**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Fixação e alocação de carbono em plantações clonais de eucalipto
sob diferentes densidades de plantio**

Gleice Gomes Rodrigues

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo
Florestal

**Piracicaba
2017**

Gleice Gomes Rodrigues
Engenheira Florestal

**Fixação e alocação de carbono em plantações clonais de eucalipto sob
diferentes densidades de plantio**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:
Profa. Dra. **LUCIANA DUQUE SILVA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo
Florestal

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Rodrigues, Gleice Gomes

Fixação e alocação de carbono em plantações clonais de eucalipto sob diferentes densidades de plantio / Gleice Gomes Rodrigues. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

112 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Eucalyptus* sp. 2. Ecofisiologia 3. Balanço de carbono 4. Respiração do solo 5. Produtividade primária bruta I. Título

DEDICATÓRIA

À Deus, meu maior amor

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que através de sua infinita misericórdia me proporcionou saúde e disposição para que esse estudo se efetivasse, pois, sem ele nada seria possível. A Ele toda honra e glória.

À professora Luciana Duque Silva, pela orientação, confiança, paciência e sobretudo pela oportunidade que tive de fazer parte de seu grupo de pesquisa.

Ao pesquisador do CIRAD Dr. Yann Nouvellon pela co-orientação, atenção, dedicação e preciosos ensinamentos.

Aos meus pais, pessoas simples e batalhadoras que sempre se esforçaram para dar o melhor para minhas irmãs e eu, nos ensinando valores familiares que levaremos por toda vida.

As minhas irmãs, Silvia e Júlia, pelo amor, apoio e incentivo durante minha carreira na vida acadêmica.

Aos membros da Banca Examinadora pela disponibilidade de participação e pelas valiosas contribuições.

Aos funcionários da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, em especial, Toninho, Lourival, Elaine e Rildo Moreira, pelo suporte e apoio durante as atividades de campo.

À CAPES pelo suporte financeiro.

Aos meus colegas do Laboratório de Ecofisiologia Florestal e Silvicultura da ESALQ/USP, Carlos, Gustavo, Kaline, Karen, Luana, Murilo, Regina, Tatima e Thiago pela ajuda durante o desenvolvimento do projeto e pela convivência agradável.

Aos meus colegas Evangelina, Juanchi e Gustavo pelo auxílio nas análises estatísticas.

Aos estagiários Miles, Lucas, Larissa e Guilherme pela ajuda e contribuição nas atividades que realizamos em campo e laboratório.

As meninas da república Hakabana, Laís, Luana, Melina e Jackeline por contribuírem para realização deste sonho.

A todos os professores, funcionários e colegas que contribuíram de alguma forma para a minha formação profissional.

Meu sincero obrigada!

Dificuldades preparam pessoas comuns para destinos extraordinários.

C. S. Lewis

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. DESENVOLVIMENTO	17
2.1. O SETOR DE FLORESTAS PLANTADAS	17
2.1.1. O gênero <i>Eucalyptus</i>	19
2.1.2. Características comerciais dos clones avaliados	22
2.2. EFEITO ESTUFA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS	23
2.3. FLORESTAS E O CARBONO	25
2.4. O BALANÇO DE CARBONO EM ECOSISTEMAS FLORESTAIS	28
2.4.1. Quantificação da biomassa	30
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	35
3.3. COLETA DE DADOS	36
3.3.1. Dados climáticos	36
3.3.2. Avaliação do crescimento das árvores	36
3.3.3. Determinação da Área Foliar (AF) e Índice de Área Foliar (IAF)	38
3.4. DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE CARBONO	40
3.4.1. Produtividade Primária Líquida da Parte Aérea (ANPP)	40
3.4.2. Respiração da Parte Aérea (Rp)	43
3.4.3. Fluxo de Carbono no Solo (TBCF)	44
3.4.4. Produtividade Primária Bruta	47
3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA	47
4. RESULTADOS	49
4.1. CRESCIMENTO DAS ÁRVORES	49
4.1.1. Diâmetro à altura do peito e área basal	49
4.1.2. Altura	51
4.1.3. Volume	52
4.2. ÁREA FOLIAR (AF) E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)	53
4.3. BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO	56
4.4. BALANÇO DE CARBONO	67
4.4.1. Produtividade primária líquida da parte aérea (ANPP)	69
4.4.2. Fluxo de carbono abaixo do solo (TBCF)	70
4.4.3. Produtividade primária bruta (GPP) e partição de carbono	73
5. DISCUSSÃO	75

5.1. CRESCIMENTO DAS ÁRVORES.....	75
5.1.1. <i>Diâmetro à altura do peito e área basal</i>	75
5.1.2. <i>Altura</i>	77
5.1.3. <i>Volume</i>	79
5.2. ÁREA FOLIAR (AF) E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF).....	80
5.3. BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO	82
5.4. BALANÇO DE CARBONO.....	85
5.4.1. <i>Produtividade primária líquida da parte aérea (ANPP)</i>	85
5.4.2. <i>Fluxo de carbono abaixo do solo (TBCF)</i>	87
5.4.3. <i>Produtividade primária bruta (GPP) e partição de carbono</i>	91
6. CONCLUSÃO	93
REFERÊNCIAS	95

RESUMO

Fixação e alocação de carbono em plantações clonais de eucalipto sob diferentes densidades de plantio

Decisões tomadas no planejamento da implantação florestal, como a densidade do plantio e o material genético, alteram a disponibilidade de recursos naturais tais como nutrientes, água e luz e consequentemente afetam a assimilação do carbono, que está diretamente relacionada ao crescimento da planta. Ainda são escassas as informações de como e quanto a densidade de plantio e o material genético afetam a fixação de carbono pelas árvores. O objetivo desse trabalho foi avaliar os padrões de fixação e alocação de carbono em plantações clonais de *Eucalyptus sp.* em duas densidades de plantio (3x2 m e 3x4 m), em um Latossolo Vermelho Distrófico Típico A moderado. O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga-SP – ESALQ/USP, com três materiais clonais de *Eucalyptus urophylla*: AEC 0144, AEC 224 e COP 1404. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com esquema fatorial 3 x 2, sendo composto por três clones de eucalipto em dois espaçamentos, com 6 repetições para cada tratamento. Durante o intervalo de um ano (dos 40 aos 52 meses de idade) foram determinados a Produtividade Primária Líquida da Parte Aérea (ANPP: incremento da biomassa aérea somada ao folheto), a Respiração Autotrófica da Parte Aérea (Rp: respiração das folhas e do tronco com base na ANPP, assumindo um valor constante de eficiência de uso do carbono (CUE) de 0,53 (GIARDINA et al., 2003)), o Fluxo de Carbono Abaixo do Solo (TBCF: produção e respiração das raízes grossas e finas, exsudatos das raízes e produção de substratos usados por micorrizas) e a Produtividade Primária Bruta (GPP: somatório dos fluxos de carbono) para os seis tratamentos avaliados. A maior produtividade encontrada para o clone AEC 0144 no espaçamento 3x2 m foi resultado de uma maior GPP (5997,45 g C m⁻² ano⁻¹), maior partição de carbono para incremento de tronco (30%) e menor partição da GPP para TBCF (34%). A ANPP variou de 1453,99 g C m⁻² ano⁻¹ (Clone COP 1404 no espaçamento 3x2 m) a 2288,78 g C m⁻² ano⁻¹ (Clone AEC 0144 no espaçamento 3x2 m), sendo os maiores fluxos encontrados para os clones AEC 0144 em ambos espaçamentos e para o clone COP 1404 no espaçamento 3x4 m. A variação encontrada nos valores de respiração da parte aérea seguiram o mesmo padrão dos resultados da ANPP. O TBCF foi significativamente superior para os clones AEC 0144 e AEC 224 no espaçamento 3x2 m com 2056,36 g C m⁻² ano⁻¹ e 1903,83 g C m⁻² ano⁻¹, respectivamente; e para o clone COP 1404 no espaçamento 3x4 m (1927,43 g C m⁻² ano⁻¹). Houve correlação positiva do TBCF com a GPP, mas não com a ANPP.

Palavras-chave: *Eucalyptus sp.*; Ecofisiologia; Balanço de carbono; Respiração do solo; Produtividade primária bruta

ABSTRACT

Carbon fixation and allocation in clonal eucalypt plantations under different planting densities

Decisions not planned for forest deployment, such as planting density and genetic material, alter the availability of natural resources such as nutrients, water and light and consequently affect the assimilation of carbon, which is directed to plant growth. They are still scarce as information on how and how much planting density and genetic material for a fixation of carbon by trees. The objective of this work was to evaluate the carbon allocation patterns in clonal plantations of *Eucalyptus* sp. in two planting densities (3x2 m and 3x4 m), in a typical Typic A moderate Dystrophic Red Latosol. The study was developed at the Experimental Station of Forest Sciences of Itatinga-SP - ESALQ / USP, with three clonal materials of *Eucalyptus urophylla*: AEC 0144, AEC 224 and COP 1404. The experimental design was a randomized complete block design with a factorial scheme 3 x 2, being composed of three clones of eucalyptus in two spacings, with 6 replicates for each treatment. During the one-year interval (from 40 to 52 months of age) was determined Aboveground Net Primary Productivity (ANPP: increase of the aerial biomass added to the litterfall), Aboveground Autotrophic Respiration (Rp: leaf respiration and (CUE) of 0.53 (GIARDINA et al., 2003)), Total Belowground Carbon Flux (TBCF: production and respiration of the roots) and Gross Primary Productivity (GPP: sum of the carbon fluxes) for the six treatments evaluated. The higher productivity found for the clone AEC 0144 in the 3x2 m spacing resulted from a higher GPP (5997.45 g C m⁻² year⁻¹), larger carbon partition for trunk increment (30%) and smaller partition from GPP for TBCF (34%). The ANPP ranged from 1453.99 g C m⁻² year⁻¹ (Clone COP 1404 in spacing 3x2 m) to 2288.78 g C m⁻² year⁻¹ (Clone AEC 0144 in 3x2 m spacing) Found for clones AEC 0144 in both spacings and COP 1404 in 3x4 m spacing. The variation found in aboveground autotrophic respiration values followed the same pattern of ANPP results. The TBCF was significantly higher for clones AEC 0144 and AEC 224 at 3x2 m spacing with 2056.36 m⁻² year⁻¹ and 1903.83 m⁻² year⁻¹, respectively; and for clone COP 1404 in 3x4 m spacing (1927.43 m⁻² year⁻¹). There was a positive correlation between TBCF and GPP, but not with ANPP.

