbono atmosférico.

1.4.2 - Solos de ecossistemas florestais e serapilheira

O Cerrado sentido restrito ocorre principalmente sobre Latossolos (HARIDASSAN, 2002), que cobrem 46% do bioma Cerrado (GOODLAND, 1971), e,

em proporções menores, em Neossolos Quartzarênicos, Cambissolos e sobre pequenas manchas de Neossolos Litólicos (REATTO et al., 2008).

As propriedades físico-químicas dos solos são um dos fatores determinantes para as fitofisionomias do Cerrado (RUGGIERO et al., 2002; KLINGER; JACOMINE, 2009; PINHEIRO; MONTEIRO, 2010), cruciais na estrutura da vegetação e estratégias de captação de água no lençol freático (ROSSATO et al., 2012), na dinâmica da água no solo (OLIVEIRA FILHO et al., 1989; OLIVEIRA FILHO et al., 1997) e também nas configurações de relevo e topografia (GIBBS et al., 1983; FURLEY; RATTER 1988; FURLEY, 1996),

O Cerrado sentido restrito ocorre em solos que apresentam baixa fertilidade natural, elevada acidez, que confere baixa saturação por bases, e são classificados como distróficos (HARIDASSAN, 1992). Contudo, fitofisionomias de Cerrado, que exibem maior densidade arbórea, em geral demandam solos com maior fertilidade natural e apresentam maior teor de argila (EITEN, 1993; SKORUPA et al., 2012, GIÁCOMO et al., 2015).

Por conseguinte, a baixa disponibilidade de nutrientes do solo ainda reflete na baixa concentração de nutrientes das folhas em comunidades associadas aos solos distróficos (HARIDASAN, 1992), todavia, em solos que apresentam, em geral, maior disponibilidade de nutrientes, há maior concentração de nutrientes nas folhas (HARIDASSAN, 2000), resultando na formação de serapilheira com maior concentração de nutrientes.

Sob essa perspectiva, a produção e composição da serapilheira é influenciada por fatores edáficos e fenologia das espécies que compõem a comunidade vegetal em área de Cerrado (PAIVA; SILVA; HARIDASAN, 2015). Assim, a ciclagem de nutrientes da serapilheira no Bioma Cerrado pode ser suscetível às variações sazonais, gerados pelos padrões de produção da vegetação e pela frequência anual de perda de folhas (FRANCO et al., 2005).

A produção de serapilheira é importante no controle da ciclagem de nutrientes (BARNES et al., 1997). O Bioma Cerrado provavelmente selecionou espécies com elevada capacidade de tomar e reter nutrientes em seus tecidos, por meio do desenvolvimento de mecanismos eficientes e conservadores para minimizar perdas de

nutrientes e elevadas taxas de reabsorção dos mesmos, o que resulta na produção de serapilheira com elevada relação de Carbono/nitrogênio (C/N) e taxas de decomposição lenta (NARDOTO et al., 2006).

Nesse contexto, estudos realizados por Kozovits et al. (2007) mostraram que plantas do Cerrado apresentam reabsorção de nitrogênio (N) em folhas senescentes intermediárias ou incompletas, apoiando a ideia de que N não é limitante para as plantas do Cerrado, já que, para o fósforo (P), a reabsorção foi eficiente e completa, circunstância esta que reforça os mecanismos das plantas para manter e tornar menores as perdas de nutrientes durante a senescência.

Logo, o teor de N nos resíduos orgânicos influencia a velocidade da decomposição e é uma medida útil de reciclagem de nutrientes em ecossistemas (LASCHER, 2006), sendo que resíduos com elevada relação C/N demoram mais para serem decompostos (MARQUES et al., 2000). Portanto, a liberação rápida de nutrientes e seu melhor reaproveitamento por parte da vegetação é influenciada pela taxa de decomposição e mineralização da serapilheira (ARATO; MARTINS; FERRARI, 2003). Os nutrientes absorvidos pelas raízes por meio da deposição da serapilheira, e posteriormente, decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos são assimilados e alocados nos diferentes compartimentos nas plantas (LARCHER, 2006).

1.4.3 - Modelagem aplicada à quantificação do CO₂ e ao fluxo de energia

O sistema biosfera-solo representa importante reservatório de Carbono (KORNER, 2003). Os ecossistemas terrestres acumulam Carbono no decorrer da sucessão ecológica, porém, a taxa de acúmulo apresenta declínio no momento em que as florestas atingem a maturidade (SCHOLES; NOBLE, 2001), de forma que as mudanças do uso do solo nesses ecossistemas conduzem a emissões de CO₂ para a atmosfera, enquanto outras conduzem a sumidouros de CO₂ (LE QUÉRÉ et al., 2016).

Nos últimos 10.000 anos o balanço de Carbono terrestre foi aproximadamente equilibrado (FRIEDLINGSTEIN; PRENTICE, 2010). Entretanto, nas últimas décadas, a biosfera se transformou em uma fonte de CO₂ (LE QUÉRÉ et al., 2009). A mudança do uso do solo tem alterado a tendência natural do fluxo tanto de nitrogênio (FILOSO et al., 2006) quanto de Carbono (YUE; UNGER; ZHENG, 2015). Resta notório que atividades antrópicas têm a capacidade de alterar a disponibilidade de nutrientes em ecossistemas

devido à deposição de nutrientes, gerando consequências para os processos ecossistêmicos (KOZOVTS et al., 2007), uma vez que a alteração no uso do solo pode transformar um ecossistema armazenador em fonte de Carbono para a atmosfera (DIEKOW et al., 2005), sendo os processos de respiração e decomposição um dos principais meios (SITCH et al., 2015).

O Carbono terrestre é influenciado por múltiplos fatores, motivo pelo qual é essencial compreender os processos biogeoquímicos relacionados ao fluxo de Carbono (SCHULZE et al., 2009; FRIEDLINGSTEIN; PRENTICE, 2010). Para compreender a dinâmica do Carbono nos ecossistemas é necessário avaliar os impactos do uso e manejo dos solos, por meio da quantificação de estoques iniciais de referência presentes, antes da mudança do uso do solo (DENARDIN et al., 2014).

Aliado às pesquisas sobre a produtividade e o estoque de Carbono em ecossistemas nativos e plantios de Eucalipto, Campoe (2012) menciona a importância de monitorar a produção florestal, o balanço de Carbono e os padrões de alocação de Carbono para os diferentes compartimentos da árvore. Sendo necessária a modelagem por meio de parâmetros relacionados com a estrutura da vegetação, bem como os processos que influenciam no desenvolvimento e produtividade. Conclui-se, pois, que os dados referentes à produtividade e à alocação são necessários para a calibração e validação de modelos ecofisiológicos e empíricos (RYAN et al., 2010).

Por pertinente, existem vários tipos de modelos utilizados na modelagem do planejamento da produção florestal, podendo ser equações matemáticas de processos fisiológicos ou qualquer representação física da forma ou função de entidades (SANQUETTA, 1996). Os graus de complexidade desses modelos variam desde os mais fundamentais/elementares até os complexos.

Há duas tendências na utilização da modelagem do crescimento e da produção: 1) modelos baseados em processos que, segundo Baesso, Ribeiro e Silva. (2010), associam a produtividade florestal aos processos ecofisiológicos que controlam o crescimento (alocação de biomassa, respiração, fotossíntese, nutrição e queda de folhas e galhos); e 2) modelos descritivos, biométricos ou empíricos, relacionados ao desenvolvimento do povoamento florestal pelos efeitos indiretos do ambiente e de práticas silviculturais (ABREU, 2002; YUAN et al., 2007; SOMOGYI et al., 2010) . Por sua vez, os modelos descritivos ou biométricos ou empíricos podem ser classificados em modelos de

distribuição por classe diamétrica, povoamento total ou de árvores individuais (SANQUETTA, 1996).

Já os modelos baseados em processos, também denominados de mecanísticos, podem ser caracterizados ou definidos por uma representação matemática de sistemas biológicos, que reúnem conhecimentos sobre mecanismos ecológicos e fisiológicos por meio de algoritmos preditivos, conferindo-lhes maior capacidade de extrapolação, embora, em algumas circunstâncias, com menor acurácia (JOHNSEN et al., 2001). Nesse mesmo sentido, os modelos mecanísticos que calculam os fluxos também podem ser usados para compreensão de entendimentos teóricos básicos de funções do ecossistema que não podem ser mensurados com os métodos de campo (CHURKINA; RUNNING, 1998; SCHIMEL et al., 1996; VETTER et al., 2008).

Como se sabe, o Cerrado apresenta alta diversidade de formas de crescimento: árvores, arbustos e gramíneas. Mensurar os fluxos turbulentos em suas fisionomias com tão alta disparidade espacial, requer procedimento adequado de amostragem usando uma escala análoga ou superior à escala de variabilidade do ecossistema (CABRAL et al., 2015). Estudos realizados em áreas de Cerrado utilizaram a técnica de covariância de vórtices turbulentos, “*Eddy covariance*” (EC), para quantificar o balanço de energia e o fluxo evapotranspiratório (CABRAL et al., 2015; RODRIGUES et al., 2014; RUHOFF et al., 2014; FERNANDES; NERY, 2013).

Aliado ao método EC, são utilizados o sensoriamento remoto e os modelos baseados em processos para quantificação de Carbono (LOKUPITIYA et al., 2016). O sensoriamento remoto é uma ferramenta na modelagem e na interação vegetação-atmosfera, além de diagnosticar as variações e impactos das mudanças no uso da terra (LUCAS et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2014). A utilização de modelos baseados em processos, somado ao método de EC tem sido empregada para a estimativa do balanço de energia em savanas brasileiras e floresta amazônica (CHRISTOFFERSEN et al., 2014). À toda evidência, devido à necessidade de parametrização e calibração de parâmetros, aliada à alta diversidade de espécies no bioma Cerrado, os modelos mecanísticos não são utilizados na maioria dos trabalhos realizados, e em andamento, para a estimativa do fluxo de energia e CO₂ no Cerrado.

Presente tal contexto, os modelos mecanísticos podem ser utilizados para avaliar o comportamento do ecossistema em resposta às mudanças climáticas e alteração do uso

do solo (KATUL et al., 2001), uma vez que, por meio da modelagem é possível aplicar ferramentas aptas para a realização de estimativas dos processos críticos e prognosticar o comportamento futuro do ecossistema. Ressalte-se que as estimativas podem ter escala com variação regional a global, quando a amostragem de campo é impraticável (HANSON et al., 2004).

Segundo Wang et al. (2014), há necessidade de mais estudos sobre a resposta dos processos fundamentais do ciclo de Carbono nos ecossistemas tropicais e da sensibilidade da estrutura e composição do ecossistema em relação às mudanças ambientais. Esses novos estudos podem ser obtidos a partir de estudos integrados, combinando modelos que avaliam a dinâmica da vegetação com dados de experimentos de campo monitorados a longo prazo.

2 - ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NO SOLO E DA VEGETAÇÃO EM CERRADO SENTIDO RESTRITO E EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO NA FAZENDA ÁGUA LIMPA, DF

2.1 - RESUMO

Caracterizou-se o estoque de biomassa e Carbono na vegetação e no solo, em função da mudança do uso do solo. Assim, foram amostradas uma área de vegetação nativa de Cerrado sentido restrito e outra de plantio de Eucalipto. No Cerrado sentido restrito a densidade total, área basal e o volume para os indivíduos vivos variou de 1539 ind ha⁻¹, 13,40 m² ha⁻¹ e 24,71 m³ ha⁻¹, respectivamente, para 1563 ind ha⁻¹, 14,81 m² ha⁻¹ e 27,72 m³ha⁻¹, num intervalo de 15 meses. Para o povoamento de Eucalipto com espaçamento médio de 3 m x 3 m, 1123 ind ha⁻¹, o volume variou de 5,22 a 24,60 m³ e incremento médio anual de 8,2 m³ no intervalo de 17 a 36 meses de idade. A razão biomassa radicular/biomassa aérea para Eucalipto (aos 29 meses) foi de 0,33 e no Cerrado sentido restrito foi de 1,36. O valor do estoque de Carbono total no Cerrado sentido restrito, considerando o estoque armazenado até 200 cm de profundidade foi de 257,72 Mg ha⁻¹, sendo que 88,05% corresponderam ao estoque presente no solo, 5,26% às raízes, 4,95% à parte aérea e 1,73% à serapilheira. O valor do estoque de Carbono total para a área de Eucalipto foi de 203,23 Mg ha⁻¹, sendo que 92,48% deste total corresponderam ao estoque presente no solo, 3,88% à parte aérea, 2,60% a serapilheira e 1,03% às raízes. O maior estoque de Carbono no solo se encontra na camada de 0 a 10 cm, para as duas áreas avaliadas. A área de Cerrado, além de apresentar em sua serapilheira, depositada, acumulada e em decomposição menor relação C/N, também exibiu menor taxa de meia vida e menor teor de lignina em serapilheira, quando comparado com a área de Eucalipto. O Eucalipto avaliado, na faixa de idade estudada, 36 meses, ainda não alcançou a produção máxima de biomassa, por isso, durante o intervalo de tempo monitorado nesse estudo, a área de Cerrado apresentou maior estoque de Carbono total. Pode se inferir que a sazonalidade na área de Cerrado não interfere diretamente no IAF, o que pode ser explicado pelo comportamento fenológico das plantas do Cerrado, enquanto que, para o Eucalipto, o IAF foi maior quanto maior a idade do povoamento. A substituição do uso do solo de Cerrado para cultivos de Eucalipto altera o estoque e Carbono para o solo e na biomassa.

Palavras-chave: Cerrado sentido restrito, *Eucalyptus grandis x urophylla*, Carbono, Biomassa

2.2 - ABSTRACT

The biomass and carbon stock in the vegetation and the soil were characterized as a function of the change in soil use. Thus, an area of native vegetation of Cerrado restrict sense and another one of Eucalyptus plantation were sampled. In the Cerrado restrict sense the total density, basal area and volume for live individuals ranged from 1539 ind ha⁻¹, 13,40 m² ha⁻¹ and 24,71 m³ ha⁻¹, respectively, to 1,563 ind ha⁻¹, 14,81 m² ha⁻¹ and 27,72 m³ ha⁻¹, within a 15-month interval. For the Eucalyptus stand with a mean spacing of 3 m x 3 m, 1123 ind ha⁻¹, the volume ranged from 5,22 to 24,60 m³ and an annual mean increase of 8,2 m³ in the range of 17 to 36 months of age. The ratio of root biomass / aerial biomass to Eucalyptus (at 29 months) was 0,33 and in the Cerrado restrict sense was 1,36. The value of the total carbon stock in the Cerrado restrict sense, considering the stock stored up to 200 cm depth was 257,72 Mg ha⁻¹, and 88, 05% corresponded to the soil present, 5, 26% to the roots, 4, 95% to the aerial part and 1, 73% to the litter. The value of the total carbon stock for the Eucalyptus area was 203, 23 Mg ha⁻¹, and 92,48% of this total corresponded to the soil present, 3, 88% to the aerial part, 2, 60% to the litter and 1,03% to the roots. The highest carbon stock in the soil is in the 0 to 10 cm layer, for the two evaluated areas. The Cerrado area, besides presenting in its litter, deposited, accumulated and in decomposing lower C/N ratio, also showed lower half - life rate and lower lignin content in litter, when compared to the Eucalyptus area. The evaluated Eucalyptus, in the studied age range, 36 months, still did not reach the maximum biomass production, so, during the time interval monitored in this study, the Cerrado area presented a higher total Carbon stock. It can be inferred that the seasonality in the Cerrado area does not directly interfere with the LAI, which can be explained by the phenological behavior of the Cerrado plants, while for the Eucalyptus, the LAI was larger the longer the settlement age. The substitution of the soil of Cerrado for Eucalyptus plantations alters the stock and Carbon for the soil and biomass.

Key words: Cerrado sense restrict, *Eucalyptus grandis x urophylla*, Carbon, Biomass

2.3 - INTRODUÇÃO

Na região do bioma Cerrado, uma fitofisionomia que desempenha importante papel no ciclo global do Carbono, atuando como grande assimilador e acumulador de Carbono, é o Cerrado sentido restrito (PELLEGRINI; HOFFMANN; FRANCO, 2014). Conseqüentemente, a substituição de suas áreas naturais por outros usos do solo, pode acarretar modificações imensuráveis no estoque de Carbono presente nesse ecossistema.

Uma das formas mais comuns de ocupação de áreas naturais de Cerrado sentido restrito tem sido o plantio de florestas homogêneas, como florestas de *Eucalyptus sp.*, principalmente. O Eucalipto tem rápido crescimento e sua biomassa tem potencial de capturar e imobilizar Carbono (GATTO et al., 2010) em grandes quantidades, absorvendo CO₂ da atmosfera e alocando Carbono em sua biomassa e no solo (DU TOIT, 2008).

Nessa perspectiva, o Brasil ocupa a 5^o posição mundial em área de florestas plantadas (FAO, 2012), de modo que o Eucalipto é a principal espécie utilizada, sobretudo, em plantios florestais para fins industriais. A produtividade brasileira de florestas de Eucalipto é considerada a maior do mundo (STCP, 2012). O Brasil tem aumentado sua produtividade em plantios de Eucalipto (STAPE et al., 2010). A biomassa oriunda do Eucalipto é utilizada, principalmente, para produção de celulose e para fins energéticos (IBÁ, 2015). A idade de corte é um dos fatores que elevam a demanda, podendo variar de dois a sete anos para energia, quando comparado a países que apresentam em média 20 anos, para esse mesmo fim. Essa espécie representa 71,9% da área plantada com florestas no país (IBÁ, 2015). O que pode ser considerada, após pesquisas, relevante na absorção do Carbono atmosférico.

Para compreender a dinâmica do Carbono nos ecossistemas é necessário avaliar os impactos do uso e manejo dos solos, por meio da quantificação de estoques iniciais de referência presentes, antes da mudança do uso do solo (DENARDIN et al., 2014). Após compreender e quantificar o conteúdo de Carbono, na vegetação e principalmente no solo, pode se utilizar os dados para a estimativa a nível local e regional. Nesse sentido, o objetivo desse capítulo foi comparar o estoque de biomassa e Carbono na vegetação e no solo em função da mudança do uso do solo. Para tanto, foram amostradas uma área de vegetação nativa de Cerrado sentido restrito e outra de povoamento de Eucalipto, aos 36 meses de idade.

2.4 - MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 - Área de estudo

Este estudo foi conduzido na Reserva Ecológica e Experimental da Universidade de Brasília, Fazenda Água Limpa (FAL), Brasília - Distrito Federal. Importante ressaltar que a FAL (Figura 1) possui aproximadamente 4.340 ha e está inserida na Área de Proteção Ambiental Gama e Cabeça-de-Veado, que faz parte da Reserva da Biosfera do Cerrado. Da área total da FAL, aproximadamente 54 % são destinados a preservação e o restante, às áreas de ensino, pesquisa e extensão.

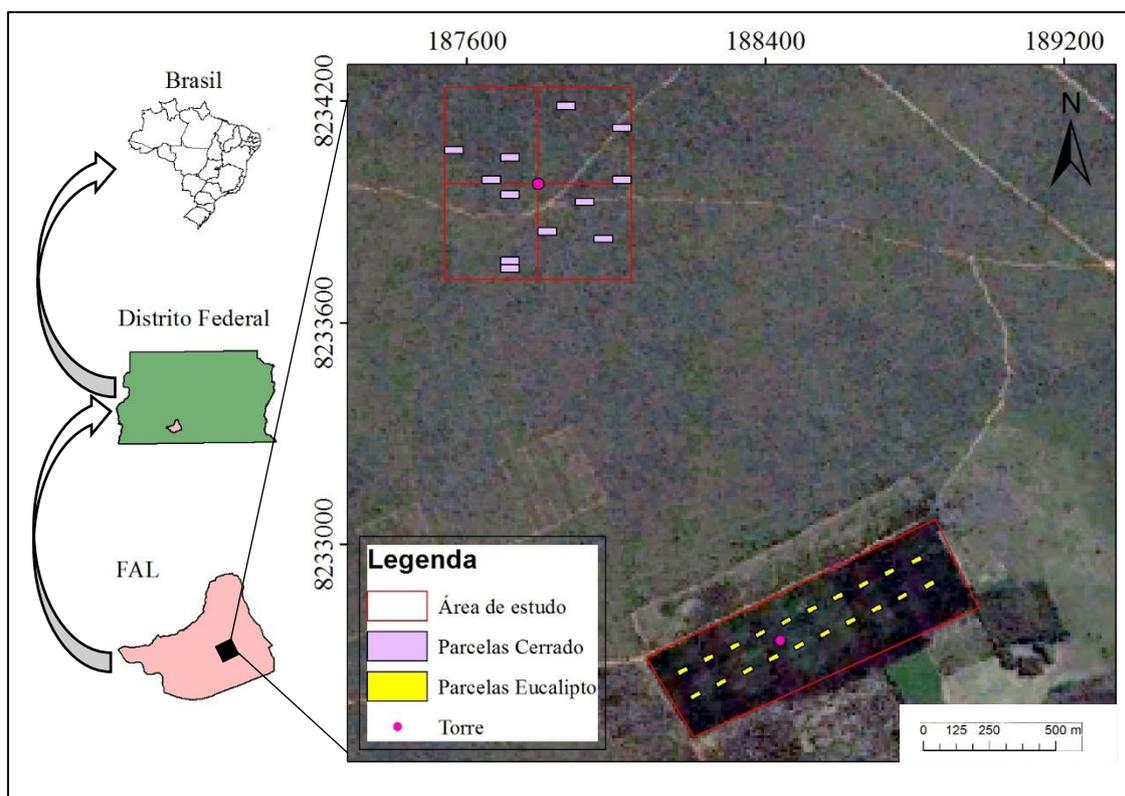


Figura 1 - Localização da área de Cerrado sentido restrito e do plantio de Eucalipto na Fazenda Água Limpa (FAL), Distrito Federal, Brasil.

Existem diversas fitofisionomias de Cerrado na FAL, como Campo limpo, Campo sujo, Cerrado sentido restrito, e Mata de galeria (FELFILI et al. 2000). Estudo realizado por Felfili et al. (1994) relata a ocorrência de 1.100 espécies de plantas na FAL distribuídas entre 135 famílias botânicas, dentre elas se destacam Fabaceae, Myrtaceae, Rubiaceae, Gramineae, Vochysiaceae e Compositae, as de maior destaque. O Cerrado sentido restrito ocupa aproximadamente 1.480 ha, sendo a fitofisionomia predominante na FAL (REZENDE; SANQUETTA; FILHO, 2005). O solo predominante no Cerrado

sentido restrito da FAL é o Latossolo Vermelho Amarelo, com baixa disponibilidade em nutrientes e com alto teor de alumínio (HARIDASAN, 1990).

Na área da FAL, destinada para pesquisa, foi conduzido o plantio, em março de 2013, do híbrido clonal, *Eucalyptus urophylla x grandis* no espaçamento 3 m x 3 m. A área total do experimento é de 23 ha. No preparo do solo foram realizadas a subsolagem com 70 cm de profundidade e fertilização, 600kg ha⁻¹ de Super fosfato simples. A adubação de base foi de 200 g/cova de NPK 20:05:20, o fertilizante foi aplicado em covetas a 15 cm de distância da muda. A adubação de base foi realizada nos seguintes períodos; quinze dias, dois meses, um ano e dois anos após o plantio. Essa área, que na década de 70 era ocupada pelo Cerrado sentido restrito, foi destinada na época para o setor de silvicultura.

O clima da região de estudo, FAL, é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (NIMER, 1989), com temperatura média diária variando de 13 °C a 26 °C. A precipitação média anual é de 1.400 mm, com pronunciada estação seca de junho a setembro, e estação chuvosa de outubro a março. A umidade relativa do ar entre maio e setembro fica abaixo de 67%, podendo alcançar 38%, ou menos nos períodos mais secos, e a média de 56%, segundo dados meteorológicos da estação climatológica da FAL.

A realização desta pesquisa envolveu dois tipos de vegetação: uma área natural de Cerrado sentido restrito (Cerrado) e uma área adjacente com plantio de Eucalipto, híbrido clonal *Eucalyptus urophylla x grandis*, (Eucalipto). No Cerrado foram instaladas 12 parcelas 20 m x 50 m, distribuídas aleatoriamente, perfazendo 1,2 ha amostrados. As parcelas foram monitoradas durante dois anos, 2014 a 2016. Segundo Felfili et al. (2005), um total de 10 parcelas é suficiente para estudos fitofisiológicos e esse número tem sido utilizado por vários pesquisadores (AQUINO et al., 2014; REZENDE et al., 2006; ASSUNÇÃO; FELFILI, 2004). A área de Cerrado selecionada exibia bom estado de conservação, tendo apenas alguns sinais de um incêndio florestal que atingiu acidentalmente a área em 2011.

No plantio de Eucalipto de três anos de idade foram implantadas 21 parcelas de 15 m x 30 m (450 m²), distribuídas sistematicamente, totalizando 0,945 ha. As parcelas foram monitoradas durante dois anos (2014 a 2016). O esforço amostral foi menor para o Eucalipto, quando comparado com a área monitorada no Cerrado, devido a homogeneidade do povoamento, enquanto que, o Cerrado é composto por diferentes

estratos, estratos herbáceo e arbóreo-arbustivo (EITEN, 1972), e apresenta elevada diversidade de espécies (RIBEIRO; WALTER, 1998).

2.4.2 - Caracterização dos atributos do solo e da vegetação

2.4.2.1 - Atributos físicos e químicos do solo

Em cada uma das parcelas amostradas tanto no Cerrado quanto no Eucalipto, foram coletadas três amostras de solos (A, B e C). A amostra “A” foi coletada no canto inferior da parcela, a amostra “B” no centro e a “C”, no canto superior, formando uma diagonal.

Para avaliação da fertilidade do solo foram escolhidas aleatoriamente cinco parcelas amostradas no Cerrado e cinco parcelas amostradas no Eucalipto. Em cada parcela e nos três pontos de amostragem (A, B e C) coletou-se amostras de solo em três profundidades: 0 a 10 cm, 10 a 30 cm e 30 a 50 cm. A coleta de solo na profundidade até 50 cm é utilizada em vários estudos que avaliaram os atributos do solo em área de Cerrado sentido restrito (PAIVA; REZENDE; PEREIRA, 2011; KOZOVTS et al., 2007). As amostras foram armazenadas em sacos plásticos com a parte superior aberta para secagem ao ar livre. As amostras simples oriundas de mesma profundidade foram misturadas para obtenção de uma amostra mista homogeneizada para cada parcela.

Em cada amostra mista foram obtidos os seguintes atributos químicos, conforme EMBRAPA (2011): pH em H₂O; acidez potencial (H+Al); fósforo disponível (P), cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺), potássio disponível (K), alumínio trocável (Al³⁺), sódio (Na) e enxofre (S); capacidade de troca de cátion a pH 7 (CTC); soma das bases (S); saturação por bases (V) e por alumínio (m); matéria orgânica (MO) e Carbono orgânico (CO). O teor de CO foi determinado pelo método Walkley e Black (1934).

Para determinar a densidade do solo, foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 10 cm, 10 a 30 cm e 30 a 50 cm, por meio do método do anel volumétrico de bordas cortantes com volume interno de 78,24 cm³ (EMBRAPA, 1997). Coletadas, as amostras foram transpostas e acondicionadas em sacos plásticos e mantidas fechadas dentro de caixa de isopor, a fim de se evitar perda de umidade. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança de precisão para obter o peso da massa úmida (g). A secagem das amostras ocorreu em estufa à 102 °C ± 2 °C, durante 72 horas, visando determinar a massa seca (g). A umidade do solo foi obtida por meio da seguinte equação:

$$U = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (2.1)$$

em que: U = umidade volumétrica do solo, em %; m_i = massa úmida do solo (g); e m_s = massa seca do solo (g).

A partir de m_s e do volume do anel volumétrico ($V = 78,24 \text{ cm}^3$), a densidade do solo (D_s (g cm^{-3})) foi obtida usando a seguinte relação:

$$D_s = \frac{m_s}{V} \quad (2.2)$$

Para obter a resistência à penetração (Mpa) foram realizados ensaios em três pontos de cada parcela, durante a coleta das amostras de solo para fertilidade, utilizando o penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar, com massa de impacto de 4 kg e queda livre de 40,0 cm. A leitura da penetração foi realizada na própria haste, graduada em centímetros (STOLF; FERNANDES; FURLANI-NETO, 1983). Foi registrado o número de impactos (quedas livres) até 40 cm de profundidade. As medidas foram tomadas em cada ponto amostrado, ou seja, em 66 pontos (3 pontos x 21 parcelas) na área de Eucalipto e em 36 pontos na área de Cerrado. Os dados foram avaliados por meio do programa STOLF (2011).

A quantidade proporcional de areia, silte e argila (g kg^{-1}), coletadas para avaliação da fertilidade, foi determinada pela análise granulométrica das amostras compostas de solo (EMBRAPA, 1997). A textura do solo foi determinada pelo método do triângulo textural baseado na classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2013).

A porosidade total do solo (P_t (%)) foi calculada assumindo que a densidade média de partículas de solos minerais para as condições brasileiras é de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ (ELLIOT et al., 1999). A porosidade total foi obtida a partir da seguinte fórmula:

$$P_t = (1 - (D_s/D_p) \times 100) \quad (2.3)$$

em que: P_t = porosidade total (%); D_s = densidade do solo (g cm^{-3}); D_p = densidade das partículas minerais do solo ($2,65 \text{ g cm}^{-3}$).

O estoque de Carbono orgânico das amostras de solo coletadas foi obtido por meio da seguinte equação (VELDKAMP, 1994; FERNANDES; FERNANDES, 2008; USUGA et al., 2010):

$$ECO = ((CO \times Ds \times e)/10) \quad (2.4)$$

em que: ECO = estoque de Carbono orgânico (Mg ha⁻¹); CO = teor de CO na camada do solo amostrada (g kg⁻¹); Ds = densidade do solo (g cm⁻³); e = espessura da camada de solo considerada (cm).

A partir dos dados de densidade e teor de Carbono das amostras de solo foi possível obter o estoque de Carbono no solo em cada uma das profundidades analisadas, ou seja, 0 a 10 cm, 10 a 30 cm e 30 a 50 cm. Para estimar o total de Carbono estocado até a camada de 200 cm de profundidade foram utilizadas as proporções de Carbono no solo indicadas por Castro (1996).

2.4.2.2 - Florística, estrutura e dinâmica da vegetação lenhosa arbórea-arbustiva do Cerrado

A análise da estrutura horizontal foi realizada por meio dos seguintes índices: densidade, dominância, frequência e índice de valor de importância (IVI) (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 2002). Os dados foram analisados no software Mata Nativa versão 4.9. Para avaliar as mudanças estruturais da comunidade calculou-se as taxas de mortalidade e recrutamento em termos de número de indivíduos (SHEIL; BURSLEM; AELDER, 1995; SHEIL; MAY, 1996):

$$M = \{1 - [(N_0 - m)/N_0]^{1/t}\} \times 100 \quad (2.5)$$

$$R = [1 - (1 - r/N_t)^{1/t}] \times 100 \quad (2.6)$$

em que: t = tempo decorrido entre os dois levantamentos, N₀ e N_t são os cômputos inicial e final de indivíduos, m e r são o número de indivíduos mortos e recrutadas.

2.4.2.3 - Estoque de biomassa e Carbono na parte aérea da vegetação para a área de Cerrado sentido restrito e Eucalipto.

Para o Cerrado, os inventários realizados em novembro de 2014 e fevereiro de 2016 consideraram toda a vegetação lenhosa viva e morta em pé, com diâmetro da base (Db) a 0,30 cm do solo, igual ou superior a 5 cm. Cada árvore foi identificada botanicamente ao nível de família, gênero e espécie por meio do sistema de classificação botânica APG IV (Angiosperm Phylogeny Group, 2016) e a nomenclatura botânica foi aferida e atualizada de acordo com a Lista de Espécies da Flora do Brasil (FORZZA et al., 2013).

Os diâmetros foram medidos com suta e a altura total com uma régua hipsométrica. Para os troncos que apresentavam irregularidades no Db, foram tomadas medidas em duas direções perpendiculares e calculada a média aritmética das medições. Indivíduos com dois ou mais fustes tiveram os diâmetros de cada fuste tomado separadamente e a área basal foi obtida pela seguinte fórmula (DURIGAN, 2009):

$$G = \Sigma G_n = (Db_1^2 + Db_2^2 + Db_n^2)\pi/4 \quad (2.7)$$

em que: G = área basal (m^2) e Db = diâmetro da base (cm).

Para estimar o volume de cada árvore foi utilizado o modelo ajustado por Rezende et al. (2006), para o Cerrado sentido restrito da FAL, o qual é dado por:

$$V=0,000109Db^2+0,0000154Db^2Ht \quad (R^2 \% = 98,01 \text{ e } Syx \% = 25) \quad (2.8)$$

em que: V = volume individual por árvore (m^3); Db = diâmetro da base, tomado a 0,30 m do solo (cm); Ht = altura total da árvore (m); R^2 = coeficiente de determinação; Syx = erro-padrão da estimativa.

Para a estimativa do estoque de Carbono e biomassa acima do solo foram considerados; o tronco, os galhos e a serapilheira. O tronco e os galhos foram quantificados tanto em árvores vivas quanto em árvores mortas em pé, com base nas equações alométricas desenvolvidas para o mesmo Cerrado sentido restrito avaliado (REZENDE et al., 2006):

$$BS=-0,49129+0,02912Db^2Ht \quad (R^2 = 98,28\% \text{ e } Syx = 25,79\%) \quad (2.9)$$

em que: BS = Biomassa seca em kg por árvore.

Os autores consideraram todos os indivíduos lenhosos com Db, tomado a 0,30 m do solo, igual ou superior a 5 cm. Seções e galhos com diâmetro menor que 3 cm foram desconsiderados no modelo. O carbono estocado na biomassa área, para espécies arbórea-arbustiva foi estimado por meio da multiplicação dos valores de biomassa pelo fator 0,47 (IPCC, 2006).

A vegetação lenhosa viva e morta em pé, com Db a 0,30 cm do solo, igual ou superior a 5 cm foi mensurada e monitorada devido a quantidade de Carbono estocada nesse compartimento (DIXON et al., 1994). O estoque de Carbono nos compartimentos de regeneração natural (indivíduos lenhosos com $Db \leq 5$ cm) e herbáceo (gramíneas e

ervas de caule pouco lignificado) foram estimados, considerando os valores de 5,74% e 11,37%, respectivamente, encontrados por Azevedo (2014) em área semelhante com a estrutura do Cerrado. Os compartimentos de regeneração natural e herbáceo não foram mensurados, embora tenha a presença da riqueza e espécies herbáceas (DURIGAN; RATTER, 2015), pois as mudanças no estoque de Carbono de biomassa herbácea são menores em comparação com as mudanças na biomassa lenhosa (PELLEGRINI; HOFFMANN; FRANCO, 2014).

O povoamento de Eucalipto foi monitorado semestralmente, por meio de quatro inventários entre o período de 2014 a 2016, (agosto/2014; fevereiro/2015; agosto/2015 e fevereiro/2016). Todos os indivíduos vivos e mortos em pé com o diâmetro a altura do peito (DAP) igual ou superior a 1 cm tiveram os valores de DAP e altura total (Ht) registrados. Os indivíduos foram demarcados com etiqueta de alumínio contendo o número da árvore e o número da parcela.

Os DAPs foram mensurados com suta e a Ht com o uso de régua hipsométrica. Troncos com irregularidades no DAP foram mensurados em duas direções perpendiculares e a média aritmética calculada. Árvores com dois fustes foram registrados o DAP e Ht de cada fuste. Os indivíduos foram distribuídos em classes diamétricas de acordo com a fórmula de Sturges (1926) o número de classes é dado por:

$$i \cong 1 + 3,33. \log n \quad (2.10)$$

em que: i = número de classes diamétricas; n = número de indivíduos da amostra.

A amplitude (h) do intervalo de classe foi determinada por:

$$h = \frac{DAP_{max} - DAP_{min}}{i} \quad (2.11)$$

em que: h = amplitude da classe diamétrica; DAP_{max} = diâmetro a altura do peito máximo da amostra; DAP_{min} = diâmetro a altura do peito mínimo da amostra; e i = número de classes diamétricas.

Para o ajuste dos modelos de volume foram selecionados casualmente 4 indivíduos vivos em cada classe diamétrica (SCOLFORO; THIERSCH, 2004). Posteriormente, cada indivíduo selecionado de cada classe de diâmetro foi localizado no campo, cortado ao nível do solo com o uso de motosserra e a cubagem rigorosa realizada

pelo método de Smalian, tomando-se medidas de diâmetro a 0,3; 0,5 e 1,3 passando a ser de 2 em 2 metros, de acordo com a fórmula (MACHADO; FILHO, 2003):

$$Vi = \sum(L(g_i + g_{i+1})/2) + vp \quad (2.12)$$

em que: Vi = volume da árvore (m^3); gi = área seccional da extremidade inferior da seção (m^2); $gi+1$ = área seccional da extremidade superior da seção (m^2) e vp = volume da ponta (m^3).

Para o cálculo do volume da ponta foi utilizada a fórmula do cone (MACHADO; FILHO, 2003):

$$vp = (1/3)g_n \cdot L_p \quad (2.13)$$

em que: g_n = área seccional da extremidade (m^2) e L_p = comprimento da ponta (m).

A partir dos dados da cubagem, foram ajustados cinco modelos volumétricos (Tabela 01) e selecionado aquele de melhor precisão por medição. A seleção do melhor modelo volumétrico considerou as estatísticas coeficiente de determinação (R^2), erro padrão residual (Syx) e análise gráfica dos resíduos. Os ajustes dos modelos foram realizados por meio do Microsoft Excel, 2010 e para o modelo de Shumacher & Hall foi utilizado o programa STATISTICA 7.0.

Tabela 1 - Modelos ajustados para estimar o volume (m^3) das árvores no plantio de Eucalipto.

N	Autor	Modelos
1	Spurr	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 \cdot Ht + \epsilon_i$
2	Näslund	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 + \beta_2 \cdot DAP^2 \cdot Ht + \beta_3 \cdot DAP \cdot Ht^2 + \beta_4 \cdot Ht^2 + \epsilon_i$
3	Meyer	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \beta_3 \cdot DAP \cdot Ht + \beta_4 \cdot DAP^2 \cdot Ht + \beta_5 \cdot Ht + \epsilon_i$
4	Kopezky-Gehrhardt	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 + \epsilon_i$
5	Schumacher e Hall	$Y = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} \cdot Ht^{\beta_2} \cdot \epsilon_i$

Fonte: Adaptado; Scolforo (2005), em que: Y = volume real (m^3); DAP = diâmetro a altura do peito (cm); Ht = altura total (m); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ e β_5 = coeficientes a serem estimados; ϵ_i = erro aleatório.

Após a realização do inventário foi realizada a quantificação do estoque de Carbono na biomassa, considerando os compartimentos folha + galho + tronco. Tomou-se como base o inventário realizado em agosto de 2015. A biomassa foi mensurada

segundo a metodologia adaptada por Gatto et al. (2014). Cubadas pelo método de Smalian, cinco árvores representativas do povoamento determinadas por meio do diâmetro médio quadrático, ausentes de falhas na linha e entrelinha de plantio.

Logo após foram separados e pesados isoladamente os compartimentos das cinco árvores: galhos secos e verdes, folhas, casca e lenho. O lenho foi selecionado após a retirada da casca para facilitar a pesagem em campo. Para o lenho e a casca, foram adotadas duas alturas em cada indivíduo; da base até 5 cm de circunferência e, de 5 cm até 2 cm de circunferência, ao passo que esses compartimentos foram pesados separadamente.

Foram obtidas amostras representativas para cada um dos compartimentos mencionados acima. Posteriormente essas amostras foram pesadas para obtenção da massa úmida. Após a secagem em estufa de ventilação forçada de ar $62^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante o período de 48 horas, obteve-se o peso seco. Em decorrência da relação entre massa seca e úmida de cada amostra, foi obtida a massa seca total dos respectivos compartimentos para cada árvore.

O teor de C/N por compartimento foi quantificado utilizando o analisador CN628 Leco®. Os valores de biomassa seca foram extrapolados por hectare. A densidade básica da madeira foi obtida por meio das amostras do lenho.

2.4.2.4 - Estoque de biomassa e Carbono no solo, no componente radicular e na serapilheira para a área de Cerrado sentido restrito e Eucalipto

A quantificação da biomassa de raízes foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Gatto et al. (2014), adaptada.

No plantio de Eucalipto foram abatidas cinco árvores com diâmetro médio (Dm) do povoamento. Isto se deve ao fato dessas árvores com Dm serem representativas do povoamento (FINGER, 1992). Na área útil de cada árvore abatida foram cavados 08 monólitos com diâmetro médio de 20 cm para coleta de solo em três profundidades (0-20, 20-40 e 40-60 cm). A profundidade máxima de 60 cm foi definida visando estimar com maior precisão, a biomassa de raízes, principalmente, raízes finas. Segundo Mello, Gonçalves e Oliveira (1998) e Witschoreck, Schumacher e Caldeira (2003), respectivamente, 70% e 72,8% das raízes finas se concentram até 30 cm de profundidade, no período seco. Neves (2000) verificou que 81,61% das raízes (finas e grossas) de

Eucalipto são encontradas até 60 cm de profundidade e Cunha et al. (2010) estimaram que 80% da biomassa radicular de gramíneas estão concentradas até 40 cm de profundidade. Portanto, até 60 cm de profundidade, a biomassa de raízes considerou a proporção indicada por Neves (2000) e a partir desse valor foi estimada a biomassa de raízes até 200 cm de profundidade.

Os monólitos para a coleta de raízes foram distribuídos a partir de 75 cm da cepa, na direção da linha e da entrelinha do plantio, formando uma forma de cruz, sendo cada um equidistante de 75 cm do outro. Dessa forma, a área de coleta abrange duas linhas perpendiculares de 3 m cada uma, respeitando o espaçamento entre árvores (3 m x 3 m). As raízes presentes em cada monólito e em cada profundidade de coleta foram separadas do solo e dos demais materiais vegetais com auxílio de peneiras com malha de 1 mm, subdivididas em raízes finas e grossas, ou seja, diâmetro maior que 2 mm e diâmetro igual ou menor que 2 mm, respectivamente (CHEN; EAMUS; HUTLEY, 2003) e, em seguida, classificadas em raízes de Eucalipto e de gramíneas, conforme a coloração que apresentavam.

As raízes também foram lavadas para limpeza do solo aderido, colocadas sobre papel toalha para retirada do excesso de água, e em seguida pesadas em balança de precisão de 0,01 g, para obtenção da correspondente massa úmida. Após pesagem, estas foram secas em estufa de ventilação forçada de ar a $62\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, até obtenção do peso constante de biomassa seca.

Na área de Cerrado foram selecionadas, aleatoriamente, cinco parcelas do inventário, para amostragem de raízes. No centro de cada parcela foi delimitada uma sub-parcela de 2 m². Dois monólitos de solo de 50 cm x 50 cm foram estabelecidos na diagonal desta sub-parcela, dos quais um na extremidade inferior e outro na extremidade superior. Em cada monólito foi realizada a coleta de solo em três profundidades (0-10, 10-30 e 30-50 cm). A profundidade máxima de 50 cm definida para coleta pode ser justificada com base nos estudos de Azevedo (2014) e Castro (2006), os quais observaram que cerca de 83 a 86 % das raízes no Cerrado sentido restrito encontram-se concentradas até 50 cm de profundidade do solo. Ainda, segundo Castro (1996), 58,75% das raízes (finas e grossas) são encontradas até 50 cm de profundidade.

Portanto, a biomassa de raízes até 50 cm de profundidade do solo considerou o percentual de 58,75% de raízes (finas e grossas), sugerido por Castro (1996), e a biomassa

restante, até 200 cm, foi estimada. A separação, classificação, secagem e pesagem das raízes coletadas nos monólitos na área de Cerrado seguiu a mesma metodologia utilizada para raízes do Eucalipto.

Para quantificar os estoques de biomassa e Carbono na serapilheira, tanto na área de Eucalipto quanto na área de Cerrado, foram selecionados, aleatoriamente, 3 pontos amostrais em cada uma das 12 parcelas de 20 m x 50 m alocadas no Cerrado e das 21 parcelas de 15 m x 30 m, alocadas no plantio de Eucalipto. Em cada ponto amostral foi colocado um gabarito metálico de 50 cm x 50 cm (0,25 m²) e toda a serapilheira encontrada no seu interior foi coletada manualmente.

A serapilheira incluiu a matéria orgânica morta, constituída por fragmentos de madeira de todos os diâmetros, as folhas, os frutos, as flores, as gramíneas e pequenas herbáceas. A pesagem e secagem da serapilheira seguiu a mesma metodologia utilizada na obtenção da biomassa verde e seca de raízes.

Após a quantificação da biomassa seca de raízes e da serapilheira foi quantificado o teor de C/N utilizando o analisador CN628 Leco®. Os valores de biomassa seca foram extrapolados por hectare.

2.4.2.5 - Fluxo de Carbono na biomassa para área de Cerrado sentido restrito e Eucalipto

O fluxo de Carbono na biomassa para o Cerrado e Eucalipto foi estimado com base na produção de biomassa anual na vegetação, considerando os componentes: raiz, tronco, galho, folha e serapilheira. O período avaliado foi de março de 2013 a março de 2016.

Para a área de Eucalipto, a produção total foi resultado do fluxo de biomassa estabelecido nos componentes acima, excluída a biomassa inicial (0,37 Mg ha⁻¹) e o estoque de Carbono total inicial (0,017 Mg ha⁻¹), presente nas mudas plantadas. Esses valores iniciais de biomassa e Carbono foram estimados em função do estudo realizado por Assis et al. (2015).

A produção anual de biomassa foi estimada por meio da taxa de rotatividade, foi utilizado o fator de expansão de biomassa (FEB), pois, segundo Somogyi et al. (2006) esse fator apresenta precisão nas estimativas de biomassa. A rotatividade de raízes finas foi definida como a taxa referente ao total produzido durante um período, sobre a média

do estoque quantificado em uma determinada ocasião (ABER et al., 1985), neste caso considerou-se o anual. Foi utilizado o valor de 1,57, para Eucalipto, baseado nos resultados encontrados por Jourdan et al. (2008).

A decomposição de raízes finas é constante durante o ano (JOURDAN et al., 2008; ABER et al., 1985). Estudos realizados por Jourdan et al. (2008) mostra que a utilização de diferentes métodos para estimativa de raízes finas influencia nos valores finais. Sendo assim o valor da taxa de rotatividade foi obtida por meio da média dos valores alcançados pelo método de núcleos sequências, calculado por meio da matriz de decisão. A utilização desse cálculo foi reportada em outros estudos (VOGT; VOGT; BLOOMFIELD, 1998; OSTONEN; LOHMUS; PAJUSTE, 2005; XIAO; SANG; WANG, 2008).

Para a área de Cerrado foi utilizado o valor de 1,25, para a taxa de rotatividade média obtida por Chen, Eamus e Hutley, (2003) em área de savana localizada no norte da Austrália. O estoque de Carbono e a dinâmica nessa área apresenta semelhança à área do presente estudo. Este valor está dentro da faixa para rotatividade em raízes finas localizadas em áreas de savanas, como observado nos estudos realizados por Devidas e Puyravaud (1995) e Singh (1993).

A produção de biomassa por meio da serapilheira foi obtida de acordo com os valores mensurados na coleta de dados em campo para avaliar o comportamento do fluxo de biomassa. Para o Cerrado, adotou-se os valores mesurados para estimar os períodos não coletados. Para a área de Eucalipto foi adotada a taxa de 2,28 para o incremento anual, valor obtido por meio do período coletado em campo.

2.4.2.6 - Comportamento do Fluxo de biomassa e serapilheira para área de Cerrado sentido restrito e de Eucalipto

Para avaliar o comportamento do fluxo da serapilheira depositada foram analisados o período de dezembro de 2014 a setembro de 2016. Para a avaliação do percentual dos componentes da serapilheira, foi avaliado o período entre setembro de 2015 a agosto de 2016 e para decomposição, de outubro de 2015 a setembro de 2016.

A deposição de serapilheira foi avaliada por meio da coleta mensal em 63 coletores, distribuídos nas 21 parcelas na área de Eucalipto. Foram recolhidos materiais vegetais em coletores com dimensão de 0,5 m x 0,5 m com altura de 0,5 m do solo, compondo área de 0,25 m², confeccionados com madeira e sombrite em sua área interna.

Para analisar a taxa de decomposição da serapilheira foliar e a liberação de nutrientes no solo foram utilizados “*litter bags*” sacos de decomposição de 1 mm de malha (náilon), com dimensão de 20 cm x 20 cm (ANDERSON; INGRAM, 1996). Também coletadas folhas recém caídas e colocadas nos sacos de decomposição.

Foram monitoradas cinco parcelas e em cada uma delas foram colocados sobre o solo 48 sacos de decomposição de serapilheira acumulada, folhas recém caídas, perfazendo um total de 240 sacos de decomposição. Foram coletados ao final de cada mês quatro sacos de decomposição em cada parcela para quantificar a massa seca. A matéria seca foi determinada pela diferença entre a massa inicial e a massa determinada ao final de cada amostragem, a partir dos resultados foram estimadas as taxas de decomposição por meio do modelo exponencial negativa (LAVELLE et al., 1993):

$$M_T = M_0 \cdot e^{-kt} \quad (2.14)$$

em que: M_T representa a massa seca da serapilheira depois de um período de dias de incubação (t), e M_0 é a massa seca inicial da serapilheira; k = estimada após a quantificação da massa seca por meio do tempo de meia-vida da serapilheira ($t^{1/2}$), tempo necessário para que metade da massa seca contida no saco de decomposição, a partir do tempo zero, se decomponha.

Para determinar a massa seca e quantificar o C/N, as amostras coletadas da serapilheira acumulada, depositada e em decomposição foram pesadas e condicionadas em sacolas de papel e secas em estufa ($62 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas). Após a secagem das amostras a massa seca foi quantificada. Para a quantificação de C/N foi utilizado o analisador CN628 Leco®. A produção mensal de serapilheira depositada foi calculada seguindo a formula:

$$Pm = \frac{Ms \cdot At}{AC} \quad (2.15)$$

em que: Pm = produção mensal de serapilheira ($\text{Kg ha}^{-1}\text{mês}^{-1}$); Ms = média da massa por parcela (Kg); AC = área do coletor ($0,25 \text{ m}^2$) e At = área de um hectare (10.000 m^2).

Para avaliar o comportamento do fluxo de biomassa foram analisadas para as duas vegetações a relação C/N na serapilheira, acumulada, depositada e em decomposição, e para as raízes finas e grossas.

2.4.2.7 - Índice de área foliar

Em cada ponto de amostragem (A, B e C) fotografias hemisféricas foram tiradas com câmera de lente digital Nikon D70s equipada com uma Sigma Circular Fisheye 4,5 mm 1: 2,8 e lente com um campo de visão de 180°. A câmera foi armada em um tripé de 0,5 m de altura a fim de caracterizar a vegetação arbórea-arbustiva. A câmera foi nivelada utilizando um nível de bolha e orientada para o norte magnético usando uma bússola (BEAUDET; MESSIER, 2002). As fotografias foram tiradas no início da manhã sem luz direta do sol. A câmera foi configurada para modo "P" (Programação automática), ISO 400, e a medição matricial. As fotografias foram digitalizadas e analisadas com o Gap Light Analyser software (FRAZER; CANHAM; LERTZMAN, 1999)

Devido a heterogeneidade da vegetação do Cerrado sentido restrito quanto a sua queda de folhas (KOZOVTS et al., 2007), pois há espécies que renovam suas folhas no final do período seco, enquanto outras no início do mesmo período, assim como aquelas que apresentam maior taxa de queda foliar no período chuvoso, optou-se neste trabalho por coletar imagens em três períodos intersazonais; chuvoso, início e final do período da seca.

2.4.2.8 - Análise estatística

Foi aplicada a análise de variância (one-way ANOVA), utilizando-se, para tanto, o teste de Shapiro – Wilk para verificação da normalidade do conjunto de dados de solos, raízes e serapilheira apresentados neste trabalho. Os dados brutos que não apresentaram normalidade foram transformados com o objetivo de obter a distribuição normal (SHAPIRO; WILK, 1965) através da transformação matemática usando o logaritmo na base 10. O teste de Levene foi utilizado para verificação da homogeneidade.

Quando os pressupostos não foram cumpridos o teste F de Welch foi empregado para variâncias desiguais (ZAR, 2010). Em seguida foram realizados testes t de Tuckey, ao nível de 5% de probabilidade, para comparação das médias. As análises foram realizadas por meio do programa PAST 2.15 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

2.5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 - Caracterização dos atributos do solo na área de Cerrado sentido restrito e no povoamento de Eucalipto

O solo de ambas as áreas foi classificado como distrófico de acordo com Souza e Lobato (2004). Apresentaram saturação por bases ($V < 50\%$). A área de Cerrado apresentou Latossolo Vermelho acríco típico (LV) com predominância da classe textural muito argilosa (74%), enquanto para a área de Eucalipto o LV foi dominante com presença do Latossolo Vermelho - Amarelo ácrico petroplíntico (LVA) e textura argilosa a muito argilosa (50%).

De modo geral as profundidades de 10 a 30 cm e 30 a 50 cm apresentaram interação significativa com a primeira profundidade em área de Cerrado (Tabela 2). Esse fator não foi observado para as amostras de solo em área de Eucalipto, no qual não ocorreu interação significativa entre as profundidades ($p > 0,05$) através do teste de Tukey.

Tabela 2 - Atributos do solo amostrados nas áreas de Cerrado sentido restrito e de *Eucalyptus grandis x urophylla*. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, na coluna, pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras maiúsculas referem a comparação entre as diferentes profundidades na vegetação. Letras minúsculas referem a comparação de profundidades iguais entre os dois tipos de vegetação avaliados.

Vegetação	Prof cm	Arg g kg ⁻¹	RP* Mpa	Ds g cm ⁻³	Uv -----%-----	Pt
Eucalipto	0 a 10	439,12 Aa	4,43 Aa	0,98 Aa	21,68 Aa	62,74 Aa
	10 a 30	524,18 Aa	5,55 Aa	0,99 Aa	21,54 Aa	62,44 Aa
	30 a 50	530,28 Aa	4,68 Aa	0,97 Aa	22,79 Aa	63,34 Aa
Cerrado	0 a 10	683,10 Ab	1,63 Ab	0,83 Ab	24,46 Ab	68,54 Ab
	10 a 30	748,48 Bb	4,25 Ba	0,93 Ba	26,31 Bb	64,86 Ba
	30 a 50	780,99 Bb	5,39 Ba	0,95 Ba	25,84 Ab	64,31 Ba
Média		617,70	4,32	0,94	23,77	64,37
Desvio padrão	0 a 50	138,80	1,41	0,06	2,07	2,24
CV %		22,47	32,74	6,29	8,73	3,48

Prof = Profundidade; Arg = argila; RP = resistência do solo a penetração; Ds = densidade do solo; Uv = umidade volumétrica; Pt = porosidade total; e CV = coeficiente de variação.

* Profundidade amostrada até 40 cm.

A área de Eucalipto apresentou valores superiores de RP e Ds na profundidade de 0 a 10 cm (Tabela 2). Esses valores devem estar relacionados aos processos utilizados no manejo e uso do solo para condução e desenvolvimento do plantio. Conseqüentemente a porosidade total foi maior em área de Cerrado, pois a densidade é inversamente proporcional à porosidade total.

A umidade volumétrica da área de Cerrado apresentou-se ligeiramente superior quando comparado com o solo amostrado no povoamento de Eucalipto. Segundo a classificação realizada por Campos et al. (2010) os Latossolos LV e LVA que compreendem áreas adjacentes às amostradas foram consideradas semelhantes física e quimicamente.

No entanto, devido à presença de horizontes concrecionários ao longo do seu perfil (ADÁMOLI et al., 1985) e goethita nos LVA, apresentaram diferenças quanto às caracterizações mineralógica e morfológica (CAMPOS et al., 2010). De acordo com Campos et al. (2010), o LV é caracterizado como solos profundos, sem impedimentos a drenagem ao longo dos perfis dos solos. Estudos realizados em Latossolos no Distrito Federal tem mostrado que, dentre os atributos do solo, a disponibilidade hídrica, a capacidade de retenção de água e a textura do solo são essenciais para justificar a ocorrência de determinada vegetação (ROSSI et al., 2005), com destaque para a disponibilidade de água no solo (RIBEIRO, 1983).

O solo do Cerrado apresentou valores altos para a saturação por alumínio (m) e médio para a acidez trocável (Al^{3+}), provavelmente em virtude da importância dos óxidos de alumínio na agregação de Latossolos (FERREIRA; FERNANDES; CURE, 1999), e sua afinidade com os valores considerados adequados para a matéria orgânica (MENDONÇA, 1995), assim como para o Carbono orgânico no solo (VENDRAME et al., 2011). Por meio da comparação das médias, verificou-se que, na camada superficial do solo de ambas as vegetações, o Al^{3+} , H+Al, MO e CO, mostraram a mesma tendência, com valores significativos entre a primeira camada e as demais (Tabela 3).

Tabela 3 - Características química dos solos amostrados na área de Cerrado sentido restrito e no povoamento de *Eucalyptus uroplhyla x grandis*. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, na coluna, pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras maiúsculas referem a comparação entre diferentes profundidades na vegetação. Letras minúsculas referem a comparação de profundidades iguais entre os dois tipos de vegetação avaliados.

Vegetação	Prof cm	pH H ₂ O	P -----mg dm ⁻³ -----	K ⁺ mg g ⁻¹	CO mg g ⁻¹	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ -----cmolc dm ⁻³ -----	K ⁺	SB	t	T	M.O dag Kg ⁻¹	V -----%-----	M
Eucalipto	0 a 10	5,21 Aa	1,56 Aa	66,08 Aa	23,77 Aa	4,29 Aa	0,53 Aa	1,45 Aa	0,17 Aa	1,62 Aa	2,15 Aa	5,91 Aa	4,09 Aa	26,60 Aa	26,14 Aa
	10 a 30	5,49 Ba	0,79 Aa	20,41 Aa	15,44 Ba	2,01 Ba	0,20 Ba	0,84 Ba	0,05 Aa	0,89 Aba	1,09 Ba	2,90 Ba	2,66 Ba	31,30 Aa	19,49 Aa
	30 a 50	5,78 Ca	1,45 Aa	46,31 Aa	12,18 Ba	0,69 Ca	0,16 Ba	0,57 Ba	0,12 Aa	0,69 Ba	0,85 Ba	1,38 Ca	2,10 Ba	58,35 Ba	19,54 Aa
Cerrado	0 a 10	5,10 Aa	1,56 Aa	57,61 Aa	28,54 Ab	4,92 Aa	0,95 Ab	0,76 Aa	0,14 Aa	0,91 Aa	1,86 Aa	5,83 Aa	4,92 Ab	15,36 Ab	52,97 Ab
	10 a 30	5,27 Ab	1,17 Aa	36,42 Bb	21,43 Bb	2,79 Ba	0,52 Bb	0,27 Ab	0,09 Bb	0,37 Bb	0,88 Ba	3,16 Ba	3,69 Bb	11,28 Ab	61,73 Ab
	30 a 50	5,62 Ba	0,76 Aa	12,87 Cb	15,82 Cb	1,65 Cb	0,24 Ca	0,38 Aa	0,03 Cb	0,41 Ba	0,65 Ba	2,06 Ba	2,73 Cb	18,85 Ab	42,02 Ab
Média		5,42	1,22	39,95	19,54	2,73	0,43	0,71	0,10	0,81	1,25	3,54	3,37	26,96	36,98
Desvio padrão	0 -50	0,24	0,34	18,99	5,59	1,48	0,27	0,38	0,05	0,42	0,56	1,74	0,96	15,55	16,44
CV%		4,43	27,61	47,52	28,59	54,18	63,22	53,93	47,72	51,09	44,52	49,28	28,59	57,67	44,45

Prof = profundidade; pH = medida de acidez e alcalinidade; P = fósforo disponível; K⁺ = potássio disponível; CO = Carbono orgânico; H+Al = acidez potencial; Al³⁺ = alumínio trocável; Ca²⁺+Mg²⁺ = cálcio + magnésio trocável; SB = soma de bases; t = capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva; T = CTC total; MO = matéria orgânica; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio.

Para os teores de K, Ca, Mg e, conseqüentemente a soma de bases (SB), foram encontradas baixa disponibilidade para as duas vegetações, com base na classe de interpretação da fertilidade de solo (RIBEIRO et al., 1999). A baixa disponibilidade desses teores pode ser interpretada como uma resposta relacionada com a acidez do solo (GUEDES et al., 2006). Entretanto, no solo do Eucalipto houve a utilização de fertilizantes durante a implantação do povoamento (ver item 2.4.1 desse capítulo), mesmo assim, os valores foram baixos, considerando -se a intensa absorção de nutrientes pelas plantas nos primeiros anos após a implantação, haja vista que, após esse período a ciclagem dos nutrientes contribui de maneira expressiva para a demanda nutricional (GONÇALVES; MELLO, 2000).

Observa-se também que, de forma geral, a área do Eucalipto apresentou maiores valores em relação à disponibilidade de nutrientes, sobretudo em decorrência da utilização de fertilização inicial (CERETTA; FRIES, 1997), da extração de nutrientes de camadas mais profundas de plantios anteriores, e de seu retorno ao solo por meio da deposição de serapilheira em uma fase posterior (VITOUSEK; SANFORD, 1986; LASCHER, 2006; SCHUMACHER et al., 2013). Entretanto, o uso do solo sob o povoamento avaliado promoveu a redução da qualidade do solo, quando analisados os valores da densidade, porosidade total, matéria orgânica e Carbono orgânico. Alguns desses atributos podem estar relacionados com o tempo de utilização da área, pois aqueles respondem de forma mais rápida à substituição do uso do solo e às características físico-químicas do solo.

2.5.2 - Florística, estrutura e dinâmica da vegetação lenhosa arbórea-arbustiva do Cerrado

Para o Cerrado foram registradas 32 famílias e 77 espécies botânicas na área amostrada, referente ao inventário realizado no ano de 2014 (Tabela 4).

Tabela 4 - Espécies arbustivo-arbóreas vivas ($Db \geq 5$ cm), registradas no interior das 12 parcelas de 20 m \times 50 m, do Cerrado sentido restrito amostrado na Fazenda Água Limpa, DF no ano de 2014. As espécies estão dispostas em ordem decrescente de valor de importância.

Espécie	Família	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VI
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.- Hil.) Baill.	Ochnaceae	216	14,02	100	2,90	1,13	10,11	27,03
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	109	7,09	100	2,90	1,08	9,65	19,64
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg	Myrtaceae	98	6,33	92	2,66	1,05	9,40	18,40
<i>Miconia pohliana</i> Cogn.	Melastomataceae	87	5,63	100	2,90	0,74	6,61	15,14
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	88	5,68	100	2,90	0,62	5,60	14,18
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess	Caryocaraceae	59	3,84	100	2,90	0,82	7,32	14,06
<i>Schefflera macrocarpa</i> (Cham. & Schldl.) Frodin	Araliaceae	56	3,63	100	2,90	0,51	4,59	11,12
<i>Roupala montana</i> Aubl.	Proteaceae	60	3,90	92	2,66	0,27	2,44	8,99
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	Fabaceae	36	2,33	100	2,90	0,41	3,65	8,88
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A Juss.	Malpighiaceae	52	3,36	83	2,42	0,25	2,27	8,05
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.	Malvaceae	34	2,22	92	2,66	0,34	3,06	7,94
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	47	3,03	100	2,90	0,21	1,84	7,77
<i>Kielmeyera speciosa</i> A.St.-Hil.	Calophyllaceae	55	3,57	83	2,42	0,17	1,56	7,54
<i>Vochysia elliptica</i> Mart.	Vochysiaceae	31	2,00	92	2,66	0,29	2,56	7,22
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	Fabaceae	26	1,68	100	2,90	0,26	2,30	6,87
<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.	Fabaceae	27	1,73	75	2,17	0,22	2,01	5,92
<i>Miconia ferruginata</i> DC	Melastomataceae	31	2,00	83	2,42	0,16	1,42	5,84
<i>Tachigali subvelutina</i> (Benth.) Oliveira-Filho	Fabaceae	26	1,68	50	1,45	0,39	3,54	6,67
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Fabaceae	19	1,25	67	1,93	0,15	1,37	4,55
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Primulaceae	35	2,27	42	1,21	0,10	0,94	4,42
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	Styracaceae	18	1,19	67	1,93	0,13	1,13	4,25
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	Apocynaceae	18	1,19	75	2,17	0,10	0,88	4,24
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	Fabaceae	9	0,60	75	2,17	0,15	1,31	4,08
<i>Erythroxylum suberosum</i> A. St.-Hil	Erythroxylaceae	18	1,14	75	2,17	0,06	0,56	3,87
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> A. Juss	Malpighiaceae	18	1,14	58	1,69	0,06	0,55	3,38
<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk	Sapotaceae	10	0,65	50	1,45	0,14	1,26	3,36
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	Nyctaginaceae	12	0,76	67	1,93	0,05	0,41	3,10
<i>Kielmeyera rígida</i> Mart. & Zucc.	Calophyllaceae	19	1,25	42	1,21	0,07	0,63	3,08
<i>Rapanea guianensis</i> Aubl.	Primulaceae	19	1,25	42	1,21	0,06	0,55	3,01
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	Bignoniaceae	9	0,60	67	1,93	0,03	0,31	2,83
<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F.Macbr.	Fabaceae	8	0,54	58	1,69	0,06	0,57	2,80
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	Sapotaceae	12	0,76	42	1,21	0,09	0,82	2,78
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	Asteraceae	15	0,97	42	1,21	0,07	0,58	2,77
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	Vochysiaceae	10	0,65	33	0,97	0,10	0,91	2,53
<i>Conarus suberosus</i> Planch.	Connaraceae	8	0,54	58	1,69	0,03	0,27	2,50
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	Fabaceae	10	0,65	33	0,97	0,08	0,73	2,35
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	Malpighiaceae	7	0,43	58	1,69	0,03	0,23	2,36
<i>Salacia crassifolia</i> (Mart. Ex Schult.) G. Don	Celastraceae	8	0,54	50	1,45	0,04	0,34	2,33
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Benth.	Fabaceae	6	0,38	50	1,45	0,05	0,42	2,25
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	Fabaceae	9	0,60	25	0,72	0,08	0,73	2,05

Continua Tabela 4

<i>Heteropterys byrsonimifolia</i> A. Juss	Malpighiaceae	8	0,49	42	1,21	0,03	0,31	2,00
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	Apocynaceae	7	0,43	42	1,21	0,04	0,34	1,98
<i>Eremanthus glomeratus</i> Less	Asteraceae	6	0,38	42	1,21	0,02	0,19	1,77
<i>Rourea induta</i> (Planch.) Baker	Connaraceae	8	0,54	33	0,97	0,02	0,22	1,72
<i>Palicourea 34figida</i> Kunth	Rubiaceae	7	0,43	33	0,97	0,02	0,19	1,59
<i>Strychnos pseudoquina</i> A. St.-Hil.	Loganiaceae	4	0,27	33	0,97	0,03	0,30	1,54
<i>Diospyros hispida</i> A.DC.	Ebenaceae	3	0,22	33	0,97	0,02	0,13	1,32
<i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	Dilleniaceae	6	0,38	25	0,72	0,02	0,14	1,25
<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hil.	Erythroxylaceae	5	0,32	25	0,72	0,02	0,14	1,19
<i>Salvertia convallariaeodora</i> A. St.-Hil	Vochysiaceae	4	0,27	25	0,72	0,02	0,18	1,17
<i>Annona crassiflora</i> Mart.	Annonaceae	4	0,27	17	0,48	0,03	0,31	1,06
<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	Apocynaceae	3	0,22	25	0,72	0,01	0,11	1,05
<i>Diospyros burchellii</i> Hiern.	Ebenaceae	4	0,27	17	0,48	0,01	0,12	0,87
<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	Erythroxylaceae	4	0,27	17	0,48	0,01	0,11	0,87
<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	Lythraceae	3	0,16	17	0,48	0,02	0,19	0,83
<i>Machaerium opacum</i> Vogel	Fabaceae	3	0,16	17	0,48	0,01	0,09	0,74
<i>Kielmeyera lathrophyton</i> Saggi	Calophyllaceae	5	0,32	8	0,24	0,02	0,16	0,72
<i>Pterocarpus rotundifolius</i> (Sound.) Druce	Fabaceae	3	0,22	8	0,24	0,02	0,19	0,65
<i>Mimosa clausenii</i> Benth.	Fabaceae	2	0,11	17	0,48	0,01	0,05	0,64
<i>Symplocos rhamnifolia</i> A.DC.	Symplocaceae	2	0,11	17	0,48	0,01	0,05	0,64
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Fabaceae	1	0,05	8	0,24	0,04	0,32	0,62
<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	Vochysiaceae	1	0,05	8	0,24	0,01	0,13	0,42
<i>Eremanthus erythropappus</i> (DC.) MacLisch	Asteraceae	2	0,11	8	0,24	0,01	0,07	0,42
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart. Ex A. DC.	Apocynaceae	2	0,11	8	0,24	0,01	0,07	0,42
<i>Miconia burchellii</i> Triana	Melastomataceae	2	0,11	8	0,24	0,01	0,06	0,41
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd	Fabaceae	1	0,05	8	0,24	0,01	0,10	0,39
<i>Plenckia populnea</i> Reissek	Celastraceae	1	0,05	8	0,24	0,01	0,07	0,37
<i>Psidium laruotteanum</i> Cambess	Myrtaceae	1	0,05	8	0,24	0,00	0,04	0,33
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. Hook. F. ex S. Moore	Bignoniaceae	1	0,05	8	0,24	0,00	0,03	0,33
<i>Vochysia speciosa</i> Quente.	Vochysiaceae	1	0,05	8	0,24	0,00	0,02	0,32
<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	Myrtaceae	1	0,05	8	0,24	0,00	0,02	0,32
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	1	0,05	8	0,24	0,00	0,02	0,32
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Salicaceae	1	0,05	8	0,24	0,00	0,02	0,32
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Steud.	Melastomataceae	1	0,05	8	0,24	0,00	0,02	0,32
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	Fabaceae	1	0,05	8	0,24	0,00	0,02	0,32
<i>Neea theifera</i> Oerst.	Nyctaginaceae	1	0,05	8	0,24	0,00	0,02	0,32
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Moraceae	1	0,05	8	0,24	0,00	0,01	0,31
Total	-	1539	100	345	100	13,40	100	300

DA = Densidade absoluta ($N\ ha^{-1}$); DR = Densidade relativa (%); FA = Frequência absoluta (%); FR = Frequência relativa (%); DoA = Dominância Absoluta ($m^2\ ha^{-1}$); DoR = Dominância Relativa (%) e IVI = Índice de Valor de Importância (%).

Em 2014, a comunidade lenhosa arbórea-arbustiva apresentou $1.539\ ind\ ha^{-1}$, $13,40\ m^2\ ha^{-1}$ e $24,71\ m^3\ ha^{-1}$. Quando os indivíduos mortos em pé foram contabilizados, estes valores passaram para $1.906\ ind\ ha^{-1}$, $16,84\ m^2\ ha^{-1}$ e $30,97\ m^3\ ha^{-1}$, nesta ordem.

Em 2016, cerca de 15 meses após a realização do primeiro inventário na área, a densidade de indivíduos lenhosos vivos aumentou para 1.563 ind ha⁻¹ e, por conseguinte, os valores de área basal e volume também aumentaram para 14,81 m² ha⁻¹ e 27,72 m³ ha⁻¹, respectivamente.

As famílias Vochysiaceae, Fabaceae, Ochnaceae, Melastomataceae, Myrtaceae e Caryocaraceae responderam por 66,43% dos indivíduos amostrados, o que corresponde a 75,13% da área basal e 64,17% do IVI total da área referente ao inventário realizado no ano de 2014. Assunção e Felfili (2004) também verificaram maior número de espécies nessas famílias, no entanto as famílias mais comuns encontradas em áreas de Cerrado sentido restrito são a Vochysiaceae e a Fabaceae (AQUINO et al., 2010; RATTER et al., 2000; FELFILI et al., 1994).

Entre 2014 e 2016, a taxa de mortalidade no Cerrado foi de 2,17 %, enquanto o recrutamento foi igual a 3,43 %. Tais valores indicam o aumento da densidade arbórea-arbustiva da vegetação na área comunidade. Um dos fatores que pode ter contribuído nesse recrutamento foi o intervalo de tempo de queimada nessa área. Em relação ao primeiro inventário, realizado em 2014, havia três de anos que houve incidência de fogo nessa área.

Por pertinente, o fogo pode reduzir a densidade de árvores (MEDEIROS; MIRANDA, 2005), em contrapartida, quando as queimadas são excluídas pode ocorrer o aumento da área basal e densidade resultantes de taxas de recrutamento superiores às de mortalidade (CARVALHO et al., 2012; MEWS et al., 2011; LÍBANO; FELFILI, 2006). Sob outra perspectiva, é difícil inferir que os valores das taxas de mortalidade e recrutamento obtidos nesse estudo são consequências do período de três anos sem presença de queimadas, ou se estão relacionadas às respostas a outros distúrbios, como exemplo as mudanças climáticas. Em resumo, para compreender os fatores fluentes nas taxas de recrutamento e mortalidade na comunidade são necessários estudos de dinâmica a longo prazo.

2.5.3 - Características dendrométricas e volume para o povoamento de Eucalipto

A Tabela 5 mostra as equações ajustadas para estimar o volume de madeira no plantio de Eucalipto, juntamente com as suas respectivas estatísticas de precisão, ou seja, coeficiente de determinação – R² (%) e erro padrão residual - Syx (%). Os ajustes foram

realizados em quatro épocas diferentes, a saber, 17, 23, 29 e 37 meses. A partir das medidas de precisão e da distribuição de resíduos analisada para cada equação em cada período, a equação 5 foi escolhida para todas as idades.

Tabela 5 - Estimativas dos parâmetros das equações ajustadas para volume em função da idade para o povoamento de *Eucalyptus urophylla x grandis*, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF.

Idade (meses)	Modelo	Coeficientes					R (%)	Syx (%)	
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4			β_5
17	1	0,0010	$4,06.10^{-5}$					99,69	4,80
	2	$6,11.10^{-5}$	$9,90.10^{-5}$	$3,12.10^{-5}$	$-3,62.10^{-6}$	$2,80.10^{-5}$		99,90	2,72
	3	0,0015	$-1,58.10^{-3}$	$2,80.10^{-4}$	$1,15.10^{-4}$	$1,24.10^{-5}$	$2,28.10^{-4}$	99,91	2,57
	4	$-8,65.10^{-4}$	$3,89.10^{-4}$					98,67	9,96
	5	$1,07.10^{-4}$	1,8329	0,7350				99,94	2,86
23	1	0,0016	$3,70.10^{-5}$					99,22	7,53
	2	$6,14.10^{-4}$	$2,54.10^{-4}$	$-1,25.10^{-6}$	$3,24.10^{-5}$	$-8,79.10^{-5}$		99,64	5,13
	3	0,0016	$3,05.10^{-4}$	$-1,34.10^{-6}$	$2,59.10^{-4}$	$1,75.10^{-5}$	$-9,03.10^{-4}$	99,6	5,38
	4	$-9,35.10^{-4}$	$3,9.10^{-4}$					99,09	8,13
	5	$1,12.10^{-4}$	1,6816	0,8483				99,68	5,11
29	1	$2,33.10^{-3}$	$3,49.10^{-5}$					99,41	7,30
	2	$3,04.10^{-4}$	$1,77.10^{-4}$	$1,98.10^{-5}$	$1,46.10^{-6}$	$2,75.10^{-7}$		99,62	5,83
	3	$-2,00.10^{-3}$	$1,37.10^{-4}$	$1,39.10^{-4}$	$-1,30.10^{-4}$	$3,08.10^{-5}$	$8,03.10^{-4}$	99,68	5,31
	4	-0,0035	$4,76.10^{-4}$					97,36	15,48
	5	$9,2.10^{-5}$	1,8618	0,7661				99,71	3,48
36	1	$3,47.10^{-3}$	$3,32.10^{-5}$					97,66	20,46
	2	$-2,64.10^{-4}$	$3,20.10^{-4}$	$2,83.10^{-6}$	$1,15.10^{-5}$	$-3,69.10^{-5}$		97,93	19,25
	3	0,0041	-0,0024	$4,13.10^{-4}$	$2,37.10^{-4}$	$8,57.10^{-7}$	$-3,48.10^{-4}$	97,89	19,45
	4	$-2,86.10^{-3}$	$5,15.10^{-4}$					97,83	19,72
	5	$1,43.10^{-4}$	1,8587	0,6043				99,13	6,31

As variáveis dendrométricas do povoamento evidencia o crescimento do povoamento e, de maneira reflexa, o aumento do volume (Tabela 6). Ao tempo em que o volume variou de 5,22 a 24,60 m³ ha⁻¹ e apresentou incremento médio anual de 8,20 m³ ha⁻¹, o povoamento apresentou 1,8% de falhas e área de ocupação média de árvores vivas de 8,90 m².

Tabela 6 - Variáveis dendrométricas em função da idade para o povoamento de *Eucalyptus urophylla x grandis*, amostradas na Fazenda Água Limpa, DF.

Variáveis	Idade (meses)			
	17	23	29	36
DAP _{máx}	8,50	10,70	13,00	15,30
DAP _{min}	1	1,10	1,25	1,29
DG	3,99	5,51	6,90	8,43
H _{min}	0,60	1,05	1,20	1,25
H _{max}	8,50	9,80	14,10	16,23
Vol.	5,22	11,13	20,73	24,60

DAP máx = Diâmetro a Altura do Peito (DAP) máximo; DAP min = DAP mínimo; DG = Diâmetro médio quadrático; H min = Altura mínima; H max = Altura máxima; e Vol. = Volume (m³ ha⁻¹)

O volume para o Eucalipto na idade de 36 meses pode alcançar 60 m³ ha⁻¹ (CASTRO et al., 2013). O baixo valor encontrado nessa pesquisa para o volume no povoamento de Eucalipto, 24,60 m³ ha⁻¹, pode estar associado com as exportações de nutrientes do sítio (SANTANA; BARROS; NEVES, 2002), em função dos ciclos de cultivos (BARROS; NEVES, 1990) implantados anteriormente na área, da limitação de produtividade devido a indisponibilidade de nutrientes aplicados na adubação de base e/ou cobertura (NOVAIS; BARROS; NEVES, 1986) ou ainda da disponibilidade de água (SANTANA et al., 2008; REIS et al., 2006; STAPE; BINKLED; RYAN, 2004; SANTANA; BARROS; NEVES, 2002).

2.5.4 - Estoque de biomassa e Carbono na parte aérea da vegetação para a área de Cerrado e para o povoamento de Eucalipto

A área de Cerrado apresentou maior estoque de biomassa e Carbono, quando comparado com a de Eucalipto (Figura 2). Cabe ressaltar que o Eucalipto, na faixa de idade monitorada (36 meses), ainda não atingiu a máxima produção de biomassa (SANTANA, 2009; SANTANA et al., 2008; DEMOLINARI et al., 2007), sendo forçoso inferir que, até a idade de 36 meses, para as condições edafoclimáticas nessas duas áreas (Cerrado sentido restrito e povoamento de *Eucalyptus urophylla x grandis*), o Cerrado apresentou maior estoque de biomassa e Carbono na parte aérea da vegetação.