Keywords: *Eucalyptus* sp.; Ecophysiology; Carbon balance; Soil respiration; Gross primary productivity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Região de origem de espécies de <i>Eucalyptus sp.</i>	20
Figura 2. Estoques e fluxos do ciclo de carbono em uma floresta	27
Figura 3. Diagrama simplificado que descreve os principais componentes do orçamento de carbono em ecossistemas florestais e a partição de (1) GPP em fluxos de carbono para: (2) folhas (ANPP folhas), (3) madeira (ANPP madeira), (4) respiração das folhas (Rp folhas), (5) respiração autotrófica da madeira (Rp madeira), e (6) fluxo total de carbono subterrâneo (TBCF)	29
Figura 4. Mapa de localização e de divisão territorial da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga	33
Figura 5. Diagrama climático referente à estação meteorológica da EECF-Itatinga durante o período de estudo. Prec. – precipitação total; Temp. máx – temperatura máxima mensal; Temp. mín – temperatura mínima mensal. Temp. méd – temperatura média mensal	34
Figura 6. a) Medição da altura total e da base da copa com aparelho Vertéx. b) Medição DAP com suta de 40 cm	37
Figura 7. Divisão da árvore por terços Nota: S: Terço superior, M: Terço médio e I: Terço inferior....	39
Figura 8. a) Medidas do coletor (1,0 m x 0,75 m). b) Disposição dos coletores na parcela	41
Figura 9. Biomassa da parte aérea	41
Figura 10. a) Amostras de galho do terço médio do fuste. b) Disco do tronco à 1,30 m de altura. c) Secagem das amostras na estufa à 65 °C	42
Figura 11. a) Disposição dos colares de PVC para medição do fluxo de CO ₂ . b) Colares de PVC distribuídos na parcela. c) Analisador de CO ₂ por infravermelho Li8100.....	45
Figura 12. a) Área após a coleta da serrapilheira. b) Quadro amostral (0,75m ²)	45
Figura 13. a) Processo de extração do toco na parcela para avaliação de biomassa de raízes	46
Figura 14. Comportamento da variável diâmetro (cm) por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade. 50	
Figura 15. Comportamento da variável área basal (m ² ha ⁻¹) por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade	50
Figura 16. Comportamento da variável altura (m) por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade.....	51
Figura 17. Volume individual médio (m ³ /árvore) por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade.....	52
Figura 18. Volume total por hectare (m ³ /ha) por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade.....	53
Figura 19. Área foliar (m ²) em função do DAP (cm) para o ano de 2015 (40 meses) e 2016 (52 meses), nos seis tratamentos avaliados	55
Figura 20. Biomassa foliar (Kg) em função do DAP (cm) para o ano de 2015 (40 meses) e 2016 (52 meses), nos seis tratamentos avaliados	61
Figura 21. Biomassa de galhos (Kg) em função do DAP (cm) para o ano de 2015 (40 meses) e 2016 (52 meses), nos seis tratamentos avaliados	62
Figura 22. Biomassa de raízes (Kg) em função do DAP (cm) para o ano de 2015 (40 meses) e 2016 (52 meses), nos seis tratamentos avaliados	63
Figura 23. Biomassa do tronco (Kg) em função do DAP (cm) para o ano de 2015 (40 meses) e 2016 (52 meses), nos seis tratamentos avaliados	64

Figura 24. Produção total de biomassa ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade	65
Figura 25. Componentes da produtividade primária líquida da parte aérea para os seis tratamentos	69
Figura 26. Partição de carbono para o tronco em relação à GPP	70
Figura 27. Componentes do fluxo de carbono abaixo do solo para os seis tratamentos	71
Figura 28. Valores de efluxo de CO_2 do solo para os seis tratamentos avaliados	72
Figura 29. Deposição mensal de folheto para os seis tratamentos avaliados	72
Figura 30. a) Relação entre o TBCF (fluxo de carbono abaixo do solo) e a GPP (produtividade primária bruta), para os seis tratamentos avaliados. b) Relação entre a partição do TBCF (TBCF:GPP) e a ANPP para os seis tratamentos avaliados	73
Figura 31. Produtividade primária bruta (GPP) para os seis tratamentos	74
Figura 32. Produtividade primária bruta (GPP) e seus constituintes	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ranking dos dez países com maior área florestal do mundo em 2015.....	17
Tabela 2. Área de árvores plantadas por Estado e espécie	19
Tabela 3. Total de contribuições dos 20 maiores emissores de GEE na mudança de temperatura global	24
Tabela 4. Atributos químicos do solo até 90 cm de profundidade	35
Tabela 5. Descrição do experimento	36
Tabela 6. Equações alométricas de área foliar ($\text{m}^2 \text{ árv}^{-1}$) desenvolvidas para diferentes componentes avaliados, aos 40 e 52 meses de idade, com R^2 representando o coeficiente de determinação e REQM a raiz do erro quadrático médio	54
Tabela 7. Valores médios da área foliar (m^2) e índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$), aos 40 e 52 meses de idade, para os seis tratamentos avaliados	56
Tabela 8. Equações alométricas de biomassa ($\text{kg} \text{ árv}^{-1}$) desenvolvidas para folhas, galhos e raízes, aos 40 meses de idade, com R^2 representando o coeficiente de determinação e REQM a raiz do erro quadrático médio	58
Tabela 9. Equações alométricas de biomassa ($\text{kg} \text{ árv}^{-1}$) desenvolvidas para folhas, galhos e raízes, aos 52 meses de idade, com R^2 representando o coeficiente de determinação e REQM a raiz do erro quadrático médio	59
Tabela 10. Equações alométricas de biomassa seca do tronco ($\text{kg} \text{ árv}^{-1}$) desenvolvidas para tronco, com R^2 representando o coeficiente de determinação e REQM a raiz do erro quadrático médio.....	60
Tabela 11. Estoque de carbono (Mg C ha^{-1}) para os diferentes compartimentos da floresta nos seis tratamentos avaliados, aos 40 e 52 meses de idade	66
Tabela 12. Fluxos de carbono para os seis tratamentos avaliados.....	68

1. INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de florestas plantadas desempenha um importante papel no cenário sócio-econômico do país. Atualmente, as florestas plantadas ocupam 7,74 milhões de hectares, o que corresponde a 0,9% do território nacional e 91% de toda a madeira produzida para fins industriais internos – os demais 9% vêm de florestas nativas legalmente manejadas (IBÁ, 2015).

O gênero *Eucalyptus* é o gênero mais plantado no país, devido principalmente ao seu rápido crescimento e alta produtividade; além disso possui boa adaptabilidade as variadas condições edafoclimáticas e fatores favoráveis à silvicultura em larga escala.

Preconiza-se que florestas de eucalipto, quando bem estabelecidas, possam fixar até 395 t.ha⁻¹ de CO₂, nos componentes aéreos e subterrâneos, durante sua fase de crescimento (CAMPOE, 2012). No entanto, a capacidade de fixação e estocagem do carbono pode variar conforme alguns fatores, tais como: espécie, clone, taxa de crescimento, sítio, clima, período de rotação, entre outros (AREVALO et al., 2002), sendo em geral, plantações jovens as que possuem maior eficiência nesse processo atingindo máxima produção após o fechamento da copa, entre dois e três anos de idade (RYAN et al., 2004).

Variações na densidade populacional, por exemplo, comumente afetam a quantidade de biomassa obtida por unidade de tempo e área, em vista de que maiores espaçamentos possibilitam maiores quantidades de recursos para planta (água, radiação e nutrientes); entretanto essas diferenças tendem a ser minimizadas ao longo do ciclo da floresta.

Para que se possa obter avaliações seguras do estoque de carbono da vegetação são necessárias estimativas confiáveis dos compartimentos de armazenamento (LUGO; BROWN, 1992), podendo ser considerados: biomassa acima do solo (parte aérea da árvore); biomassa abaixo do solo (raízes das árvores); serrapilheira (camada de resíduos, lenhosos e folhas, depositados no solo da floresta); madeira morta (árvores e arbustos mortos) e carbono no solo (resultante de processos microbianos de mineralização).

Em síntese, quando a planta assimila o gás carbônico (CO₂) através da fotossíntese (Produtividade Primária Bruta), parte é liberada de volta para a atmosfera por meio da respiração e a outra parte é transferida para organismos

simbiontes e micorrízicos, ou então convertida em nova biomassa (Produtividade Primária Líquida), que podem ser as folhas, caule (incluindo troncos, galhos e casca), raízes ou partes reprodutivas. Assim, o crescimento e a Produtividade Primária Líquida (NPP) do sistema depende do equilíbrio entre o ganho de carbono através da fotossíntese e da perda desse carbono através da respiração.

Um estudo completo do balanço de carbono, principalmente em resposta a diferentes condições ambientais, permite compreender os mecanismos que determinam sua captura e alocação (GIARDINA et al., 2004.; STAPE et al., 2008; EPRON et al., 2012; CAMPOE et al., 2012), e consequentemente obter estimativas confiáveis do estoque de carbono presente na biomassa da vegetação, melhorando o entendimento dos fatores genéticos, ambientais e do manejo que determinam a produtividade e as diferenças nos padrões de alocação de carbono da floresta (LITTON et al. 2007).