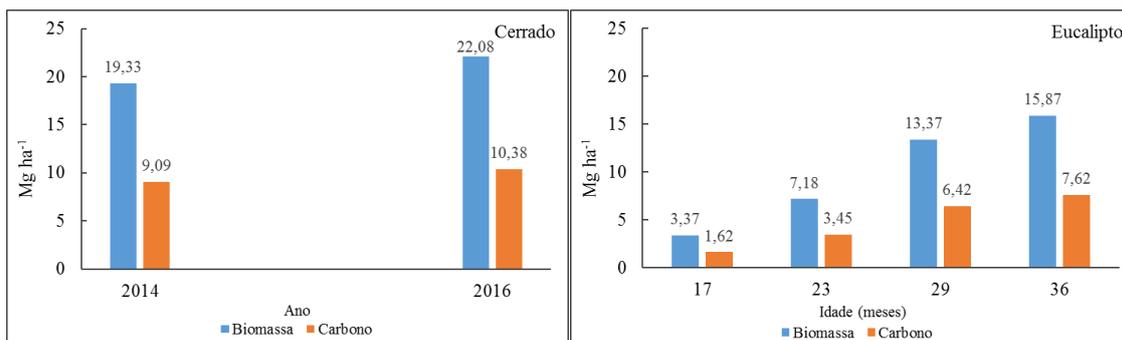


Figura 2 - Biomassa e Carbono da parte aérea, estimados para os indivíduos vivos, em função da idade, para os anos de 2014 e 2016 em área de Cerrado e para o povoamento de *Eucalyptus urophylla x grandis*, amostrados na Fazenda Água Limpa, DF.

Em 2014, os estoques de biomassa e Carbono registrados no Cerrado foram iguais a 19,33 e 8,90 Mg ha⁻¹, respectivamente. Em 2016, tais valores passaram para, respectivamente, 22,08 e 10,20 Mg ha⁻¹ (Figura 2). Quando consideradas as árvores mortas em pé e indivíduos lenhosos arbóreos-arbustivos, o estoque de Carbono total para troncos e galhos, com diâmetro mínimo de 3 cm e Db ≥ 5 cm, no Cerrado, foi de 11,08 Mg ha⁻¹, para o ano de 2014, sendo 8,90 Mg ha⁻¹, para árvores vivas e 2,19 Mg ha⁻¹ para as árvores mortas em pé. Em 2016, o estoque total foi de 10,38, do qual 10,20 Mg ha⁻¹ e 0,18 Mg ha⁻¹ para as árvores vivas e mortas em pé, respectivamente.

Ao longo do período monitorado, de 2014 a 2016 o estoque de biomassa e Carbono para o povoamento de Eucalypto foi de 15,87 Mg ha⁻¹ e 7,62 Mg ha⁻¹, respectivamente. Para o Eucalypto, com idade de 29 meses, o estoque de biomassa foi distribuído em folhas, fuste, cascas, galhos secos e galhos verdes, de modo que compartimentos apresentaram o seguinte percentual da biomassa seca, 19,77%, 53,01%, 13,11%, 4,78% e 9,33%, nesta sequência. Essa alocação de biomassa por componente é importante para compreender o ciclo de crescimento do Eucalypto. A repartição relativa de biomassa da copa é diminuída com o aumento da idade (SANTANA et al., 2008).

2.5.5 - Estoque de biomassa e Carbono em serapilheira, compartimento radicular e no solo para a área de Cerrado e para o povoamento de Eucalypto

O estoque de biomassa e Carbono na serapilheira acumulada foi superior em área de Eucalypto, quando comparado com a de Cerrado. Os fatores de conversão utilizados para a serapilheira foram de 44,16% de C para biomassa seca em Cerrado e de 42,55% para área de Eucalypto, resultados obtidos por meio de análises de C/N. A biomassa e o estoque de Carbono médio em serapilheira acumulada foi de 10,08 Mg ha⁻¹ e 4,45 Mg ha⁻¹

¹ para a área de Cerrado, além de 12,41 Mg ha⁻¹ e 5,28 Mg ha⁻¹ para biomassa de Eucalipto, respectivamente.

Diante dessas considerações, o maior estoque de serapilheira acumulada na área de Eucalipto pode ter sido influenciado pela deposição e resíduos do corte e colheita da cultura de Eucalipto plantada anteriormente à atual. Esses resíduos são resultantes das operações de colheita florestal, como galhos, ramos e parte superior das árvores comumente deixados na área por não possuírem aproveitamento (DO CANTO, 2009). Por outro lado, em povoamentos de Eucalipto a produção de serapilheira aumenta com a idade (VIEIRA et al., 2014), fator que pode ter contribuído com o maior estoque, isto é, a camada de serapilheira será maior, quanto maior a deposição de serapilheira e menor a sua velocidade de decomposição (HAAG, 1985).

No sistema radicular, até a profundidade de 50 cm, os estoques médios de biomassa e Carbono foram iguais a, respectivamente, 23,77 e 11,27 Mg ha⁻¹ (Tabela 07). Quando o estoque de Carbono foi extrapolado para 200 cm de profundidade, observou-se que o valor encontrado está dentro do intervalo deparado em literatura (11,59 a 25,47 Mg ha⁻¹) já registrado em outras pesquisas desenvolvidas em outras áreas de Cerrado sentido restrito localizadas no Distrito Federal (TEODORO, 2014; AZEVEDO, 2014; PAIVA et al., 2011; ABDALA et al., 1998; CASTRO; KAUFFMANN, 1998).

Tabela 7 - Biomassa e estoque de Carbono de raízes (Mg ha⁻¹) em área de Cerrado sentido restrito, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF.

Prof. (cm)	Classe de diâmetro (mm)	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	Fator de conversão	EC (Mg ha ⁻¹)
0 a 10	≤ 2	2,64		1,25
10 a 30	≤ 2	1,24	47,26**	0,59
30 a 50	≤ 2	0,64		0,30
0 a 10	> 2	9,46		4,49
10 a 30	> 2	6,24	47,48**	2,96
30 a 50	> 2	3,55		1,69
até 30	≤ 2 e > 2	19,58		9,29
até 50	≤ 2 e > 2	23,77	-	11,27
Total até 200	≤ 2 e > 2	28,64*		13,57*

*Valores baseados nas proporções descritas para biomassa (Castro, 1996) e ** valores baseados nos resultados obtidos por meio das análises de C/N no presente trabalho.

Para a área de Cerrado sentido restrito, a biomassa de raízes finas e grossas, amostradas no canto superior e inferior de cada parcela (2 m²), não apresentaram diferença significativa por meio do teste de Tuckey (p > 0,05), assim como, não diferiam estatisticamente entre si, quando comparadas às raízes finas e grossas entre as parcelas.

Porém, a interação foi significativa entre as profundidades pelo teste de Tuckey ($p < 0,05$). Com esses resultados, infere-se que a área apresenta homogeneidade horizontal de biomassa radicular, no entanto, distribuída em diferentes proporções entre as profundidades.

No plantio de Eucalipto, com 3 anos de idade, os estoques de biomassa e Carbono radicular, até a profundidade de 60 cm, foram iguais a, respectivamente, 3,64 Mg ha⁻¹ e 1,70 Mg ha⁻¹. Até 200 cm de profundidade, os estoques passaram para 4,46 Mg ha⁻¹ e 2,08 Mg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 08).

Tabela 8 - Biomassa e estoque de Carbono de raízes (Mg ha⁻¹) em área de *Eucalyptus urophylla x grandis*, amostrados na Fazenda Água Limpa, DF.

Prof. (cm)	Classe de diâmetro (mm)	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	Fator de conversão	EC (Mg ha ⁻¹)
0 a 20	≤ 2	0,28		0,13
20 a 40	≤ 2	0,17	46,76**	0,08
40 a 60	≤ 2	0,20		0,09
0 a 20	> 2	1,26		0,59
20 a 40	> 2	0,78	46,61**	0,36
40 a 60	> 2	0,95		0,44
Até 60	Todas	3,64	-	1,70
Total até 200	Todas	4,46*		2,08

*Valores baseados nas proporções descritas para biomassa (Neves, 2000) e ** resultados obtidos por meio das análises de C/N no presente trabalho.

As raízes finas do Eucalipto, diâmetro ≤ 2,0 mm, na camada até 20 cm de profundidade representaram 43% do total, resultando que reflete a necessidade de investimento no crescimento em profundidade, principalmente para suprir as demandas nutricionais e hídricas. Estudos realizados em diferentes idades com Eucalipto mostraram que mais de 60% das raízes finas se encontravam nos primeiros 20 cm do solo (GONÇALVES et al., 1999; FABIÃO; MADEIRA; STEEN, 1987). Em presença de baixa disponibilidade de nutrientes e déficit hídrico, as raízes de Eucalipto expõem como estratégia o rápido desenvolvimento do seu sistema radicular em profundidade (AWE; SHEPHERD; FLORENCE, 1976), para obter maior possibilidade de absorção de nutrientes e água na presença de solos pouco férteis (MELLO; GONÇALVES; OLIVEIRA, 1998; GONÇALVES, 1994).

Para a biomassa e o estoque de Carbono de gramíneas na área do povoamento do Eucalipto, até a profundidade de 60 cm, os valores foram iguais a 4,51 Mg ha⁻¹ e 2,10 Mg ha⁻¹, respectivamente. Para a profundidade de 200 cm esses valores foram de 5,54 Mg ha⁻¹

¹ e 2,57 Mg ha⁻¹. Foram detectadas diferenças significativas pelo teste de Tuckey (p < 0,05) em diferentes profundidades para a biomassa de raízes finas e gramíneas, o mesmo não foi observado para raízes grossas. Outrossim, quando comparadas ao armazenamento de biomassa nas linhas e entrelinhas, em função da distância da cepa, não foi registrada diferença significativa.

Na área de Eucalipto o estoque de Carbono no solo até 50 cm de profundidade variou significativamente entre as profundidades avaliadas por meio do teste de Tuckey (p < 0,05). O maior estoque de Carbono se encontra na camada de 0 a 10 cm, para as duas áreas avaliadas. O estoque de Carbono total estimado para o solo nas áreas de Eucalipto e Cerrado, até a profundidade de 2 m foi de 187,96 Mg ha⁻¹ e 226,95 Mg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9 - Estoque de Carbono (EC) no solo (Mg ha⁻¹) em área de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* e Cerrado sentido restrito, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, na coluna, pelo teste de Tuckey (p > 0,05). Letras maiúsculas referem a comparação entre diferentes profundidades na vegetação. Letras minúsculas referem a comparação de profundidades iguais entre os dois tipos de vegetação avaliados.

Profundidade (cm)	Eucalipto EC (Mg ha ⁻¹)	Cerrado EC (Mg ha ⁻¹)
0 a 10	23,30 Aa	23,69 Aa
10 a 30	30,59 Ba	39,86 Bb
30 a 50	23,64 Aa	30,07 Cb
Até 50 cm	77,53	93,62
Até 200 cm	187,96*	226,95*

*Valores baseados nas proporções descritas para estoque de Carbono no solo em Cerrado sentido restrito (CASTRO, 2000).

2.5.6 - Estoque de Carbono total na área de Cerrado sentido restrito e para o povoamento de Eucalipto

A substituição do uso do solo de Cerrado para cultivos de Eucalipto altera o estoque de Carbono no solo e na biomassa. No entanto, o Eucalipto avaliado, na faixa de idade estudada - 36 meses, ainda não alcançou a produção máxima de biomassa, justificativa porque, durante o intervalo de tempo monitorado nesse estudo, a área de Cerrado apresentou maior estoque de Carbono total.

O valor do estoque de Carbono total para a área de Eucalipto foi de 203,23 Mg ha⁻¹, sendo que 187,96 Mg ha⁻¹ deste total corresponderam ao estoque presente no solo; 7,89 Mg ha⁻¹ à parte aérea; 5,28 Mg ha⁻¹ à serapilheira e 2,1 Mg ha⁻¹ às raízes (Figura 3). O

elevado estoque de Carbono na serapilheira, quando comparado ao compartimento radicular, foi influenciado pela presença de gramíneas exóticas nas entrelinhas do povoamento e resíduos florestais oriundos da colheita da cultura de Eucalipto plantada anteriormente à atual.

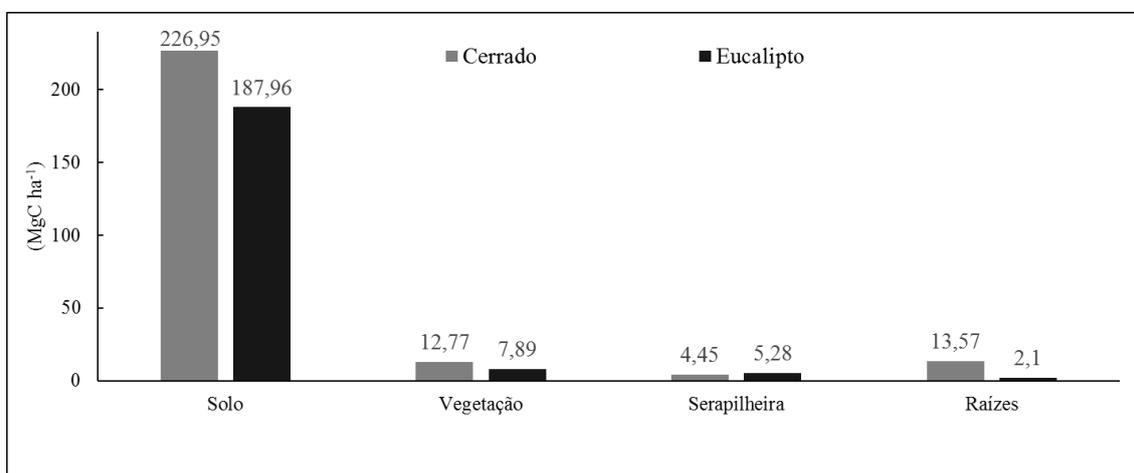


Figura 3 - Estoque de Carbono (Mg ha⁻¹) para os compartimentos mensurados nas áreas de Cerrado sentido restrito e *Eucalyptus grandis x urophylla*, amostrados na Fazenda Água Limpa, DF.

O valor do estoque de Carbono total para a área de Cerrado sentido restrito, considerando o estoque de Carbono armazenado até 200 cm de profundidade foi de 257,72 Mg ha⁻¹, sendo que 226,95 Mg ha⁻¹ deste total corresponderam ao estoque presente no solo, 13,57 Mg ha⁻¹ às raízes, 12,77 à parte aérea (compartimentos: arbóreo-arbustivo, regeneração natural e herbáceo) e 4,45 Mg ha⁻¹ à serapilheira. A coleta de raízes na área de Cerrado foi realizada entre o período dos inventários florestais realizados em 2014 e 2016, motivo pelo qual, optou-se por utilizar o valor médio de Carbono, estimado nos dois inventários, para a parte aérea.

No Cerrado sentido restrito o maior percentual de Carbono foi concentrado no solo, seguido pelo estoque de Carbono em biomassa radicular e pelo estoque na parte aérea. A maior centralização de Carbono em ecossistemas savânicos está armazenado na parte subterrânea (GRACE et al., 2006), explicado pela fisiologia das plantas arbustivas-arbóreas desse bioma, as quais em função das restrições hídricas e nutricionais, demandam um investimento significativo de Carbono em biomassa subterrânea (RODIN, 2004) e a presença do estrato gramíneo, que se caracteriza por estocar mais Carbono no seu sistema radicular (ALCÂNTARA et al., 2004).

Disso se conclui que a razão biomassa radicular/biomassa aérea (R/S) para Eucalipto (aos 29 meses) foi de 0,33 e no Cerrado sentido restrito foi de 1,36. Nesse mesmo sentido a R/S encontrada nesse trabalho para área de Cerrado está dentro do intervalo (1,03 a 1,69 Mg ha⁻¹) já registrado em pesquisas desenvolvidas em outras áreas de Cerrado sentido restrito localizadas no Distrito Federal (AZEVEDO, 2014; ABDALA et al., 1998). Para o Eucalipto o valor de R/S obtido reflete sua elevada capacidade de estoque de biomassa na parte aérea (BINKLEY et al., 2004).

2.5.7 - Fluxo de biomassa para área de Cerrado sentido restrito e Eucalipto

O fluxo de biomassa estimado no período avaliado foi maior para a área de Eucalipto. Essa espécie apresenta rápido crescimento e elevado potencial de capturar e imobilizar Carbono (GATTO et al., 2010), alocando em sua biomassa e no solo (DU TOIT, 2008). O fluxo de biomassa estimado para o Eucalipto, no período de 36 meses, foi de 25,49 Mg ha⁻¹, sendo que 15,50 Mg ha⁻¹ corresponderam ao fluxo da parte aérea (fuste, galhos e folhas); 3,27 Mg ha⁻¹ à serapilheira e 6,72 Mg ha⁻¹ para raízes, finas e grossas. As raízes finas foram responsáveis pela produção de 2,90 Mg ha⁻¹. Para a área de Cerrado - considerando a serapilheira depositada e os componentes, raízes, troncos, galhos e folhas de indivíduos arbóreo-arbustivo, período de 36 meses - o fluxo de biomassa foi de 6,53 Mg ha⁻¹ para a serapilheira; 3,52 Mg ha⁻¹ para raízes finas e 6,77 Mg ha⁻¹ correspondeu a produção de biomassa na parte aérea, perfazendo o total de 16,82 Mg ha⁻¹.

A estimativa da rotatividade de raízes finas é importante para mensurar o fluxo de produção e biomassa. Para avaliar o fluxo de biomassa em raízes, foi considerado o fluxo em raízes finas, determinada em função da sua contribuição no fluxo de biomassa, apesar da maior produção ser localizada em raízes grossas (EAMUS et al., 2002). Estudos realizados por Chen, Eamus e Hutley (2003) estimaram, em savana, que 87% do fluxo de biomassa abaixo do solo é por meio da produção de raízes finas. Vogt et al. (1990) encontraram em ecossistemas com madeiras lenhosas a contribuição de até 40% da produção total do ecossistema. Em razão disso, a produção e decomposição de raízes pode influenciar o estoque total e o tempo de reciclagem do Carbono no solo, na medida em que representam importante fluxo de Carbono no ecossistema terrestre (SILVER et al., 2005).

No presente trabalho foram estimadas as taxas de 43,19% e 22,21% do fluxo de biomassa abaixo do solo por meio da produção de raízes finas, para o Eucalipto e Cerrado, respectivamente. Essas raízes contribuem diretamente para o estoque e armazenamento de Carbono no solo (GILL; JACKSON, 2000). No entanto, essas informações são escassas, devido à dificuldade de mensuração (VOGT; VOGT; BLOOMFIELD, 1998). O menor valor da taxa de produção estimada para a área de Cerrado, pode ser justificado pelo investimento das espécies desse ecossistema em comprimento e em direção e busca por água. As raízes finas apresentam aumento da vida útil quanto maior a profundidade, justificada pelos menores valores de flutuações da temperatura e disponibilidade de água (EISSENSTAT; YANAI, 1997), essencial para sustentar o crescimento durante a seca (BRUNO et al., 2006), principalmente para o Eucalipto, em que a densidade das raízes varia de acordo com a profundidade (MELLO; GONÇALVES; OLIVEIRA, 1998).

2.5.8 - Comportamento do fluxo de biomassa, serapilheira, para área de Cerrado sentido restrito e Eucalipto

Dois fatores apresentaram influência na deposição de serapilheira, o primeiro foi a sazonalidade, o segundo, foi em relação ao estágio de desenvolvimento, o ciclo biológico das plantas. O regime de sazonalidade apresentou influência mensal na deposição de serapilheira para as duas vegetações (Figura 4).

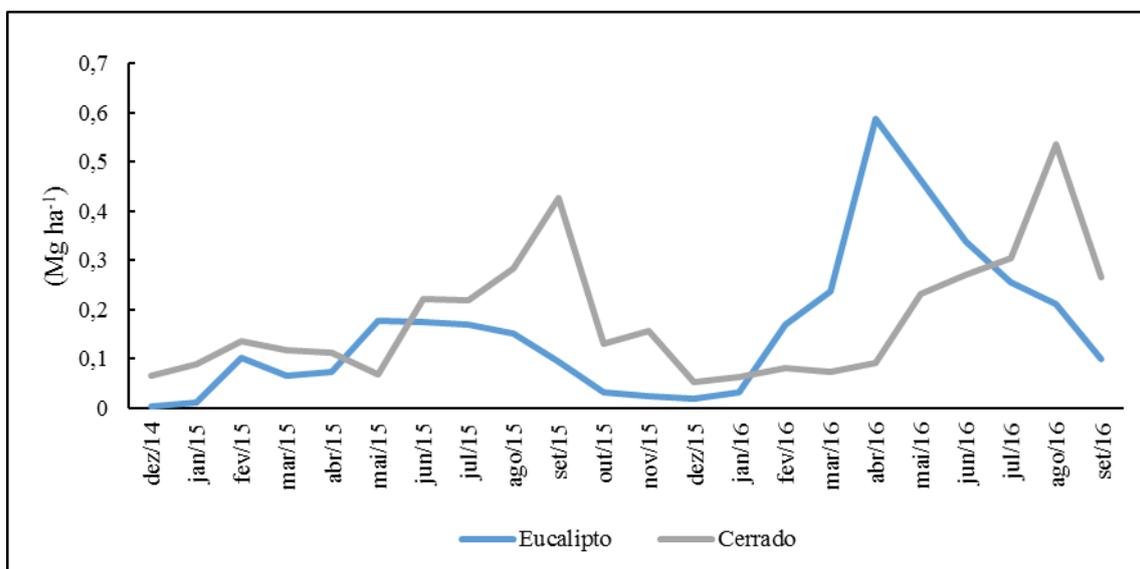


Figura 4 - Deposição de serapilheira no período de dezembro de 2014 a setembro de 2016 para as áreas de Cerrado sentido restrito e Eucalipto, amostrada na Fazenda Água Limpa, DF.

A flutuação da deposição das duas vegetações, endêmicas de zonas tropicais, foi influenciada diretamente pelas condições climáticas. Esse comportamento também foi

observado para outras vegetações, conforme estudos realizados por Teixeira et al. (2016); Vieira et al. (2014); Antoneli et al. (2014) e Silva et al. (2007), podendo estar associado ao ciclo biológico, às estratégias ecofisiológicas e à função de manter a umidade no solo, visto que nesse período há menor decomposição, todavia, o solo fica coberto por uma manta de serapilheira.

A partir do monitoramento mensal nas duas vegetações, Cerrado e Eucalipto, foi possível verificar a quantidade de biomassa depositada no solo por meio da serapilheira. Essa serapilheira apresenta papel importante no ciclo de Carbono e de nutrientes, pois, em ecossistemas terrestres, a serapilheira representa a principal via de entrada de Carbono para o solo (CALDEIRA et al., 2008; VITOUSEK; SANFORD, 1986), por meio da decomposição, e também por ser considerada a principal via para a ciclagem de nutrientes (LONGHI et al., 2011; LASCHER, 2006). Esses dois ecossistemas, Cerrado e Eucalipto, ao depositarem em sua serapilheira diferentes proporções de Carbono, podem proporcionar, ao longo do tempo, modificação no reservatório de Carbono no solo.

No período inicial do povoamento de Eucalipto, durante o ciclo bioquímico, tem-se pouca competição entre as árvores por luz, água e nutrientes (MILLER, 1995). Nesse ciclo, o Eucalipto produz menores taxas de serapilheira, já com o início do fechamento do dossel, as plantas liberam serapilheira em maior quantidade, principalmente nos períodos de menor disponibilidade hídrica, ou seja, com o aumento da idade do povoamento tem-se maior deposição de serapilheira.

Para o Cerrado as folhas apresentaram maior percentual de queda, correspondente a 80,81% dos componentes da serapilheira (Figura 05). Na área do Eucalipto as folhas abrangeram 85,80% do total coletado, em seguida os galhos com 8,70%, as miscelâneas com 5,10% e, por último, as cascas com 0,40 % para o Eucalipto.

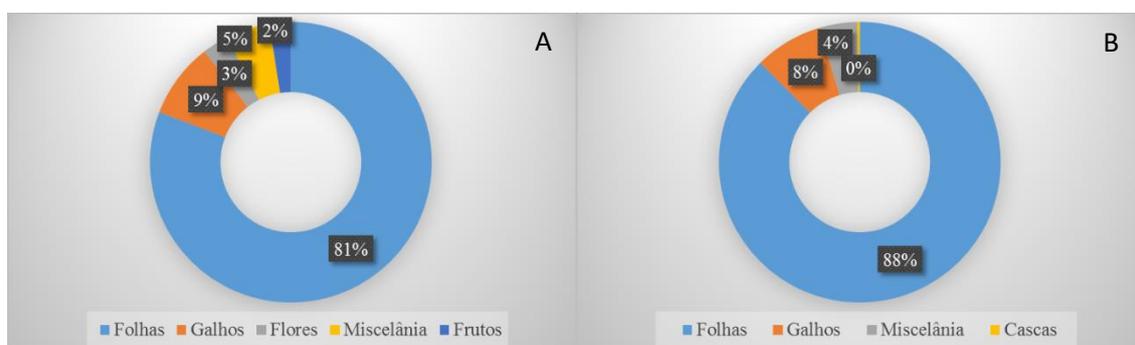


Figura 5 - A – Percentual dos componentes depositados em Cerrado sentido restrito; B - Componentes em percentual da serapilheira depositada em *Eucalyptus urophylla* x

grandis, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF, referente ao período de coleta de setembro de 2015 a agosto de 2016.

Em função do percentual da componente folha na deposição de serapilheira, foi avaliado o comportamento da decomposição de folhas, constatando-se que ambas as vegetações apresentaram tendência semelhante. A biomassa remanescente entre 2015-2016 foi de 63% para o Eucalipto e 62 % para o Cerrado. Durante o período foram liberados 2,06 Mg ha⁻¹ e 2,09 Mg ha⁻¹, para o Eucalipto e Cerrado, respectivamente. O tempo de meia vida ($t^{1/2}$), para o primeiro, foi de 770 dias e, para o Cerrado, foi de 630 dias. Quanto maior o tempo de meia vida, maior o tempo gasto para realização da decomposição.

O Eucalipto também apresentou maior relação C/N para a serapilheira depositada, acumulada e em decomposição, 90,45, 80,07 e 74,24, respectivamente. Para a área de Cerrado a relação C/N para a serapilheira depositada, acumulada e em decomposição foi de 58,31, 64,61 e 59,89, respectivamente. Resíduos com alta relação C/N demoram mais para serem decompostos (MARQUES et al., 2000), ou seja, a relação C/N pode ser utilizada para prever a taxa de decomposição da serapilheira (SARIYILDIZ; ANDERSON, 2003).

A partir dos resultados obtidos pela análise de lignina e celulose (dados não publicados) a implantação de Eucalipto pode alterar o estoque de Carbono nas frações mais recalcitrantes da matéria orgânica do solo em função da maior deposição de resíduos lignificados e de mais difícil decomposição na área em análise, corroborando com resultados obtidos por Pegoraro et al. (2011). No entanto, quando se compara com frações em áreas de Cerrado sentido restrito verifica-se que esse ecossistema produz em sua serapilheira resíduos com menor teor de lignina e de mais fácil decomposição, fato observado também na menor taxa de meia vida e menor valor da relação C/N da serapilheira em seus diferentes períodos, deposição, acumulada e em decomposição, quando comparado com a área de Eucalipto.

2.5.9 - Índice de área foliar

O índice de área foliar do Cerrado variou de 0,83 (mês de maio) a 0,94 (mês de agosto), à medida que o percentual de abertura do dossel seguiu a tendência do IAF, ou seja, quanto maior o valor do IAF menor o valor percentual de abertura do dossel (Tabela

10). Os dados para ambas as análises, IAF e percentual de abertura do dossel, apresentaram normalidade, homogeneidade e não foram significativos ($p > 0,05$).

Tabela 10 - Índice de área foliar para as áreas de Cerrado sentido restrito e *Eucalyptus urophylla x grandis*, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF. AD – percentual de abertura do dossel.

Mês/2016	Cerrado		Eucalipto	
	IAF	% de AD	IAF	% de AD
Fevereiro	0,86	41,45	1,41	25,08
Mai	0,83	42,03	1,29	26,92
Agosto	0,94	39,92	1,19	28,79

Pode se inferir que a sazonalidade presente nessa área não interfere diretamente no IAF, o que pode ser explicado pelo comportamento fenológico das plantas do Cerrado. O Cerrado apresenta espécies brevidecíduas e decíduas que renovam sua área foliar no início e na transição do período seco. Ao renovar essas folhas apresentam maior taxa fotossintética quando comparada com as folhas maduras, o que pode contribuir para diminuir a emissão de CO₂ para atmosfera, processo favorecido pelo armazenamento de água no solo, e garantir o fornecimento de água para as plantas nos meses de maio a setembro.

Estudos realizados por Batalha e Mantovani (2000) e Franco et al. (2005) evidenciam que essa renovação foliar e a reprodução não são limitadas pela disponibilidade hídrica do solo. Lenza e Klink (2006) relacionaram o comportamento em função de fatores exógenos (demanda evaporativa e irradiação) e fatores endógenos (balanço hídrico interno e longevidade foliar). Dentre os fatores endógenos tem-se as estruturas que conservam água na planta, como os xilópios, e/ou um sistema radicular bem desenvolvido (OLIVEIRA et al., 2005).

Dentre as espécies observadas pode se citar-se *Ouratea hexasperma* (A.St.- Hil.) Baill, *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O. Berg, *Caryocar brasiliense* Cambess, *Qualea parviflora* Mart., *Schefflera macrocarpa* (Cham. & Schltdl.) Frodin, *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. Essas espécies são destacadas pelo valor de IVI, o que as fazem, dentre as demais fontes da realização da fotossíntese, atuantes na presença desse processo durante todo o ano, independente das estações chuvosas e secas.

As espécies *Caryocar brasiliense* e *Qualea parviflora* normalmente mostram um pico de perda de folhas no final da estação seca; *Blepharocalyx salicifolius* revela um

pico de perda de folhas no início da estação seca; *S. macrocarpa* produz e perde as folhas continuamente ao longo de todo o ano, e a *Ouratea hexasperma* inicia a perda, desenvolvendo novas folhas com o início das primeiras chuvas durante a transição da estação seca a chuvosa (KOZOVTIS et al., 2007).

2.6 - CONCLUSÃO

O pequeno desbalanço entre as taxas de mortalidade (2,17%) e de recrutamento (3,43%) indica que a vegetação nativa do Cerrado sentido restrito apresenta razoável estabilidade estrutural, com pequeno aumento na densidade. Caso esse comportamento seja mantido, poderá ocorrer o favorecimento de espécies de domínio florestal e diminuir o percentual de biomassa do componente herbáceo.

A substituição do uso do solo de Cerrado para cultivos de Eucalipto altera o estoque de Carbono no solo e na biomassa. O valor do estoque de Carbono total para a área de Cerrado sentido restrito foi de 257,72 Mg ha⁻¹ e para o povoamento de Eucalipto foi de 203,23 Mg ha⁻¹. No entanto, o Eucalipto avaliado, na faixa de idade estudada, 36 meses, ainda não alcançou a produção máxima de biomassa, por isso, durante o intervalo de tempo monitorado nesse estudo, a área de Cerrado apresentou maior estoque de Carbono total.

Sob a mesma perspectiva, o fluxo de biomassa estimado no período avaliado, março de 2013 a março de 2016, estimado para os componentes parte aérea, serapilheira e raízes, foi maior para a área de Eucalipto (25,49 Mg ha⁻¹) e apresentou elevado incremento em biomassa, em função do seu rápido crescimento. Para o Cerrado sentido restrito o fluxo estimado foi de 16,82 Mg ha⁻¹.

O uso do solo sob o povoamento avaliado, Eucalipto, altera a quantidade de matéria orgânica depositada no solo e sua ciclagem, quando comparado com o ecossistema Cerrado, no qual, verifica-se que esse ecossistema produz, em sua serapilheira, resíduos com menor teor de lignina e de mais fácil decomposição, assim como, menor taxa de meia vida e menor valor da relação C/N do material depositado e em decomposição, quando comparado com a área de Eucalipto.

3 - DIFERENÇA NA TROCA LÍQUIDA DE CO₂, CALOR LATENTE, SENSÍVEL E PARA O SOLO ENTRE VEGETAÇÃO NATIVA DO CERRADO SENTIDO RESTRITO E DO POVOAMENTO DE EUCALIPTO

3.1 - RESUMO

O objetivo deste capítulo foi avaliar as alterações nos fluxos de troca líquida de Carbono (NEE), calor sensível (H), latente (LE) e para o solo (G) após mudança do uso do solo, para isso foram amostradas áreas de vegetação nativa de Cerrado sentido restrito e de povoamento de Eucalipto. Para mensurar esses fluxos de energia e fluxo de CO₂ foram implantadas duas torres de medição de fluxos turbulentos e empregado o método de covariância de vórtices turbulentos ou “*Eddy Covariance*” (EC) para medições simultâneas dessas variáveis. Foi realizado o preenchimento de falhas para a NEE e fluxos de energia quando a velocidade de fricção $u^* < 0,2 \text{ m s}^{-1}$. Para os anos de 2013, 2014 e 2015 a NEE para o Cerrado foi de 439, 518 e 578 gC m⁻² ano⁻¹, respectivamente. Pode-se afirmar que a fitofisionomia, Cerrado sentido restrito é sorvedouro de Carbono durante as estações chuvosa e seca, sendo a última com menor assimilação de Carbono. Em função da quantidade de falhas para a área de Eucalipto, não foi possível estimar o fluxo anual para a NEE. As áreas de Cerrado e de Eucalipto apresentaram menores valores de média mensal do fluxo de calor latente apresentaram menores valores no período da seca (junho a setembro), variando de 47 W m⁻² a 64 W m⁻² para o Cerrado e de 34 W m⁻² a 61 W m⁻² para o Eucalipto, enquanto as maiores médias foram identificadas no período chuvoso (outubro a março), de 65 W m⁻² a 119 W m⁻² e de 65 a 113 W m⁻², respectivamente. O aumento de calor latente no período chuvoso foi possível pela disponibilidade hídrica, com o consequente aumento do metabolismo da vegetação e retorno das atividades fotossintéticas da vegetação rasteira, composta principalmente por gramíneas. Para o calor sensível, as maiores médias foram observadas no período seco, com flutuações mensais de 37 W m⁻² a 78 W m⁻², e de 24 W m⁻² a 61 W m⁻², e as menores médias foram identificadas no período chuvoso, 27 W m⁻² a 67 W m⁻² e de 9 a 54 W m⁻² para área de Cerrado e de Eucalipto. Em relação ao particionamento da energia, verificou-se nos anos de 2013 e 2014 que o Eucalipto apresentou menores valores da razão de Bowen, quando comparados com o Cerrado. Durante o período seco, as duas vegetações apresentaram os maiores valores, no entanto em 2013 e 2014, a maior partição de energia (H) foi para a área de Cerrado. Nos meses de fevereiro a julho o fluxo de calor (G) foi da superfície para as camadas mais profundas do solo. Nos demais meses, as duas vegetações

apresentaram o fluxo de calor para a atmosfera. O fluxo de energia, LE, H e G de cada ecossistema apresentou dinâmica compatível com as suas sazonalidades e fenologias.

Palavras-chaves: Cerrado sentido restrito, *Eucalyptus urophylla x grandis*, fluxo de massa, fluxo de energia

3.2 – ABSTRACT

The objective of this chapter was to evaluate the changes in net carbon (NEE), sensible heat (H), latent (LE) and soil (G) changes after land use change, for which vegetation areas were sampled Native of Cerrado restrict sense and of settlement of Eucalyptus. In order to measure these energy flows and CO₂ flow, two turbulent flow measurement towers were implemented and the covariance method of turbulent vortices or Eddy Covariance (EC) was used for simultaneous measurements of these variables. Fault filling was performed for the NEE and energy flows when the friction velocity $u^* < 0, 2 \text{ m s}^{-1}$. For the years 2013, 2014 and 2015 the NEE for the Cerrado was 439, 518 and 578 gC m⁻² year⁻¹, respectively. It can be affirmed that the phytophysiology, Cerrado restrict sense is the sink of Carbon during the rainy and dry seasons, being the last with less assimilation of Carbon. Due to the number of failures for the Eucalyptus area, it was not possible to estimate the annual flow for the NEE. The Cerrado and Eucalyptus areas presented lower values of monthly average latent heat flux, presenting lower values in the dry season (June to September), ranging from 47 W m⁻² to 64 W m⁻² for the Cerrado and 34 W m⁻² at 61 W m⁻² for Eucalyptus, while the highest averages were identified in the rainy season (October to March), from 65 W m⁻² to 119 W m⁻² and from 65 to 113 W m⁻², respectively. The increase of latent heat in the rainy season was possible due to the water availability, with the consequent increase of the vegetation metabolism and return of the photosynthetic activities of the low vegetation, composed mainly by grasses. For the sensible heat, the highest averages were observed in the dry period, with monthly fluctuations from 37 W m⁻² to 78 W m⁻², and from 24 W m⁻² to 61 W m⁻², and the lowest averages were identified In the rainy season, 27 W m⁻² at 67 W m⁻² and from 9 to 54 W m⁻² in the Cerrado and Eucalyptus areas. In relation to energy partitioning, it was verified in the years of 2013 and 2014 that the Eucalyptus presented lower values of the Bowen ratio when compared to the Cerrado. During the dry period, the two vegetations had the highest values, however in 2013 and 2014, the largest energy partition (H) was for the Cerrado area. In the months of February to July the heat flow (G) went from the surface to the deeper layers of the

soil. In the other months, the two vegetations presented the flow of heat to the atmosphere. The flow of energy, LE, H and G of each ecosystem presented dynamics compatible with its seasonalities and phenologies.

Key words: Cerrado restrict sense, *Eucalyptus urophylla x grandis*, mass flow, energy flow

3.3 - INTRODUÇÃO

O Cerrado sentido restrito é caracterizado por paisagem composta por estrato herbáceo dominado em termos de biomassa por gramíneas e estrato arbóreo arbustivo variando em cobertura de 10 a 60% (EITEN, 1972). A mensuração dos fluxos turbulentos nessa fitofisionomia, com tão alta disparidade espacial, requer um procedimento adequado de amostragem a uma escala análoga com, ou superior, a escala de variabilidade do ecossistema (CABRAL et al., 2015). Estudos realizados em áreas de savanas brasileiras utilizaram a técnica de EC para quantificar o fluxo de Carbono (ROCHA et al., 2002; MAIA, 2003; BRAYER, 2001; MIRANDA et al., 1997), fluxo evapotranspiratório e balanço de energia (CABRAL et al., 2015; RODRIGUES et al., 2014; RUHOFF et al., 2014; FERNANDES; NERY, 2013).

A compreensão da interação planta-solo-atmosfera em função das alterações nos fluxos da superfície, partição entre calor latente e sensível, e fluxo de CO₂ é importante para descrever o comportamento da vegetação natural diante do novo cenário. Por outro lado, é essencial quantificar os fluxos provenientes das modificações do uso do solo, como por exemplo a substituição de um ecossistema natural por um plantio de Eucalipto, fato comum no bioma Cerrado. Já é sabido que a alteração da partição entre calor latente e sensível pode modificar o clima (FOLEY et al., 2003), e o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera (IPCC, 2007), uma vez que o CO₂ é o maior responsável dentre os gases do efeito estufa (CANADELL et al., 2007).

Considerando que as condições edafoclimáticas são semelhantes em área de Cerrado sentido restrito e do povoamento de *Eucalyptus urophylla x grandis*, esse estudo tem como objetivo caracterizar o comportamento desses ecossistemas em função da sazonalidade e avaliar as alterações nos fluxos de calor sensível e latente e na troca líquida de CO₂ após a mudança do uso do solo.

3.4 - MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 - Área de estudo

Este estudo foi conduzido em duas áreas na Reserva Ecológica e Experimental da Universidade de Brasília, Fazenda Água Limpa (FAL). Para mais detalhes ver item 2.4.1, Capítulo II.

3.4.2 - Torres de medição de fluxo de energia

Para mensurar os fluxos de energia, calor latente (LE), calor sensível (H), calor no solo (G) e fluxo de CO₂, foram instaladas duas torres para medição de fluxos turbulentos pelo método de covariância de vórtices (Figura 6). Uma das torres foi implantada na área do Cerrado sentido restrito (Cerrado) e a outra no povoamento de Eucalipto, híbrido clonal, *Eucalyptus urophylla x grandis* (Eucalipto).

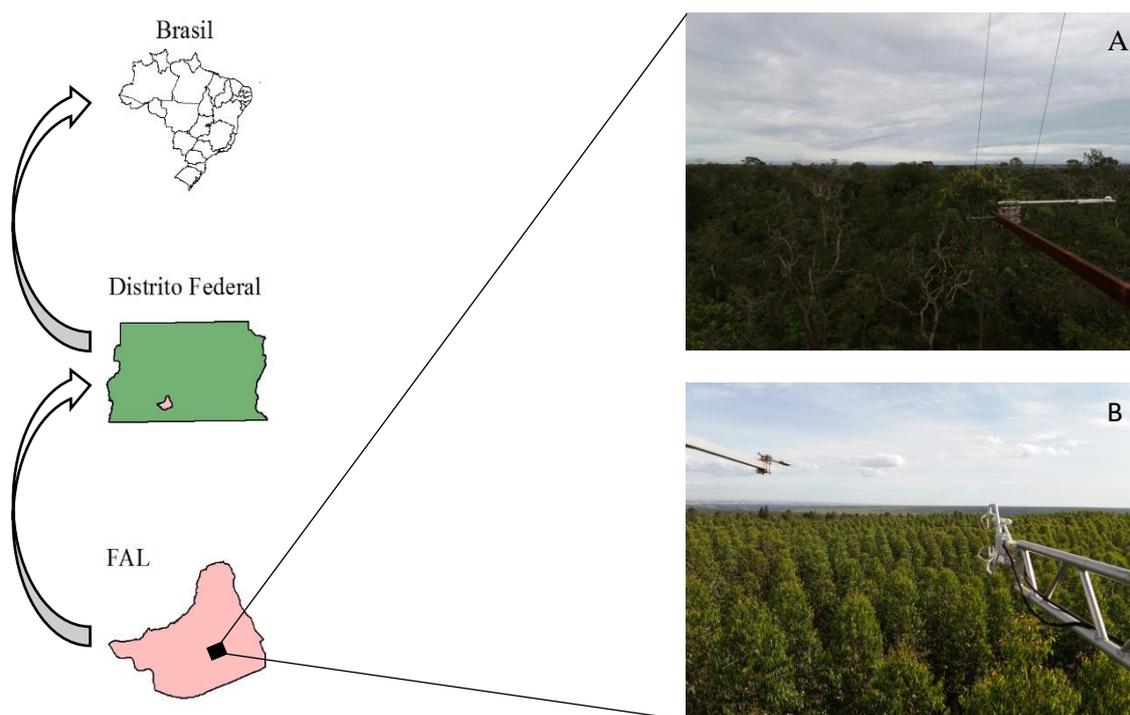


Figura 6 - Vista panorâmica das áreas de estudo na Fazenda Água Limpa, DF. A – Cerrado sentido restrito, e B - *Eucalyptus urophylla x grandis*, a partir do andaime das torres de fluxos.

A área de estudo que abrange o Cerrado sentido restrito está localizada em um raio de 250 m da torre, referente às coordenadas 15° 57' 14,1'' Sul e 47° 54' 58,8'' Oeste a 1149 m de altitude. Para a área de Eucalipto, a torre está localizada entre as coordenadas 15° 57' 55,4'' Sul e 47° 54' 38,5'' Oeste, a 1175 m de altitude. A área das duas vegetações

apresenta relevo plano. A área de pegada das torres abrange 250 m, podendo ser alterada de acordo com as condições climáticas (BALDOCCHI; WILSON, 2001).

Cada torre foi instalada considerando a altura do dossel. Para a área de Cerrado essa altura foi de 12 m, e para a área do Eucalipto foi de 20 m, pois a torre deve ter altura mínima de 10% acima do dossel da vegetação. Foram inseridos três componentes para medição; instrumentos que mensuram o fluxo de covariância de vórtices turbulentos, variáveis micro-meteorológicas e medições de variáveis relativas ao solo.

O sistema que mensura o fluxo de covariância de vórtices nas duas torres consiste na medição direta em alta frequência das variáveis aleatórias “instântaneas” necessárias para realização das covariâncias dos componentes da velocidade, temperatura virtual e concentração de gases, composto pelos seguintes instrumentos: um anemômetro sônico 3D CSAT (Campbell Scientific) que mede a temperatura virtual, velocidade do vento nas três direções do plano cartesiano (U_x , U_y e U_z) e a direção do vento e um analisador de gases EC150 (Campbell Scientific) para concentração de CO_2 e vapor d'água.

Em relação as variáveis micrometeorológicas foram instalados um sensor de radiação fotossintética ativa (PAR, do inglês “*Photosynthetically Active Radiation*”) LI190SB (Licor), um sensor de umidade relativa e temperatura do ar modelo HMP45C (Vaisala), um saldo-radiômetro modelo NR-LITE2 (Kipp & Zonen) e um pluviômetro TE525 (Texas Electronics). Essas variáveis servem para estabelecer correlações entre fluxos turbulentos de energia e massa e os forçamentos meteorológicos, pressão e vento, para estimativas de funções vegetativas de cada ecossistema em questão (STOY et al., 2008).

No solo, perfis de umidade do solo foram medidos à profundidade de 4 cm, 15 cm, 30 cm e 60 cm, com sensores de conteúdo de água no solo modelo CS616 (Hukseflux), e dois sensores de fluxo de calor no solo, modelo HFP01. Finalmente, dois coletores de dados, Logger EC modelo CR3000 (Campbell Scientific) e o Logger modelo CR1000 (Campbell Scientific) foram utilizados para armazenar os dados, sendo que o Logger CR1000 mensura os dados provenientes do solo.

O cálculo da covariância requer medidas de alta frequência das variáveis envolvidas exigindo sensores de resposta rápida. Os dados foram digitalizados e registrados a 10 Hz, e os fluxos micrometeorológicos de calor, CO_2 e H_2O foram calculados em intervalos de 30 min. Os cálculos dos fluxos foram realizados no sistema

de aquisição programado para tal. As correções de Webb Pearman e Leuning, (1980), correções espectrais não foram realizadas, pois em testes chegou-se a conclusão de que não eram relevantes. Para mais detalhes vide seção 3.4.3.

Por motivos técnicos, a instalação da torre na área de Eucalipto foi realizada no final do mês de maio de 2014, quatorze meses após a implantação do povoamento. A partir do mês de setembro de 2015 essa torre apresentou falhas na obtenção dos fluxos do balanço de radiação (R_n). A torre em área de Cerrado foi instalada em agosto de 2012, apresentando falhas de magnitude mensal no período de fevereiro a setembro de 2016 na obtenção de todos os dados.

3.4.3 - Dados de covariância de vórtices turbulentos

As trocas de energia, sensível e latente, e CO_2 entre superfície e atmosfera são regidas pelas equações de transporte dos escalares em questão, temperatura, vapor d'água e CO_2 (TOL et al., 2003; STULL, 1988), princípios de conservação de energia e massa.

Sob condições de homogeneidade horizontal da vegetação (derivadas nulas em relação às coordenadas horizontais), assumindo regime permanente (derivadas nulas em relação ao tempo), desprezando os fluxos difusivos moleculares, mediante a aplicação da média de Reynolds nas equações com velocidade média vertical zero (efeitos advectivos de velocidade vertical finita devido a flutuações de densidade serão introduzidas por meio de correções - vide cálculo de fluxos abaixo) e desprezando as flutuações de pressão essas trocas se reduzem ao fluxo turbulento vertical, dado, na sua forma genérica, por (ARYA; HOLTON, 2001):

$$F_s = C \overline{w's'} \quad (3.1)$$

em que: F_s = fluxo turbulento do escalar genérico s ; w = velocidade vertical instantânea; s = escalar genérico; C representa um termo de conversão de unidades; apóstrofe refere-se a flutuações em relação a média; barra superior representa o operador da média; sendo então $\overline{w's'}$ a covariância das variáveis aleatórias w e s .

No caso específico do fluxo de calor sensível, calor latente e CO_2 (desprezando flutuações de densidade do ar), os fluxos turbulentos são estimados por:

$$H = \left(C_{pa} \overline{\rho_a} + C_{pv} \overline{\rho_v} \right) \overline{w'T'} \quad (3.2)$$

$$L = \lambda \overline{w' \rho_a'}^F \quad (3.3)$$

$$F_c = \overline{w' \rho_c'}^F \quad (3.4)$$

em que: H (W m^{-2}) e L (W m^{-2}) = calor sensível e latente respectivamente; F_c = fluxo de CO_2 ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$); T (K) = temperatura do ar; ρ_v (kg m^{-3}) = densidade de vapor d'água; ρ_c (kg m^{-3}) = densidade de CO_2 ; ρ_a (kg m^{-3}) = densidade do ar; C_{pa} ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) = calor específico a pressão constante do ar; C_{pv} ($\text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$) = calor específico a pressão constante do vapor d'água; λ (J kg^{-1}) = calor latente de vaporização da água; superescrito F denota fluxos corrigidos devido a flutuações de densidade.

Para a temperatura medida pelo anemômetro sônico (T_s [K]), correções têm que ser aplicadas nas covariâncias das variáveis medidas w e T_s para obtenção do calor sensível (MASSMAN: LEE, 2002; PAW et al., 2000).

$$\overline{w'T'} = \overline{T} \left(\frac{1}{1 + \overline{\chi_v}} \frac{\overline{w'T'_s}}{\overline{T_s}} - \frac{\overline{\alpha_v} (1 + \overline{\chi_v})}{1 + \overline{\chi_v}} \frac{\overline{w'\rho'_v}}{\overline{\rho_a}} \right) \quad (3.5)$$

em que: $\overline{\chi_v}$ = razão de mistura volumétrica, $\overline{\lambda_v} = \overline{\beta_v} (1 + \overline{\chi_v})$, com $\overline{\beta_v} = 0,32 \overline{\chi_v} / (1 + 1,32 \overline{\chi_v})$, e $\overline{\alpha_v} = 0,32 \mu_v / (1 + 1,32 \overline{\chi_v})$, com μ_v sendo a razão entre as massas moleculares do ar seco e do vapor d'água, $\mu_v = M_a / M_v$.

A existência de fluxo de calor promove flutuações de densidade e por consequência uma velocidade vertical finita para obedecer a conservação de massa. Essa velocidade é mínima e não detectável pelos instrumentos de medição, mas seus efeitos podem ser da ordem de grandeza dos próprios fluxos turbulentos medidos (caso de gases traços como CO_2), sendo necessário a correção desses fluxos (WEBB PEARMAN; LEUNING, 1980).

$$\overline{w'\rho'_v}^F = (1 + \overline{\chi_v}) \overline{w'\rho'_v} + \overline{\rho_v} (1 + \overline{\chi_v}) \frac{\overline{w'T'}}{\overline{T}} \quad (3.6)$$

$$\overline{w'\rho'_c}^F = \overline{w'\rho'_c} + \overline{\rho_c} (1 + \overline{\chi_v}) \frac{\overline{w'T'}}{\overline{T}} + \overline{\varpi_c} \mu_c \overline{w'\rho'_v} \quad (3.7)$$

em que: $\overline{\varpi_c}$ é a razão de mistura mássica de CO_2 . Além desses, é de interesse sob ponto de vista de interação biosfera-atmosfera as estimativas de fluxo de momento dado por:

$$\tau = \overline{\rho_a} \sqrt{\overline{w'u'^2} + \overline{w'v'^2}} \quad (3.8)$$

em que: τ (Pa) = tensão cisalhante; u e v (m s^{-1}) = componentes horizontais da velocidade.

3.4.4 - Processamentos dos fluxos de LE, H, G e CO₂

Para compreender o fluxo da troca ecossistêmica líquida (NEE, do inglês “*Net Ecosystem Exchange*”) nas duas vegetações ao longo do ano é importante mensurar as flutuações da temperatura, radiação global, precipitação, umidade e deficit de pressão de vapor ao longo do período monitorado, fatores influentes na troca líquida de Carbono nas vegetações em análise. Para essa caracterização, foi utilizada a base de dados da FAL no período de janeiro de 2012 a setembro de 2016, o qual compreende os valores de fluxos mensurados pelas torres de fluxo instaladas na área de Cerrado e Eucalipto.

Foram estimados os valores diários do deficit de pressão de vapor atmosférico (VPD, do inglês “*Vapor Pressure Deficit*”) e do fotoperíodo (N). O VPD foi estimado por meio da fórmula de Jones (1992):

$$VPD = 0,611375 e^{\left(\frac{17,502 \cdot Tar}{240,97 + Tar}\right)} * \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (3.9)$$

em que Tar: temperatura do ar em °C e UR: umidade relativa do ar (%). O fotoperíodo foi calculado pela equação:

$$N = 0,1333 * \text{acos}(-\tan\Phi * \tan\delta) \quad (3.10)$$

em que Φ : latitude do local e δ é a declinação solar calculada pela equação de Pereira, Angelocci e Sentelhas, (2002) dependente do número do dia do ano (NDA).

$$\delta = 23,45 * \text{sen}((NDA - 80) * 360/365) \quad (3.11)$$

Para entender os processos que compreendem o fluxo de NEE nos períodos noturno e diurno, esses períodos foram tratados separadamente, uma vez que as variáveis independentes são diferentes para a fotossíntese e respiração. Neste estudo, a assimilação, foi quantificada por meio da produtividade ecossistêmica bruta (GEP, do inglês “*Growth Ecosystem Productivity*”), assumindo-se como sendo zero durante os períodos noturno e para $\text{PAR} < 20 \text{ mmol m}^{-2}$. Durante o período noturno, a NEE é composta inteiramente pela respiração ecossistêmica (RE), onde $NEE = -GEP + RE$ (o sinal negativo denota assimilação de Carbono pelo ecossistema) (NOVICK et al., 2015).

Foi utilizada a substituição de dados de fluxos de respiração noturna quando o valor da velocidade de fricção foi, $u^* < 0,2 \text{ m s}^{-1}$, para obter estimativas de fluxo anual de NEE. Os dados noturnos menores que o valor estabelecido para u^* foram substituídos por dados estimados em função de noites com turbulência mais desenvolvida (WANG et al., 2005). A correção dos dados de fluxos que apresentam baixa velocidade de fricção visa minimizar o problema em condições de pouca ou nenhuma turbulência e tem sido empregada em diversas pesquisas conforme pode ser visto em Falge et al. (2001); Reichstein et al. (2005); Novick et al. (2014), Novick et al. (2015).

Foram utilizados métodos de preenchimento de lacunas que compreendessem a sensibilidade dos dados de fluxos às mudanças, dos dados micrometeorológicos mensais, presente nas duas áreas da pesquisa, principalmente a sensibilidade à temperatura sazonal, que estima os fluxos de RE ecossistêmica. Foi avaliada a fenologia das espécies, de modo que, o Eucalipto fornecerá parâmetros significativos mensais, em função do período avaliado, e de sua elevada taxa de crescimento nos primeiros anos, após a sua implantação. Foi, ainda, avaliada a heterogeneidade de espécies, em relação a fenologia para a área de Cerrado sentido restrito.

Em razão dessas características foram utilizadas as seguintes metodologias para preenchimento das lacunas dos dados obtidos por meio do método de EC: NEE com valores fora do intervalo de $-3,0 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a $3,0 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ foram removidos, valores positivos foram considerados como fotossíntese na presença de PAR, e valores negativos, assumiu na ausência de PAR como respiração do ecossistema. Foi utilizada a interpolação linear para perdas de dados até três horas; regressões não lineares para explicar os “fluxos biológicos”, assim interpretados, os fluxos de energia (FALGE et al., 2001).

Para correção dos dados de fluxos de GEP foi considerada a relação entre a fotossíntese e a PAR. Esta relação pode ser representada por uma equação hiperbólica retangular (NOVICK et al., 2015).

$$GEP = \frac{\alpha\beta PAR}{\alpha PAR + \beta} \quad (3.12)$$

Onde α é a eficiência de utilização de luz pelo dossel e representa a inclinação inicial da curva de resposta de luz (mg C J^{-1}) e, β é a taxa máxima de CO_2 absorvida pelo dossel na saturação da luz ($\text{mgC m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Um modelo do tipo *Arrhenius* foi usado para modelar a respiração em função da temperatura do ar, assim como utilizado por Novick et al. (2015).

$$RE = r_0 \exp \left[E_0 \left(\frac{1}{T_{ref}-T_0} - \frac{1}{T_a-T_0} \right) \right] \quad (3.13)$$

em que r_0 é a respiração na temperatura de referência ($\text{mg C m}^{-2}\text{s}^{-1}$), E_0 é a temperatura de sensibilidade ($^{\circ}\text{C}$), T_a é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), $T_{ref} = 15^{\circ}\text{C}$ e $T_0 = -46,02^{\circ}\text{C}$. Foram utilizadas análises de regressões, valores observados durante períodos noturnos e diurnos com turbulência mais desenvolvida, para obter valores dos parâmetros acima, por meio da regressão de mínimos quadrados ordinário, a qual maximiza a probabilidade dos valores dos parâmetros com base no pressuposto de resíduos normalmente distribuídos.

Para os fluxos de LE, foram removidos da série temporal valores fora do intervalo de -200 Wm^{-2} a 1000 Wm^{-2} . Essas falhas foram preenchidas utilizando a metodologia de distribuição marginal (REICHSTEIN et al., 2005) para dados com intervalos maior que três horas foi substituído pelo valor médio nas condições meteorológicas semelhantes dentro de uma janela de tempo de \pm aproximadamente 7 dias. Condições meteorológicas similares estão presentes quando R_g , t_{ar} e VPD não se desviar mais do que 50 W m^{-2} , $2,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, e $5,0 \text{ kPa}$, respectivamente.

Se não há condições meteorológicas semelhantes, presentes dentro da janela de tempo, a janela de cálculo da média foi aumentada até \pm aproximadamente 14 dias. O mesmo filtro u^* , descrito na seção anterior, também foi aplicado aos registros de fluxo LE. Para consistência com um estudo prévio, os registros de LE foram preenchidos usando a metodologia de distribuição marginal (REICHSTEIN et al., 2005) descrita em Novick et al. (2015).

3.5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 - Dados meteorológicos

Para compreender o fluxo de NEE nas duas vegetações ao longo do ano é importante identificar o comportamento da temperatura, radiação global, precipitação, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor (Figura 7). Fatores atuantes na troca líquida de Carbono nas vegetações em análise.

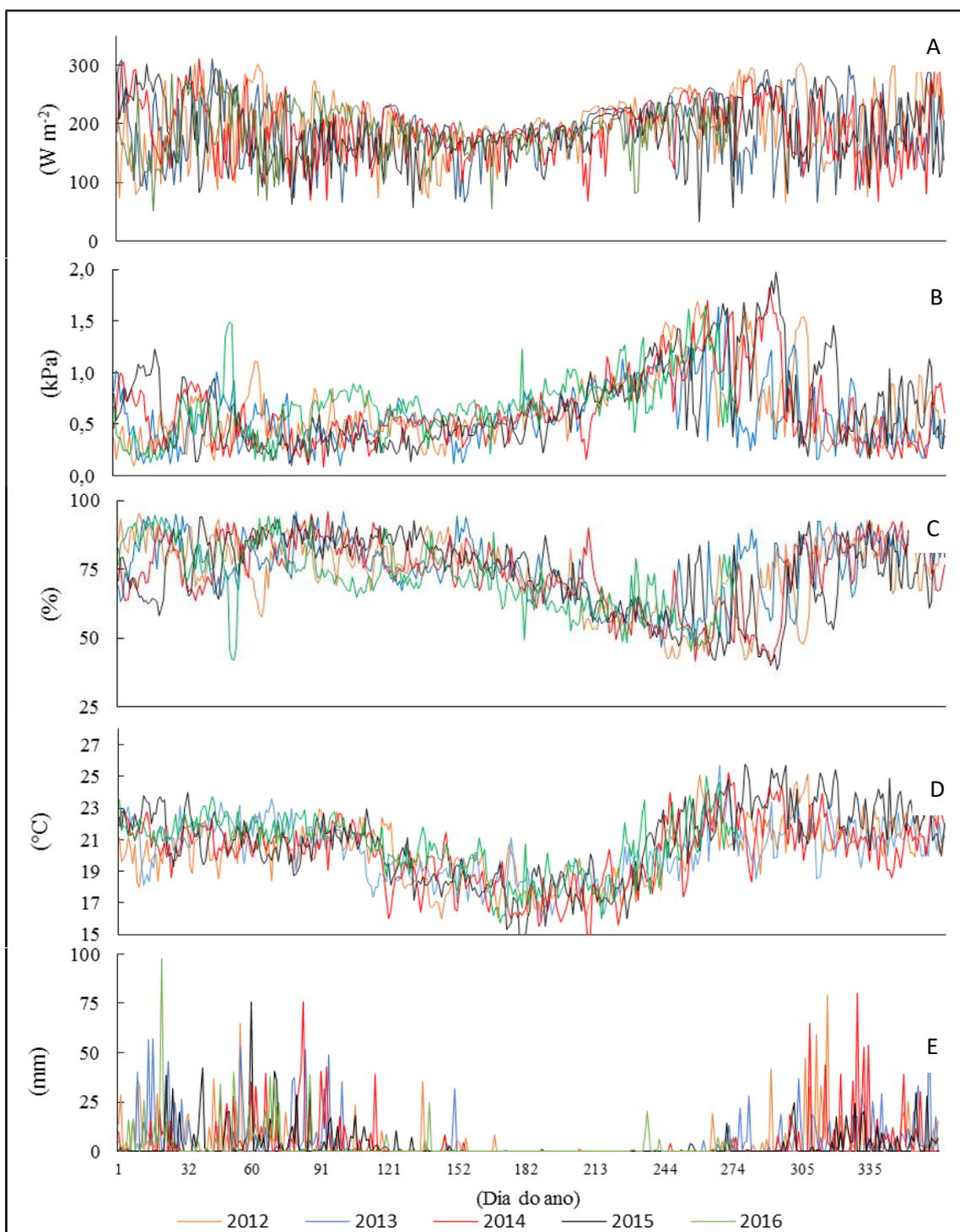


Figura 7 - Dados meteorológicos, em dias juliano, da área de estudo na Fazenda Água Limpa, DF. A - Radiação Global (W m^{-2}); B - Deficit de Pressão de Vapor (kPa); C - Umidade relativa do ar (%); D - Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e E - Precipitação (mm).

De acordo com a Figura 7 a área que abrange as extensões experimentais, Cerrado e Eucalipto, apresenta regime de precipitação definida, com início em outubro e fim em meados de maio com baixa ou nenhuma precipitação nos meses de junho a agosto. Os maiores valores de radiação global, temperatura e umidade relativa do ar coincidem com

o período chuvoso. O VPD apresentou os maiores valores nos meses de agosto a outubro o inverso ocorreu com a umidade relativa do ar, o que indica maior demanda evaporativa da atmosfera.

3.5.2 - Dados de covariância de vórtices, processamento dos fluxos NEE

Os dados observados evidenciaram que as medições de covariância de vórtices ficaram indisponíveis quando ocorreu precipitação e/ou turbulência fraca, esta última geralmente ocorreu no período noturno. Dados estimados de RE foram quase simétricos, mas mais estreitos do que uma Gaussiana, o que implica pequena violação da suposição da curva de Gauss, visto que foi utilizada a regressão de mínimos quadrados ordinário.

A RE foi estimada em função da temperatura do ar. Segundo Reichstein et al. (2005) a variância da temperatura foi explicada pela temperatura do ar em algumas vegetações. No entanto, segundo esse mesmo autor esse resultado foi empírico e não implica interpretação mecanicista, onde a temperatura do ar é o principal fator para modelar a respiração ecossistêmica. Também são necessários mais estudos sobre a influência da utilização da temperatura do solo para essas estimativas, principalmente em área de Cerrado sentido restrito, pois nesse ecossistema o maior estoque de Carbono está localizado no solo e na biomassa subterrânea. Estimativas de RE podem superestimar, ou subestimar a NEE, de modo que a RE é um componente da partição de NEE no ecossistema.

A troca líquida de CO₂ é importante para compreender o funcionamento desse ecossistema ao longo do ano e em função da sazonalidade e da flutuação das variáveis climáticas. A variação do fluxo de Carbono nas duas vegetações acompanhou a dinâmica dessas espécies em relação a sazonalidade e fenologia. Para a área de Eucalipto, nos primeiros anos, os valores de NEE foram menores, com o aumento da idade esse ecossistema apresentou maiores valores de NEE, quanto maior o valor negativo (-) de NEE, maior a assimilação de CO₂ no ecossistema. A assimilação de CO₂ foi menor no período da seca, meses de junho a setembro. Esse comportamento também foi observado para a área de Cerrado, no entanto, durante alguns dias, principalmente no período da seca, a área de Cerrado se mostrou como fonte de CO₂, apresentando valores positivos (+) para a NEE (Figura 8).

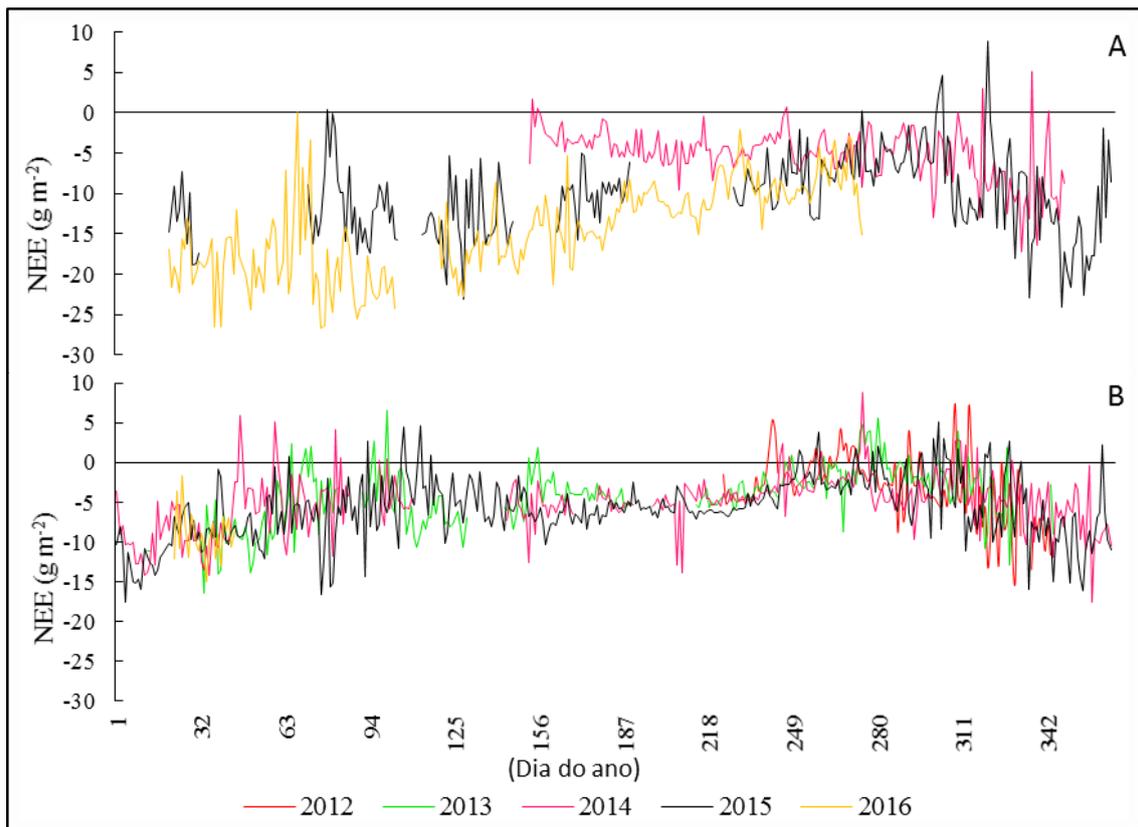


Figura 8 - Média diária do fluxo de NEE, CO₂ em (g m⁻²), nas vegetações de Eucalipto (A) e Cerrado (B) no período de 2012 a 2016, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF.

Ao comparar o fluxo médio diário de NEE nessas duas vegetações (Figura 9) é perceptível que o Eucalipto ao longo dos anos de 2014 a 2016 apresentou maiores valores nos meses de março a outubro.

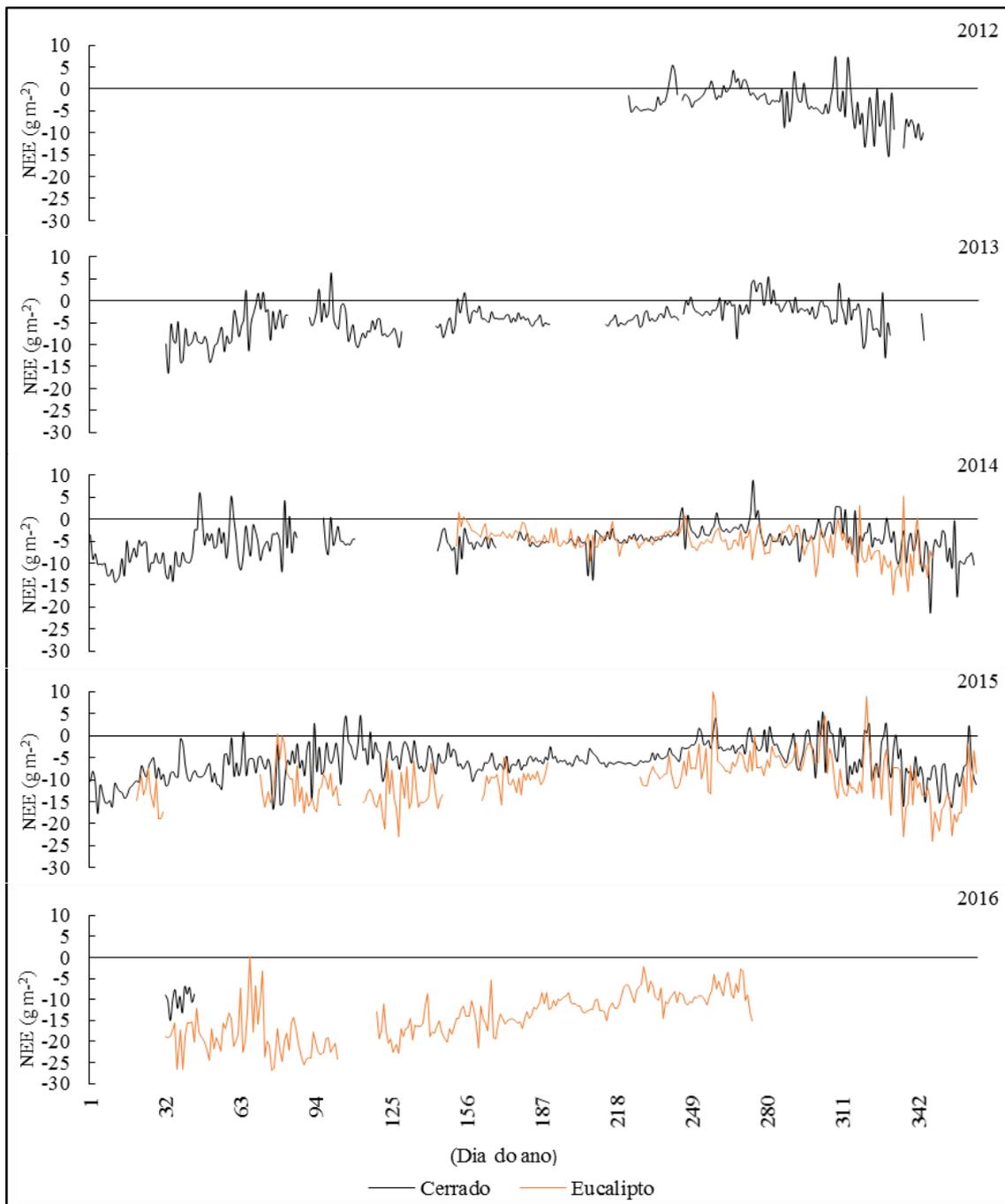


Figura 9 - Fluxo da NEE, médias diárias de CO₂ em (g m⁻²), para as áreas de Cerrado sentido restrito e *Eucalyptus urophylla x grandis*, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF.

Para a vegetação de Cerrado, quanto maior a produção de serapilheira e dormência, ou secamento das gramíneas no período seco, menor a assimilação de Carbono da atmosfera e maior a liberação de Carbono no sistema por meio da respiração (Figura 10). O Eucalipto apresentou a mesma tendência sazonal de sorvedouro e fonte de Carbono em função da quantidade consumida pelo processo de fotossíntese e pela liberação de Carbono por meio da respiração.

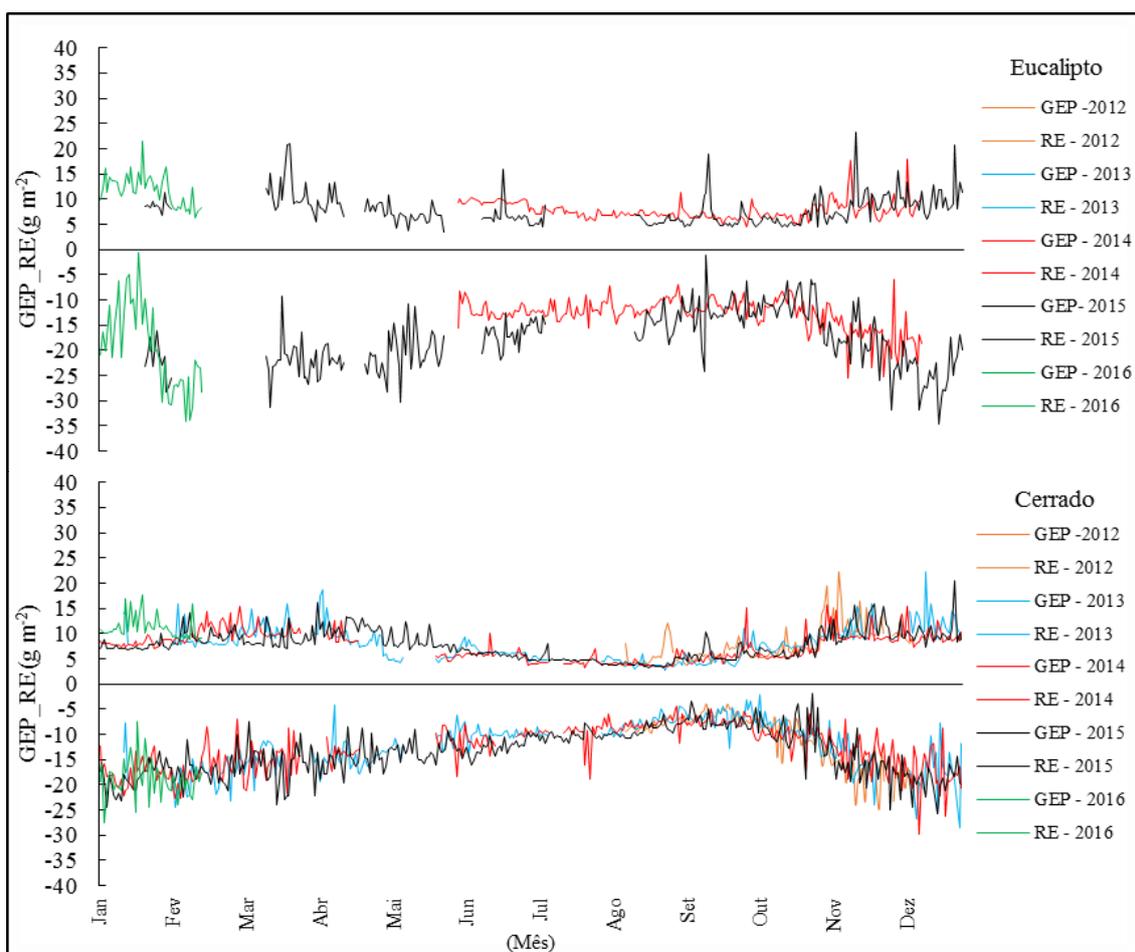


Figura 10 - Médias diárias do fluxo de CO₂ em (g m⁻²) por meio da assimilação (GEP) e respiração (RE) no período de 2012 a 2016, amostradas na Fazenda Água Limpa, DF.

Estudos realizados em áreas de Cerrado sentido restrito indicam que o Cerrado é sorvedouro de Carbono, durante a estação chuvosa, e fonte ao final da estação seca (MAIA, 2003; ROCHA et al., 2002; BRAYER, 2001; MIRANDA et al., 1996; MIRANDA et al., 1997). No entanto, nesse estudo, a vegetação analisada, Cerrado sentido restrito, não se comportou como fonte de Carbono no período seco, conforme pode ser visualizado na Figura 11. Devido às falhas de dados diários ocorridas no mês de agosto de 2012, não foi elaborado o gráfico para os meses de agosto a outubro desse mesmo ano, contudo, nos meses de setembro e outubro de 2012 o ecossistema não comportou como fonte de Carbono, mas sim como sumidouro.

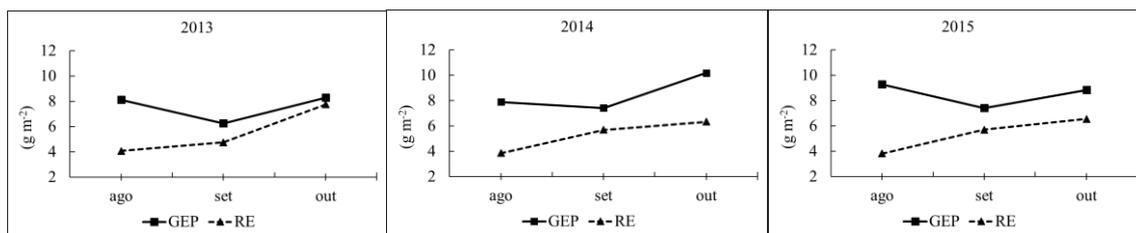


Figura 11 - Média mensal do fluxo de CO₂ nos meses de agosto a outubro, de 2013 a 2015.

Para estimar a troca líquida de Carbono anual para a área de Cerrado, considerou-se para os anos de 2013 e 2014, a média mensal dos meses com falhas menores que cinco dias, para os meses com falhas maiores que cinco, foi utilizado o valor médio dos mesmos meses nos demais anos mensurados. Para os anos de 2013, 2014 e 2015 a NEE para o Cerrado foi de 439, 518 e 578 gC m⁻² ano⁻¹, respectivamente. Pode-se afirmar que essa fitofisionomia é sorvedouro de Carbono durante as estações chuvosa e seca, sendo a última com menor absorção. A área de Cerrado sentido restrito avaliada apresentou maior assimilação de Carbono, quando comparada com trabalhos já realizados em outras áreas de Cerrado sentido restrito

O fluxo de Carbono para a área de Eucalipto também respondeu a variação sazonal. No período chuvoso apresentou valores diários maiores de fotossíntese, em função da maior disponibilidade hídrica e de energia. Para o período da seca foi semelhante à vegetação do Cerrado, porém com valores maiores de GEP e maior acúmulo de Carbono (Tabela 11).

Tabela 11 - Valores dos parâmetros médios mensais de NEE para a área de Eucalipto nos meses de agosto a outubro, de 2014 a 2016, amostrados na Fazenda Água Limpa, DF.