Assim, o estudo proposto, visa apresentar padrões de captura e alocação de carbono em plantações florestais de eucalipto com o uso de diferentes materiais genéticos e densidades de plantio, testando as seguintes hipóteses:

Hipótese 1: O Índice de Área Foliar (IAF) diminui com o aumento do espaçamento de plantio, ainda que essa diferença tenda a ser minimizada, já que em espaçamentos maiores, a árvore tem maior disponibilidade de recursos (água, luz e nutrientes), o que resulta em um aumento da área foliar por árvore.

Hipótese 2: Elevadas produtividades volumétricas resultam de maiores produtividades primárias brutas (GPP) e maior partição do carbono para formação do tronco.

Hipótese 3: Menores densidades de plantio proporcionam maiores disponibilidades de água e nutrientes por árvore levando a uma maior GPP por metro quadrado de folha e uma maior partição de carbono para o tronco.

Através das hipóteses apresentadas, os objetivos do presente estudo serão:

Objetivo geral

- Determinar as taxas de estocagem de carbono para os diferentes genótipos, nas duas densidades de plantio, 3x4 m e 3x2 m.

Objetivos específicos

- Avaliar como a densidade do plantio afeta o Índice de Área Folhar (IAF) e a alocação de carbono.
- Determinar as diferenças de produtividade entre os genótipos testados e padrões de alocação de carbono.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. O setor de florestas plantadas

Nos últimos cem anos, a demanda por matéria prima e produtos de origem florestal tem aumentado de forma contínua, devido principalmente ao crescimento populacional e consequente expansão das atividades industriais (LONGUE JÚNIOR; COLODETTE, 2013). A exploração intensificada de florestas naturais e recursos ambientais gerou novas relações de mercado, em âmbito mundial, colocando em risco os limites e o sistema de renovabilidade dos ecossistemas (BERTOLINO, 2007).

A maior parte da floresta mundial é constituída de vegetação natural, o que representa em torno de 93% ou 3,7 bilhões de hectares (ha) de floresta, sendo Rússia, Brasil e Canadá os países com maiores extensões de florestas naturais do mundo (Tabela 1). De 2010 a 2015, a floresta natural diminuiu 6,6 milhões ha por ano. A maior perda ocorreu nos trópicos, particularmente na América do Sul e África, embora a taxa de perda nessas áreas tenha diminuído substancialmente nos últimos cinco anos (FAO, 2015).

Tabela 1. Ranking dos dez países com maior área florestal do mundo em 2015

Posição	País	Área florestal (1000 ha)	% de área do país	% de área de floresta global
1	Rússia	814.931	48	20
2	Brasil	493.538	58	12
3	Canadá	347.069	35	9
4	Estados Unidos	310.095	32	8
5	China	208.321	22	5
6	Rep. Dem.do Congo	152.578	65	4
7	Austrália	124.751	16	3
8	Indonésia	91.010	50	2
9	Peru	73.973	58	2
10	Índia	70.682	22	2
Total	Total	2.686.948	-	67

Fonte: Tabela adaptada de FAO (2015)

Neste cenário, as florestas plantadas assumem cada vez mais funções, não apenas de produção, mas também visando a conservação desses ecossistemas, seja com finalidade industrial, como também na prestação de serviços sócio-ambientais (GARLIPP; FOELKEL, 2009).

Laclau et al. (2010) afirma que a utilização de espécies florestais de rápido crescimento é imprescindível para evitar a escassez de madeira e sobrecarga das florestas naturais, pois são capazes de suprir a necessidade por madeira em áreas muito menores que as espécies locais, sendo consideradas como as principais fontes madeireiras nos dias atuais e vindouros.

Segundo a FAO (2015), a área mundial de florestas plantadas é de 290 milhões de hectares e representa 7% de todas as florestas globais e 22% das florestas destinadas à exploração comercial. Desde 1990 a área de florestas plantadas no planeta aumentou mais de 110 milhões de hectares (FAO, 2016). A maior parte da área desses plantios localiza-se na China, Índia e Estados Unidos (IBÁ, 2014).

No Brasil, existem 7,73 milhões de hectares cultivados com florestas plantadas, o que representa um aumento de 1,8% em relação a 2013, correspondendo a um total de 0,9% do território nacional (IBÁ, 2015). Essa pequena área relativa é capaz de suprir quase 90% do total da oferta de madeira em tora industrial, 81,5% do carvão vegetal e 62,3% da lenha produzida internamente (IBGE, 2013), além de posicionar o país entre os maiores produtores mundiais de celulose e papel.

Atualmente, o setor de florestas plantadas no Brasil é considerado um dos mais competitivos a nível mundial (BRASIL, 2014). O país detém hoje as melhores tecnologias na silvicultura do eucalipto, perfazendo uma área de 5,56 milhões de hectares, localizadas principalmente nos Estados de Minas Gerais (25,2%), São Paulo (17,6%) e Mato Grosso do Sul (14,5%). Os plantios de pinus, por sua vez, ocupam 1,59 milhões de hectares e concentram-se em sua maior parte nos estados do Paraná (42,4%) e Santa Catarina (34,1%) (Tabela 2) (IBÁ, 2015).

Existem ainda plantios comerciais de outras espécies, tais como: Seringueira (*Hevea spp.* - 229.059 ha), Acácia (*Acacia mearnsii* - 160.862 ha), Paricá (*Schizolobium parahyba* - 89.081 ha), Teca (*Tectona grandis* - 87.499 ha), Araucária (*Araucaria angustifolia* - 80.122 ha) e Álamo (*Populus sp.* - 4.216 ha) (IBÁ, 2015).

Tabela 2. Área de árvores plantadas por Estado e espécie

Estado	Área plantada com árvores (ha)			
	Eucalipto	Pinus	Outras	Total
MG	1.400.232	39.674	5.313	1.445.219
SP	976.186	123.996	90.147	1.190.329
PR	224.089	673.769	16.255	914.113
MS	803.699	7.135	23.000	833.834
BA	630.808	6.499	34.000	671.307
SC	112.944	541.162	6.645	660.751
RS	309.125	184.585	103.592	597.302
MT	187.090	-	113.249	300.339
ES	228.781	2.660	15.000	246.441
MA	211.334	-	-	211.334
PA	125.110	-	72.368	197.478
TO	115.564	430	45.876	161.870
GO	124.297	9.087	5.000	138.384
AP	60.025	-	1.936	61.961
PI	31.212	-	-	31.212
Outros	18.157	-	56.140	74.297
Total	5.558.653	1.588.997	588.521	7.736.171

Fonte: Tabela adaptada de IBÁ (2015)

2.1.1. O gênero *Eucalyptus*

Eucalipto (do grego, eu + καλύπτω = “verdadeira cobertura”) é a designação vulgar das inúmeras espécies do gênero *Eucalyptus*, pertencente à família das mirtáceas (VITAL, 2007). Ao todo, existem mais de 700 espécies, 24 sub-espécies, 24 variedades e vários híbridos naturais, podendo ser encontrado tanto na forma arbustiva quanto arbórea (BOARETTO, 2008).

O eucalipto é uma planta originária principalmente da Austrália, Timor e Indonésia (Figura 1). Sua implantação em outras áreas deu-se a partir do século XIX, iniciando pelo Europa, Estados Unidos e finalmente chegando ao Brasil por meio do Sr. Frederico de Albuquerque, no ano de 1968, no estado do Rio Grande do Sul (SANTOS; NASCIMENTO, 2015).

Figura 1. Região de origem de espécies de *Eucalyptus* sp.
 Fonte: Andrade (2006)

Segundo o Ibá (2014), o gênero *Eucalyptus* é o mais plantado no mundo, com mais de 19 milhões de hectares cultivados. Sua diversidade, adaptabilidade, alta produtividade, algumas vezes superior a $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, e rápido crescimento são as principais razões pelo seu uso extensivo em reflorestamentos comerciais nos mais diversos setores (GONZÁLEZ, 2002).

As maiores áreas com plantios florestais estão predominantemente em regiões de clima tropical e subtropical, entre as latitudes de 40° N e 45° S e altitudes que variam de 30 a 1000 metros (BROOKER, 2000). No Brasil, os plantios de eucalipto ocupam 5,56 milhões de hectares da área de árvores plantadas no país (IBÁ, 2015), sendo hoje uma das essências florestais que mais têm atendido às necessidades de reposição de matéria-prima no processo industrial, especialmente do setor de papel e celulose.

Atualmente, existe uma grande variabilidade intra e interespecífica de espécies de eucalipto sendo utilizadas em programas de reflorestamento, são elas:

Eucalyptus grandis, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, entre outras. Além disso, foram desenvolvidos cruzamentos entre as espécies, resultando em híbridos, como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* X *E. urophylla*) (BRAGA, 2008).

O *Eucalyptus urophylla*, em especial, merece destaque em função de sua boa produtividade e maior potencialidade de expansão para as fronteiras florestais (regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste), sendo hoje, uma das espécies mais plantadas no Brasil (podendo ser citados os clones: AEC 042, AEC 0144, H13 ou IPB 01, AEC 224, COP 1404, GG 100), e que possui maior estabilidade genética em relação à maioria das espécies de eucaliptos introduzidas no país (MOURA, 2004).

É importante observar que o local de plantio e o ambiente onde estas florestas estão instaladas interferem diretamente na produção de madeira. Em Minas Gerais, por exemplo, os plantios estão distribuídos em diferentes regiões do Estado e apresentam distintas taxas de crescimento volumétrico, o qual sofre influência do material genético, do ambiente e da interação destes (ZOBEL; JETT, 1995).

Portanto, a produtividade florestal pode ser influenciada, dentre outros fatores, não somente pelo material genético adotado, (ROSADO et al., 2012; OTTO et al., 2013; MUIANGA, 2013; SANTOS et al., 2015) mas também pelas técnicas silviculturais adotadas, como preparo do solo, adubação, combate a pragas, estradas e aceiros, implantação e condução da floresta (BERGER, 2000).

Ferreira et al. (2014) afirmam que, em geral, um dos fatores mais importantes e determinantes na produtividade de povoamentos de eucalipto é o espaçamento, pois influencia nas práticas de implantação e manutenção (BALLONI; SIMÕES, 1980), na taxa de crescimento (LELES et al., 2001; MARCOLINO, 2010), nas práticas de colheita do povoamento (MARTINS et al., 2009) e na idade de corte e qualidade da madeira (CARDOSO JÚNIOR et al., 2005; ALTEYRAC, 2015).

No Brasil, a maioria dos plantios florestais são executados com espaçamentos variando entre 3x2 m e 3x3 m, os quais favorecem os tratos culturais mecânicos (EMBRAPA, 2017). No entanto, dependendo da região e do período de déficit hídrico é recomendável que se avalie cuidadosamente o espaçamento a ser adotado na implantação da floresta, já que a densidade de árvores afeta diretamente a quantidade de água e recursos disponíveis para a planta.

Além disso, a escolha do espaçamento de plantio é baseada na finalidade da floresta. Plantios mais adensados geralmente vêm sendo utilizados para fins

energéticos; enquanto que espaçamentos maiores são utilizados para fins de serraria, industrial, consórcio iLPF (árvore com culturas agrícolas e/ou criação de animais), entre outros. (SILVEIRA et al., 2014).

2.1.2. Características comerciais dos clones avaliados

Entre os anos de 1996 e 2004, a empresa mineira Arcelor Mittal (antiga Acesita) executou um teste clonal para avaliação do desempenho dos materiais em condição de deficiência hídrica, na microrregião de Turmalina/MG, com 87 clones de eucalipto. Os clones foram classificados como: “Tolerantes” (mortalidade < 8%, deformação < 10% e incremento médio anual - IMA > 35 m³.ha⁻¹.ano⁻¹), “Levemente não tolerantes” (mortalidade entre 8% e 15%, deformação entre 10% e 15% e IMA entre 28 e 35 m³.ha⁻¹.ano⁻¹), “Moderadamente não tolerantes” (mortalidade entre 15% e 22%, deformação entre 15% e 25% e IMA entre 20 e 28 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) e “Não tolerantes” (mortalidade > 22%, deformação > 25% e IMA < 20 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) (IPEF, 2014).

Os clones AEC 144 e AEC 224 foram classificados como “tolerantes”, devido ao seu bom desempenho quando cultivados em regiões de deficiência hídrica e elevadas temperaturas. Ambos pertencem à espécie *Eucalyptus urophylla* e foram selecionados para produção de carvão vegetal (REIS et al., 2014).

O Clone AEC 144 apresenta um crescimento surpreendente e, segundo alguns produtores, pode alcançar produtividade de 50 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, com densidade básica da madeira de 515 kg.m⁻³ (PORTAL FLORESTAL, 2016). O clone AEC 224 vem sendo utilizado em várias regiões do Brasil, com produtividade média de 42 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Apresenta densidade básica da madeira de 498 kg.m⁻³ e teor de lignina de 26,49%.

O clone COP 1404, também da espécie *Eucalyptus urophylla*, foi produzido pela empresa Bahia Specialty Cellulose/ Copener, na região de Alagoinhas - BA. Segundo a empresa, apresenta média tolerância às condições de déficit hídrico, com produtividade média de 42 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ e densidade básica da madeira de 540 kg.m⁻³.

No cenário nacional, esses clones destacam-se, devido sua alta adaptabilidade a vários tipos de ambientes – inclusive em regiões com solos de baixa fertilidade natural e chuvas limitadas – heterose para caracteres de

crescimento, alta eficiência nutricional para os macronutrientes e maior eficiência na absorção e na utilização desses nutrientes para seu crescimento (PINTO et al., 2011; REIS, et al., 2014; CORDÓVA, 2015).

2.2. Efeito estufa e mudanças climáticas

A atmosfera seca da terra é constituída principalmente de nitrogênio (78,1% do volume de N_2), oxigênio (20,9% do volume de O_2) e argônio (0,93% do volume de ar). Estes gases têm uma interação limitada com a radiação solar incidente, e não interagem com a radiação infravermelha (MACHADO, 2005).

No entanto, a atividade e fluxos de outros gases de baixa concentração na atmosfera (alguns com concentrações menores que $1 \mu\text{mol.mol}^{-1}$, como o ozônio) absorvem radiação luminosa, sobretudo ultravioleta (UV) e infravermelha (IV), afetando a temperatura da terra (PIMENTEL, 2011). Estes gases são: o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), e aqueles produzidos somente pelo homem, tais como: clorofluorcarbonos (CFC), hidrofluorcarbonos (HFC), hidrofluorclorocarbonos (HFFC), hexafluoreto de enxofre (SF_6), e perfluorcarbonos (PFC) (BRASIL, 2010), que são considerados os “Gases de Efeito Estufa” (GEE).

Desde a Revolução Industrial em 1870, vem ocorrendo um aumento na quantidade de GEE na atmosfera, que já ultrapassam os níveis alcançados em mais de 650 mil anos (SIEGENTHALER et al., 2005). O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change - IPCC) concluiu, em seu Quinto Relatório de Avaliação (IPCC, 2014), que entre 2010 e 2100 a temperatura global deverá aquecer em até $4,8^\circ\text{C}$, o que representa um aquecimento mais rápido do que aquele detectado no século XX e que significa um aumento entre 45 e 82 centímetros do nível dos oceanos.

Tais previsões impeliram a comunidade internacional adotar o Protocolo de Paris, estabelecido pela 21ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP21), realizada entre 30 de novembro e 11 de dezembro de 2015 em Paris, na França, visando substituir o Protocolo de Quioto, ratificado em 16 de fevereiro de 2005, que tinha metas específicas para um grupo de menos de 40 países desenvolvidos.

O Acordo de Paris, estabeleceu como teto para o aquecimento global um aumento da temperatura média global, nesse século, bem abaixo dos 2°C, na direção de 1,5°C. Além disso, foi assumido o compromisso de nações desenvolvidas em direcionar US\$ 100 bilhões anuais, a partir de 2020, para financiar ações de mitigação e adaptação nos países em desenvolvimento (UNFCCC, 2015).

Países industrializados estão entre os principais emissores do mundo, representando 90% dos gases de efeito estufa lançados na atmosfera. A tabela 3 apresenta os 20 maiores contribuintes do aquecimento global.

Tabela 3. Total de contribuições dos 20 maiores emissores de GEE na mudança de temperatura global

Posição	Total de aquecimento em °C	
1	Estados Unidos	0,151
2	China	0,063
3	Rússia	0,059
4	Brasil	0,049
5	Índia	0,047
6	Alemanha	0,033
7	Reino Unido	0,032
8	França	0,016
9	Indonésia	0,015
10	Canadá	0,013
11	Japão	0,013
12	México	0,010
13	Tailândia	0,009
14	Colômbia	0,009
15	Argentina	0,009
16	Polônia	0,007
17	Nigéria	0,007
18	Venezuela	0,007
19	Austrália	0,006
20	Holanda	0,006

Fonte: Tabela adaptada de Matthews et al. (2014)

Vale ressaltar que as mudanças climáticas não respeitam as fronteiras entre os países, o que torna o fenômeno de responsabilidade mundial (STENSETH, 2002). A elevação da temperatura afeta todas as regiões, aumentando a frequência e intensidade das ondas de calor, secas, precipitações, inundações, incêndios florestais, além de impactos sobre ecossistemas e espécies, podendo causar extinção de plantas e animais e, ainda, afetar negativamente a produção agropecuária (KARL, et al. 2009).

Atualmente, o Brasil investe em diferentes ações e estratégias que incentivam a expansão de áreas de florestas plantadas e naturais. Em dezembro de 2010, foi criado o Plano Setorial para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, também denominado Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), cujo objetivo é promover a mitigação da emissão de gases do efeito estufa (GEE) por meio da agricultura.

O Plano ABC baseia-se em sete programas setoriais, sendo eles: 1) Recuperação de Pastagens Degradadas; 2) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF); 3) Sistema Plantio Direto (SPD); 4) Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN); 5) Florestas Plantadas; 6) Tratamento de Dejetos Animais; e, 7) Adaptação à Mudança do Clima (MAPA, 2012).

Smith (2013), afirma que florestas plantadas têm atuação bastante positiva no processo de estocagem de carbono, com uma absorção em torno de 1,6 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq.) por ano, quantidade ainda mais relevante quando considerada as emissões do setor de florestas plantadas de somente 7,4 milhões de toneladas de CO_2 eq anuais.

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a expectativa é de que, no Brasil, haja um aumento da área de florestas plantadas, até 2020, para nove milhões de hectares. Isso poderá contribuir para a redução da emissão de oito a dez milhões de toneladas de CO_2 equivalentes, no decênio (BRASIL, 2015).

2.3. Florestas e o carbono

O ciclo global do carbono é composto de quatro grandes reservatórios, sendo eles: oceanos, reservas de combustíveis fósseis, ecossistemas terrestres, incluindo solo e vegetação, e a atmosfera (HUNZIKER et al., 2011). A maior proporção de

carbono do planeta está nos oceanos, com 39.000 Gt de C (1 Giga tonelada (Gt) = 10^9 t = 10^{15} g), seguida pelas reservas geológicas (6,000 Gt de C), ecossistemas terrestres (2.500 Gt de C no solo e 620 Gt na biomassa vegetal), e a atmosfera (800 Gt) (HAIRIAH et al., 2010).

Do estoque de carbono nos solos cerca de 1550 Gt está mantida na forma orgânica (SOC) e 950 Gt como carbono inorgânico do solo (SIC) (LAL, 2004). Do total estocado, aproximadamente 41% está em solo sob ecossistemas florestais (BROWN, 1996).