Mês	2014		2015		2016	
	GEP	RE	GEP	RE	GEP	RE
	(g m ⁻²)					
Agosto	-11,30	6,92	-	-	-13,48	4,51
Setembro	-11,24	6,56	-12,32	6,09	-13,38	4,84
Outubro	-11,87	7,00	-10,88	8,90	-	-

* Nos meses de agosto de 2012 e outubro de 2016, por motivos técnicos não foi possível obter todos os valores médios diários.

O maior acúmulo de Carbono nos meses de agosto a outubro pode estar relacionado a idade do povoamento e respiração do solo. Em idades mais jovens, são verificadas as maiores taxas de absorção, determinada pela respiração de CO₂ e a produtividade primária bruta, provavelmente devido ao crescimento mais rápido, ressaltado por maiores incrementos de biomassa (RODY, 2013). Nesse período, agosto a

outubro, tem - se menor liberação de CO₂ por meio da respiração do solo, época esta considerada pouco favorável à atividade dos microorganismos no solo (LIRA; POGGIANI; GONÇALVES, 1999).

3.5.2 - Dados de covariância de vórtices, processamento dos fluxos de LE, H e G

O fluxo de energia, LE e H, também acompanhou a dinâmica dessas espécies em relação a sazonalidade e fenologia (Figura 12).

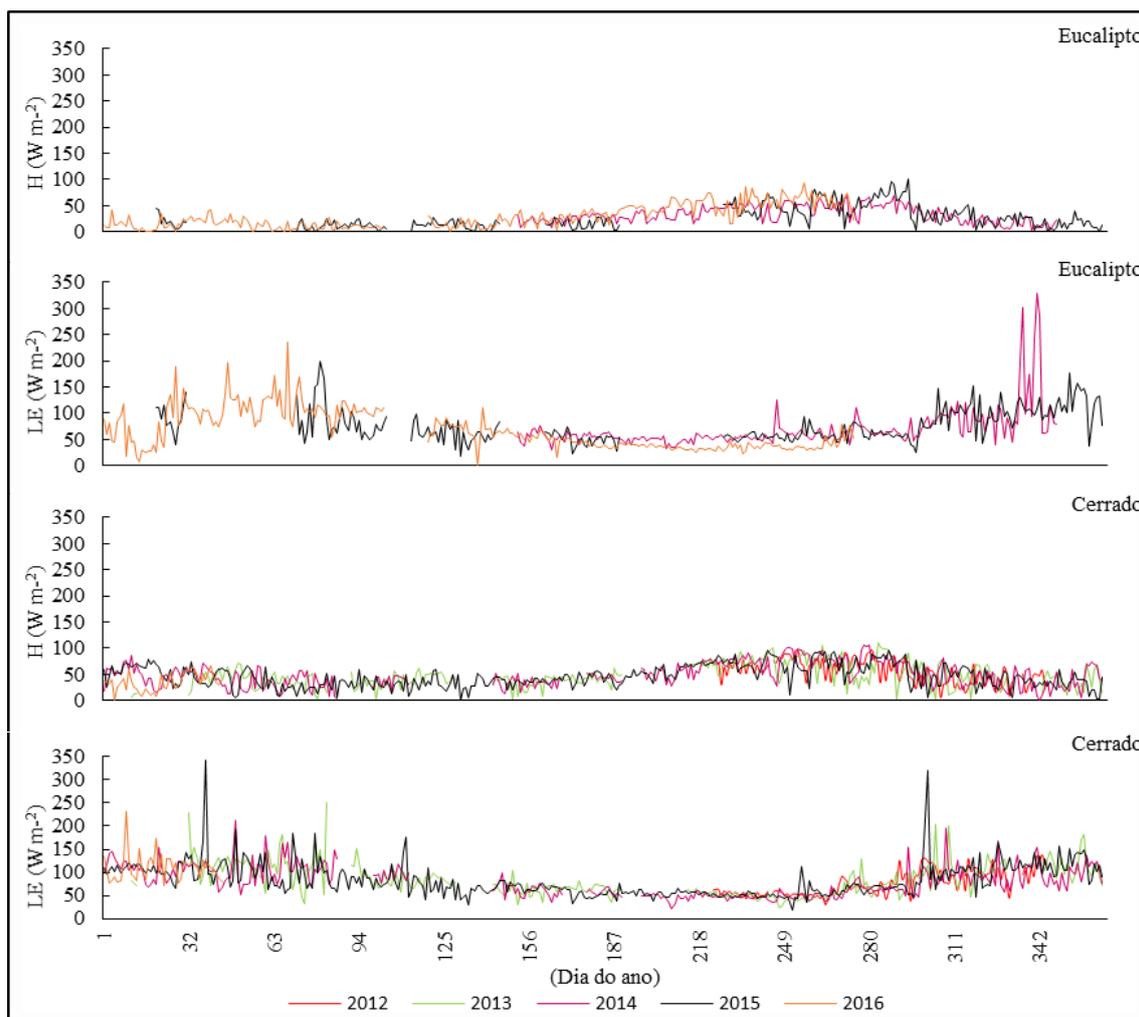


Figura 12 - Médias diárias do fluxo de energia, LE e H no período de 2012 a 2016 para as áreas de Cerrado e Eucalypto, amostradas na Fazenda Água Limpa, DF.

Para as áreas de Cerrado e de Eucalypto a média mensal do fluxo de calor latente apresentaram menores valores no período da seca (junho a setembro), variando de 47 W m⁻² a 64 W m⁻² para o Cerrado e 34 W m⁻² a 61 W m⁻² para o Eucalypto, enquanto que as maiores médias foram identificadas no período chuvoso (outubro a março), de 65 W m⁻² a 119 W m⁻² e de 65 a 113 W m⁻², respectivamente. Para o calor sensível, as maiores médias foram observadas no período seco, com flutuações mensais de 37 W m⁻² a 78 W

m^{-2} , e de 24 W m^{-2} a 61 W m^{-2} , de modo que as menores médias foram identificadas no período chuvoso, 27 W m^{-2} a 67 W.m^{-2} e de 9 a 54 W m^{-2} para área de Cerrado e de Eucalipto.

Ao analisar a razão de Bowen ($\beta = H/LE$) foi possível compreender como a energia é particionada e aproveitada nesses ambientes, de modo que seja possível inferir sobre a mudança local no balanço de energia em função do uso e modificação do solo. Para o Cerrado β média mensal variou de 0,2 a 1,6, sendo os menores valores obtidos na estação chuvosa e os valores ≥ 1 na estação seca, meses de agosto e setembro. Esse aumento de energia latente no período chuvoso foi possível pela disponibilidade hídrica, conseqüentemente o aumento do metabolismo da vegetação e retorno das atividades fotossintéticas da vegetação rasteira, composta principalmente por gramíneas.

Para o Eucalipto, até a idade de 36 meses, os valores da β variaram de 0,1 a 0,8, sendo os maiores valores obtidos nos meses de julho a setembro. No entanto, em 2016, o Eucalipto com idade superior a 36 meses, apresentou valores ≥ 1 nos meses de julho a setembro. Os menores valores da β apresentados na etapa inicial de desenvolvimento do povoamento de Eucalipto pode estar relacionado com a maior taxa de crescimento e os processos relacionados ao ganho de biomassa, evapotranspiração, perda de vapor d'água, e fotossíntese, assimilação de CO_2 (REIS et al., 2014).

Ao avaliar o período de agosto a novembro de 2014 o fluxo de calor G/R_n foi direcionado para atmosfera, nas áreas de Cerrado e Eucalipto. Devido a falha de dados, para a área de Eucalipto, avaliou-se apenas o fluxo anual para o ano de 2015 em área de Cerrado. A direção do fluxo de calor no solo nos meses de agosto a janeiro foi do solo para a atmosfera.

Todavia, nos meses de fevereiro a julho o fluxo de calor foi em direção ao solo. Esse fluxo representa a transferência para níveis inferiores do solo e é em função da temperatura e da condutividade térmica do solo. É um importante componente do fluxo de energia, o qual contribui para a redução ou aumento do fluxo de calor. A figura 13 mostra a variação do fluxo de calor para o solo (G) para as áreas de Cerrado e de Eucalipto. Valores positivos mensuram a emissão do fluxo de calor para atmosfera e valores negativos, fluxo de energia para o solo.

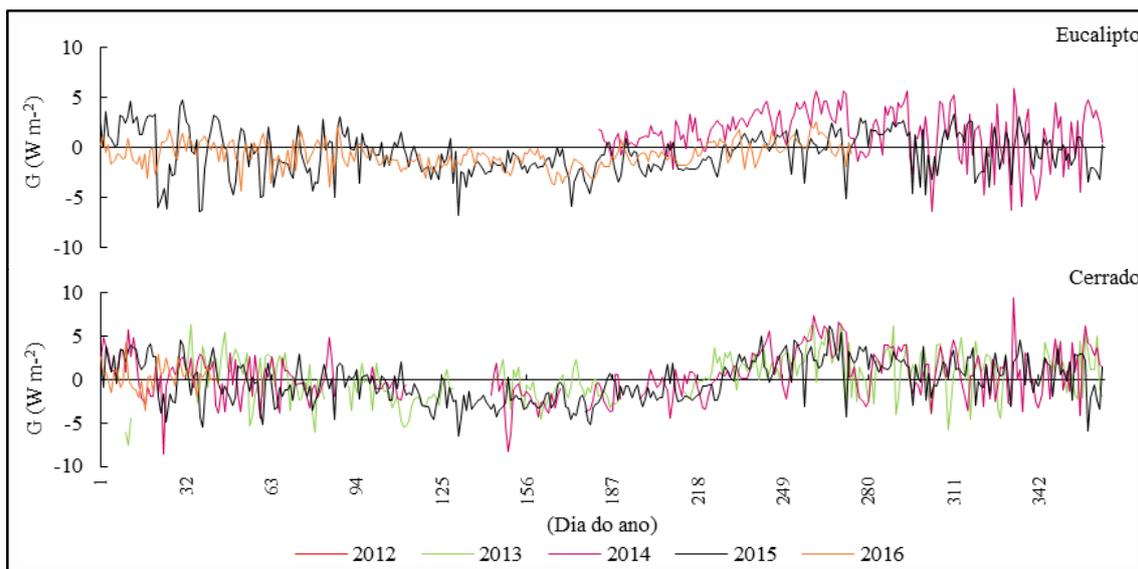


Figura 13 - Absorção e emissão do fluxo de calor no solo (G) em área de Cerrado e de de Eucalipto, amostrado na Fazenda Água Limpa, DF.

O fechamento do balanço de energia (Figura 14) mostra uma diferença na inclinação da reta em relação ao balanço de energia. Contudo, esse comportamento é característico do fechamento de balanço de energia por meio da utilização do método de covariância de vórtices turbulentos (WILSON et al., 2002).

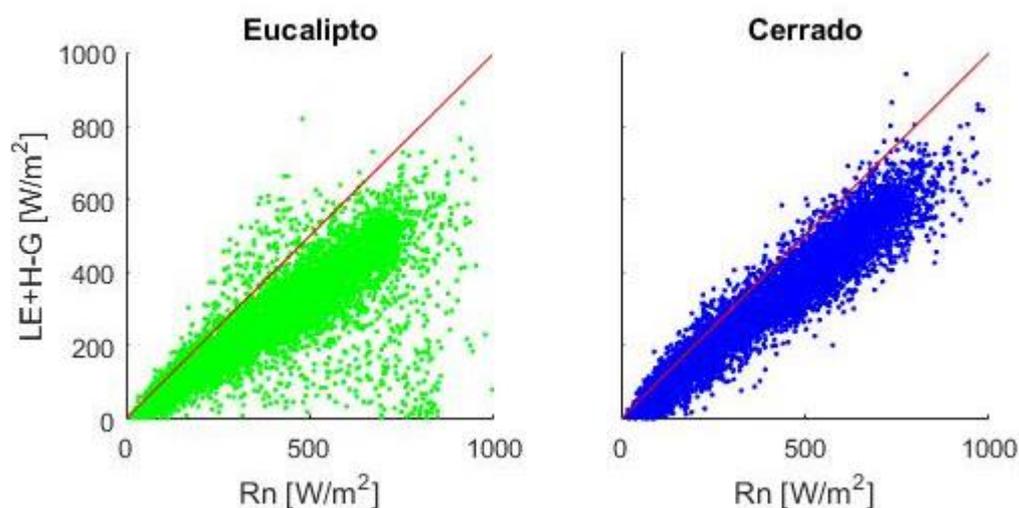


Figura 14 - Fechamento do balanço de energia para área de *Eucalyptus urophylla x grandis* e para o Cerrado sentido restrito, amostrada na Fazenda Água Limpa, DF.

3.6 - CONCLUSÃO

A variação do fluxo de Carbono nas duas vegetações acompanhou a dinâmica dessas espécies em relação a sazonalidade e fenologia. Divergindo de alguns estudos realizados em área de Cerrado sentido restrito, o ecossistema monitorado nessa pesquisa,

não se comportou como fonte de Carbono no período seco. Pode-se afirmar que esse ecossistema é sorvedouro de Carbono durante as estações chuvosa e seca, sendo a última com menor absorção.

O povoamento de Eucalipto apresentou a mesma tendência sazonal, de sorvedouro e fonte de Carbono em função da quantidade absorvida pelo processo de fotossíntese e pela liberação de Carbono por meio da respiração ecossistêmica, no entanto com valores maiores de assimilação de Carbono para os meses de maio a outubro, quando comparado com a área de Cerrado sentido restrito.

O fluxo de energia, LE, H e G de cada ecossistema, Cerrado e Eucalipto, também apresentou dinâmica compatível com as suas sazonalidades e fenologias. Em relação ao particionamento da energia, a área de Eucalipto, nos anos de 2014 e 2015 apresentou menores valores da razão de Bowen, quando comparados com o Cerrado. Durante o período seco, as duas vegetações apresentaram os maiores valores da razão de Bowen. No entanto, nos primeiros anos, a maior partição de energia foi para o Cerrado.

O aumento de calor latente para as duas vegetações foi possível pela disponibilidade hídrica, conseqüentemente o aumento do metabolismo da vegetação. E, especificamente para o Cerrado, teve-se o retorno das atividades fotossintéticas da vegetação rasteira, composta principalmente por gramíneas.

Todavia, devido a abertura do dossel no Eucalipto, em função da idade e do espaçamento utilizado, assim como, o baixo valor da abertura do dossel no Cerrado, nos meses de fevereiro a julho o fluxo de calor (G) foi em direção ao solo. Esse fluxo representa a transferência para níveis inferiores do solo, para os demais meses, as duas vegetações apresentaram o fluxo de calor (G) para a atmosfera.

4 - APLICAÇÃO DO MODELO BIOME-BGC PARA SIMULAR O FLUXO DE CO₂ EM ÁREA DE CERRADO SENTIDO RESTRITO E EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO, BRASIL

4.1 - RESUMO

O modelo Biome - BGC simula o armazenamento e fluxos de água (H₂O), Carbono (C) e Nitrogênio (N) na vegetação, na serapilheira e do no solo, sendo empregado também é empregado para avaliar os impactos da variabilidade climática e suas mudanças a longo prazo sobre estes ciclos de água, Carbono e nitrogênio. Este capítulo teve como objetivo parametrizar, calibrar e validar o modelo Biome-BGC para as trocas líquidas de CO₂ na mudança do uso do solo, considerando que as condições edafoclimáticas são análogas nas áreas de Cerrado sentido restrito e *Eucalyptus grandis x urophylla*. A parametrização das duas vegetações, foi realizada por meio de coletas de dados, e atribuição de valores dos parâmetros relacionado as espécies estudadas recorrendo a literatura. Para a área de Cerrado, optou-se por três métodos para atribuir valores: uso da média para cada espécie; testes de comparação múltipla para o grupo de espécies e famílias, valores em grupos estatisticamente semelhantes; e uma terceira opção, média ponderada de acordo com o percentual de biomassa representado pelos componentes: arbóreo – arbustivo e herbáceo. Após a parametrização foi realizada a análise de sensibilidade e calibração. Por sua vez, a validação deu-se meio da análise gráfica. A análise de sensibilidade para a área de Eucalipto apresentou os seguintes parâmetros com sensibilidade alta para a NEE: biomassa inicial, deposição e fixação de N, alocação de Carbono e fertilidade do solo; já para a área de Cerrado os parâmetros foram: biomassa inicial, deposição e fixação de N, alocação de Carbono e fração de mortalidade. O modelo Biome-BGC estimou a NEE anual para o Cerrado e Eucalipto com precisão, todavia, não modelou a GEE e RE nas suas variações sazonais e intersazonais para o Cerrado. Durante o período avaliado, 2013 a 2015, a troca líquida de CO₂ para o Cerrado sentido restrito e para o povoamento de Eucalipto, com idade de três anos, foi de 1.535,0 gC m⁻² e 1.490,8 gC m⁻², respectivamente. Mediante a simulação da NEE utilizando o Biome - BGC e dos dados observados pela covariância de vórtices, esse estudo aponta para o aumento da variabilidade interanual dos fluxos de Carbono na área de Cerrado sentido restrito, em função das anomalias da temperatura e aumento da concentração de CO₂, com consequências para os reservatórios de Carbono no ecossistema.

Palavras-chave: Modelos baseados em processos, NEE, Savana, Carbono

4.2 - ABSTRACT

The Biome - BGC model simulates the storage and flows of water (H₂O), Carbon (C) and Nitrogen (N) in vegetation, litter and soil, being also employed to evaluate the impacts of climate variability and its changes in the long run on these cycles of water, carbon and nitrogen. The purpose of this chapter was to parameterize, calibrate and validate the Biome-BGC model for the net CO₂ changes in land use change, considering that the soil and climatic conditions are similar in the areas of Cerrado restrict sense and *Eucalyptus grandis x urophylla*. The parameterization of the two vegetations was carried out through data collection, and the attribution of parameter values related to the species studied using the literature. For the Cerrado area, we chose three methods to assign values: use of the mean for each species; multiple comparison tests for the group of species and families, values in statistically similar groups; and a third option, weighted average according to the percentage of biomass represented by the components: arboreal-shrub and herbaceous. After the parameterization, sensitivity and calibration analysis were performed. In turn, the validation was done through graphic analysis. The sensitivity analysis for the Eucalyptus area presented the following parameters with high sensitivity for the NEE: initial biomass, N deposition and fixation, Carbon allocation and soil fertility; For the Cerrado area the parameters were: initial biomass, deposition and N fixation, Carbon allocation and mortality fraction. The Biome-BGC model estimated the annual NEE for the Cerrado and Eucalyptus with precision, however, it did not model the GHG and RE in its seasonal and inter-seasonal variations for the Cerrado. During the period evaluated, from 2013 to 2015, the net CO₂ exchange for the restricted sense Cerrado and for the Eucalyptus stand, aged three years, was 1,535.0 gC m⁻² and 1,490.8 gC m⁻², respectively. By means of the simulation of NEE using Biome-BGC and data observed by covariance of vortices, this study points to the increase in the interannual variability of the Carbon fluxes in the Cerrado restrict sense area, as a function of the temperature anomalies and increase of the concentration of CO₂, with consequences for the Carbon reservoirs in the ecosystem.

Key words: Process - based models, NEE, Savanna, Carbon

4.3 - INTRODUÇÃO

O *Biome – BioGeoChemistry* (Biome-BGC) é uma extensão e generalização do modelo Forest-BGC, originalmente desenvolvido para simular o desenvolvimento de reservatórios de Carbono florestal e nitrogênio ao longo do tempo (RUNNING; COUGHLAN, 1988; RUNNING; GOWER, 1991) bem como para descrição de diferentes tipos de vegetação, incluindo plantas C3 e C4 (RUNNING; HUNT, 1993; HIDY et al., 2012).

O princípio básico para o Biome - BGC são os processos físicos (radiação solar e precipitação) e os processos fisiológicos, além das reservas de Carbono e Nitrogênio, uma vez que os componentes de C, N e H₂O devem estar em equilíbrio (THORNTON, 1998; 2010). Esse modelo simula o armazenamento e fluxos de água, Carbono e nitrogênio na vegetação, serapilheira e no solo, componentes de um ecossistema terrestre. Permite simulações sofisticadas de ecossistemas naturais, como florestas, pastagens e herbáceas (WANG et al., 2005).

Na prática, isto significa que, no final de cada dia, o Biome - BGC atualiza o estado de cada variável e verifica o balanço. Para que cada um dos quatro elementos listados acima esteja "em equilíbrio" é necessário que as quantidades de entrada, deduzidas das quantidades de saída, sejam iguais aos valores de armazenamento no modelo. Depois da modelagem dos processos descritos acima, o Biome - BGC verifica esta condição (THORNTON, 2010). Os ciclos, em ecossistemas naturais, que compõem o Bioma-BGC, foram submetidos a testes e validação, incluindo ciclos hidrológicos (NEMANI; RUNNING, 1989; WHITE; THORNTON; RUNNING, 1997), Carbono (KOROL et al., 1991; HUNT; MARTIN; RUNNING, 1991) e nitrogênio (RUNNING, 1994).

Além dessas principais funções, esse modelo é empregado para avaliar os impactos da variabilidade climática e sua mudança a longo prazo sobre estes ciclos (RANDERSON et al., 1997; CRAMER et al., 1999; SCHIMEL et al., 2000; NEMANI et al., 2003; WANG et al., 2005; VETTER et al., 2008), assim como para modelagem dos distúrbios naturais e antrópicos (THORNTON et al., 2002), manejo de herbáceas (HYDE et al., 2012) e prevenção do risco de ignição de fogo em florestas (EASTAUGH; HASENAUER, 2014), caracterizando, pois, uma ferramenta adequada para simular o manejo de floresta e também para os diversos usos de terras agrícolas.

Há muitos outros modelos que simulam os processos de trocas de massa e energia na relação solo, biosfera e atmosfera, os quais são baseados em processos mecanicistas fisiológicos (VETTER et al., 2008). Dentre esses modelos elencam-se: TEM (RAICH et al., 1991; McGUIRE et al., 1992), CENTURY (PARTON; STEWART; COLE, 1988) para Carbono, enxofre, nitrogênio e ciclos de fósforo DNDC (LI; FROLKING; FROLKING, 1992a,b) e para emissões de N₂O, e CASA (POTTER et al., 1996; POTTER et al., 1993).

Existem outros modelos usados para representar a dinâmica dos ecossistemas florestais, classificados como modelos empíricos (YUAN et al., 2007; SOMOGYI et al., 2010) e modelos híbridos. Em comparação com o Biome-BGC, a maioria dos modelos de crescimento anual não empregam algumas ferramentas para estimar os processos do ecossistema, mas sim contam com observações de ecossistemas para fazer previsões de estoques e fluxos (THORTON, 2010).

Ponderando que as condições edafoclimáticas são análogas nas duas áreas, este capítulo teve como objetivo parametrizar, calibrar e validar o modelo Biome-BGC para as trocas líquidas de CO₂ na mudança do uso do solo, Cerrado sentido restrito por Eucalipto.

4.3.1 - Pressuposto crítico, estrutura e detalhes do modelo

O Biome-BGC é um modelo com todos os fluxos e estoques dimensionados por metro quadrado (THORNTON, 1998) e requer três conjuntos específicos de dados, a saber: dados ecofisiológicos (EPC), meteorológicos (MET) e do sítio (INI). Essas variáveis incluem fluxos de água, Carbono e nitrogênio e também os estoques em escalas de tempo diário, mensal e anual. As constantes utilizadas no Biome - BGC encontram-se no Apêndice 1.

O Biome - BGC pode ser executado para um estado estável spinup (execução do modelo para estimar o estado de equilíbrio do ecossistema) e depois para a frente no tempo, ou ele pode aceitar como entrada o estado final do modelo anterior (um arquivo de reinicialização) e executar a partir deste ponto adiante com um novo conjunto de pressupostos do modelo desejado. Esse modelo não apresenta interações espaciais, o que o impede de examinar a dinâmica competitiva por meio do espaço e de analisar mais

2007). A saturação de água no solo e a capacidade de campo de retenção são definidas com base na textura do solo e na profundidade das raízes (COSBY et al., 1984; SAXTON et al., 1986).

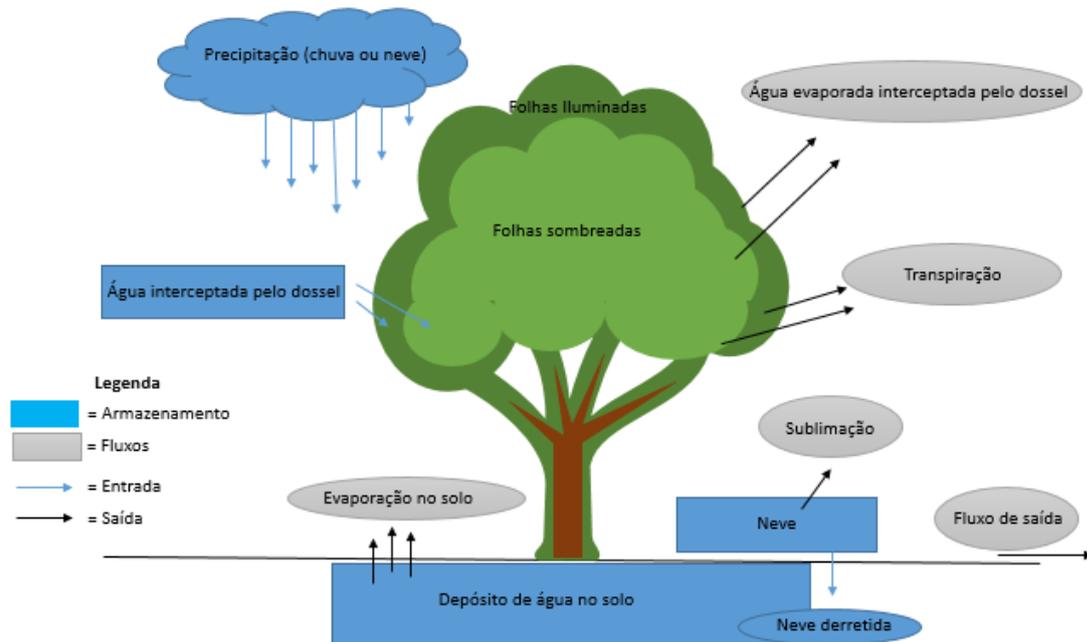


Figura 16 - Fluxos e reservas de água no Biome-BGC. Fonte: Modificado de Thornton (1998).

O potencial hídrico do solo é determinado pelo resultado entre os processos de evaporação ou evapotranspiração e adição de água a partir da precipitação (THORNTON, 2010). Os processos de evaporação da água interceptada pelo dossel e a transpiração dependem tanto da condutância aerodinâmica da folha quanto da condutância estomática (WANG; WATANABE; OUVANG, 2005).

4.3.1.2 - Processos fisiológicos

4.3.1.2.1 - Ciclo de Carbono e Nitrogênio: reservas e fluxos

O sistema do Biome-BGC considera a entrada de Carbono no sistema por meio da fotossíntese e sua remoção através do processo de respiração: autotróficos (manutenção e crescimento) e heterotróficos (decomposição) (Figura 17). Durante alguns eventos, tais como o corte de árvores e também mediante o fogo, nesse último o Carbono é removido para a atmosfera e não controlado pelo modelo.

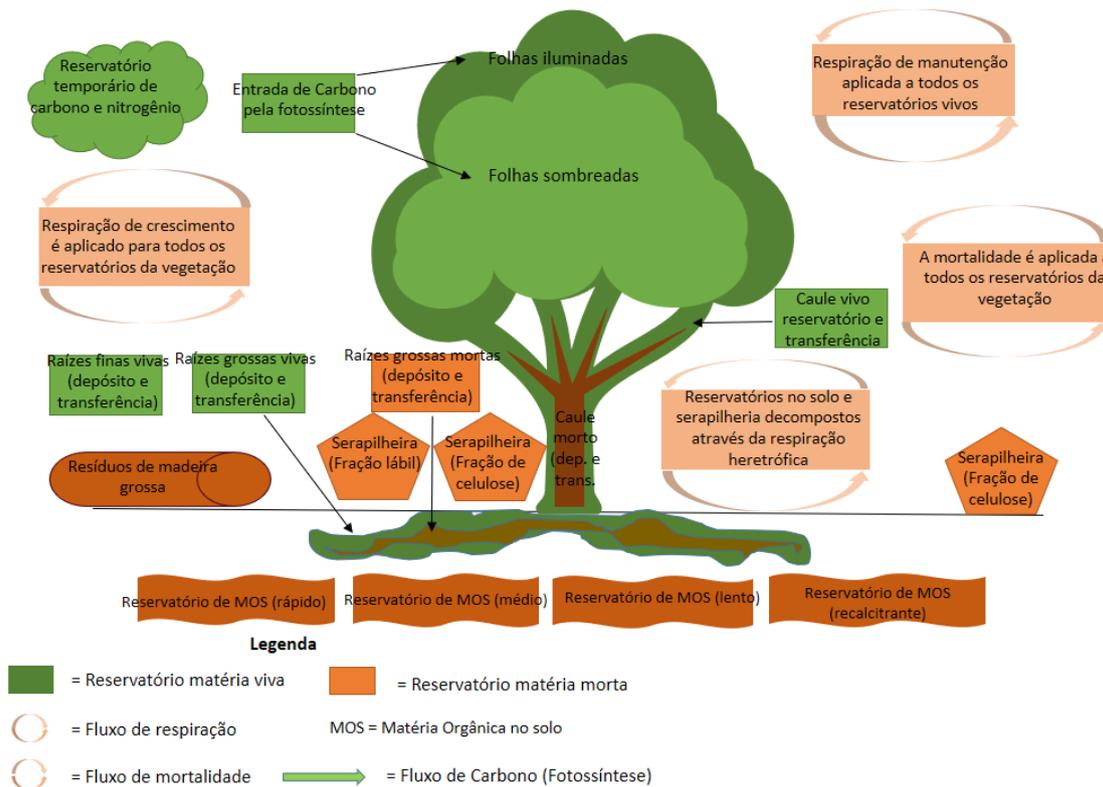


Figura 17 - Reservatórios de Carbono e nitrogênio no modelo Biome-BGC. Fonte: Modificado de Thornton 1998.

O armazenamento do N no Biome-BGC consiste nas reservas de nitrogênio mineralizado no solo e no reservatório de nitrogênio retranslocado na planta para seu futuro uso. Por sua vez, a translocação do N depende da fenologia da espécie e do volume dos tecidos durante a estação de crescimento. O Biome BGC considera três formas de adição do nitrogênio no solo pela planta: a) pela deposição úmida e seca de nitrogênio da atmosfera; b) pela fixação de nitrogênio; e, c) por meio da mineralização, a partir da matéria orgânica do solo (MOS) e duas formas de perda do N - lixiviação e desnitrificação (THORNTON, 2010).

4.3.1.2.2 - Respiração de manutenção e crescimento

A respiração de manutenção R_m é calculada no Biome - BGC antes da fotossíntese e estimada em função da temperatura e do teor de N. O modelo prevê um aumento exponencial da R_m com a temperatura e linear com o teor de N (THORNTON, 2010). A R_m é o produto a partir da soma da respiração de manutenção das folhas, caule e raízes, calculadas em função da massa de tecido, concentração de N e temperatura (TRUSILOVA et al., 2009). É exercida para manter o funcionamento do tecido vivo, e apresenta relação direta com alterações ambientais. Se os níveis de estresse são elevados,

por exemplo, devido à alta temperatura, os níveis de respiração de manutenção aumentam (WANG; WATANABE; OUVANG, 2005).

A R_m para caule e raízes vivas (grossas e finas) é estimada com base no seu teor de nitrogênio. A relação Carbono/Nitrogênio (C/N) de caule e raiz e quantidade de Carbono (kgC m^{-2}) presentes nestes componentes são usados para estimar a quantidade de nitrogênio (kgN m^{-2}). A R_m para as folhas (iluminadas e sombreadas) é assumida por meio de constantes, cujos valores são especificados de acordo com a fisiologia da planta, C3 ou C4. A respiração é estimada com base na taxa de respiração especificada ($0,218 \text{ kgC kgN dia}^{-1}$) a 20°C (RYAN, 1991) e o fator de mudança de respiração Q_{10} em função da temperatura e do conteúdo de nitrogênio do tecido (THORNTON, 2010).

A respiração de crescimento é representada durante a alocação para assimilar novos tecidos. Assume-se que o valor de 30% do novo tecido é respirado (LASCHER, 2006), ou seja, a respiração de manutenção se mantém constante, mesmo com o decréscimo da respiração de crescimento.

4.3.1.2.3 - Fotossíntese

Todos os cálculos da fotossíntese são realizados separadamente para folhas iluminadas e sombreadas. A implantação do modelo da fotossíntese é baseada em Farquhar, Von Caemmerer e Berry, (1980), tomando-se a fotossíntese cinética da enzima de *Rubisco* em relação à temperatura, disponibilidade de CO_2 e na taxa de regeneração da *Rubisco*. Todo o Carbono assimilado para reservatórios no modelo Biome – BGC é proporcionado pela fotossíntese. Portanto, a fotossíntese é o principal passo para absorção do CO_2 e, em seguida, translocá-lo para as raízes e demais compartimentos da planta (HODJE et al., 2009). No entanto, a demanda por nitrogênio deve ser calculada para determinar se o nitrogênio vai limitar a alocação do Carbono.

4.3.1.2.4 - Decomposição

O Biome - BGC assume que os micro-organismos e as plantas competem em primeiro lugar no ciclo do nitrogênio orgânico. Já para o nitrogênio mineral, é adotado que os micro-organismos e as plantas apresentam peso igual durante a competição, utilizando frações constantes de C/N de reserva no solo, independentemente do tipo de vegetação, como também assume taxas de decomposição constantes de serapilheira de Carbono nos reservatórios no solo. As decomposições nos reservatórios do modelo são

divididas em resíduos de madeira grossa (RMG), raízes finas e folhas (Figura 18), de modo que dependem do teor de Carbono encontrado em relação as frações; lábil, celulose e lignina. Essas frações são definidas pelo usuário (THORNTON, 2010).

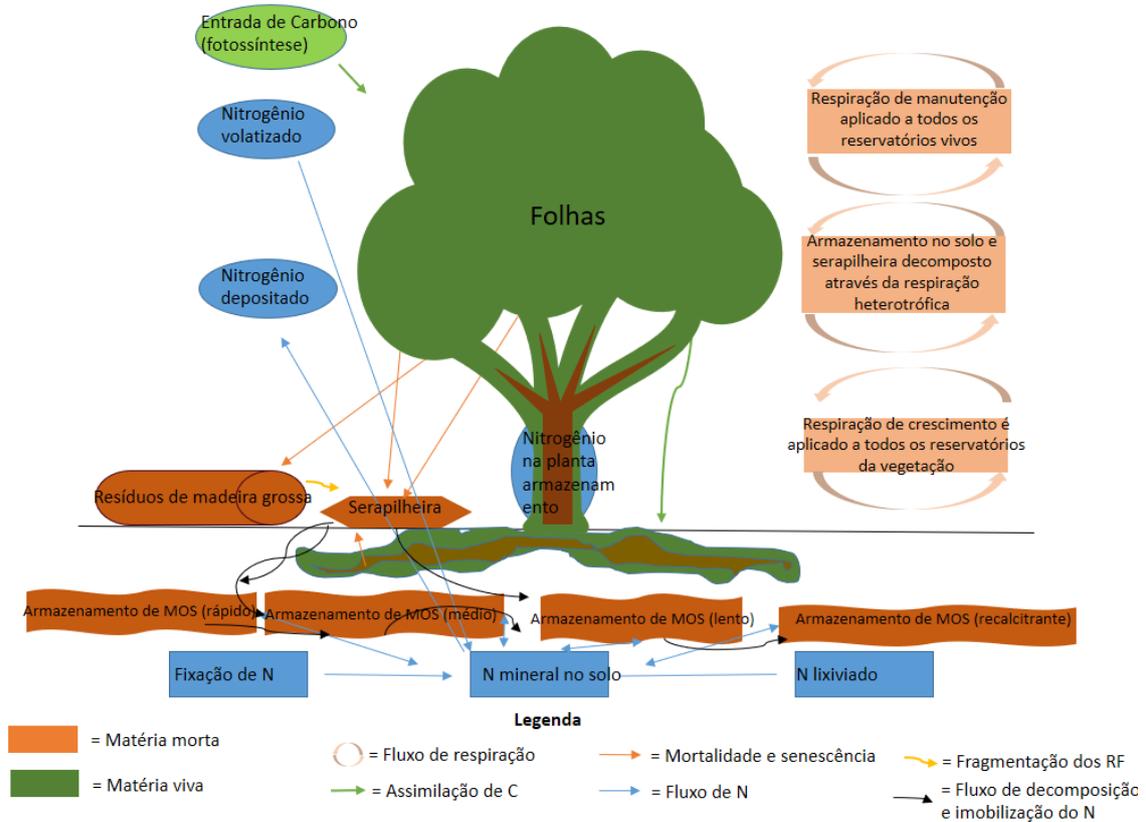


Figura 18 - Fluxos de Carbono e nitrogênio no Biome – BGC oriundo de compartimentos da planta em decomposição. Fonte: Modificado de Thornton (1998).

4.3.1.2.5 - Alocação e mortalidade

A alocação e a decomposição de Carbono são baseadas na disponibilidade de nitrogênio, tanto na retranslocação que a planta estoca, quanto no nitrogênio no solo. Os cálculos são realizados após a assimilação de Carbono pela fotossíntese e da taxa de decaimento da vegetação. O modelo Biome-BGC utiliza frações fixas de Carbono para todas as estruturas da planta, uma vez que os limites de nitrogênio foram considerados. Também é considerado uma porcentagem fixa, definida pelo usuário, para o crescimento no futuro, ano seguinte, e um percentual fixo equivalente à 30% da respiração de crescimento da planta.

A alocação para os diferentes tecidos (folhas, tronco e raízes) está relacionada com a alocação de Carbono na folha, ao passo que o usuário define as proporções para o armazenamento (WARING; PITMAN, 1985; WARING; RUNNING, 2007; WANG et

al., 2009). As proporções indicadas pelo usuário são assumidas constantes ao longo da vida do ecossistema. Embora, seja explícito que há limitação de nitrogênio durante a alocação e fotossíntese calculada, se essa limitação ocorre mais durante a alocação, o Biome-BGC reduz o Carbono assimilado durante a fotossíntese nas folhas proporcionalmente a essa limitação (THORNTON, 2010).

O parâmetro para fixar a fração de mortalidade, utilizado pelo Biome-BGC, é definido pelo usuário que é aplicado a cada dia na vegetação. E também é assumido outro tipo de mortalidade, gerada pelo fogo, pois, nesta circunstância é liberado, em maiores taxas, o C e N, quando comparado com a decomposição natural (THORNTON, 2010).

4.4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 - Área de estudo

O modelo foi aplicado para modelar o fluxo e estoque de Carbono em dois ecossistemas, área de vegetação natural (Cerrado sentido restrito), e floresta plantada, (híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla x grandis*). Para mais detalhes, veja item 2.4.1, Capítulo II.

4.4.2 - Parâmetros utilizados no modelo Biome-BGC

O Biome - BGC executa a modelagem por meio de três grupos de parâmetros e constantes utilizadas para cada tipo de fenologia, quais sejam: dados do sítio (parâmetros de inicialização), meteorológicos (região, local de estudo) e dados ecofisiológicos (relacionados à fisiologia e adaptação da planta ao meio).

Os parâmetros de inicialização utilizados para executar o modelo Biome - BGC constam na Tabela 12, os quais fornecem informações sobre as características físicas do local, definição de tempo relacionado aos dados meteorológicos e número de anos simulados.

Tabela 12 - Parâmetros necessários para executar o modelo Biome-BGC.

Parâmetros de site, inicialização	Unidade
Número de anos meteorológicos	Nº
Número de anos simulados	Nº
Primeiro ano de simulação	Nº
Constante atmosférica CO ₂	Ppm
Profundidade efetiva do solo	m
Percentual de areia	%
Percentual de silte	%
Percentual de argila	%
Elevação do site, altitude	Metros
Radiação do albedo de sítio	DIM
Latitude do site	- hemis sul
Deposição atmosférica de nitrogênio	KgN m ⁻² ano ⁻¹
Fixação de nitrogênio	KgN m ⁻² ano ⁻¹
Teor de neve no solo	Kg m ⁻²
Proporção inicial de saturação de água no solo	SEM

O segundo conjunto de dados necessários para executar o modelo refere-se aos parâmetros meteorológicos do ano e do dia em avaliação (Tabela 13), parâmetros estes que compreendem a temperatura, precipitação, déficit de pressão de vapor, radiação e comprimento do dia.

Tabela 13 - Parâmetros meteorológicos utilizados para executar o modelo Biome-BGC.

Parâmetros meteorológicos	Unidade
Ano	Nº
Dia	Nº
Temperatura máxima	Cº
Temperatura mínima	Cº
Temperatura média	Cº
Precipitação	mm
Déficit de pressão de vapor	Pa
Radiação	W m ⁻²
Comprimento do dia	s

Já os parâmetros ecofisiológicos pertencem ao último grupo necessário para execução do modelo Biome – BGC. Ao todo são 29 parâmetros divididos em 7 subgrupos (Tabela 14), de maneira que a inclusão dos parâmetros no modelo dependerá do tipo de vegetação, arbustiva e não lenhosa (gramíneas e plantas essencialmente herbáceas); do hábito da folha, árvores decíduas e sempre verdes; do modelo de fotossíntese, plantas C3 e plantas C4; e do controle fenológico de rotina em que o usuário irá fornecer informações sobre os dias do ano para o novo crescimento e fim do período e folhagem.

Tabela 14 - Parâmetros ecofisiológicos necessários para executar o modelo Biome-BGC.

Parâmetros	Tipos	Unidade
Carbono/Nitrogênio (C/N)	Fração de C/N na folha	kgC kgN ⁻¹
	Fração de C/N na serapilheira	kgC kgN ⁻¹
	Fração de C/N nas raízes finas	kgC kgN ⁻¹
	Fração de C/N na madeira viva	kgC kgN ⁻¹
	Fração de C/N na madeira morta	kgC kgN ⁻¹
Celulose, lignina e lábil	Fração de Celulose, lignina e lábil na folha serapilheira	%
	Fração de Celulose, lignina e lábil nas raízes finas	%
	Fração de Celulose e lignina na madeira morta	%
Parâmetros morfológicos da folha	Área específica da folha média do dossel (área basal projetada)	m ² kgC ⁻¹
	Fração de todos os lados da folha projetados/IAF	IAF IAF ⁻¹
	Fração de área específica das folhas sombreadas/iluminadas	AFE AFE ⁻¹
Taxas de condutância e limitações	Condutância estomática máxima	m s ⁻¹
	Condutância cuticular	m s ⁻¹
	Condutância da camada limite	m s ⁻¹
	Potencial de água na folha/redução inicial da Condutância estomática (CE)	Mpa
	Potencial de água na folha/redução final da Condutância estomática	Mpa
	VPD /redução no começo da condutância estomática (CE)	Pa
Alocação	VPD/redução quando a CE é completada	Pa
	Alocação de Carbono nas folhas novas/Carbono nas raízes finas novas	kgC kgC ⁻¹
	Alocação de Carbono nas folhas novas/Carbono no tronco	kgC kgC ⁻¹
	Alocação de Carbono do total de madeira nova/Carbono madeira nova viva	kgC kgC ⁻¹
Outros parâmetros	Alocação de Carbono no tronco /Carbono nas raízes grossas	kgC kgC ⁻¹
	Índice de interceptação de água	1 IAF ⁻¹ dia ⁻¹
	Coefficiente de extinção de luz	I ₀ I ₁ ⁻¹ IAF ⁻¹
Mortalidade e renovação da vegetação	Porcentagem de nitrogênio Rubisco na folha	%
	Renovação das raízes finas e folhas	1 ano ⁻¹
	Renovação da madeira viva	1 ano ⁻¹
	Mortalidade da árvore ou planta completa	1 ano ⁻¹
	Mortalidade por fogo	1 ano ⁻¹

4.4.3 - Simulações

Foram realizados dois tipos de simulações “*Spinup*” (simulação realizada pelo modelo para estimar o estado de equilíbrio do ecossistema) e simulações “normais” para o povoamento de Eucalipto e para a área de Cerrado sentido restrito. Para sites em zonas temperadas e boreais, testes mostraram que cinco anos de dados meteorológicos são suficientes para simular o armazenamento de Carbono (TRUSILOVA et al., 2009).

À luz das considerações acima, o desenvolvimento da matéria orgânica do solo depende do clima do local e dos fluxos externos de nitrogênio (deposição, fixação, lixiviação, volatilização), associados ao tipo de vegetação. O resultado final é que o solo e o armazenamento de serapilheira estão em equilíbrio com clima e taxas de deposição/perda de N. Se esses valores forem atribuídos sem executar uma execução de spinup, o modelo está suscetível de representar uma resposta transitória às condições de desequilíbrio entre o clima e a deposição/perda de N, hipótese que pode produzir sinais distorcidos na troca líquida do ecossistema, persistindo por vários anos de simulação (THORNTON; RUNNING, 2002).

4.4.4 - Parametrização e análise de sensibilidade para o modelo Biome-BGC

Wang et al. (2009) mencionaram como indicador da complexidade de um modelo o número de parâmetros que são utilizado para simular diferentes propriedades ambientais e os vários processos do ecossistema, revelando, por isso mesmo, que um passo crítico na utilização destes modelos é a parametrização (WHITE et al., 2000; VAN OIJEN; ROUGIER; SMITH, 2005; TRUSILOVA et al., 2009; WANG et al., 2009; HIDY et al., 2012).

Empreendido esforço para parametrização das duas vegetações, por meio de coletas de dados nas áreas de estudo, e obtenção de parâmetros relacionado às espécies estudadas, conduzindo à conclusão de que este último fator é importante para a parametrização do Cerrado sentido restrito, tendo em vista que essa vegetação ainda não tinha sido simulada utilizando o Biome - BGC.

Para o Cerrado sentido restrito foi necessário realizar a análise de sensibilidade a fim de identificar os parâmetros sensíveis na estimativa da NEE, em função da variação de valores. Na ausência de dados obtidos na área de estudo e de pesquisas bibliográficas, com resultados alcançados em áreas adjacentes, a análise de sensibilidade foi efetivada levando em consideração o intervalo pesquisado por White et al. (2000) para floresta decídua, sempre verde e gramíneas, visto que a fitofisionomia em análise abrange espécies presentes nas fenologias citadas.

Como visto, o Biome - BGC é considerado um modelo complexo, justificativa pela qual pequenas incertezas nos parâmetros podem propagar para ampla gama de variabilidade nas simulações. Sendo assim o modelo precisa ser afinado para aplicações

específicas (WANG et al., 2009). Devido ao grande número de parâmetros, a parametrização foi dividida em dois itens, a primeira especificando os métodos de obtenção para o Eucalipto, e a última para o Cerrado *sentido restrito*.

Em relação a análise de sensibilidade, estudo realizado por Vergara (2013) na modelagem do sequestro de Carbono em povoamento de *Eucalyptus urophylla x grandis* mostrou que as seguintes variáveis: deposição e fixação de nitrogênio ($\text{KgN m}^{-2} \text{ano}^{-1}$), biomassa inicial (KgC m^{-2}), dados meteorológicos, alocação de Carbono, relação de Carbono/nitrogênio (KgC KgN^{-1}) e parâmetros morfológicos apresentaram alta sensibilidade da produtividade primária líquida de Carbono. Portanto, a partir desses resultados foi realizado um esforço para coleta de dados em campo, ou em pesquisas realizadas em áreas adjacentes.

4.4.4.1 - Parametrização e calibração para o povoamento de Eucalipto

Parâmetros de site (INI)

Para a simulação do fluxo de Carbono no plantio de Eucalipto foi considerado o período de três anos, referente a idade do plantio. O primeiro ano de simulação foi 2013, ano de implantação do povoamento. O modelo utilizou as equações de Cosby et al. (1984) para calcular os parâmetros de saída relacionados ao tipo de solo. Para tanto, os parâmetros iniciais de quantidade relacionados ao percentual de argila, silte e areia foram aqueles gerados pela análise de dados coletados no local do experimento. As curvas de retenção de água no solo para os dois sites foram estimadas em função de trabalhos de Campos et al. (2010) e Silva et al. (2006b).

Em relação a constante de concentração atmosférica de CO_2 foi considerado o valor de 380 ppm (NOAA, 2016).

Parâmetros meteorológicos (MET)

Os parâmetros foram coletados por meio da estação meteorológica da FAL. As variáveis climatológicas obtidas na estação da FAL foram: temperatura do ar e umidade relativa do ar (máximas, mínimas e média), velocidade de vento, direção do vento e radiação global.

Parâmetros ecofisiológicos (EPC)

Subgrupo I - Parâmetros de Carbono/Nitrogênio (C/N)

O modelo considera o teor de Carbono/ Nitrogênio nas folhas vivas (fração de C/N na folha). Foram coletadas 200 gr de folhas vivas e, logo após, foram secas em estufa de circulação forçada de ar a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por um período de 72 h. Para a quantificação de C/N foi utilizado o analisador CN628 Leco®.

Para a taxa de massa de Carbono/Nitrogênio na serapilheira recém-saída (fração de C/N na serapilheira) o Biome – BGC considera a retranslocação, sendo a remoção de nitrogênio das folhas antes da produção de serapilheira. O modelo não avalia a possibilidade de retranslocação de Carbono fora das folhas antes da serapilheira. Visando obter o valor desse parâmetro e sua variação ao longo do ano foram instalados três experimentos na área de Eucalipto; o primeiro objetivou quantificar o C/N da serapilheira depositada e acumulada; o segundo experimento teve a finalidade de avaliar o C/N da serapilheira recém caída em caída em função da sazonalidade; o terceiro avaliou a decomposição mensal de folhas recém caídas. Para maior detalhe ver Capítulo II item 2.4.2.6.

O modelo Biome –BGC não considera a retranslocação de nitrogênio para fora das raízes finas antes da queda de serapilheira. Desse modo, a fração de C/N nas raízes finas foi quantificada de acordo com o teor de C/N das raízes finas coletadas na área experimental - ver Capítulo II, item 2.4.2.4. O teor de C/N para a madeira viva, floema e parênquima, foi quantificada levando em conta as amostras de discos coletadas de árvores que representam o diâmetro médio quadrático do povoamento de Eucalipto. Essas amostras foram secas, moídas e mensurados o teor de C/N, conforme a metodologia utilizada para a serapilheira - ver Capítulo II, item 2.4.2.3. Os demais parâmetros desse subgrupo foram obtidos por meio da literatura.

Subgrupo II - Parâmetros de lábil, celulose e lignina

O teor de lignina está relacionado com a taxa de decomposição de material vegetal. Vários estudos delineiam essa relação (BERG; EKBOHM, 1984; STUMP; BINKLEY 1993; BERG; McCLAUGHERTY, 2003; BACHEGA, 2012). Os teores de celulose e lignina em serapilheira e raízes foram calculados por meio das amostras compostas da deposição de serapilheira mensal e por meio da coleta de raízes, coletados nas áreas dos experimentos, para mais detalhe ver o Capítulo II, itens 2.4.2.6 e 2.4.2.3. Foi utilizado o método da fibra em detergente ácido (FDA), proposto por Van Soest e

Wine (1968), para quantificar os teores de lignina e de celulose. A fração lábil foi estimada em função dos teores de lignina e celulose.

Os valores utilizados para esses parâmetros, fração de celulose, e lignina na madeira morta, foram 76 e 24, respectivamente. Esses dados seguem o padrão *evergreen broadleaf forest*, pois a característica desse tipo de vegetação, assim como o Eucalipto, permanece com grande parte das folhas durante o ano e tem fotossíntese tipo C3.

Subgrupo III - Parâmetros morfológicos da folha

A área foliar específica (área basal projetada) em $\text{m}^2 \text{KgC}^{-1}$ foi obtida por meio da divisão da área foliar (cm^2) pela massa seca da folha (g). Para a obtenção da área foliar utilizou-se o software Image J v.1.48. Obteve-se a massa seca das folhas foi obtida por meio de uma balança digital, após a secagem do material em estufa a $62 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ por um período de 72 horas. Logo após esse processo, realizada a quantificação do C na folha, através do analisador CN628 Leco®. Após a estimativa, o valor obtido foi avaliado por m^2 , tendo em vista a cubagem rigorosa (peso total das folhas de cinco árvores, cujo valor do diâmetro - diâmetro médio quadrático - representa o povoamento).

Para os parâmetros: Fração de todos os lados da folha projetados/IAF e Fração de área específica das folhas sombreadas/iluminadas (AFE AFE^{-1}) foram utilizados os dados para *evergreen broadleaf forest* (NTSG, 2017), (do inglês, “*Numerical Terradynamica Simulation Group*”), que corresponde ao valor de 2 para ambos os parâmetros.

Subgrupo IV – Taxas de condutância e limitações

A condutância estomática máxima de vapor de água é expressa em base de área foliar projetada, sob luz saturante, baixo VPD, maior concentração de água no solo, alta umidade relativa e temperatura (KELLIHER et al., 1995; KORNER, 1994). Para esse parâmetro e os demais parâmetros (condutância cuticular; condutância da camada limite; potencial de água na folha/redução inicial e final da condutância estomática; VPD/redução no começo da condutância estomática e VPD/redução quando a condutância estomática é completada) foram utilizados os dados da literatura, observado o intervalo dos valores para *evergreen broadleaf forest*, devido a incertezas nos parâmetros de variância e dificuldades metodológicas inerentes à obtenção desses parâmetros (WHITE et al., 2000).

Subgrupo V – Parâmetros de alocação

As relações de alocação, alométricas, definidas pelo usuário descritas no subgrupo IV, controlam a disposição do Carbono produzido fotossinteticamente alocado em todo o ecossistema. O valor padrão tomado foi quantificado por meio da cubagem rigorosa das cinco árvores que representam o diâmetro médio quadrático do povoamento, em avaliação nessa pesquisa - Capítulo II item 2.4.2.3. A cubagem teve como objetivo avaliar a biomassa seca e sua distribuição nos diferentes compartimentos das árvores (folhas, galhos, casca, lenho e raízes), bem como examinar o conteúdo de C.

Há também uma proporção definida pelo usuário, parâmetro de proporção de crescimento corrente, que define quanto do C assimilado deve ser reservado para o crescimento no próximo ano. O valor considerado foi de 0,5 (dados para *evergreen broadleaf forest*). Essa taxa é utilizada para definir a atribuição do C em toda a planta. O próximo passo utilizado no Biome -BGC é calcular a quantidade de C necessária por unidade de crescimento na folha e o C em outros conjuntos com base nas frações de atribuição descritos acima, além da quantidade de C necessária para a respiração de crescimento com base nesta atribuição.

Conforme descrito anteriormente, o Biome - BGC assume uma taxa constante de GR para todo crescimento do tecido, valor de 30 % do total de C utilizado para o novo tecido. O cálculo é seguido em função dos valores de C associados à limitação de N para mensurar o crescimento baseado nas taxas de C/N nos diferentes compartimentos das plantas.

Subgrupo VI – Outros parâmetros

O coeficiente de interceptação de água é conceituado, no modelo, como a proporção diária de água que pode ser interceptada e retida no dossel por unidade de índice de área foliar projetado. O coeficiente de extinção pela Lei de Beer para atenuação da radiação no dossel é calculado com base na área foliar projetada. Os valores acima foram calculados em função do IAF.

Os valores de N em rubisco e nitrogênio, deposição e fixação, foram obtidos por meio da literatura. A Rubisco é a enzima chave e mais abundante no processo da fotossíntese (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; ONODA; HIKOSAKA; HIROSE, 2004).

4.4.4.2 - Parametrização e calibração para o Cerrado sentido restrito

O modelo Biome-BGC utiliza as constantes descritas por White, Thorton e Running, (1997) para informar sobre o início do crescimento e senescência sazonal para sistemas decíduos, especificados para plantas lenhosas e gramíneas (THORNTON, 2010). Os valores dos parâmetros foram obtidos por meio de pesquisa bibliográfica, conforme proposto por White et al. (2000). No entanto, dois procedimentos foram utilizados: uso da média para cada espécie ou então realizar testes de comparação múltipla para o grupo de espécies e famílias, valores em grupos estatisticamente semelhantes.

Para coleta de dados arbóreo-arbustivo foram consideradas, preferencialmente, as 12 espécies mais representativas, de acordo com o Índice de Valor de Importância (IVI) na atual área experimental (Figura 19), para mais detalhe ver Capítulo II item 2.4.2.2. Essas 12 espécies representaram 66,53 e 65,7 % da área basal, 61,07 e 63,11% da densidade absoluta e 53,73 e 53,23 % do IVI total na área amostrada nos inventários no ano de 2014 e 2016, respectivamente. Contudo, devido à dificuldade de dados na literatura referente às espécies de Cerrado sentido restrito, para alguns parâmetros foi utilizada a média, ou valores obtidos para outras espécies arbóreas - arbustivas.

Em virtude da complexidade e da contribuição no estoque de Carbono desse ecossistema, foi considerada a estrutura herbácea. Dentre as justificativas para considerar esse estrato, herbáceas com predominância de gramíneas, está o seu papel na reciclagem de nutrientes e acúmulo de biomassa no solo e sua contribuição na produção de biomassa. Segundo Kuntschik (2004) e Rossato et al. (2014), as raízes de herbáceas são encontradas, em sua maioria, nos horizontes superficiais e sub superficiais no solo. Em presença de disponibilidade hídrica limitante a parte aérea morre. No entanto, esse tipo de planta apresenta capacidade de manter-se vivas, por meio de gemas localizadas em estruturas subterrâneas, o que propicia rebrota em temporada úmida.

Para esse componente, optou-se por atribuir valores aos parâmetros de acordo com pesquisas bibliográficas. Para a atribuição do valor de determinados parâmetros foi empregada uma terceira opção, consistente na média ponderada, segundo o percentual de biomassa representado pelos componentes: arbóreo – arbustivo e herbáceo.

Diante da importância e da contribuição do estoque de Carbono no solo em área de Cerrado sentido restrito, foram quantificados, por meio de coletas, a biomassa e o

Carbono nos compartimentos de solo, raízes e serapilheira (Capítulo II). Ou seja, os dados utilizados para quantificar o estoque e parte do fluxo de Carbono foram obtidos na área do experimento.

Parâmetros de site (INI)

A simulação do fluxo de Carbono para a área de Cerrado sentido restrito considerou o período de três anos, iniciando-se em 2013. Para os parâmetros de site foram adotados os valores específicos do local de estudo. Considerou o valor de 380 ppm para a constante de concentração atmosférica de CO₂ (NOOA, 2016). O valor de inicialização, referente à deposição atmosférica de nitrogênio anual (0,004 KgN m² ano⁻¹), foi baseado no estudo de Rezende (2001) em área de Cerrado, para a fixação de N foi utilizado o valor de 0,0009 KgN m² ano⁻¹ (CLEVELAND et al., 1999). Segundo Bustamante et al. (2004), o Nitrogênio é um dos fatores limitantes nos ecossistemas do Cerrado, justificado pelo ciclo biogeoquímico, deposição e fixação, esta acompanhada de suas taxas de ciclagem.

Parâmetros meteorológicos (MET)

Idem à parametrização do Eucalipto.

Parâmetros ecofisiológicos (EPC)

Subgrupo I - Parâmetros de Carbono/Nitrogênio (C/N)

O modelo Biome – BGC considera taxa de massa de Carbono/Nitrogênio nas folhas vivas (fração de C/N na folha). Para esse parâmetro, levando em conta todos os estratos desse ecossistema, os valores foram obtidos por meio da literatura.

Para o teor de C/N na serapilheira recém caída e nas raízes finas, essa taxa foi estimada em função dos resultados obtidos na área experimental (Itens 2.4.2.6 e 2.4.2.4, Cap. II). Utilizou-se a média dos valores de C/N da serapilheira depositada sazonalmente, a fim de abranger todas as espécies presentes na área de estudo, pois a queda de folhas e demais compartimentos da planta ocorre durante todo o ano, justificado pela diversidade fenológica das espécies. A separação das raízes e a correspondente classificação equivale à metodologia utilizada em laboratório para raízes do Eucalipto, ressaltando, outrossim, que as raízes de gramíneas do Cerrado foram quantificadas e utilizadas para mensurar o C/N, haja vista que as gramíneas fazem parte do complexo do Cerrado.

A determinação do teor de C/N para a madeira viva e da fração de C/N na madeira morta, foi realizada de acordo com os valores encontrados na literatura para a fitofisionomia Cerrado sentido restrito. Na ausência de dados da literatura, foi empregada a metodologia aplicada por White et al. (2000). Esses autores propuseram empregar o valor encontrado da relação de C/N das raízes finas para o parâmetro (C/N madeira viva), de acordo com Gosz, Likens e Bormann, (1973).

Subgrupo II - Parâmetros de celulose, lignina e lábil

A fração celulose, lignina e lábil de serapilheira e raízes foram calculadas por meio do material coletado na área do experimento. Para a serapilheira foram usadas amostras compostas, (deposição de serapilheira coletada mensalmente), mesma metodologia também utilizada para o Eucalipto. Para a madeira morta a fração de celulose e lignina foi obtida por meio de dados de literatura, específicos para a fitofisionomia Cerrado sentido restrito. Na falta desses dados, utilizou-se os valores de 71 e 29%, correspondentes à média para floresta decídua (WHITE et al., 2000).

Subgrupo III - Parâmetros morfológicos da folha

A área foliar específica, também denominada de área basal projetada ($m^2 Kg C^{-1}$), foi obtida por meio da literatura. Importante enfatizar que a SLA é assumida em unidade de massa de Carbono ($m^2 KgC^{-1}$), ou seja, não é tomada em função do peso seco comum em literatura.

Para os parâmetros: fração de todos os lados da folha projetados/IAF e fração de área específica das folhas sombreadas/iluminadas (AFE/AFE) foram utilizados os valores de 2 e 2, respectivamente, obtidos por White et al. (2000) e NTGS.

Subgrupo III – Taxas de condutância e limitações

Para as condutâncias estomática (máxima e mínima), cuticular e da camada limite; potencial de água na folha/redução inicial e final da condutância estomática; VPD/redução no começo da condutância estomática e VPD/ redução quando a condutância estomática é completada, foi adotada a média ponderada de dados da literatura de acordo com o percentual da biomassa, específicos para a fitofisionomia Cerrado sentido restrito. Os dados compilados foram obtidos por meio dos trabalhos realizados por Giambelluca et al. (2009); Hoffmann et al. (2005); Bucci et al. (2004);

2005; 2006; 2008); Naves-Barbiero et al. (2000); Meinzer et al. (1999); Wenhui e Prado, (1998); Medina e Francisco, (1994); Perez e Moraes, (1991a); Perez e Moraes, (1991b).

Subgrupo IV – Parâmetros de alocação

Os valores utilizados para alocação de Carbono em raízes finas e grossas foram obtidos por meio de coleta na área do experimento. Para a alocação de Carbono nas folhas novas foram considerados os valores obtidos pelo NTGS, (2017).

Para a alocação de Carbono em madeira viva, Carbono total da madeira e Carbono no tronco foram empregados dados obtidos em literatura. Há também uma proporção definida pelo usuário, parâmetro de proporção de crescimento corrente, que define quanto do C assimilado deve ser reservado para o crescimento do próximo ano. O valor utilizado foi de 0,5 (dados para *deciduos broadleaf forest*, NTGS).

Subgrupo V – Outros parâmetros

O índice de interceptação de água, coeficiente de extinção de luz foram estimados por meio da literatura, após a quantificação do IAF na área dos experimentos. A porcentagem de nitrogênio Rubisco na folha foi parametrizado considerando o valor de 0,06 para a fração de Nitrogênio foliar em Rubisco (dados para *evergreen broadleaf forest*, NTGS).

4.4.5 - Calibração e validação do Modelo Biome-BGC

Os valores utilizados na calibração para os dois ecossistemas, Cerrado sentido restrito e Eucalipto, foram obtidos por meio de dados experimentais, intervalo do desvio padrão e literatura. Durante a calibração, os valores de alguns parâmetros foram alterados de modo a diminuir o desvio entre o valor estimado e o observado, de forma a alcançar a melhoria do ajuste do modelo (BORGES, et al., 2012).

A validação foi realizada por meio dos fluxos de Carbono obtidos por meio das torres de fluxo, método de covariância de vórtices, relevante para validação de modelos de ecossistemas (SIQUEIRA et al., 2006). Após parametrizado, calibrado e validado o modelo, procedeu-se então, à obtenção de estimativas da NEE. Nessa etapa de validação, a simulação do modelo foi verificada por meio de análise gráfica. Foi utilizada a versão do modelo Biome-BGC 4.2 (2010), sendo que as estimativas do modelo foram realizadas em C++.

4.5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 - Parametrização e calibração para o povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *grandis*.

O primeiro passo após a parametrização do Biome-BGC para a vegetação de Eucalipto foi a calibração, em função da análise de sensibilidade que apresentou os seguintes parâmetros com sensibilidade alta para a NEE, a saber, biomassa inicial, deposição e fixação de N, alocação de C e fertilidade do solo. Os valores dos parâmetros iniciais, utilizados para corrida *spinup*, e calibrados são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Parâmetros utilizados no modelo Biome - BGC, parametrização e calibração para o *Eucalyptus urophylla x grandis*, amostrados na Fazenda Água Limpa, DF. Parâmetro obtido em campo, área experimental de pesquisa - AP e em literatura - L (realizadas pelos autores listados). Os parâmetros que apresentaram valores (-) não foram parametrizados para a corrida Spinup.

Parâmetros de site e inicialização				
Parâmetros	Unidade	Valor	Parametrizado	
			Fonte	Calibrado
Número de anos com dados meteorológicos	nº	30	AP	-
Número de anos simulados	nº	4	AP	-
Primeiro ano de simulação	nº	2013	AP	-
Constante atmosférica CO ₂	ppm	380	Noaa (2016)	380
Profundidade efetiva do solo	m	1,5	AP	2
Percentual de areia	%	40	AP	40
Percentual de silte	%	10	AP	10
Percentual de argila	%	50	AP	50
Elevação do site, altitude	m	1175	AP	1175
Albedo do site	-	0,2	AP	0,2
Latitude do site	- hemis. sul	-15,5	AP	-15,5
Deposição atmosférica de Nitrogênio	kgN m ⁻² ano ⁻¹	0,004	Rezende (2001)	0,10
Fixação de Nitrogênio	kgN m ⁻² ano ⁻¹	0,0009	Cleveland et al. (1999)	0,09
Teor de neve no solo	Kg m ⁻²	0	-	0
Saturação de água no solo	SEM	0,5	NTGS	0,5
Deposição de N industrial (Ano referente)	nº	2099	NTGS	2099
Deposição N industrial	kgN m ⁻² ano ⁻¹	0,0001	NTGS	0,0001
Carbono em folha - primeiro ano	KgC m ⁻²	0,007	AP	0,006
Carbono no caule - primeiro ano	KgC m ⁻²	0,010	AP	0,009
Carbono em detritos lenhosos	KgC m ⁻²	-	-	-
Carbono em serapilheira - fração lábil	KgC m ⁻²	-	-	-
Carbono em serapilheira - fração de celulose, camada superficial	KgC m ⁻²	-	-	-
Carbono em serapilheira - fração de celulose, camada sub superficial	KgC m ⁻²	-	-	-
Carbono em serapilheira - fração de lignina	KgC m ⁻²	-	-	-
Carbono no solo - fração rápida de reciclagem microbial	KgC m ⁻²	-	-	-
Carbono no solo - fração média de reciclagem microbial	KgC m ⁻²	-	-	-
Carbono no solo - fração lenta de reciclagem microbial	KgC m ⁻²	-	-	-

Continua Tabela 15

Carbono no solo – matéria orgânica no solo	KgC m ⁻²	-	-	-
Nitrogênio em serapilheira – fração lábil	KgN m ⁻²	-	-	-
Nitrogênio em serapilheira – fração mineral	KgN m ⁻²	-	-	-
Parâmetros ecofisiológicos				
Fração de C/N na folha	kgC kgN ⁻¹	35	AP	35
Fração de C/N na serapilheira	kgC kgN ⁻¹	90	AP	90
Fração de C/N nas raízes finas	kgC kgN ⁻¹	75.57	AP	75
Fração de C/N na madeira viva	kgC kgN ⁻¹	320	AP	320
Fração de C/N na madeira morta	kgC kgN ⁻¹	385	AP	385
Fração lábil em serapilheira foliar	%	0.71	AP	0,71
Fração de celulose em serapilheira foliar	%	0.15	AP	0,15
Fração de lignina em serapilheira foliar	%	0.14	AP	0,14
Fração lábil em raízes finas	%	0.25	AP	0,25
Fração de celulose em raízes finas	%	0.59	AP	0,59
Fração de lignina em raízes finas	%	0.16	AP	0,16
Fração de celulose em madeira morta	%	76	NTGS	0,76
Fração de lignina em madeira morta	%	24	NTGS	0,24
Rotatividade das raízes finas e folhas	1 ano ⁻¹	1.57	Jourdan et al. (2008)	0,4
Rotatividade da madeira viva	1 ano ⁻¹	0.7	NTGS	0,7
Mortalidade da árvore ou planta completa	1 ano ⁻¹	0.005	AP	0,005
Mortalidade por fogo	1 ano ⁻¹	0.01	AP	0,00
Área específica média da folha do dossel (área basal projetada)	m ² kgC ⁻¹	7.49	AP	7,5
Alocação de Carbono nas folhas novas/Carbono nas raízes finas novas	kgC kgC ⁻¹	1	NTGS	1,0
Alocação de Carbono nas folhas novas/Carbono no tronco	kgC kgC ⁻¹	2,2	NTGS	1,0
Alocação de Carbono do total de madeira nova/Carbono madeira nova viva	kgC kgC ⁻¹	0,1	NTGS	0,22
Alocação de Carbono no tronco /Carbono nas raízes grossas	kgC kgC ⁻¹	0,23	NTGS	0,3
Proporção para o novo crescimento	SEM	0,5	NTGS	0,5
Índice de interceptação de água	1 IAF ⁻¹ dia ⁻¹	0,041	NTGS	0,042
Coefficiente de extinção de luz	SEM	0,7	NTGS	0,75
Porcentagem de Nitrogênio Rubisco na folha	%	0,06	NTGS	0,01
Fração de todos os lados da folha projetados/IAF	SEM	2	AP	2
Fração de área específica das folhas sombreadas/iluminadas	SEM	2	AP	2

Continua Tabela 15

Condutância estomática máxima	m s ⁻¹	0,006	Marrichi (2009); Otto et al. (2013)	0,01
Condutância cuticular	m s ⁻¹	0,00001	NTGS, White et al. (2000)	0,00001
Condutância da camada limite	m s ⁻¹	0,01	NTGS	0,02
Potencial de água na folha/redução inicial da Condutância Estomática (CE)	Mpa	-0,6	Silva (1998), Stape et al., (2004)	-0,6
Potencial de água na folha/redução final da Condutância Estomática	Mpa	-3,9	Silva (1998), Stape et al. (2004)	-5,20
VPD /redução no começo da condutância estomática (CE)	Pa	1800	Marrichi (2009)	1000
VPD/redução quando a CE é completada	Pa	4100	Marrichi (2009)	5100

*SEM – adimensional.

4.5.2 - Parametrização e calibração para a vegetação Cerrado sentido restrito

Após a execução do modelo Biome-BGC na função spinup foram alcançados valores extremamente baixos de IAF e NEE para os primeiros anos de simulação, conseqüentemente, valores estes que não representam os fluxos no ecossistema de uma área natural. Nos primeiros anos de simulação o Biome-BGC modela um ecossistema com mínima biomassa inicial por área, assim como os valores de Carbono na serapilheira e no solo. Então optou-se por fornecer os parâmetros de Carbono na biomassa (folha e caule) para as simulações correspondentes aos valores atuais, obtidos no inventário realizado no ano de 2014. E assim, o Biome-BGC ponderou a área de Cerrado *sentido restrito* como uma floresta já estabelecida, ou seja, modelando os fluxos de Carbono em uma vegetação natural.

Para alcançar os valores dos parâmetros calibrados (Tabela 16) foi necessário realizar a análise de sensibilidade. Os grupos que apresentaram maior sensibilidade na modelagem dos fluxos de Carbono nessa vegetação foram: biomassa inicial, deposição e fixação de N, parâmetros de alocação de Carbono e fração de mortalidade.

Tabela 16 - Parâmetros utilizados no modelo Biome - BGC, parametrização e calibração para o Cerrado sentido restrito, amostrados na Fazenda Água Limpa, DF. Parâmetro obtido em campo, área experimental de pesquisa (AP), literatura, realizados pelos autores listados (L), e estimado, simulado pelo Biome-BGC (E).

Parâmetros de site e inicialização				
Parâmetros	Unidade	Valor	Parametrizado	
			Autor	Calibrado
Número de anos com dados meteorológicos	n°	30	AP	-
Número de anos simulados	n°	30	AP	30
Primeiro ano de simulação	n°	1987	AP	-
Constante atmosférica CO ₂	ppm	390	Noaa (2016)	390
Profundidade efetiva do solo	m	1	NTGS	1
Percentual de areia	%	18	AP	18
Percentual de silte	%	8	AP	8
Percentual de argila	%	74	AP	74
Elevação do site, altitude	m	1149	AP	1149
Albedo do site	-	0,15	AP	0,13
Latitude do site	- hemis. sul	-15,5	AP	-15,5
Deposição atmosférica de Nitrogênio	kgN m ⁻² ano ⁻¹	0,004	Rezende (2001)	0,001
Fixação de Nitrogênio	kgN m ⁻² ano ⁻¹	0,0009	Cleveland et al. (1999).	0,009
Teor de neve no solo	Kg m ⁻²	0	-	0
Saturação de água no solo	SEM	0,5	NTGS	0,5
Deposição de N industrial (Ano referente)	n°	2099	NTGS	2099
Deposição N industrial	kgN m ⁻² ano ⁻¹	0,0001	NTGS	0,0001
Carbono em folha - primeiro ano	KgC m ⁻²	0,023	AP	0,07
Carbono no caule - primeiro ano	KgC m ⁻²	0,011	AP	0,06
Carbono em detritos lenhosos	KgC m ⁻²	0,516	AP	0,42
Carbono em serapilheira - fração lábil	KgC m ⁻²	1,6 x 10 ⁻⁴	E	2 x 10 ⁻⁶
Carbono em serapilheira - fração de celulose, camada superficial	KgC m ⁻²	0,011	E	0,0165
Carbono em serapilheira - fração de celulose, camada sub superficial	KgC m ⁻²	0,006	E	0,008
Carbono em serapilheira - fração de lignina	KgC m ⁻²	0,030	E	0,0447
Carbono no solo - fração rápida de reciclagem microbial	KgC m ⁻²	4 x 10 ⁻⁴	E	2,6 x 10 ⁻⁵

Continua Tabela 16

Carbono no solo - fração média de reciclagem microbial	KgC m ⁻²	0,027	E	0,0251
Carbono no solo - fração lenta de reciclagem microbial	KgC m ⁻²	0,233	E	0,243
Carbono no solo – matéria orgânica no solo	KgC m ⁻²	1,243	E	4,5
Nitrogênio em serapilheira – fração lábil	KgN m ⁻²	4 x 10 ⁻⁶	E	4 x 10 ⁻⁶
Nitrogênio em serapilheira – fração mineral	KgN m ⁻²	4 x 10 ⁻⁵	E	4 x 10 ⁻⁵
Parâmetros ecofisiológicos				
Fração de C/N na folha	kgC kgN ⁻¹	30	AP	30
Fração de C/N na serapilheira	kgC kgN ⁻¹	58	AP	58
Fração de C/N nas raízes finas	kgC kgN ⁻¹	67	AP	67
Fração de C/N na madeira viva	kgC kgN ⁻¹	65	AP	65
Fração de C/N na madeira morta	kgC kgN ⁻¹	400	AP	440
Fração lábil em serapilheira foliar	%	0,65	AP	0,39
Fração de celulose em serapilheira foliar	%	0,23	AP	0,44
Fração de lignina em serapilheira foliar	%	0,12	AP	0,17
Fração lábil em raízes finas	%	0,5	AP	0,30
Fração de celulose em raízes finas	%	0,2	AP	0,45
Fração de lignina em raízes finas	%	0,3	AP	0,25
Fração de celulose em madeira morta	%	0,76	NTGS	0,76
Fração de lignina em madeira morta	%	0,75	NTGS	0,24
Rotatividade das raízes finas e folhas	1 ano ⁻¹	1,25	Chen et al. (2003)	1,2
Rotatividade da madeira viva	1 ano ⁻¹	0,7	NTGS	0,7
Mortalidade da árvore ou planta completa	1 ano ⁻¹	0,15	AP	0,015
Mortalidade por fogo	1 ano ⁻¹	0,05	AP	0,005
Área específica média da folha do dossel (área basal projetada)	m ² kgC ⁻¹	30	AP	15
Alocação de Carbono nas folhas novas/Carbono nas raízes finas novas	kgC kgC ⁻¹	1	NTGS	1,1
Alocação de Carbono nas folhas novas/Carbono no tronco	kgC kgC ⁻¹	2,2	NTGS	2,6
Alocação de Carbono do total de madeira nova/Carbono madeira nova viva	kgC kgC ⁻¹	0,1	NTGS	0,1
Alocação de Carbono no tronco /Carbono nas raízes grossas	kgC kgC ⁻¹	0,23	NTGS	0,23
Proporção para o novo crescimento	SEM	0,5	NTGS	0,5
Índice de interceptação de água	1 IAF ⁻¹ dia ⁻¹	0,041	NTGS	0,041
Coefficiente de extinção de luz	SEM	0,7	NTGS	0,7
Porcentagem de Nitrogênio Rubisco na folha	%	0,08	NTGS	0,08

Continua Tabela 16

Fração de todos os lados da folha projetados/IAF	SEM	0,94	AP	2
Fração de área específica das folhas sombreadas/iluminadas	SEM	1,2	AP	1
Condutância estomática máxima	m s ⁻¹	0,006	Miranda et al. (1996); Meinzer et al. (1999); Naves-Barbiero et al. (2000); Bucci et al. (2005; 2008a); Scalón, Rossato e Franco, (2014)	0,008
Condutância cuticular	m s ⁻¹	0,00001	NTGS	0,00001
Condutância da camada limite	m s ⁻¹	0,01	NTGS	0,01
Potencial de água na folha/redução inicial da Condutância Estomática (CE)	Mpa	-0,6	Perez e Moraes, (1991a); Perez e Moraes, (1991b); Wenhui e Prado, (1998); Meinzer et al. (1999); Naves-Barbiero et al. (2000); Bucci et al. (2005;2008)	-0,6
Potencial de água na folha/redução final da Condutância Estomática	Mpa	-2,3	Perez e Moraes, (1991a); Perez e Moraes, (1991b); Wenhui e Prado, (1998); Naves-Barbiero et al. (2000); Meinzer et al. (1999); Bucci et al. (2008)	-2,3
VPD /redução no começo da condutância estomática (CE)	Pa	1800	Mattos, Reinert e Moraes, (1997); Bucci et al. (2004; 2005; 2008a)	1800
VPD/redução quando a CE é completada	Pa	4100	Mattos, Reinert e Moraes, (1997); Bucci et al. (2004; 2005; 2008a)	4100

*SEM – adimensional.

4.5.3 - NEE simulada pelo Biome-BGC para *Eucalyptus urophylla x grandis* e para a área de Cerrado sentido restrito

A NEE simulada e observada para a área de Cerrado apresentou amplitude semelhante para o período de 2013 a 2015, justificada pela característica de um ecossistema com tendência ao equilíbrio de NEE. Para o Eucalipto a NEE mostrou-se maior conforme a idade, atribuída à idade e ao desenvolvimento rápido dessa espécie (Figura 19).