Segundo Ohse et al. (2007), o movimento do carbono em uma floresta é determinado pela assimilação de CO_2 através da fotossíntese (Equação 1) e liberação através da respiração (Equação 2), pela transferência de carbono no solo na forma de palha de folhas, madeira e raízes e pela liberação de carbono do solo de volta a atmosfera através da decomposição e respiração proveniente da atividade microbiana no solo (Figura 2).

Figura 2. Estoques e fluxos do ciclo de carbono em uma floresta

Fonte: Aduan et al. (2003)

Durante a decomposição de detritos orgânicos depositados sobre o solo, a maioria do carbono volta para a atmosfera como CO₂, porém, uma proporção não é decomposta e, portanto, fica armazenada no solo, tornando a serrapilheira e o húmus, importantes componentes para o sequestro do carbono à longo prazo (DIAS-FILHO, 2006).

É importante ressaltar que a proporção do carbono absorvido pelas florestas pode variar (MALHI et al., 2002), estando diretamente relacionada ao crescimento e à idade do povoamento (DEXHEIMER et al., 2011). Quando jovens, as florestas removem carbono em maiores proporções. À medida que envelhecem, o crescimento desacelera e eventualmente para, fazendo com elas percam a capacidade de atuar como sumidouro líquido de carbono, apesar de continuarem armazenando-o (WINK, 2009).

Além disso, o grau de atividade vegetal depende notadamente da luminosidade, temperatura, umidade e outras variáveis (ALTHOFF, 2010). Fluxos como fotossíntese e respiração, respondem quase que instantaneamente às mudanças ambientais, enquanto que a biomassa foliar e matéria orgânica do solo,

geralmente dão respostas bem lentas (de meses a séculos) – salvo quando sofrem perturbações mais severas (SCHIMEL; MANNING, 2003).

2.4. O balanço de carbono em ecossistemas florestais

A alocação de carbono desempenha um papel fundamental no ciclo de carbono de um ecossistema florestal. Os elementos produzidos durante a fotossíntese são utilizados na respiração, produção de biomassa, formação de tecidos e no desenvolvimento dos componentes aéreo e subterrâneo (CROPPER; GHOLZ, 1994).

Segundo Litton et al. (2007), a terminologia “alocação” é muitas vezes utilizada de forma inconsistente na literatura. A alocação de carbono é considerada um termo geral e abrangente, constituída por três componentes principais, a biomassa (material orgânico vivo ou morto), o fluxo (movimento de carbono no ecossistema) e a partição (fluxo de carbono para um componente), não devendo ser usada como sinônimo para nenhum deles (DELIBERALI, 2016).

A Produtividade Primária Bruta (GPP - do inglês “Gross Primary Production”), definida como a quantidade de absorção de carbono pela vegetação através da fotossíntese, é o maior fluxo global de carbono (PRENTICE et al., 2000). Segundo Litton et al. (2007) para obter estimativas confiáveis dos valores GPP, em escala anual, é necessário considerar o somatório do fluxo de carbono nos cinco maiores componentes do ecossistema: folhagem acima do solo, produção lenhosa (tronco, galho e casca); respiração das folhas e da madeira e o fluxo total de carbono enviado para o solo (raízes e micorrizas) (Figura 3).

Figura 3. Diagrama simplificado que descreve os principais componentes do orçamento de carbono em ecossistemas florestais e a partição de (1) GPP em fluxos de carbono para: (2) folhas (ANPP folhas), (3) madeira (ANPP madeira), (4) respiração das folhas (Rp folhas), (5) respiração autotrófica da madeira (Rp madeira), e (6) fluxo total de carbono subterrâneo (TBCF)
 Fonte: Adaptado de Ryan et al. (2004) e Litton et al. (2007)

A Produtividade Primária Líquida Aérea (ANPP - do inglês “Aboveground Net Primary Production”) refere-se a taxa de produção líquida de biomassa aérea por unidade de área e tempo (GOWER et al., 2001), ou seja, considera toda a produção de material orgânico acima do solo (folhas e material lenhoso) e o que foi perdido em um determinado período de tempo. Para McNaughton (1989), é uma variável que integra muitos aspectos do funcionamento do ecossistema e por isso vêm sendo amplamente utilizada (GIARDINA et al., 2003; LITTON et al., 2007; GOULDEN et al., 2010; CAMPOE et al., 2012; ZHA et al., 2013; FAHEY et al., 2016).

A respiração autotrófica (Rp) é um importante componente na ciclagem de carbono e desempenha um papel fundamental na resposta dos ecossistemas terrestres à mudança global. Segundo Delucia et al. (2007), apenas 30-50% da fotossíntese (GPP) é usada na produção de folhas, madeira e raízes, o restante retorna a atmosfera na forma de Rp.

Para avaliar a Rp, é utilizado o índice de eficiência do uso de carbono (CUE), que desempenha um papel valioso para se obter estimativas do balanço de carbono nos ecossistemas (RYAN et al., 1997; NOUVELLON et al., 2012; EPRON et al., 2013). A CUE é definida como a razão entre a NPP e a GPP (MALHI et al., 2009) e

descreve a eficiência das florestas em transferir os carboidratos obtidos via fotossíntese para produção de biomassa (CHAMBERS et al., 2004).

Outra ferramenta útil para quantificar os fluxos de C é a o fluxo total de carbono abaixo do solo (TBCF - do inglês “Total Belowground Carbon Flux”), que mede a quantidade total de C que as plantas enviam abaixo do solo para produção e respiração das raízes, rizodeposição, exsudação, e formação de micorrizas (GIARDINA; RYAN, 2002). A TBCF corresponde a uma fração entre 25% e 63% do total da produtividade primária bruta (LITTON et al., 2007). Tanto organismos autótrofos (raízes e fungos micorrízicos) quanto heterotróficos (micróbios) contribuem para a respiração do solo (BINKLEY et al., 2006), que é a principal via de perda de carbono em ecossistemas florestais (RAICH, 1995).

Recentemente, grandes avanços foram feitos através da integração de modelos ecofisiológicos, para quantificar a dinâmica do ciclo do carbono em escala espacial e temporal (TURNER et al., 2004). A técnica “Eddy covariance (EC)” é considerada uma das formas mais diretas e adequadas para medir e calcular fluxos turbulentos de CO₂ em escala local (BURBA, 2013) e tem sido amplamente aplicada para uma variedade de ecossistemas, incluindo florestas, pastagens e terras agrícolas, etc. (BALDOCCHI, 2003; WANG et al., 2010; NOUVELLON et al., 2012; LIU et al., 2015; TCHEBAKOVA et al., 2015), tornando-se uma ferramenta indispensável para a compreensão e o acompanhamento do ciclo global do carbono (FRIEND et al., 2007).

2.4.1. Quantificação da biomassa

A biomassa designa todo o material orgânico que se origina a partir de plantas, incluindo algas, árvores e demais culturas (MCKENDRY, 2002). Segundo Brown (1997), o termo refere-se ao resultado da diferença da produção da fotossíntese e o consumo pela respiração, que é comumente expresso como peso seco por unidade de área.

Yan et al. (2013), afirmam que sua determinação vem sendo amplamente utilizada para estudos do ciclo do carbono, por ser um importante indicador do crescimento da vegetação e da dinâmica da floresta. Estima-se que a quantidade de carbono estocado em uma árvore varie próximo a 50% da biomassa lenhosa, visto

que 1,0 Mg de biomassa equivale a 0,5 Mg de carbono, o qual poderia ser liberado na atmosfera devido a mudanças no uso da terra (LACERDA et al., 2009).

Não obstante, o acúmulo de biomassa em um povoamento florestal é influenciado por fatores ambientais e fatores relacionados a própria planta, entre os quais os que afetam a fotossíntese e a respiração (CALDEIRA et al., 2015). Alguns desses fatores são: luminosidade, temperatura, concentração de CO₂ do ar, conteúdo de água, fertilidade do solo e doenças, além dos fatores internos, como idade, estrutura e disposição das folhas, distribuição e comportamento dos estômatos, teor de clorofila, e acumulação de hidratos de carbono (BARICHELLO et al., 2005).

Nesse contexto, o espaçamento de plantio exerce influência direta sobre a capacidade da floresta em converter radiação luminosa em biomassa. Segundo Schumacher e Caldeira (2001), à medida que aumenta a densidade populacional, a biomassa total por unidade de área aumenta até ser limitada pela capacidade máxima de produção do sítio, com tendência decrescente com a idade do povoamento, ao passo que a produção de biomassa total por indivíduo diminui, mas ha elevação da alocação de fotoassimilados no tronco.

De modo geral, observa-se também tendências decrescentes de produção de biomassa nos diferentes compartimentos das plantas em função do aumento da área útil, ou seja, do espaçamento de plantio. Por outro lado, vale ressaltar que com o tempo a quantidade de madeira estocada em um determinado sítio tende a se igualar em diferentes espaçamentos, já que nos plantios mais densos ocorre a estagnação do crescimento em idades mais jovens e que nos plantios com espaçamentos mais amplos a estagnação do crescimento ocorre em idades mais avançadas (MÜLLER et al., 2005).

Para Teixeira (2003), a quantificação da biomassa florestal pode ser realizada através de dois métodos: o método direto, que consiste na determinação do peso da biomassa fresca e da biomassa seca; e o indireto, que estima a biomassa por meio de modelos matemáticos a partir de dados de inventários florestais, fazendo uma relação entre as variáveis: volume, DAP, altura comercial do tronco, diâmetro da copa e altura total das árvores. Segundo Sanquetta (2002), sua determinação pode ser aplicada a todos os componentes do ecossistema florestal, incluindo o estrato arbóreo, arbustivo, serapilheira e o solo; ou aplicado somente à um desses componentes.