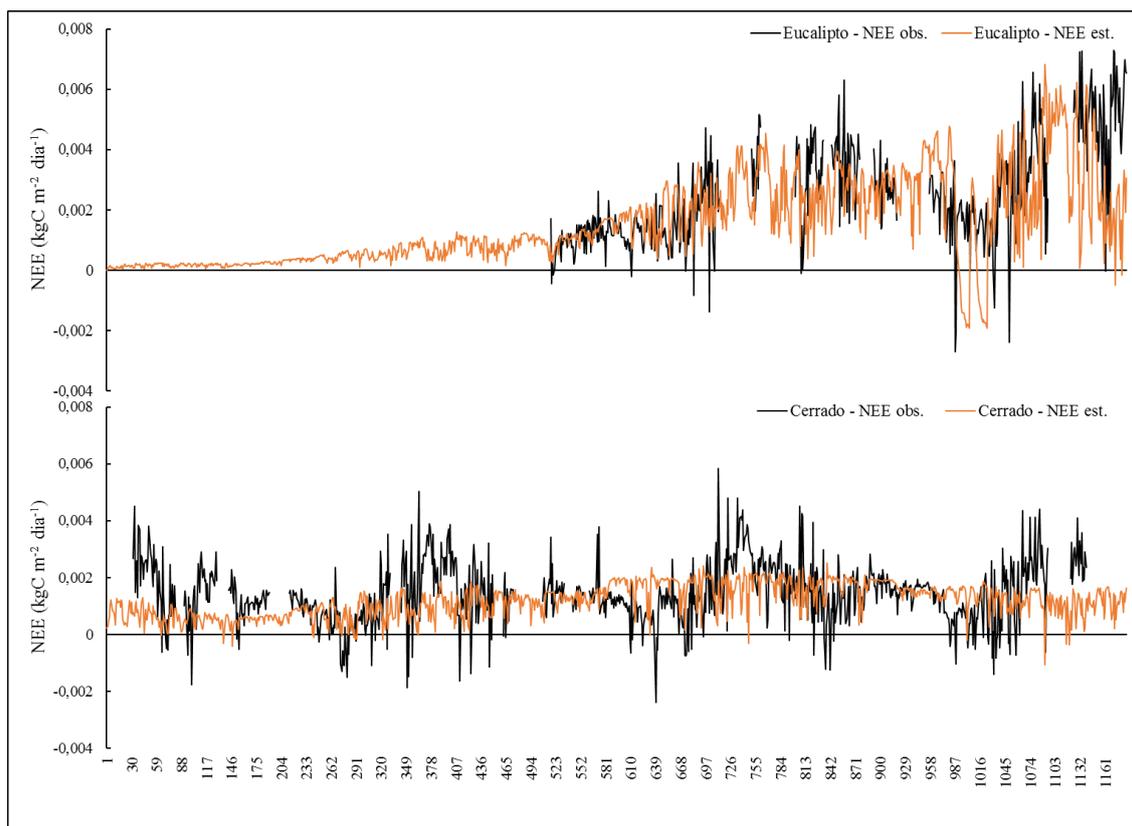


Figura 19 - NEE observada e simulada por meio do modelo Biome-BGC para a vegetação de Cerrado sentido restrito e *Eucalyptus grandis x urophylla*, amostrada na Fazenda Água Limpa, DF.

O modelo Biome-BGC estimou a NEE anual para a área de Cerrado e Eucalipto com precisão. No entanto, a variabilidade da NEE não foi bem representada, especialmente para a área de Cerrado (Figura 19), posto que a complexidade de alguns modelos ecofisiológicos, muitas vezes justificada para resolver processos ecossistêmicos rápidos, não necessariamente se traduzem em melhores habilidades preditivas nas escalas de tempo em sua totalidade (SIQUEIRA et al., 2006). Segundo esses autores, o bom desempenho de alguns modelos na estimativa da flutuação interanual parece derivar de uma dinâmica errada na sensibilidade ao stress hídrico e IAF, apresentando oscilação não realista em escalas de tempo mais curtos.

Associada a explicação acima, pode-se atribuir duas perspectivas de entendimento, relacionada a fitofisionomia analisada: a primeira, pertinente as características intrínsecas e fenológicas do Cerrado; a segunda, diz respeito a equação utilizada para estimar a RE, ajustada para modelar a respiração em ecossistemas cuja diversidade de espécies arbóreas tende a ser homogênea e com alta oscilação de temperatura anual.

Em relação as características do Cerrado, esse bioma apresenta diferenças florísticas e fitossociológicas entre os estratos de regeneração e adulto, com espécies dominantes fitossociologicamente presentes em ambos os tipos de estratos. No entanto, há espécies encontradas apenas nos estratos adultos e outras, nos estratos de regeneração (MEDEIROS et al., 2007). Em outras palavras, está relacionado a uma grande variedade de estratégias ecofisiológicas, como também à elevada diversidade de espécies arbórea – arbustivas, estimada em 700 a 800 espécies (FULLER; RATTER, 1988), e endemismos, além de uma ampla gama de respostas adaptativas dessas espécies aos estresses sazonais (PALHARES; FRANCO; ZAIDAN, 2010), dentre as quais a capacidade de as espécies lenhosas captar água em todos os estratos do solo, independentemente da fenologia foliar (FRANCO et al., 2005).

O Biome-BGC utiliza para estimar a respiração de manutenção, o modelo exponencial Q_{10} , uma vez que o incremento de 10°C em temperatura relata uma mudança na taxa de respiração. Contudo, na região de estudo, zona tropical, a variação de temperatura média diária do período chuvoso para o período seco, em grande parte, não alcança essa amplitude de 10°C , de maneira que, quando a variação não alcança essa amplitude, o modelo considera a respiração com mínima flutuação. Logo, considerou-se apenas a NEE anual para validar o modelo Biome-BGC.

O somatório da NEE para a área de Cerrado sentido restrito, período de 2013 a 2015, foi de $1.535,0\text{ gC m}^{-2}$, enquanto que para o Eucalipto foi de $1.490,8\text{ gC m}^{-2}$. Para o Cerrado, os valores simulados da NEE anual para os anos de 2014 e 2015, exibiram estimativas próximas ao observado (Figura 20), e não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$), embora para o ano de 2013 houvesse diferença significativa. Para o Eucalipto não foi possível comparar o valor da NEE anual simulada com a observada, devido ao número de falhas da NEE observada.

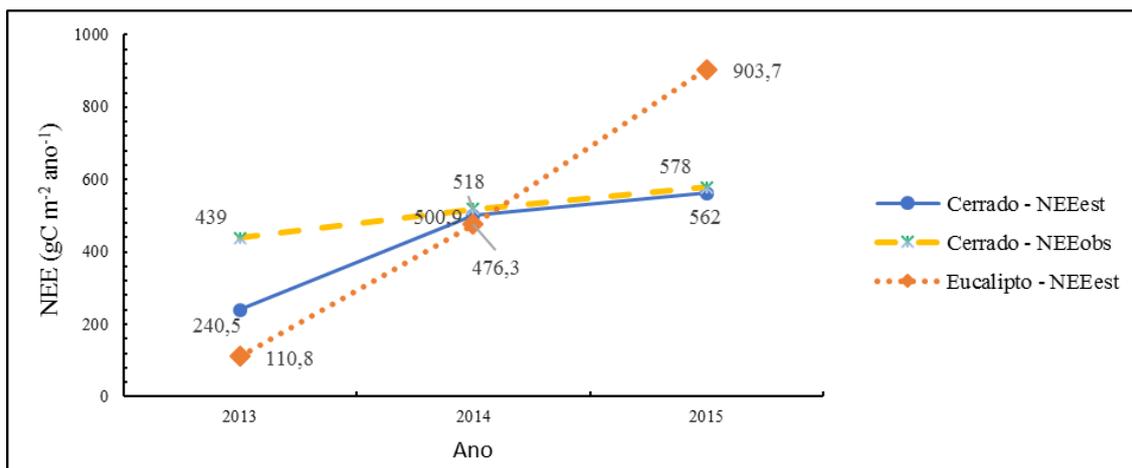


Figura 20 - NEE estimada e observada, validação do modelo Biome - BGC, para a vegetação de Cerrado sentido restrito, Sim. I – Simulação I e obs. – valores observados pelo método de covariância de vórtices turbulentos, amostradas na Fazenda Água Limpa, DF.

A área de Cerrado sentido restrito apresentou valor elevado de NEE, 439 a 578 $\text{gC m}^{-2} \text{ano}^{-1}$ quando comparado com resultados obtidos por Miranda et al. (1996); Brayer (2001); Rocha et al. (2002); e Maia (2003), valores entre 10 a 300 $\text{gC m}^{-2} \text{ano}^{-1}$. No entanto, essas áreas apresentam diferença em relação a diversidade de espécies, concentração de CO_2 e anomalias de temperatura nos períodos avaliados. Quanto à diversidade de espécies, a relação entre fotossíntese, que é uma componente da NEE, e produtividade, nem sempre é proporcional, ou seja, a fotossíntese pode estar relacionada à RFA e à eficiência do uso da luz (RYAN et al., 2010; INOUE; RIBEIRO, 1988; LASCHER, 2006), enquanto a produtividade depende de fatores ecofisiológicos locais que influenciam alocação e respiração.

Para avaliar se a variação de concentração de CO_2 alteraria os valores simulados para a área de Cerrado, foram realizadas duas simulações: a Simulação I, que estimou a NEE até 2020, utilizando os dados meteorológicos de 2013 a 2016 e a simulação II, utilizando a mesma extrapolação de dados meteorológicos como também os valores anuais de CO_2 , de 2013 a 2016, e utilizados as mesmas taxas de incremento de CO_2 para o período de 2017 a 2020. A utilização dos dados meteorológicos nessa extrapolação teve por objetivo avaliar o comportamento desse ecossistema diante da anomalia da temperatura (Figura 21), essa figura mostra uma anomalia de $1,5^\circ\text{C}$ entre o ano de 2013 a 2016, com pico no ano de 2015.

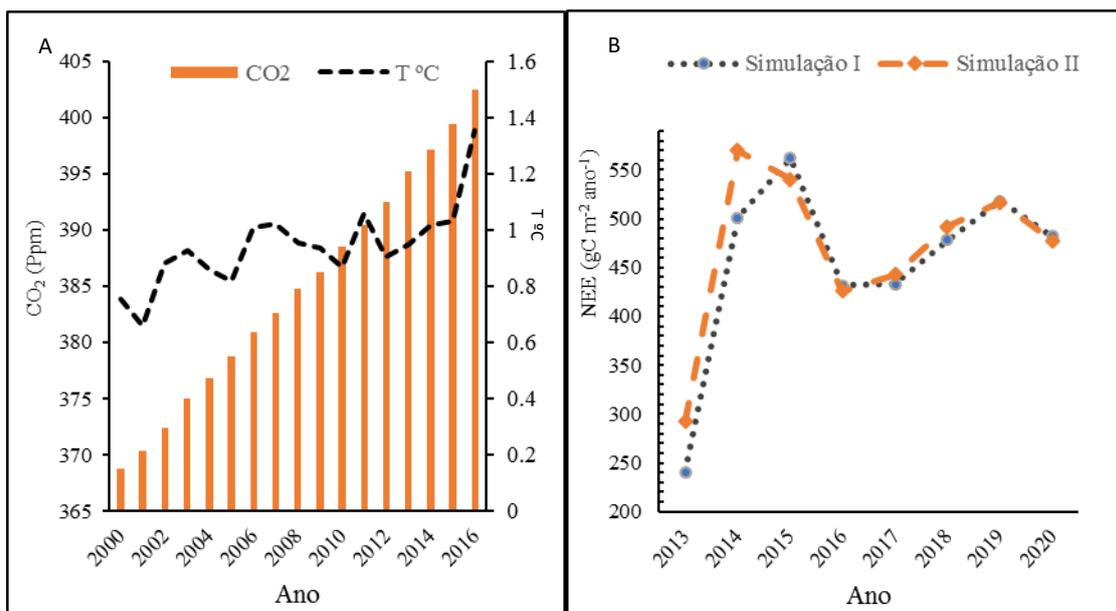


Figura 21 - A - variação de CO₂ e anomalias da temperatura global. Fonte: adaptado (NOAA, 2017 a,b) e B - simulação I e II para o fluxo da NEE (Biome-BGC) e dados observados (Covariância de vórtices turbulentos).

A despeito da simulação II, os valores estimados para o ano de 2013 e 2014 foram mais elevados, o ano de 2015 apresentou um decaimento de 4% referente ao valor observado, ou seja, essa simulação aumentou o somatório da NEE para os três anos simulados. O ano de 2015 apresentou o maior valor de NEE observado, nesse mesmo ano também foi observado o recorde em aquecimento para a região Centro – Oeste do Brasil. Conforme pode ser visualizado na figura 22, o ano de 2015 apresentou a maior média de incremento em temperatura para a área de estudo (NOAA, 2017c).

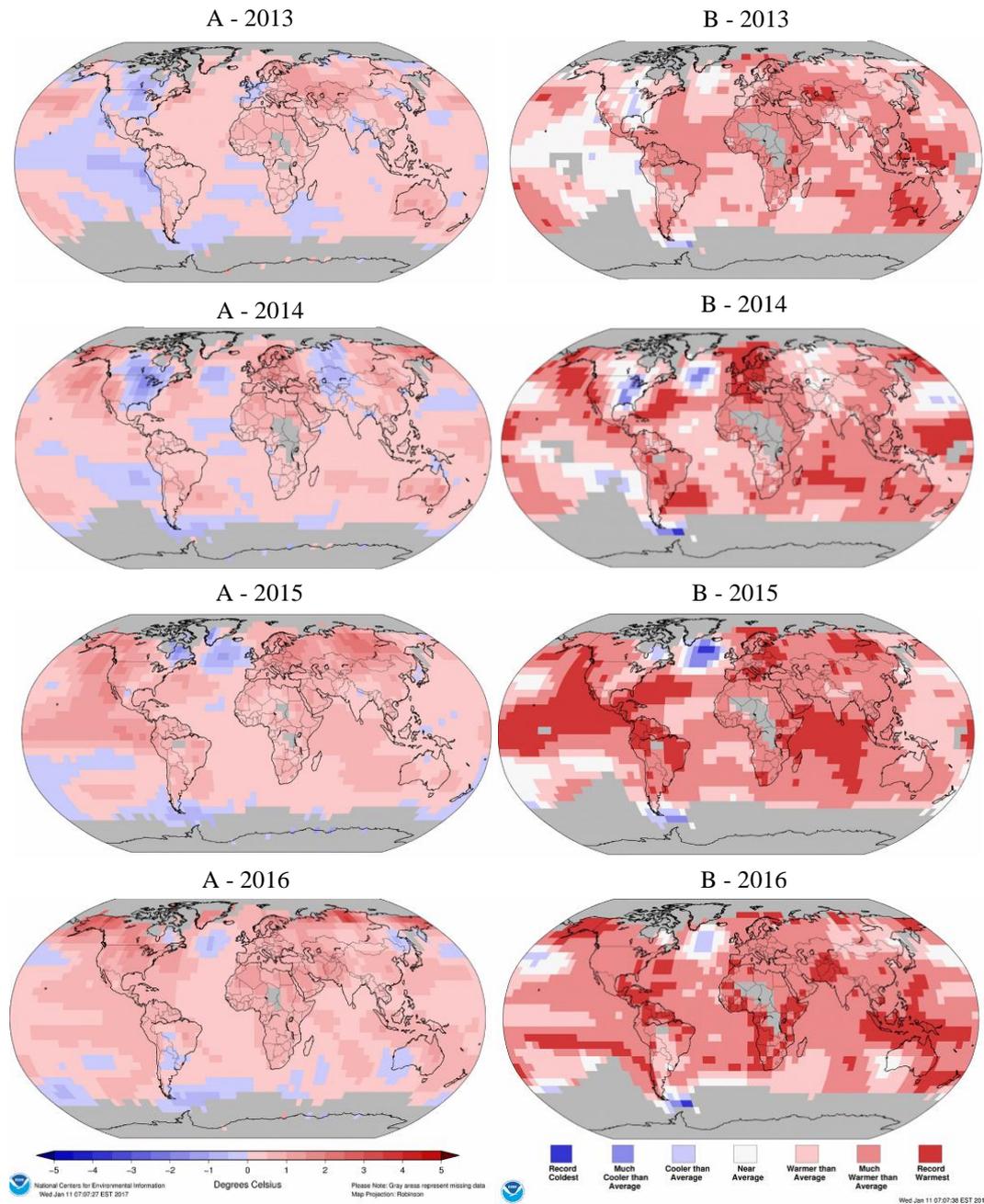


Figura 22 - Anomalias da temperatura terrestre e oceânica de 2013 a 2016, com relação a um período de base de 1981 a 2010 e B – percentis de temperatura terrestre e oceânica de 2013 a 2016. Fonte: Adaptado NOAA (2017c).

O aumento da concentração do CO₂ altera o fluxo de energia, alterando o fluxo de saída da radiação solar e, conseqüentemente, a temperatura. Em nível global, o aumento de temperatura foi intensificado nos últimos 100 anos, evidenciando que as atividades antrópicas têm alterado de forma brusca esse fluxo nas últimas décadas, quando comparada às alterações nos últimos séculos (HANSEN; SATO; RUEDY, 2012). Segundo Marcott et al. (2013), a alteração na temperatura tem excedido o valor

encontrado em picos interglaciais, o que mostra que o uso e modificação do solo no planeta tem alterado o fluxo de energia, calor sensível.

Outro fator primordial a ser avaliado são as consequências do aumento de CO₂ na atmosfera. Logo, com esse aumento, a fertilização com CO₂ é a principal mudança nos fluxos em ecossistemas florestais (SITCH et al., 2015), aliado ao aumento de temperatura, alterando, pois os processos de assimilação de Carbono e liberação pelo ecossistema.

Dentre esses processos, estudo realizado por Nottingham et al. (2015) descreve a temperatura como um fator atuante na decomposição de serapilheira e matéria orgânica no solo ao promover em uma liberação líquida de Carbono do solo para a atmosfera (WIEDER et al., 2013), de maneira que pode acarretar um impacto significativo na concentração de CO₂ atmosférico, pois o armazenamento de Carbono nos solos é quatro vezes maior do que na vegetação e três vezes maior do que na atmosfera (JOBAGY; JACKSON, 2000).

Por outro lado, tem-se a assimilação do Carbono pela vegetação e seus fatores que interferem na quantidade assimilada. Em florestas tropicais, dentre as limitações, tem-se a disponibilidade de água no local, ou seja, se o aumento do CO₂ e temperatura, influenciar no menor volume de precipitação, menor será a assimilação de Carbono foliar (WAGNER et al., 2016). Contudo, as espécies lenhosas do Cerrado, independentemente da fenologia foliar, captam água em todos os estratos do solo (FRANCO et al., 2005), podendo favorecer o incremento de biomassa nesse tipo de vegetação, sob essa alteração climática, explicada pela adaptação dessas plantas em relação ao stress hídrico.

Esse incremento de biomassa, e ou, favorecimento de espécies de domínio florestal pode ser contido por meio das compensações entre as necessidades e os nutrientes e amoldamentos ao fogo. Silva et al. (2013) reforça a savana e a floresta como estados estáveis alternativos, explicando a persistência a longo prazo de mosaicos de vegetação nos trópicos sazonais. Portanto, a baixa fertilidade limita o avanço das florestas em savanas, mas o ingresso de espécies florestais favorece a formação de estados não-inflamáveis, aumento da fertilidade e promove a expansão florestal.

Segundo Franco et al. (2014), o aquecimento global provavelmente afetará o desempenho das espécies, distribuição e padrões de biodiversidade, também destacam a

necessidade da utilização de modelagem baseado em processos ecofisiológicos para simular com precisão a dinâmica da vegetação sob cenários de mudança climática.

4.6 - CONCLUSÃO

O modelo Biome-BGC estimou a troca líquida de Carbono anual para o Cerrado e Eucalipto com precisão. No entanto, a variabilidade da troca líquida de Carbono não foi bem representada, especialmente para o Cerrado sentido restrito, o que pode estar relacionada às características intrínsecas e fenológicas do Cerrado, bem como às limitações e habilidade preditivas do modelo Biome-BGC para estimar a troca líquida de Carbono em ecossistema que apresenta heterogeneidade espacial e elevada diversidade de espécies vegetais.

Durante o período avaliado, 2013 a 2015, a troca líquida de CO₂ para o Cerrado sentido restrito foi maior (1.535,0 gC m⁻²), quando comparado com o povoamento de *Eucalyptus urophylla x grandis* (1.490,8 gC m⁻²) com idade de três anos. Apesar da razoável diferença entre os valores da troca líquida para os três anos avaliados, infere-se que a área de Cerrado sentido restrito obteve a mesma eficiência na troca líquida de Carbono, nesse intervalo de tempo de três anos, porém revela-se importante destacar que o Eucalipto está no seu período inicial de desenvolvimento, de forma que a capacidade desse povoamento tende a aumentar, ao longo do tempo, a troca líquida de Carbono em função das suas características genéticas, dentre as quais o rápido crescimento e desenvolvimento.

Tomados em conjunto, os resultados do presente estudo sugerem que o reservatório de Carbono em áreas de Cerrado sentido restrito pode se tornar mais variável no futuro, devido ao incremento em biomassa, em função das anomalias na temperatura e aumento de CO₂ na atmosfera.

5 - QUESTÕES DE PESQUISAS REVISITADAS

A área de Cerrado sentido restrito, em decorrência da sua dinâmica ecológica, apresenta volume significativo de biomassa morta em pé, a qual não faz fotossíntese, ou seja, não participa da captação de CO₂ e sim, como fonte de CO₂, por meio da decomposição. Nesse ecossistema, Cerrado, quando a taxa de recrutamento é menor do que a taxa de mortalidade, pode se considerar que a vegetação apresenta estabilidade

natural. A partir dessa avaliação, permite-se afirmar que a vegetação, Cerrado sentido restrito, está em processo de crescimento, principalmente o incremento em biomassa. A taxa de recrutamento pode ser considerada como parâmetro para avaliar a influência do aumento de CO₂ no ecossistema e identificar, ao longo do tempo, as espécies que melhor se adaptam ao aumento desse gás e da temperatura, em função da atuação das forças climáticas.

Para a área de Cerrado a NEE apresenta comportamento sazonal. No entanto, pode-se afirmar que essa fitofisionomia é sorvedouro de Carbono durante as estações chuvosa e seca, sendo a última com menor absorção. Apesar da diminuição da fotossíntese durante a estação seca, a vegetação do Cerrado não apresentou diferença significativa no índice de área foliar durante o ano, fato este que pode ser justificado pelo comportamento fenológico das espécies arbóreo-arbustivo e pela diminuição do metabolismo em função do *stress* hídrico.

Todavia, em Cerrado sentido restrito, há possibilidade de se ter um balanço favorável na captação do CO₂, porquanto as estruturas fotossintetizantes ao longo do ano. Além desse parâmetro, as restrições hidráulicas, (GOLDSTEIN et al., 2008; MEINZER et al., 1999) e o acesso a reservas de água em diferentes estratos de profundidade (FERREIRA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2005), pode manter taxas semelhantes de perda de água por dia durante todo o ano, ou seja, a substituição desse ecossistema pode potencialmente alterar a hidrologia regional no Cerrado (OLIVEIRA et al., 2005; SILVA et al., 2006a). Sendo assim esse ecossistema contribui como sumidouro de Carbono e colabora diretamente para a precipitação nessas e em outras áreas cuja influência depende das massas de ar e da formação das nuvens convectivas.

Outro fator expressivo no fluxo da NEE é a dinâmica do ecossistema em armazenar Carbono e a liberação de CO₂ por meio da decomposição. O Cerrado sentido restrito avaliado apresenta expressivo estoque de Carbono no solo e biomassa radicular, além de um volume significativo de biomassa morta, em pé, e elevada produção de serapilheira - com baixa relação C/N, quando comparada com a relação C/N da serapilheira do Eucalipto - fonte de alimento para organismos heterotróficos. O volume de Carbono no solo também é influenciado pela vegetação (alterando o tipo de vegetação altera também a quantidade da entrada e saída de Carbono no ecossistema). Sob essa perspectiva, não são balanceadas, conforme um ecossistema natural.

Os dois ecossistemas, área de Cerrado e Eucalipto, apresentaram dinâmica de fluxo de NEE, LE, H e G, compatível com a sazonalidade e suas fenologias, o que pode ser explicado pela área de origem - Austrália, localizada na mesma zona tropical de abrangência do Cerrado. No entanto, a área de Eucalipto apresentou maiores valores de NEE ao longo do tempo, a qual pode se associar ao crescimento rápido, característica desse híbrido clonal, enquanto que, na área de Cerrado, por apresentar estabilidade estrutural, o fluxo de NEE foi semelhante ao longo do tempo, com razoável aumento anual de NEE, ao longo do período avaliado.

Em relação ao particionamento da energia, a área de Eucalipto apresentou, nos três primeiros anos, menores valores da razão de Bowen, quando comparados com o Cerrado. Durante o período seco, as duas vegetações apresentaram os maiores valores, no entanto nos primeiros anos, a maior partição de energia foi para área de Cerrado. O aumento de energia latente nos dois ecossistemas foi possível pela disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, pelo aumento do metabolismo da vegetação. Especificamente para o Cerrado, houve o retorno das atividades fotossintéticas da vegetação rasteira, composta principalmente por gramíneas.

Para o fluxo de calor no solo, as duas vegetações avaliadas apresentaram o mesmo comportamento, emissoras de calor para atmosfera durante o período seco e início do período chuvoso e consumidor nos meses de fevereiro a julho. Todavia, espera-se que o comportamento seja diferente com o aumento da idade para o Eucalipto, com conseqüente aumento da biomassa e fechamento do dossel, resultando no fluxo de calor (G) para o solo durante todas as estações

Dentre os principais fatores biofísicos que interferiram na variabilidade do fluxo de Carbono para as duas vegetações (Cerrado sentido restrito e Eucalipto), menciona-se a disponibilidade hídrica, sobretudo para a área de Cerrado, como já descrito anteriormente, com o retorno das atividades fotossintéticas da vegetação rasteira, composta, em especial, por gramíneas durante a estação chuvosa. Para a área de Eucalipto a disponibilidade hídrica também influenciou na variabilidade do fluxo de Carbono, ao passo que houve menor absorção de Carbono no período da estação seca. No geral, alguns fatores biofísicos (temperatura, umidade do solo e disponibilidade hídrica) apresentam valores diferentes na presença da sazonalidade, estação seca e estação chuvosa, com isso

o fluxo de Carbono para as duas vegetações também responde com diferentes valores na absorção e fonte de Carbono.

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar a razão de Bowen foi possível compreender a dinâmica dos fluxos de energia no decorrer do período monitorado, 2013 a 2016, e a mudança local no balanço de energia em função do uso e modificação do solo. Nesse período foi observado que a área de Eucalipto, quando comparada com a área de Cerrado sentido restrito, apresentou maiores valores para o fluxo de calor latente e menores valores para o calor sensível. De acordo com os resultados iniciais, aceita a hipótese I dessa tese, no entanto, houve a tendência de aumento do calor sensível ao longo do tempo para a área de Eucalipto, de modo que, seja possível inferir que na etapa de fase madura do Eucalipto essa hipótese seria rejeitada.

O modelo Biome-BGC estimou os fluxos e trocas de massa anual com precisão para a área de Cerrado sentido restrito, contudo, a hipótese II é rejeitada, pois a variabilidade da troca líquida de Carbono não foi bem representada o que pode estar relacionada às características intrínsecas e fenológicas do Cerrado, e em relação as limitações e habilidade preditivas do modelo Biome-BGC para estimar a troca líquida de Carbono em ecossistema que apresenta heterogeneidade espacial e elevada diversidade de espécies vegetais.

Faz-se necessário o monitoramento do povoamento de Eucalipto, assim como a coleta de parâmetros até idade madura, 6 a 8 anos, visando a parametrização, calibração e validação do modelo Biome - BGC.

Tornam-se, então, necessários estudos que objetivam avaliar atributos específicos do ecossistema nos seus respectivos ambientes naturais, propulsores da performance e conservação da biodiversidade. Na mesma linha de raciocínio, mostra-se essencial uma ciência mais detalhada dos fluxos de massa e das alterações ao longo do tempo, em decorrência das mudanças climáticas, como também do aumento da concentração de CO₂ na atmosfera e da alteração desses fluxos em função da modificação e uso do solo.

Logo, como se comportará a vegetação de savana, Cerrado sentido restrito, com o aumento de temperatura e de CO₂ na atmosfera? Para compreender esse conjunto de

processos, será necessário o monitoramento a longo prazo. Em síntese, é necessário conhecer e validar a modelagem a curto prazo, para, com isso, realizar prognósticos sobre as consequências do aumento de CO₂ e temperatura, associadas aos fatores que podem modificar ou minimizar o efeito dessas alterações, incluindo o “*feedback*” solo-planta e adaptação dos processos ecossistêmicos, uma vez que, segundo Sitch et al. (2015) a maior parte da tendência terrestre na captação líquida simulada de Carbono provém de ecossistemas naturais nos trópicos.

7 - REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABDALA, G. C. et al. Above and below-ground organic matter and root-shoot ratio in a Cerrado in central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, v. 2, p. 11-23, 1998.

ABER, J. D. et al. Fine root turnover in forest ecosystems in relation to quantity and form of nitrogen availability: a comparison of two methods. **Oecologia** v. 66, p. 317–321, 1985.

ABREU, E. C. R. et al. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v. 61, p. 86-102, 2002.

ADÂMOLI, J. et al. Caracterização da região dos Cerrados. In: Goedert, W. J. Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégia de manejo. Ed. Nobel, Brasília, DF, Embrapa/CPAC, p. 33-74, 1985.

ALCÂNTARA, F. A. et al. Conversion of grassy Cerrado into riparian forest and its impact on soil organic matter dynamics in an Oxisol from southeast Brazil. **Geoderma, Amsterdam**, v. 123, n. 3-4, p. 305-317, 2004.

ANDERSON, J. D.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. 2. ed. Wallingford: CAB International, p. 171, 1996.

ANDRADE, R. G. et al. Análise preliminar da variabilidade espacial da evapotranspiração de pastagens com o uso de imagens orbitais. In: Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2009, Viçosa, MG. 7º Congresso Brasileiro de Agroinformática, Viçosa, Brasil: SBIAgro, p. 5, 2009.

ANDRADE, R. G. et al. Evapotranspiração em pastagens com indicativos de degradação na bacia hidrográfica do alto Tocantins. II Inovagri Internacional Meeting, 2014.

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP (APG IV). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.181, p.1-20, 2016.

ANTONELI, V.; FRANCISQUINI, V. M. Influência de alguns dados meteorológicos na produção de serapilheira na FLONA (Floresta Nacional) de Irati – Paraná, **Ambiência**, v. 10, n. 1, p. 267 – 280, 2014.

AQUINO, F. G. et al. 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.

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serapilheira em um Sistema Agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 715-721, 2003.

ARYA, S. P; HOLTON, J. Introduction to Micrometeorology, 2nd edition. San Diego California: Academic Press, 2001.

ASSIS, M. R. et al. Modelagem da biomassa e do estoque de Carbono em plantas jovens de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 225-233, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTA PLANTADA (ABRAF), Anuário estatístico da ABRAF 2012: ano base 2011. Brasília, DF: ABRAF, 2012. 150 p.

ASSUNÇÃO, S. L.; FELFILI, J. M. Fitossociologia de um fragmento de Cerrado sentido restrito na APA do Paranoá, DF, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**. v. 18, n. 4, p. 903-909, 2004.

AWE, J. O.; SHEPHERD, K. R.; FLORENCE, R. G. Root development in provenances of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. **Australian Forestry**, v. 39, n. 3, p. 201-209, 1976.

AZEVEDO, G. B. **Amostragem e modelagem da biomassa de raízes em um Cerrado sentido restrito no Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, p. 75, 2014.

BACHEGA, L. R. **Efeito das espécies na decomposição da serapilheira e na transferência de N entre folhas em plantios mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acácia mangium***. 2012. 117f. Dissertação (Mestrado em Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade de Eucalipto na região norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 335-344, 2010.

BALDOCCHI, D.; WILSON, K. B. Modeling CO₂ and water vapor exchange of a temperate broadleaved forest across hourly to decadal time scales. **Ecological Modelling**, v. 142, p. 155-184, 2001.

BARNES, B. V. et al. **Forest Ecology**. Oxford: John Wiley & Sons, 1997.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, 1990. 430 p.

BATALHA, M. A.; MANTOVANI, W. Reproductive phenology patterns of Cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and woody flora. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, p. 129-145, 2000.

BEAUDET, M.; MESSIER, C. Variation in canopy openness and light transmission following selection cutting in northern hardwood stands: an assessment based on hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 110, p. 217–228, 2002.

BERG, B.; EKBOHM, G.; MCCLAUGHERTY, C. "Lignin and holocellulose relations during long-term decomposition of some forest litters. Long-term decomposition in a Scots pine forest. IV." **Canadian Journal of Botany**, v. 62, p. 2540-2550, 1984.

BERG, B.; MCCLAUGHERTY, C. **Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration**. Springer, Berlin, 2003, 286 p.

BETTS, R. A. et al. C.D. "The role of ecosystem atmosphere interactions in simulated Amazon forest dieback under global climate warming". **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 157-175, 2004.

BINKLEY, D. et al. First rotation changes in soil carbon and nitrogen in a Eucalyptus plantation in Hawaii. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 68, p. 1713-1719, 2004.

BORGES, J. S. et al. Parameterization of the 3-PG model for eucalypt in the region of Cerrado in Minas Gerais state. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, 567-578, 2012.

BRAYER, L. M. Fluxos de energia, Carbono e água em áreas de Cerrado sentido restrito submetidas a diferentes regimes de queima. 2001.61f. Tese (Doutorado em Ecologia), Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

BROVKIN, V. Climate-vegetation interaction. Climate-vegetation interaction. **Journal de Physique IV**, v. 12, p. 57-72, 2002.

BRUNO, R. D. et al. Soil moisture dynamics in an eastern Amazonian tropical forest. *Hydrological Processes*, v. 20, n.12, p. 2477- 2489, 2006.

BUCCI, S. J. et al. Functional convergence in hydraulic architecture and water relations of tropical savanna trees: from leaf to whole plant. **Tree Physiology**, v. 24, p. 891–899, 2004.

BUCCI, S. J. et al. Mechanisms contributing to seasonal homeostasis of minimum leaf water potential and predawn disequilibrium between soil and plants in Neotropical savanna trees. **Trees**, v. 19, n. 3, p. 296–304, 2005.

BUCCI, S. J. et al. Nutrient availability constrains the hydraulic architecture and water relations of savanna trees. **Plant Cell Environment**, v. 29, p. 2153–2167, 2006.

BUCCI, S. J. et al. Water relations and hydraulic architecture in Cerrado trees: adjustments to seasonal changes in water availability and evaporative demand. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, p. 233-245, 2008.

BUSTAMANTE, M. M. C. et al. ¹⁵N natural abundance in Woody plants and soils of central Brazilian savannas (Cerrado). **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, p. S200-S213, 2004.

CABRAL, O. M. R.; ROCHA, H. R.; GASH, J. H.; FREITAS, H. C.; LIGO, M. A.V. Water and energy fluxes from a woodland savanna (Cerrado) in southeast Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 4, p. 22- 40, 2015.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.

CAMPOE, O. C. **Ecologia da produção e da competição intra-específica do *Eucalyptus grandis* ao longo de um gradiente de produtividade de São Paulo**. 2012.

123f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

CAMPOS, P. M. et al. Drenagem interna Como Fator de diferenciação de Latossolos do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n.3, p. 306-314, 2010.

CANADELL, J. G. et al. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, p. 18866 - 18870, 2007.

CARVALHO, L. C. S.; BERG, E. V.; FERNANDES, F. B. Análise da variação temporal da estrutura de uma floresta altimontana com histórico de fogo. **Cerne**, v. 18, n. 2, p. 223-230, 2012.

CASE, M. "Climate change impacts in the Amazon: review of scientific literature (World Wildlife Fund – WWF)". **8th Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity**, Curitiba, Brazil, 2006.

CASTRO, E. A. Biomass, nutrient pools and response to fire in the Brazilian Cerrado.. (MS Thesis) – **Oregon State University, Corvallis**, p. 118, 1996.

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, p. 263-283, 1998.

CASTRO, N. R. A. **Sistema de amostragem e avaliação de danos por cupins de cerne (Insecta: Isoptera) em plantios de Eucalyptus spp.** 2000. 97 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

CASTRO, R. V. O. et al. Crescimento e produção de plantios comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 3, p. 287- 295, 2013.

CERETTA, C. A; FRIES, M. R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Cap.7, p. 111-120, 1997.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.C.; VOLKOFF, B. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: Emissões e

remoções de dióxido de Carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem. **Ministério da Ciência e Tecnologia**, Brasília, p. 41, 2001.

CHEN, X.; EAMUS, D.; HUTLEY, L. B. Seasonal patterns of fine-root productivity and turnover in a tropical savanna of northern Australia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 20, n. 2, p. 221-224, 2003.

CHRISTOFFERSEN, B. O. et al. Mechanisms of water supply and vegetation demand govern the seasonality and magnitude of evapotranspiration in Amazonia and Cerrado. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 191, p. 33-50, 2014.

CHURKINA, G.; RUNNING S. W. Contrasting climatic controls on the estimated productivity of global terrestrial biomes. **Ecosystems**, v. 1, p. 206-215, 1998.

CLEVELAND, C. C. et al. Global patterns of terrestrial biological nitrogen (N₂) fixation in natural ecosystems. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 13, p. 623-645, 1999.

COSBY, B. J.; G. M. et al. "A Statistical Exploration of the Relationships of Soil Moisture Characteristics to the Physical Properties of Soils." **Water Resource Research**, v. 20, n.6, p. 671-681, 1984.

COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CUNHA, G. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no Norte Fluminense. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 563-570, 2005.

CRAMER, W. et al. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results. **Global Change Biology**, v. 5, p. 1-15, 1999.

CUNHA, F. F. et al. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 351-357, 2010.

DEMOLINARI, R. A. et al. Crescimento de plantios clonais de eucalipto não desbastados na região de Monte Dourado (PA). **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 503-512, 2007.

DENARDIN, R. B. N. et al. Estoque de Carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó – SC. **Ciência Florestal**, v.24, n. 1, p. 59-69, 2014.

DEVIDAS, S.; PUYRAVAUD, J. P. Primary productivity of the herbaceous layer in a grazed savanna woodland, Bandipur National Park, southern India. **Oecologia** v. 16, p. 491-505, 1995.

DIEKOW, J. et al. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 year. **Soil and Tillage Research**, v. 81, p. 87-95, 2005.

DIXON, R. K. et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science**, v. 263, p. 185-190, 1994.

DO CANTO, J. L. **Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia**. 2009. 121f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

DU TOIT, B. Effects of site management on growth, biomass partitioning and light use efficiency in a young stand of *Eucalyptus grandis* in South Africa. **Forest Ecology Management**, v. 255, p. 2324-2336, 2008.

DUBOC, E. et al. **Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado**, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2007, 37p.

DURIGAN, G. Estrutura e diversidade de comunidades florestais. In: Martins, S. V. (Ed.) **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p. 185-215, 2009.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, p. 11-15, 2015.

EAMUS, D. et al. Root biomass and root fractal analyses of an open *Eucalyptus* forest in a savanna of north Australia. **Australian Journal of Botany**, v. 50, p. 31-41, 2002.

EASTAUGH, C.S.; HASENAUER, H. Deriving forest fire ignition risk with biogeochemical process modeling. **Environmental Modelling & Software**, v. 55, p. 132-142, 2014.

EISSENSTAT, D. M.; YANAI, R.D. The ecology of root lifespan. **Advances in Ecological Research**, v. 27, p. 2-60, 1997.

EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review**, v. 1, n.38, p. 139-148, 1972.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: Novaes-Pinto, M. Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. 2. ed. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, p. 17-73, 1993.

ELLIOTT, E. T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 4, p. 627-633, 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. Campos, D. V. B de coord. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353 p.

FABIÃO, A. M. D.; MADEIRA, M.; STEEN, E. Root mass in plantations of *Eucalyptus globulus* in Portugal in relation to soil characteristics. **Arid Soil Research and Rehabilitation**, v. 1, p. 185-194, 1987.

FALGE, E. et al. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 107, p. 43-69, 2001.

FARQUHAR, G. D.; VON CAEMMERER, S.; BERRY, J. A. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. **Planta**, v. 149, p. 78-90, 1980.

FELFILI, J. M. et al. Changes in the floristic composition of Cerrado sensu stricto in Brazil over a nine-year period. **Journal of Tropical Ecology**, v. 16, p. 579-590, 2000.

FELFILI, J. M. et al. Projeto Biogeografia do Bioma Cerrado: vegetação e solos. **Cadernos de geociências do IBGE**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 75-66, 1994.

FELFILI, J. M. et al. Projeto Biogeografia do Bioma Cerrado: Vegetação e solos. **Cadernos de Geociências**, v. 12, p. 75-167, 1994.

FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C. Diversidade alfa e beta no Cerrado sentido restrito, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. In: Scariot, A.; Sousa-Silva, J. C.; Felfili, J. M. (Org.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 142-154, 2005.

FERNANDES, E. X.; NERY, J. T. Balanço de energia e fluxo de CO₂: análise dos dados coletados no Cerrado da floresta estadual de Assis, Estado de São Paulo, GEOUSP, **Espaço e Tempo**, v. 35, p. 34-45, 2013.

FERREIRA, I. C. M. et al. Solos e vegetação nativa remanescente no Município de Campinas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1319-1327, 2007.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 23, p. 515-524, 1999.

FIELD, C.B.; RANDERSON, J.T. AND MALMSTRONG, C.M. "Global net primary production: combining ecology and remote sensing". **Remote Sensing Environmet**, v. 51, p. 74-88, 1995.

FILOSO, S.; MARTINELLI, L.A.; HOWARTH, R.W.; BOYER, E.W. & DENTENER, F. Human activities changing the nitrogen cycle in Brazil. **Biogeochemistry**, v. 79, p. 61-89, 2006.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria, RS: UFSM; CEPEF-FATEC, 1992. 269 p.

FOLEY, J. A. et al. Green surprise. How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. **Frontier Ecology Environmet**, v. 1, n 1, p. 38- 44, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Global Forest Resources Assessment, 2012. Disponível em <http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2014.

FORZZA, R. C. et al. Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>. Acesso em: 11 de abril 2017.

FRANCO, A. C. et al. Cerrado vegetation and global change: the role of functional types, resource availability and disturbance in regulating plant community responses to rising

CO₂ levels and climate warming. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, p. 19-38, 2014.

FRANCO, A. C. et al. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. **Trees**, v. 19, p. 326-335, 2005.

FRAZER, G. W.; CANHAM, C. D.; LERTZMAN, K. P. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Simon Fraser University, Burnaby, BC and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, NY.

FRIEDLINGSTEIN, P.; PRENTICE, I. C. Carbon-climate feedbacks: A review of model and observation based estimates. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, n. 4, p. 251-257, 2010.

FURLEY, P.; RATTER, J. Soil resources and plant communities of the central Brazilian Cerrado and their development. **Journal of Biogeography**, v. 15, p. 97-108, 1988.

FURLEY, P.A. The influence of slope on the nature and distribution of soils and plant communities in the central Brazilian Cerrado. **Advances in Hillslope Processes** v. 1, n. 15, p. 327-345, 1996.

GATTO, A. et al. Ciclagem e Balanço de Nutrientes no Sistema de solo-planta em um plantio de Eucalyptus sp.; Não Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 879-887, 2014.

GATTO, A. et al. Estoques de Carbono no solo e na biomassa em plantações de Eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1069-1079, 2010.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; MACHADO, D. L. Atributos químicos e físicos do solo, estoques de Carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais, **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 617-631, 2015.

GIAMBELLUCA, T.W.; SCHOLZ, F.G.; BUCCI, S.J.; MEINZER, F.C.; GOLDSTEIN, G.; HOFFMANN, W.A.; FRANCO, A.C.; BUCHERT, M.P. Evapo-transpiration and energy balance of Brazilian savannas with contrasting tree density. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 1365-1376, 2009.

- GIBBS, P.E.; LEITÃO FILHO, H. F.; SHEPHERD, G. Floristic composition and community structure in an area of Cerrado in SE Brazil. **Flora**, v. 173, p. 433-449, 1983.
- GILL, R. A.; JACKSON, R. B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. **New Phytologist**, 147, p. 13-32, 2000.
- GOLDSTEIN, G. et al. Water economy of neotropical savanna trees: six paradigms revisited. **Tree Physiology**, v. 28, p. 395-404, 2008.
- GONÇALVES, J. L. M. **Características do sistema radicular de absorção do Eucalyptus grandis sob diferentes condições edáficas**. Piracicaba, 1994. 84f. Tese (Doutorado em ciências florestais), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- GONÇALVES, J. L. M. et al. Plantações clonais do híbrido Eucalyptus grandis X Eucalyptus urophylla. I. Configurações do sistema radicular. In: SIMPÓSIO DE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL, 1999. Resumos expandidos... Piracicaba: 1999. (CD - Rom).
- GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. **O sistema radicular das árvores**. In: Nutrição e fertilização de florestas. Piracicaba: IPEF, cap.8, p. 221-267, 2000.
- GOODLAND, R. A. Physiognomic analysis of the "Cerrado" vegetation of Central Brasil. **The Journal of Ecology**, v. 59, n. 2, p. 411-419, 1971.
- GOSZ, J. R.; LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H. Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook Forest, New Hampshire. **Ecological Monographs**, v. 43, p. 173-191, 1973.
- GRACE, J. et al. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. **Journal of Biogeography**, v. 33, p. 387- 400, 2006.
- GUEDES, M. C. et al. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.2, p.267-280, 2006.
- HAAG, H. P. **Ciclagem de nutriente em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1985, 114 p.

- HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.
- HANSEN, J.; SATO, M. S.; RUEDY, R. Perception of climate change. **PNSA**, v. 109, n. 37, p. E2415-E2423, 2012.
- HANSON, P. J. et al. Oak forest carbon and water simulations: model intercomparisons and evaluations against independent data. **Ecological Monographs**, v. 74, p. 443-489, 2004.
- HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 1, p. 54-64, 2000.
- HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal. In: PINTO, M.N. (ed.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, p. 309-330, 2002.
- HIDY, D. et al. Development of the Biome-BGC model for simulation of managed herbaceous ecosystems. **Ecological Modelling**, v. 226, p. 99-119, 2012.
- HODGE A. et al. Plant root growth, architecture and function. **Plant Soil**, v. 321, p. 153-187, 2009.
- HOFFMANN, W. A. et al. Seasonal leaf dynamics across a tree density gradient in a Brazilian savanna. **Oecologia**, v. 145, p. 307-316, 2005.
- HOUGHTON, R. A.; G. M. WOODWELL. **Global climate change**. Sci. Am, v. 260, p. 36-44, 1989.
- HUNT, J. E. R.; MARTIN, F. C.; RUNNING, S. W. Simulating the effect of climatic variation on stem carbon accumulation of a ponderosa pine stand: comparison with annual growth increment data. **Tree Physiol**, v. 9, p. 161-172, 1991.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Anuário Estatístico IBA 2016 ano base 2015. **ABRAF. Brasília**, 2016.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Anuário Estatístico IBA 2015 ano base 2014. **ABRAF. Brasília**, 2015.

INOUE, M.T.; RIBEIRO, F.A. Fotossíntese e transpiração de clones de *Eucalyptu ssp. e E. saligna*. **Revista do IPEF**, v.40, p.15-20, 1988.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York Cambridge University Press, 2006.

JEPSON, W. A. disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. **The Geographical Journal**, v. 171, n. 2, p. 99-111, 2005.

JOBAGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, v. 10, p. 432-436, 2000.

JOHNSON, K.; SAMUELSON, L.; TESKEY, R.; MCNULTY, S.; FOX, T. Process models as tools in forestry. **Research and management**, v. 47, p. 2-8, 2001.

JONES, H. G. **Plants and microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology**. Second Edition. Cambridge University Press, 1992. 85 p

JOURDAN, C.; E. et al. Fine root production and turnover in Brazilian *Eucalyptus plantations* under contrasting nitrogen fertilization regimes. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 396-404, 2008.

KATUL, G. et al. Multiscale analysis of vegetation surface fluxes: from seconds to years. **Advances in Water Resources**, v. 24, p. 1119-1132, 2001.

KELL, D. B. Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how *Philosophical Transactions Soc. B.*; v. 367, n. 1595, p. 1589-1597, 2012.

KELLIHER, F. M. et al. Maximum conductances for evaporation from global vegetation types, **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 73, n. 1-2, p. 1-16, 1995.

KLINGER, P.; JACOMINE, T. **Solos sob Matas Ciliares. In: Matas Ciliares: Conservação e Recuperação.** (Eds. Rodrigues, R.R. & Leitão Filho, H.D.F.) Edusp, São Paulo, p. 27-32, 2009.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A. Conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

KORNER, C. Ecological impact of atmospheric CO₂ enrichment on terrestrial ecosystems. **Royal Society of London Transactions Series A**, v. 361, p. 2023-2041, 2003.

KOROL, R. L. et al. Testing a mechanistic carbon balance model against observed tree growth. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 21, p. 1098-1105, 1991.

KOZOVITS, A. R. et al. Nutrient resorption and patterns of litter production and decomposition in a Neotropical Savanna. **Functional Ecology**, v. 21, p. 1034-1043, 2007.

KUNTSCHIK, G. **Estimativa de biomassa lenhosa em Cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e radar.** 2004. 154f. Tese (Doutorado em Ecologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: RIMA Artes e Textos, p. 532, 2006.

LAVELLE, P. et al. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems. Application to soils in the humid tropics. **Biotropica**, v. 25, p. 130-150, 1993.

LE QUÉRÉ, C. et al. Global Carbon Budget 2016, **Earth System Science**, v. 8, p. 605-649, 2016.

LE QUERE, C. et al. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. **Nature Geoscience**, v. 2, p. 831-836, 2009.

LENZA, E.; KLINK, C. A. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um Cerrado sentido restrito de Brasília, DF. **Brazilian Journal of Botany**, v. 29, n. 4, p. 627-638, 2006.

LI, C.; FROLKING, S.; FROLKING, T. A. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 2. Model application. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. D9, p. 9777-9783, 1992b.

LI, C.; FROLKING, S.; FROLKING, T.A. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity. **Journal of Geophysical Research**. v. 97, n. 9, p. 9759-9776, 1992a.

LIBANO, A. M.; FELFILI, J. M. Mudanças temporais na composição florística e na diversidade de um cerrado sensu stricto do Brasil Central em um período de 18 anos (1985-2003). *Acta Botanica Brasílica*, v. 20, p.927-936, 2006.

LIRA, A. C. S.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. M. Respiração do solo sob eucalipto e cerradão. **Scientia Florestalis**, n. 56, p. 15-28, 1999.

LOKUPITIYA, E. et al. Carbon and energy fluxes in cropland ecosystems: a model data comparison, **Biogeochemistry**, v.129, p. 53-76, 2016.

LONGHI, R. V. et al. Produção de serapilheira e retorno de macronutrientes em três grupos florísticos de uma floresta ombrófila mista, RS. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 699-710, 2011.

LUCAS, E. A. et al. **Resultados preliminares da elaboração de um modelo digital de superfície (MDS) para a avaliação do potencial eólico em uma área do sul do Brasil. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, São José dos Campos: INPE, p. 5334-5341, 2015.

MACHADO, A. M.; FILHO, A. A. **Dendrometria**. Curitiba. 2003. 309p.

MAIA, J. M. F. **Balço de energia e fluxo de carbono em uma área de cerrado que sofreu queima acidental**. 2003. 75f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

MALAVOLTA, E, VITTI, G. C, OLIVEIRA, S. A. **Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional**. In: MALAVOLTA, E, VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, p. 115-230, 1997.

MARCOTT, S. A. et al. A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. **Science** v. 339, p. 1198 -1201, 2013.

MARQUES, T. C. L. L. S. M. et al. Envolvimento de dióxido de Carbono e mineralização de nitrogênio em Latossolo Vermelho-Escuro com diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 581-589, 2000.

MARRICHI, A. H. C. **Caracterização da capacidade fotossintética e da condutância estomática em sete clones comerciais de Eucalyptus e seus padrões de resposta ao déficit de pressão de vapor**. 2009. 104f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MASSMAN, W. J.; LEE, X. Eddy covariance flux corrections and uncertainties in long-term studies of carbon and energy exchanges. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 113, p. 121-144, 2002.

MATTOS, E. A.; REINERT, F.; MORAES, J. A. P. V. Comparison of carbon isotope discrimination and CO₂ and H₂O gas exchange between the dry and the wet season in leaves of several Cerrado woody species. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 9, n. 2, p. 77-82, 1997.

MCGUIRE, A. D. et al. Interactions between carbon and nitrogen dynamics in estimating net primary productivity for potential vegetation in North America. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 6, p. 101-124, 1992.

MEDEIROS, M. B.; MIRANDA, H. S. Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. **Acta Botânica Brasílica**, v. 19, p. 493-500, 2005.

MEDEIROS, M. M. et al. Comparação florístico estrutural dos estratos de regeneração e adulto em cerrado stricto sensu no Brasil Central. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 291-298, 2007.

MEDINA, E.; FRANCISCO, M. Photosynthesis and water relations of savanna tree species differing in leaf phenology. **Tree Physiology**, v. 14, p.1367-1381, 1994.

MEINZER, F. C. et al. Atmospheric and hydraulic limitations on transpiration in Brazilian Cerrado woody species. **Functional Ecology**, v. 13, n. 2, p. 273-282, 1999.

- MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M.; OLIVEIRA, L. E. G. Características do sistema radicular em povoamentos de Eucaliptos propagados por sementes e estacas. **Scientia Florestalis**, v. 54, p. 16-26, 1998.
- MENDONÇA, E.S. Oxidação da matéria orgânica e a sua relação com as diferentes formas de alumínio de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 25-30, 1995.
- MENDONÇA, R. C. et al. **Flora Vascular do Cerrado**. In: S. M. SANO & S. P. ALMEIDA, p. 289-556, 1998.
- MEWS, H. A. et al. Dinâmica da comunidade lenhosa de um Cerrado Típico na região Nordeste do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotrópica**, v. 11, n. 1, p. 73-82, 2011.
- MILLER, H. G. The influence of stand development on nutrient demand, growth and allocation. **Plant and Soil**, n.168-169, p.225-232, 1995.
- MIRANDA, A. C. et al. (Ed.) **Amazonian deforestation and climate**. New York: John Wiley & Sons, p. 353-363, 1996.
- MIRANDA, A. C. et al. Fluxes of Carbono water and energy over Brazilian Cerrado: na analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant Cell and Environment**, v. 20, p. 345-328, 1997.
- MONSI M, SAEKI T. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany* v. 14, p. 22 -52, 1953.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New Jersey: The Blackburn Press, p. 547, 2002.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.
- NARDOTO, G. B. et al. Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil and impacts of fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, p. 1-11, 2006.

NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). 2017. Disponível em: <http://www.noaa.gov/south-pole-last-place-on-earth-to-pass-global-warming-milestone>. Acesso em: 28 de janeiro de 2017.

NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). 2017c. **National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Time Series**. Acesso em 15 de fevereiro de 2017. Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/cag/>

NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). NOAA, 2017b. **National Centers for Environmental information**. Acesso em 15 de fevereiro de 2017, Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global/globe/land/12/1/2000-2016>

NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). NOAA/ESRL, 2017a. **Dlugokenky, Ed.; Tans Pieter**. Acesso em 15 de fevereiro de 2017. Acesso em 28 de janeiro de 2017. Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

NAVES-BARBIERO, C.C. et al. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerradão. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12,n. 2, p. 119-134, 2000.

NEMANI, R. R. et al. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. **Science**, v. 300, p. 1560-1563, 2003.

NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Testing a theoretical climate soil- leaf area hydrologic equilibrium of forests using satellite data and ecosystem simulation. **Agriculture Forest Meteorology**. v. 44, p. 245-260, 1989.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de Eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2000.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422 p.

NOBEL, P. S. **Phsiochemical and Environmental Plant Physiology**. San Diego, CA, Academic Press. 1991. 635 p.

NOBRE, C. A. et al. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p.

NOTTINGHAM, A. T. et al. Climate warming and soil carbon in tropical forests: insights from a elevation gradient in the Peruvian Andes. **Bioscience**, v. 65, n. 6, p. 906-921, 2015.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J. C. L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento de *Eucalyptus* spp. – níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, 10:105-111, 1986.

NOVICK, K. A. et al. Inferring the contribution of advection to total ecosystem scalar fluxes over a tall forest in complex terrain. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 185, p. 1-13, 2014.

NOVICK, K. A. et al. Nocturnal evapotranspiration in eddy covariance records from three co-located ecosystems in the Southeastern US: the effect of gap filling methods on estimates of annual fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 1491-1504, 2009.

NOVICK, K. A. et al. On the difference in the net ecosystem exchange of CO₂ between deciduous and evergreen forests in the southeastern United States. **Global Change Biology**, v. 21, n. 2, p. 827-842, 2015.

NUMERICAL TERRADYNAMICA SIMULATION GROUP (NTGS). 2017. Acesso em 22 de março de 2017. Disponível em: <http://www.ntsg.umt.edu/project/biome-bgc#data-product>

OLIVEIRA, L. S. C. de. **Sucessão secundária em área de Cerrado sentido restrito durante um período de 23 anos após intervenção silviculturais**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; MORAN, M. S.; GOODRICH, D. C.; WENDLAND, E.; GUPTA, H. V. Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. **Water Resource Research**, v. 50, p. 7100-7114, 2014.

OLIVEIRA, R. S. et al. Deep root function in the soil water dynamics in Cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, v. 19, p. 574-581, 2005.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. et al. Environmental factors effecting physiognomic and floristic variation in área of Cerrado in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, p. 413-431, 1989.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. et al. Tree species distribution along soil catenas in a riverside semideciduous forest in the southeastern Brazil. **Flora**, v. 192, p. 47-64, 1997.

ONODA, Y.; HIKOSAKA, K.; HIROSE, T. Allocation of nitrogen to cell walls decreases photosynthetic nitrogen-use efficiency. **Functional Ecology**, v. 18, p. 419-425, 2004.

OSTONEN, I.; LOHMUS, K.; PAJUSTE, K. Fine root biomass, production and its proportion of NPP in a fertile middle-aged Norway spruce forest: comparison of soil core and ingrowth core methods. **Forest Ecology and Management**, v. 212, p. 264-277, 2005.

OTTO, M. S. G. et al. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de Eucalyptus sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, v. 36, n. 3, p. 431-439, 2013.

PAIVA, A. A.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de Carbono em Cerrado sentido restrito do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v. 35, n.13, 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**, v. 216, n. 6, p. 775 – 787, 2015

PALHARES, D.; FRANCO, A. C.; ZAIDAN, K, B. P. Respostas fotossintéticas de plantas de Cerrado nas estações seca e chuvosa. **Brazilian Journal of Biosciences**. V. 8, n. 3, p. 213-220, 2010.

PARTON, W. J.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. Dynamics of C, N, P, and S in grass soils: a model. **Biogeochemistry**, v. 5, p. 109-131, 1988.

PAW, K. T. et al. Correction of eddy-covariance measurements incorporating both advective effects and density fluxes. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 97, p. 487-511, 2000.

- PEGORARO, R. F. et al. Estoques de Carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em Argissolo sob Eucalipto e pastagem. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 341-354, 2011.
- PELLEGRINI, A. F. A.; HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C. Carbon accumulation and nitrogen pool recovery during transitions from savanna to forest in central Brazil. **Ecology**, v. 95, p. 342-352, 2014.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Porto Alegre: Guaíba Agropecuária, 2002, 478 p.
- PEREZ, S. C.; MORAES, J. A. Curso diário e sazonal da água e da condutância estomática em espécies de cerrado. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 51, n. 4, p. 805-811, 1991a.
- PEREZ, S. C.; MORAES, J. A. Determinações de potencial hídrico, condutância estomática e potencial osmótico em espécies dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo de um cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 27-37, 1991b.
- PINHEIRO, M. H. O.; MONTEIRO, R. Contribution to discussions on the origin of the Cerrado bioma: Brazilian savanna. **Brazilian Journal Biology**, v. 70, n. 1, p. 95-102, 2010.
- POTTER, C. S. et al. Process modelling of controls on nitrogen trace gas emissions from soil world-wide. **J. Geophysical Research**, v. 101, p. 1361-1377, 1996.
- POTTER, C. S. et al. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 7, p. 811-841, 1993.
- RAICH, J. W. et al. Potential net primary productivity in South America: application of a global model. **Ecological Applications**, v. 1, p. 399 - 429, 1991.
- RANDERSON, J. T. et al. The contribution of terrestrial sources and sinks to trends in the seasonal cycle of atmospheric carbon dioxide. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 11, p. 535 - 560, 1997.
- RATTER, J. A. et al. Distribuição das espécies lenhosas da fitofisionomia cerrado sentido restrito nos estados compreendidos pelo bioma cerrado. **Boletim Herbário Ezechias Paulo Heringer**, v. 5, p. 5-43, 2000.

REATTO, A. et al. (Coords.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: EMBRAPA, p. 47-86, 1998.

REICHSTEIN, M. et al. Temperature sensitivity of decomposition in relation to soil organic matter pools: critique and outlook. **Biogeosciences**, v. 2, p. 317-321, 2005.

REIS, G. G. et al. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Revista Árvore**, v.30, n. 6, p. 921-931, 2006.

REIS, M. G. et al. Balanço hídrico e de energia para plantios de eucalipto com cobertura parcial do solo. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 117-126, 2014.

RESENDE, J. C. F. **A ciclagem de nutrientes em áreas de Cerrado e a influência de queimadas controladas**. 2001. 121f. Tese (Doutorado em Ecologia), Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

REZENDE, A. B.; SANQUETTA, C. R.; FILHO, A. F. Efeito do desmatamento no estabelecimento de espécies lenhosas em um Cerrado sentido restrito. **Revista Floresta**, v. 35, n. 1, p. 69-88, 2005.

REZENDE, A. V. et al. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de Carbono da vegetação lenhosa de um Cerrado sentido restrito em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**. v. 71, p. 65-76, 2006.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 359 p, 1999.

RIBEIRO, J. F. **Comparação da concentração de nutrientes na vegetação arbórea e nos solos de um Cerrado e um Cerradão no Distrito Federal, Brasil**. 1983. 87f. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Universidade de Brasília, Brasília, 1983.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, p. 87-166, 1998.

ROCHA, H. R. et al. Measurements of CO₂ exchange over a woodland savana (Cerrado sentido restrito) in southeast Brazil. **Biota Neotropica**, v. 2, n. 1, p 1-11, 2002.

RODIN, P. **Distribuição da biomassa subterrânea e dinâmica de raízes finas em ecossistemas nativos e em pastagem plantada no Cerrado do Brasil central**. 2004, 97f. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

RODRIGUES, T. R. et al. Seasonal variation in energy balance and canopy conductance for a tropical savanna ecosystem of south central Mato Grosso, Brazil. **Journal Geophysical Research Biogeoscience**, v. 119, p. 1-13, 2014.

RODY, Y. P. **Balço de carbono e trocas gasosas nos diferentes compartimentos em plantios de eucalipto**. 2013.92f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola), Universidade de Viçosa, Viçosa, 2013.

ROSSATO, D. R. et al. Depth of water uptake in woody plants relates to groundwater level and vegetation structure along a topographic gradient in a neotropical savanna. **Environmental and Experimental Botany**, v. 77, p. 259-266, 2012.

ROSSI, M. et al. A influência do solo na ocorrência da vegetação natural. Parque Estadual de Porto Ferreira, São Paulo. Informações Técnicas. **O Agrônomo, Campinas**, v. 57, n. 2, 2005.

RUGGIERO, P. G. C.; BATALHA, M. A.; PIVELLO, V. R.; MEIRELLES, S. T. Soil-vegetation relationships in Cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. **Plant Ecology** v. 169, p. 1-16, 2002.

RUHOFF, A. L. et al. Assessment of the MODIS global evapotranspiration algorithm using eddy covariance measurements and hydrological modeling in the Rio Grande basin. **Hydrological Sciences Journal**, v. 58, n. 8, p. 1-19, 2013.

RUNNING S. W.; COUGHLAN, J. C. A general-model of forest ecosystem processes for regional applications.1. Hydrologic balance, canopy gas-exchange and primary production processes. **Ecological Modelling**, v. 42, p. 125-154, 1988.

RUNNING, S. W. GOWER S. T. FOREST-BGC, a general model of forest ecosystem processes for regional applications. II. Dynamic carbon allocation and nitrogen budgets. **Tree Physiology**, v. 9, p. 147-160, 1991.

RUNNING, S. W.; HUNT, E. R. J. Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, BIOME-BGC, and an application for global-scale models. In Ehleringer, J.R.; Field, C.B. (Eds.), **Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe**. Academic Press, San Diego, p. 141-158, 1993.

RUNNING, S.W. Testing FOREST-BGC ecosystem process simulations across a climatic gradient in Oregon. **Ecology Applications**, v. 4, p. 238-247, 1994.

RYAN, M. G. "Effects of climate change on plant respiration". **Ecological Applications** v. 1, n. 2, p. 157-167, 1991.

RYAN, M. G. et al. Factores controlling Eucalyptus productivity: how resource availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1695 -1703, 2010.

SALAZAR, L .F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. "**Climatic change consequences on the biome distribution in tropical South America**". Geophysical Research Letters. In press, 2007.

SANQUETTA, C. R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba. Série Didática, 1996.

SANTANA, R. C. et al. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, v.32, n. 4, 697-706, 2008.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do Estado de São Paulo. *Revista Árvore*, v. 26, p. 447-457, 2002.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência nutricional e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, v.26, n.4, p. 447-457, 2002.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* com enfoque energético**. 2009,

91f. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia da madeira), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SARIYILDIZ, T.; ANDERSON, J. M. Decomposition of sun and shade leaves from three deciduous tree species, as affected by their chemical composition. **Biology and Fertility of Soils**, v.37, p.137-146, 2003.

SAXTON, K. E. et al. "Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture." **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 4, p. 1031-1036, 1986.

SCALON, M. C.; ROSSATTO, D. R.; FRANCO, A. C. Do litter manipulations affect leaf functional traits of savanna woody plants? **Plant Ecology**, v. 215, p. 111-120, 2014.

SCHIMEL, D. et al. **CO₂ and the carbon cycle, in Climate Change 1995: The Science of Climate Change: Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the IPCC**, edited by J.T. Houghton. Cambridge University Press, New York. 65-86p, 1996.

SCHIMEL, D. et al. Contribution of increasing CO₂ and climate to Carbon storage by ecosystems in the United States. **Science**, v. 287, p. 2004-2006, 2000.

SCHOLES, R. J.; NOBLE, I. R. Climatic Change: Storing Carbon on Land. **Science**, v. 294, n. 5544, p. 1012-1013, 2001.

SCHULZE, E. D. et al. Importance of methane and nitrous oxide for Europe's terrestrial greenhouse-gas balance. **National Geoscience**, v. 2, p. 842-850, 2009.

SCHUMACHER, M. V. et al. Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus globulus maidenii*. **Revista Cerne**, v. 19, n. 3, p. 509-508, 2013.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: parte I: modelos de regressão linear e não-linear, parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005, 352 p.

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. **Biometria Florestal: Medição, Volumetria e Graviometria**. UFLA/FAEPE, v. 13, 2004, 285 p.

SELLERS, P. J. et al. "Comparison of radiative and physiological effects of doubled atmospheric CO₂ on climate. **Science**, v. 271, p. 1402-1406, 1996.

- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biométrica**, v. 53, p. 591-611, 1965.
- SHEIL, D.; BURSLEM, D. F. R. P.; AELDER, D. The interpretation and misinterpretation of mortality rate measures. **Journal of Ecology**, v.83, p. 331-333, 1995.
- SHEIL, F.; MAY, R. M. Mortality and recruitment rate evaluations in heterogeneous tropical forests. **Journal of Ecology**, v. 84, p. 91-100, 1996.
- SILVA, C. J. DA. et al. Produção de serapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 4, p. 543 - 548, 2007.
- SILVA, E. M. et al. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 323-330, 2006b.
- SILVA, G. G. C. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de Eucalipto em reposta à disponibilidade de água e nutrientes**. 2006, 116f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- SILVA, J. F. et al. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. **Journal Biogeography**, v. 33, p. 536–548, 2006a.
- SILVA, L. C. R. et al. Can savanas become forests? A coupled analysis of nutrient stocks and fire thresholds in central Brazil. **Plant Soil**, v. 373, p. 829-842, 2013.
- SILVA, M. R. **Caracterização morfológica, fisiológica e nutricional de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico durante a fase de rustificação**. 1998. 105f. Dissertação (Mestrado e Silvicultura), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.
- SILVER, W. L. et al. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils, **Global Change Biology**, v.11, p. 290-306, 2005.
- SINGH, R. S. Effect of winter fire on primary productivity and nutrient concentration of a dry tropical savanna. **Vegetation**, v. 106, p. 63-71, 1993.

SIQUEIRA, M. B. S. et al. Multi-scale model inter-comparisons of CO₂ and H₂O exchange rates in a maturing southeastern U.S. pine forest, **Global Change Biology**, v. 12, p. 1189-1207, 2006.

SITCH, S. et al. Recent trends and drivers of regional sources and sinks of carbon dioxide, **Biogeosciences**, v. 12, p. 653- 679, 2015.

SKORUPA, A. L. A. et al. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 11-22, 2012.

SOLBRIG, O.T. The diversity of the savanna ecosystem. **Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes** (eds T. O.Solbrig, E.Medina e J. A. Silva), p. 1-27. Springer-Verlag, Heidelberg, 1996.

SOMOGYI, Z. et al. Indirect methods of large forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research**, v. 126, p. 197-207, 2006.

SOMOGYI, Z. et al. Modeling of biosphere-atmosphere exchange of greenhouse gases—models and their adaptation. In: Haszpra, L. (Ed.), **Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective**. Springer, Dordrecht - Heidelberg - London - New York, p. 201-229, 2010.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

STAPE, J. L. et al. The Brazil Eucalyptus productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1684-1694, 2010.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p. 17-31, 2004.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; GOMES, A. N. Water use, water limitation and water use efficiency in a Eucalyptus plantation. *Bosque*, v.25, n.1, p.35-41, 2004

STCP, 2012. **Competitividade no Setor Florestal**. 2012. Disponível em: http://www.stcp.com.br/upload/fck/joesio_competitividade_bracelpa_19MAR.pdf.

Acesso em: 05 de abril de 2014.

STEINTHORSDOTTIR, M. et al. Deep-time evidence of a link between elevated CO₂ concentrations and perturbations in the hydrological cycle via drop in plant transpiration **Geology**, p. 815-818, 2012.

STOLF, R. **Penetrômetro de impacto Stolf- programa de manipulação de dados em Excel-VBA**. UFSCar, 2011.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI-NETO, V. L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar – Stolf. **Revista STAB – açúcar, álcool e subprodutos**, v. 1, n. 3, p. 18-23, 1983.

STOY, P. C. et al. Role of vegetation in determining carbon sequestration along ecological succession in the southeastern United States. **Global Change Biology**, v.14, p. 1409-1427, 2008.

STULL, R. B. An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Dordrecht - The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1988, 666 p.

STUMP, L. M.; BINKLEY, D. "Relationships between litter quality and nitrogen availability in Rocky Mountain forests." **Canadian Journal of Forest Research**, v. 23, p. 492-502, 1993.

STURGES, H. A. The Choice of a Class Interval. **Journal of the American Statistical Association**. v. 21, p. 65-66, 1926.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5ª edição. Editora Artmed, 2013. 918 p.

TEIXEIRA, R. P. et al. Produção de serapilheira de duas fisionomias do domínio Cerrado, Gurupi, Tocantins. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 5, p. 45-50, 2016.

TEODORO, D. A. A. **Biomassa, estoque de Carbono e nutrientes no Cerrado**. 2014. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

THORNTON, P. E. **Regional Ecosystem Simulation: Combining Surface- and Satellite- Based Observations to Study Linkages between Terrestrial Energy and Mass Budgets**. 1998. 288f. College of Forestry. Missoula, MT, The University of Montana. Doctor of Philosophy, 1998.

THORNTON, P. E.; LAW B. E.; et al. "Modeling and measuring the effects of disturbance history and climate on carbon and water budgets in evergreen needleleaf forests." **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 113, p. 185-222, 2002.

THORNTON, P. E.; RUNNING, S.W. User's Guide for Biome-BGC, Version 4.1.2, Terrestrial Sciences Section Climate and Global Dynamics Division, Numerical Terradynamics Simulation Group School of Forestry University of Montana, 2002.

THORNTON. Biome-BGC version 4.2: Theoretical Framework of Biome-BGC, 2010.

TOL, C, VAN DER. et al. Average wet evaporation for a Sitka spruce forest derived using the eddy correlation-energy balance technique. **Journal of Hidrology**, v. 276, p.12-19, 2003.

TRUSILOVA, K.; TREMBATH, J.; CHURKINA, G. **Parameter estimation and validation of the terrestrial ecosystem model Biome-BGC using eddy-covariance flux measurements**. Jena: Max-Planck-Institute for Biogeochemistry, 2009, 60 p.

USUGA, J. C. et al. Estimation of biomass and carbon stocks in plants, soil and forest floor in different tropical forests. **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 1906 - 1913, 2010.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do Cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.1, p.71-80, 2002.

VAN OIJEN, M.; ROUGIER, J.; AND SMITH, R. Bayesian calibration of process-based forest models: bridging the gap between models and data, **Tree Physiology**, v. 25, p. 915 - 927, 2005.

VAN SOEST, P.; WINE, R. H. Development of a comprehensive system of feed analysis and its applications to forages. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 51, p. 780-785, 1968.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 175-180, 1994.

VENDRAME, P. R. S. et al. Formas de ferro e alumínio e suas relações com textura, mineralogia e Carbono orgânico em Latossolos do Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32 n. 1, p. 1657-1666, 2011.

VERGARA, J. D. E. **Modelagem do sequestro de Carbono em plantação de Eucalipto para fins energéticos no Cerrado**. 2013. 119f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas), Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

VETTER, M. et al. Analyzing the causes and spatial pattern of the European 2003 carbon flux anomaly using seven models. **Biogeosciences**, v. 5, p. 561-583, 2008.

VIEIRA, M. et al. Deposição de Serapilheira e Nutrientes em Plantio de *Eucalyptus urophylla* × *E. globulus*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 327 - 338, 2014.

VITOUSEK P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review Systems**, v. 17, p. 137-167, 1986.

VOGT, K. A. et al. Carbon and nitrogen interactions from forest ecosystems. Proceedings of above-and belowground interactions in forests trees in acidified sotls. **Air Pollution Research Report**, v. 32, p. 203-235, 1990.

VOGT, K. A.; VOGT, D. J.; BLOOMFIELD, J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. **Plant Soil** v. 200, p. 71-89, 1998.

VOURLITIS, G. L. et al. Changes in evapotranspiration and climate for Amazon semi-deciduous forest throughout the season, and annual cycles El Niño Int. **Journal Biometeorology**, v. 59, n. 2, p. 217-300, 2014.

WAGNER, F. H. et al. Climate seasonality limits leaf carbon assimilation and wood productivity in tropical forests. **Biogeosciences**, v. 13, p. 2537-2562, 2016.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

WANG, Q.; WATANABE, M.; OUVANG, Z. Simulation of water and carbon fluxes using BIOME-BGC model over crops in China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 131, n. 31, p. 209-224, 2005.

WANG, W. et al. "A hierarchical analysis of terrestrial ecosystem model Biome-BGC: Equilibrium analysis and model calibration." **Ecological Modelling**, v. 220, n. 17, p. 2009-2023, 2009.

WANG, X. et al. A two-fold increase of carbon cycle sensitivity to tropical temperature variations. **Nature**, v. 506, n. 7487, p. 212-215, 2014.

WARING, R. H.; PITMAN, G. B. "Modifying Lodgepole Pine Stands to Change Susceptibility to Mountain Pine Beetle Attack." **Ecology**, v. 66, n. 3, p. 889-897, 1985.

WARING, R. H.; RUNNING S. W. **Forest Ecosystems: Analysis at Multiple Scales**. San Francisco, CA, Elsevier Academic Press, 2007.

WEBB, E. K.; PEARMAN, G. I.; LEUNING, R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water-vapor transfer. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 106, p. 85-100, 1980.

WENHUI, Z.; PRADO, C. H. B. Water relations balance paramWater relations balance parameters of 30 woody species from Cerrado vegetation in the wet and dry season. **Journal of Forestry Research**, v. 9, n. 233-239, 1998.

WHITE, M. A. et al. Parameterization and Sensitivity Analysis of the BIOME-BGC Terrestrial Ecosystem Model: Net Primary Production Controls, **Numerical Terradynamic Simulation Group**, Missoula, Montana, v. 4, n. 3, p. 1-85, 2000.

WHITE, M. A.; THORNTON, P. E.; RUNNING, S.W. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. **Global Biogeochemistry Cycles**, v. 11, n. 2, p. 217-234, 1997.

WIDER, W. R.; BONAN, G. B.; ALLISON, S. D. Global soil carbon projections are improved by modelling microbial processes. **Nature Climate Change**, v. 3, p. 909-912, 2013.

WILSON, K. et al. Energy balance closure at FLUXNET sites. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 113, p.223-243, 2002.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria, RS. **Revista Árvore**, v.27, n.2, p.177-183, 2003.

XIAO, C. W.; SANG, W. G.; WANG, R. Z. Fine root dynamics and turnover rate in an Asia white birch forest of Donglingshan Mountain, China. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 765-773, 2008.

YUAN, W. et al. Deriving a light use efficiency model from eddy covariance flux data for predicting daily gross primary production across biomes. **Agriculture Forest Meteorology**, v. 143, p. 189-207, 2007.

YUE, X.; UNGER, N.; ZHENG, Y. Distinguishing the drivers of trends in land Carbon fluxes and plant volatile emissions over the past 3 decades. **Atmosphere Chemistry. Physical**, v. 15, p. 11931-11948, 2015.

ZAR, J. H. **Análise Biostatistical**. 5.ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010, 944 p.

8 - APÊNDICES

Apêndice 1 - Constantes utilizadas no modelo Biome-BGC.

Constante	Símbolo	Valor	Item
<i>Atmosférica</i>	G_STD	9,80665 (m s ⁻²)	Aceleração da gravidade padrão
	P_STD	101.325,0 (kPa)	Pressão da atmosfera padrão, a 0,0 m de altitude
	T_STD	288,15 (KJ)	Pressão da atmosfera padrão temporário, a 0,0 m de altitude
	MA	28.9644e-3 (kg mol ⁻¹)	Peso molecular de ar
	W	18.0148e-3 (kg mol ⁻¹)	Peso molecular de água
	CP	1.010,0 (J (kg ⁻¹ K ⁻¹))	Calor específico do ar
	LR_STD	0,0065 (K m ⁻¹)	Taxa de lapso da temperatura padrão
	R	8,3143 (m ³ kPa mol ⁻¹)	Constante da lei do gás
	SBC	5.67e-8 (W (m ² K ⁻⁴))	Constante Stefan-Boltzmann
	EPS	0,6219 (mW mA ⁻¹)	Proporção de pesos Molecular sem unidade