A determinação de biomassa mais comum refere-se a biomassa do estrato arbóreo acima do solo, por ser um compartimento de fácil acesso e que mais contribui com a biomassa total no ecossistema florestal (SANQUETTA; BALBINOT, 2004). Já para a biomassa abaixo do solo o procedimento é difícil e demorado, devido principalmente às dificuldades operacionais, além disso os métodos geralmente não são padronizados (CAIRNS et al., 1997), seja pela complexidade do ciclo de C do subterrâneo, especificamente os muitos destinos do total de C alocado pelas plantas ou pelas diversas fontes de fluxos de CO₂ na superfície do solo (GIARDINA et al., 2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

O presente estudo foi realizado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI), pertencente à Universidade de São Paulo (USP), sob administração do Departamento de Ciências Florestais (LCF), da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ).

A área está localizada no município de Itatinga, região centro-sul do estado de São Paulo, inserida dentro da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (SigRH), entre as coordenadas 23°10' S e 48°40' W (Figura 4), com área total de aproximadamente 2.247 hectares (ha).

Figura 4. Mapa de localização e de divisão territorial da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga

Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2012)

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é definido como Cfa: clima temperado úmido com verão quente. De maio de 2015 a maio de 2016, a

maior taxa de precipitação ocorreu em novembro de 2015, com 405,19 mm e a menor em junho de 2015, com 6,8 mm de chuva.

A maior temperatura máxima foi de 36,8 °C em janeiro de 2015 e a menor temperatura mínima foi de 7,54 °C em maio de 2016 (Figura 5).

Figura 5. Diagrama climático referente à estação meteorológica da EECF-Itatinga durante o período de estudo. Prec. – precipitação total; Temp. máx – temperatura máxima mensal; Temp. mín – temperatura mínima mensal. Temp. méd – temperatura média mensal

Segundo Gonçalves et al. (2003), o relevo do local de implantação do experimento é plano, cuja litologia é composta por arenito, formação Marília, pertencente ao Grupo Bauru. O solo é do tipo Latossolo Vermelho Distrófico Típico A moderado, de textura argilosa (LVd-1). Este foi submetido à análise química, em laboratório, por métodos e padrões recomendados pelo IAC. As amostras foram coletadas antes do plantio, nas profundidades: 0-20; 20-40; 40-60 e 70-90 cm. Os resultados das análises podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4. Atributos químicos do solo até 90 cm de profundidade

Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
cm	mg.dm ⁻³		-----		mmolc.dm ⁻³	-----			%
					--				
0-20	3,83	5,00	0,77	< 3	1,50	73,83	3,25	77,40	4,33
20-40	3,87	2,00	< 0,70	< 3	1,33	71,83	2,97	75,07	4,17
40-60	3,90	2,66	< 0,70	< 3	1,00	51,33	2,77	54,27	5,17
60-90	3,97	1,58	< 0,70	< 3	< 1	44,17	2,73	46,93	6,00

Fonte: Muianga (2013)

Nota: SB: Soma de Bases Trocáveis; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; V: Saturação da CTC por bases; P, K, Ca e Mg, extraídos pela resina trocadora de íons; H+Al (acidez potencial) extraído com tampão SMP

Os teores de Fósforo (P), Magnésio (Mg), H+Al e a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) diminuíram com o aumento da profundidade. Os estoques de Cálcio (Ca) e Potássio (K), foram encontrados em níveis muito baixos e mantiveram-se constantes nas profundidades avaliadas. Segundo Gonçalves (2003), os teores encontrados são considerados baixos, com exceção da CTC. A saturação por bases foi de no máximo 6%, característica de solos pouco férteis (solos distróficos = V% < 50%) (RONQUIM, 2010).

O experimento adotou o sistema de cultivo mínimo e pelo fato da área já ter sido anteriormente manejada, a subsolagem foi feita nas entrelinhas do ciclo anterior à 0,40 metros de profundidade. Em seguida foi realizado o controle de formigas e mato-competição.

No campo, as mudas receberam adubação de base constituída de 200 kg.ha⁻¹ de N-P-K 06-30-06, 17 kg.ha⁻¹ de FTE Br12 (substância composta de micronutrientes de lenta solubilidade), e 2 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico. Aos três meses de idade, realizou-se a adubação de cobertura, na qual foram aplicados 68 kg.ha⁻¹ de sulfato de amônio, 5 kg.ha⁻¹ de borogran e 50 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio. Aos oito meses de idade realizou-se uma adubação complementar, aplicando-se 78 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio.

3.2. Delineamento experimental

O experimento foi instalado em janeiro de 2012, sendo constituído de três materiais clonais de *Eucalyptus urophylla* (BRASIL, 2016), sendo eles: Clone AEC 0144, Clone AEC 224 e Clone COP 1404. Os clones foram selecionados de acordo

com a produtividade e adaptabilidade a condições de déficit hídrico, baseando-se em dados das empresas que utilizam esses materiais em seus plantios comerciais.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com esquema fatorial 3 x 2 (Tabela 5), sendo, três clones de eucalipto e dois espaçamentos, com 6 repetições por tratamento.

Tabela 5. Descrição do experimento

Tratamentos	Clone	Espaçamento
1	AEC 0144	3x2
2	AEC 224	3x2
3	COP 1404	3x2
4	AEC 0144	3x4
5	AEC 224	3x4
6	COP 1404	3x4

Foram instaladas parcelas quadradas de 25 plantas (5 linhas x 5 plantas), considerando como área útil de medição as 9 plantas centrais, tendo bordadura interna e externa simples.

3.3. Coleta de dados

3.3.1. Dados climáticos

Os dados climáticos ao longo do período de estudo foram obtidos em intervalos de 30 minutos, através de uma estação automática presente na sede da estação experimental. Foram medidas: temperatura média (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m.s^{-1}) e precipitação pluviométrica (mm). Os equipamentos estão ligados a um sistema de aquisição de dados (datalogger CR1000, Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA).

3.3.2. Avaliação do crescimento das árvores

A avaliação do crescimento das árvores foi realizada através de inventários florestais, cubagem rigorosa das árvores e leituras dendrométricas, realizadas no período de maio de 2015 a maio de 2016, em 3 repetições.

Os inventários florestais foram realizados no início do experimento, aos 40 meses de idade (maio de 2015) e ao final, aos 52 meses de idade (maio de 2016). Esta atividade consistiu na medição da altura total das plantas, altura na base da copa e do diâmetro à altura do peito (DAP) com o auxílio do hipsômetro vertéx (0,1 m de precisão) (Figura 6a) e uma suta de 40 cm (0,01 m de precisão) (Figura 6b). Durante a coleta de dados mediu-se os diâmetros e a altura das 9 árvores centrais, considerando essas árvores como árvores da parcela útil.

Figura 6. a) Medição da altura total e da base da copa com aparelho Vertéx. b) Medição DAP com suta de 40 cm

Tomando-se os valores de altura e DAP das árvores, foi estimada a área basal e o volume de cada indivíduo utilizando a equação 3 e 4:

$$AB = \sum_{i=1}^n g_i \quad 3$$

$$V = \left(\frac{\pi \text{DAP}^2}{40000} \right) \times h_t \times f \quad 4$$

onde:

AB = área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)

g = área seccional, dada por $g_i = \left(\frac{\pi \text{DAP}^2}{40000} \right) (\text{m}^2)$;

V = volume (m^3);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm);

h_t = altura total da árvore (m);

f = fator de forma.

O fator de forma foi obtido através da cubagem rigorosa, pelo método de Smalian (Equação 5), utilizando 9 árvores por tratamento. Para a cubagem foi adotado o comprimento da secção de 1 m e o diâmetro mínimo considerado foi de 8 cm.

$$V = \frac{(g_1 + g_2)}{2} \cdot L = \frac{\left(\frac{\pi D_1^2}{40000}\right) + \left(\frac{\pi D_2^2}{40000}\right)}{2} \cdot L \quad 5$$

onde:

V = volume do tronco (m³);

g_i = área seccional, dada por $g_i = \left(\frac{\pi D_i^2}{40000}\right)$ (m²);

D₁ e D₂ = diâmetros nas extremidades 1 e 2 da secção do tronco (cm);

L = comprimento do tronco (m).

O volume da ponta foi calculado de acordo com a fórmula do volume do cone (Equação 6):

$$V_{\text{Ponta}} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot H}{3} = \frac{\left[\frac{\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{Com}}}{2}\right)^2 \cdot (H_{\text{Ponta}} \cdot 100)}{3} \right]}{1000000} \quad 6$$

onde:

V_{ponta}: volume da ponta da árvore (m³);

r = raio do diâmetro comercial, dado por $\left(\frac{D_{\text{Com}}}{2}\right)$ (cm);

D_{com} = diâmetro comercial (cm);

H_{ponta} = Altura da ponta da árvore (m).

3.3.3. Determinação da Área Foliar (AF) e Índice de Área Foliar (IAF)

Para a determinação da AF foram coletadas quinze folhas de cada terço da copa das árvores, totalizando quarenta e cinco (45) folhas por árvore. Este

procedimento foi realizado no mês de maio de 2015 e maio de 2016, juntamente com a medição da biomassa através da análise destrutiva das árvores (Figura 7).

Figura 7. Divisão da árvore por terços Nota: S: Terço superior, M: Terço médio e I: Terço inferior

As amostras foram identificadas, acondicionadas em sacos plásticos, colocadas em caixa térmica (para diminuir a perda de umidade) e conduzidas ao Laboratório de Ecofisiologia Florestal e Silvicultura (LEFS) da ESALQ/USP. Posteriormente as folhas foram pesadas e digitalizadas em formato JPEG e resolução de 300 dpi, com o auxílio do scanner HP Scanjet 300. Em seguida, as folhas foram secas a 65 °C por 72 horas em estufa de circulação de ar forçada, com posterior pesagem em balança com precisão 0,01 g.

As imagens obtidas foram processadas em um programa desenvolvido no Matlab 7 por Yann Nouvellon. Assim, o índice de área foliar (AF) foi calculado utilizando a equação 9. Os cálculos da área foliar específica (AFE) ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) e da área foliar total (AF) ($\text{m}^2 \text{arv}^{-1}$) podem ser observados nas equações 7 e 8, respectivamente.

$$AFE = \frac{Af}{BS} \quad 7$$

$$AF = AFE * BSt \quad 8$$

$$IAF = \frac{\sum AF}{\text{Área}} \quad 9$$

onde:

AFE= Área foliar específica ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$);

Af = Área da folha com base na matéria verde (m^2);

BS = Biomassa da folha com base na matéria seca (kg);

AF= Área foliar total da árvore ($\text{m}^2 \text{árv}^{-1}$);

BSt = Biomassa total das folhas da árvore com base na matéria seca ($\text{kg} \text{árv}^{-1}$).

$\sum AF$ = somatório da área foliar total de cada árvore na parcela ($\text{m}^2 \cdot \text{árv}^{-1}$);

Área = área da parcela (m^2).

3.4. Determinação do Balanço de Carbono

3.4.1. Produtividade Primária Líquida da Parte Aérea (ANPP)

A Produtividade Primária Líquida da Parte Aérea representa a produção de material lenhoso e folhas num período determinado período tempo. Assim, a ANPP foi estimada pelo somatório do incremento da biomassa acima do solo (tronco, casca, galhos e folhas) e pela biomassa liberada como folheto (Equação 10) (DELIBERALI, 2016):

$$ANPP = Fa + \Delta C_W + \Delta C_F \quad 10$$

onde:

Fa: deposição de folheto;

ΔC_W : variação no estoque de carbono da biomassa lenhosa aérea da planta (tronco, casca e galhos);

ΔC_F : variação no estoque de carbono da folhagem do dossel.

O folheto (Fa) foi coletado a cada quatro semanas por meio da instalação de 4 coletores ($0,75 \text{ m}^2$ cada) por parcela (Figura 8a), colocados de forma sistemática em 3 repetições (Figura 8b). O material coletado foi separado em folhas, galhos e

casca, resultando em uma amostra composta por componente, por parcela. Posteriormente, o material foi seco à 65°C até peso constante e pesado.

Figura 8. a) Medidas do coletor (1,0 m x 0,75 m). b) Disposição dos coletores na parcela

Para o acúmulo de carbono nos diferentes compartimentos da árvore foram realizadas amostragens destrutivas de biomassa aérea, com frequência anual, em duas repetições diferentes daquelas destinadas a medições não destrutivas (Figura 9). Foram amostradas 9 árvores por tratamento em maio de 2015 e 9 árvores por tratamento em maio de 2016, totalizando 108 árvores em todo o período de estudo.

Figura 9. Biomassa da parte aérea

Para a obtenção do peso úmido em campo PU(c) a árvore foi dividida em terços, conforme demonstrado da figura 7. Foram coletadas 45 folhas (15 folhas por terço), também utilizadas para o cálculo do IAF, amostra de galhos do terço médio

(Figura 10a) e um disco do tronco com casca à 1,30 m de altura (Figura 10b), por árvore. As amostras foram pesadas ainda úmidas PU(a) e posteriormente secas em estufa à 65 °C para imediata pesagem em balança com precisão 0,01g PS(a) (Figura 10c).

Figura 10. a) Amostras de galho do terço médio do fuste. b) Disco do tronco à 1,30 m de altura. c) Secagem das amostras na estufa à 65 °C

Para a obtenção da biomassa dos compartimentos folha, galhos vivos e galhos mortos foi utilizada a seguinte expressão (Equação 11):

$$PS(c) = \left(\frac{PU(c) \cdot PS(a)}{PU(a)} \right) \quad 11$$

onde:

PS(c) = biomassa (kg);

PU(c) = peso de matéria úmida total do compartimento (kg);

PU(a) = peso de matéria úmida da amostra levada ao laboratório (kg);

PS(a) = peso de matéria seca da amostra (kg).

Para a biomassa do lenho com casca, foram obtidos dois corpos de prova (por disco), para a determinação em laboratório da densidade básica da madeira.

Foi feita uma média dos dois corpos de prova avaliados a fim de obter a densidade básica de cada árvore amostrada. Assim, a biomassa do lenho com casca foi calculada a partir da equação 12.

$$PS(c) = Vol \cdot DBMT \quad 12$$

onde:

PS(c) = biomassa da madeira (kg)

Vol = volume de madeira (m³)

DBMT = densidade básica média da madeira (kg.m⁻³)

Toda matéria seca estimada foi convertida com base nos teores de carbono, obtidos por Campoe (2012) utilizando um analisador LECO 1000 CN (Leco Corp., St. Joseph, MI). Assim, as concentrações de carbono utilizadas foram de 507 g kg⁻¹ para folhas, 424 g kg⁻¹ para casca e 452 g kg⁻¹ para o lenho, galhos, raízes grossas e tocos de. Estes valores foram determinados em sub-amostras moídas e secas de cada componente e foram utilizados para a conversão de todos os fluxos de massa seca para carbono.

3.4.2. Respiração da Parte Aérea (Rp)

A Respiração Autotrófica da Parte Aérea (Rp) foi estimada com base na ANPP (Equação 13), assumindo um valor constante de eficiência de uso do carbono (CUE) de 0,53, como aplicado por Epron et al. (2012), Nouvellon et al. (2012) e Campoe et al. (2012). Este valor foi determinado por Giardina et al. (2003) estudando respiração, crescimento e manutenção de lenho, galhos e folhas em plantações fertilizadas com *Eucalyptus saligna* no Hawaii. Outros estudos utilizaram valores muito semelhantes (~0.5: MAIER et al., 2004; DELUCIA et al., 2007; LITTON et al., 2007).

$$Rp = ANPP * \frac{(1 - CUE)}{CUE} \quad 13$$

3.4.3. Fluxo de Carbono no Solo (TBCF)

O Fluxo de carbono abaixo do solo (TBCF) foi estimado determinando as entradas e saídas (fluxos) de carbono no sistema solo-serrapilheira (Equação 14), seguindo metodologia descrita em Giardina e Ryan (2002):

$$\text{TBCF} = F_s - F_a + \Delta [C_s + C_R + C_L + C_T] \quad 14$$

onde:

F_s : emissão de CO_2 do solo ou respiração do solo

F_a : folheto depositado

Δ : variação anual do estoque de carbono no solo (C_s), nas raízes (C_R), na camada de serrapilheira acumulada (C_L) e nos tocos da rotação anterior (C_T).

Foram considerados insignificantes para o nosso período de estudo de um ano mudanças nos estoques de C no solo mineral (ΔC_s), perdas por lixiviação, erosão ou estoque em camadas profundas (GIARDINA; RYAN, 2002; SMITH, 2004), visto que, Maquère et al. (2008) mostraram que o manejo de plantações tem pouca influência sobre o estoque de C orgânico na região.

O fluxo de CO_2 proveniente do solo (F_s) foi monitorado em intervalos de duas semanas, em 6 pontos por parcela (6 anéis de PVC), totalizando 18 anéis por tratamento (6 anéis x 3 parcelas) resultando em 108 anéis (Figura 11 a e b). Para isto, utilizou-se um analisador de CO_2 por infravermelho Li8100, conectado com uma câmara de respiração de 20 cm de diâmetro Li8100-103 (LiCor Inc., Lincoln, NE, USA), colocada sobre os anéis (de mesmo diâmetro) durante as medições (Figura 11c).

Os anéis foram inseridos no solo dois meses antes do início das medições, até aproximadamente 3-4 cm de profundidade para assegurar estabilidade e evitar difusão lateral do CO_2 (DAVIDSON et al., 2002; NOUVELLON et al., 2008).

Figura 11. a) Disposição dos colares de PVC para medição do fluxo de CO₂. b) Colares de PVC distribuídos na parcela. c) Analisador de CO₂ por infravermelho Li8100

As coletas de serrapilheira acumulada sobre o solo foram amostradas no mesmo período da biomassa aérea, ou seja, maio de 2015 e maio de 2016, em 4 pontos por parcela, em três repetições (Figura 12a). Assim, utilizou-se uma armação de PVC de 0,75 m² (Figura 12b) e o material coletado formou uma amostra composta por parcela, dividida em duas categorias: folha, galhos e casca; e húmus. Posteriormente, as amostras de húmus foram lavadas a fim de reduzir a contaminação por solo mineral e todas as amostras foram secas a 65°C até peso constante. Foi feita uma análise de teor de cinzas para avaliar para eliminar o efeito de partículas de solo remanescentes.

Figura 12. a) Área após a coleta da serrapilheira. b) Quadro amostral (0,75m²)

A quantificação da biomassa radicular é de grande relevância para a compreensão das relações fonte/dreno na árvore. Assim, a biomassa de raízes grossas (> 1 cm de diâmetro) foi realizada anualmente (maio de 2015 e maio de 2016) em 54 tocos (Figura 13), sendo 9 tocos por tratamento. Após o corte foram realizadas medições de diâmetro e altura do toco, e o material foi pesado e seco a 65°C para posterior determinação da massa seca.

Figura 13. a) Processo de extração do toco na parcela para avaliação de biomassa de raízes

Por ser uma área com histórico de uso do solo com plantação florestal de eucalipto, foi feito um censo em maio de 2015, obtendo dados de circunferência dos tocos provenientes da rotação anterior. Baseada na distribuição encontrada no censo, a escolha dos tocos considerou as diferentes classes diamétricas presentes na área. Assim foram escavados 8 tocos, que posteriormente foram lavados e pesados em campo.

As sub-amostras coletadas foram secas em estufa à 65°C para a determinação do teor de umidade do material. Assumindo o modelo de decomposição exponencial (Ryan et al. 2010; Nouvellon et al., 2012) foi calculado a variação de carbono nos tocos das parcelas ao longo do período de estudo. A decomposição dos tocos foi calculada através da taxa exponencial ($k = 0,184 \text{ ano}^{-1}$) desenvolvida por Nouvellon et al. (2012) e, assim, a diferença no teor de carbono foi a variação entre os anos do período estudado (Equação 15).

$$B = 0,0020 * (D)^{3,1753} \quad 15$$

onde:

B: biomassa seca do toco e raízes grossas (kg);

D: diâmetro do toco (cm).

Ressalta-se que para obter a biomassa dos tocos da rotação anterior os parâmetros obtidos na equação 15 foram estimados com as medições destrutivas e a equação resultante foi aplicada usando os valores de diâmetro obtidos através do censo realizado em maio de 2015.

3.4.4. Produtividade Primária Bruta

A Produtividade primária bruta (GPP - do inglês “Gross Primary Production”), definida como fotossíntese bruta somada ao longo de um intervalo anual, foi determinada através da soma da razão entre a Produtividade Primária Líquida da Parte Aérea (ANPP) e Eficiência de Uso do Carbono (CUE); e do Fluxo de Carbono na Raiz (TBCF) (Equação 16), como descrito por Giardina et al. (2004), Stape et al. (2008) e Ryan et al. (2010).

$$GPP = \frac{ANPP}{CUE} + TBCF \quad 16$$

Foi assumido um valor constante de CUE de 0,53 (~0.5: MAIER et al., 2004; DELUCIA et al., 2007; LITTON et al., 2007).

3.5. Análise Estatística

As análises foram efetuadas com o auxílio do software R Studio. Foram avaliadas as pressuposições básicas para a análise de variância (ANOVA), em nível de significância de 5%, teste de normalidade e homogeneidade de variâncias; e quando houve necessidade e adequação foi realizada a transformação dos dados. O modelo matemático utilizado para as análises está descrito na equação 17:

$$Y_{ijk} = \mu + b_i + t_j + e_k + (t \times e)_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad 17$$

onde:

Y_{ijk} : valor observado na parcela que recebeu o i-ésimo bloco, no j-ésimo clone, no k-ésimo espaçamento;

μ : constante inerente a toda população;

b_i : efeito devido ao i-ésimo bloco;

t_j : efeito do j-ésimo clone;

e_k : efeito devido do k-ésimo espaçamento;

$(t \times e)_{jk}$: efeito da interação entre o j-ésimo clone e o k-ésimo espaçamento;

ε_{ijk} : efeito dos fatores não controlados do i-ésimo bloco, no j-ésimo clone, no k-ésimo espaçamento.

4. RESULTADOS

4.1. Crescimento das árvores

No presente estudo a avaliação de materiais genéticos inseridos em duas diferentes densidades de plantio teve como finalidade determinar a resposta desses materiais frente a distintas situações de competição.

Assim, ao competir pelos recursos ambientais disponíveis de forma diferenciada, as plantas podem expressar distintas capacidades de aproveitamento do ambiente, resultando em alta ou baixa produtividade final.

A seguir serão apresentados resultados de diâmetro à altura do peito (DAP), área basal (AB), altura (H), volume individual e volume por hectare das árvores, visando apresentar a resposta de crescimento das árvores no período de avaliação estudado.

4.1.1. Diâmetro à altura do peito e área basal

Ao avaliar o crescimento em diâmetro das árvores (DAP) foi registrada diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos, aos 40 e 52 meses de idade (Figura 14). Aos 40 meses, observou-se que os clones AEC 0144 e o AEC 224 no espaçamento 3x4 m foram significativamente superiores exibindo média de 14,00 cm e 13,87 cm, respectivamente. O mesmo comportamento foi verificado aos 52 meses, com médias de 16,05 cm e 15,66 cm, respectivamente.

Figura 14. Comportamento da variável diâmetro (cm) por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade. Nota: Letras minúsculas representam diferenças significativas entre tratamentos aos 40 meses de idade e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre tratamentos aos 52 meses de idade

Os valores de área basal variaram de $10,47 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ a $20,63 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, aos 40 meses de idade e $13,73 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ a $25,43 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, aos 52 meses de idade, entre os tratamentos avaliados. No primeiro ano de avaliação, o clone AEC 0144 no espaçamento 3x2 m foi estatisticamente superior aos demais. Aos 52 meses, os clones AEC 0144 e AEC 224 no espaçamento 3x2 m sobressaíram estatisticamente (Figura 15).

Figura 15. Comportamento da variável área basal ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$) por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade. Nota: Letras minúsculas representam diferenças significativas entre tratamentos aos 40 meses de idade e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre tratamentos aos 52 meses de idade

Nas duas idades de avaliação, os três clones avaliados não apresentaram diferenças estatísticas quando inseridos na densidade de plantio 3x4 m.

Observa-se que aos 52 meses de idade, o clone COP 1404 não diferiu estatisticamente ao ser comparado nos dois espaçamentos avaliados.

4.1.2. Altura

O clone AEC 0144, aos 40 meses de idade, apresentou as maiores médias em altura com 18,10 m no espaçamento 3x2 m e 18,30 m no espaçamento 3x4 m. Aos 52 meses, o clone AEC 0144 obteve os melhores resultados, com 22,80 m e 22,07 m nos espaçamentos 3x4 m e 3x2 m, respectivamente, juntamente com o clone AEC 224, no espaçamento 3x4 m (21,76 m) (Figura 16).

Figura 16. Comportamento da variável altura (m) por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade

Nota: Letras minúsculas representam diferenças significativas entre tratamentos aos 40 meses de idade e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre tratamentos aos 52 meses de idade

Além disso, é possível observar que para as duas idades de avaliação, a altura média do clone AEC 0144 não foi significadamente diferente ao ser comparada nos diferentes espaçamentos. O mesmo comportamento foi verificado para o clone AEC 224 aos 40 meses de idade.

4.1.3. Volume

O volume individual médio, aos 40 e 52 meses de idade, diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) entre os tratamentos avaliados, como pode ser observado na figura 17.

Figura 17. Volume individual médio (m³/árvore) por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade
 Nota: Letras minúsculas representam diferenças significativas entre tratamentos aos 40 meses de idade e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre tratamentos aos 52 meses de idade

Os clones AEC 0144 e AEC 224 no espaçamento 3x4 m apresentaram as maiores médias para o volume individual com 0,136 m³/árvore e 0,123 m³/árvore, respectivamente, aos 40 meses e 0,215 m³/árvore e 0,209 m³/árvore, respectivamente, aos 52 meses.

Já em relação ao volume de madeira por hectare, as maiores médias foram encontradas para clone AEC 0144 no espaçamento 3x2 m, com 162,82 m³/hectare, aos 40 meses e 254,19 m³/hectare, aos 52 meses (Figura 18).

Figura 18. Volume total por hectare (m^3/ha) por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade
 Nota: Letras minúsculas representam diferenças significativas entre tratamentos aos 40 meses de idade e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre tratamentos aos 52 meses de idade

4.2. Área foliar (AF) e Índice de Área Foliar (IAF)

A tabela 6 apresenta as equações alométricas não lineares obtidas para a estimação da área foliar (AF) de todas as árvores da parcela, baseando-se nos dados de amostragem destrutiva das árvores e nos valores de diâmetro a altura do peito (DAP) obtidos através dos inventários florestais (Figura 19).

Tabela 6. Equações alométricas de área foliar ($\text{m}^2 \text{ arv}^{-1}$) desenvolvidas para diferentes componentes avaliados, aos 40 e 52 meses de idade, com R^2 representando o coeficiente de determinação e REQM a raiz do erro quadrático médio

Clone	Espaçamento	Tratamento	Parâmetros		Modelo	R²	REQM
			a	b			
40 meses							
AEC 0144	3x2	1	0,052308	2,554576	AF = 0,0523 (DAP) ^{2,5546}	0,80	23,28
AEC 224	3x2	2	0,501827	1,760277	AF = 0,5018 (DAP) ^{1,7603}	0,74	14,15
COP 1404	3x2	3	0,338543	1,891601	AF = 0,3386 (DAP) ^{1,8916}	0,90	13,33
AEC 0144	3x4	4	3,317346	1,024101	AF = 3,3173 (DAP) ^{1,0241}	0,88	7,52
AEC 224	3x4	5	8,018941	0,764464	AF = 8,0189 (DAP) ^{0,7645}	0,73	5,32
COP 1404	3x4	6	0,549955	1,750452	AF = 0,5499 (DAP) ^{1,7505}	0,83	18,72
52 meses							
AEC 0144	3x2	1	0,687676	1,359415	AF = 0,6877 (DAP) ^{1,3594}	0,85	15,36
AEC 224	3x2	2	0,097777	2,218339	AF = 0,0978 (DAP) ^{2,2183}	0,91	8,27
COP 1404	3x2	3	0,127106	2,098922	AF = 0,1271 (DAP) ^{2,0989}	0,98	8,19
AEC 0144	3x4	4	0,828001	1,379855	AF = 0,8280 (DAP) ^{1,3799}	0,84	34,96
AEC 224	3x4	5	0,034015	2,570829	AF = 0,0340 (DAP) ^{2,5708}	0,93	11,54
COP 1404	3x4	6	2,113078	1,123334	AF = 2,1130 (DAP) ^{1,1233}	0,73	15,86

Figura 19. Área foliar (m²) em função do DAP (cm) para o ano de 2015 (40 meses) e 2016 (52 meses), nos seis tratamentos avaliados
 Nota: R^2 : coeficiente de determinação e REQM: raiz do erro quadrático médio

A tabela 7 apresenta os valores médios de área foliar total ($\text{m}^2 \text{ arv}^{-1}$) e índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$) por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade.

Tabela 7. Valores médios da área foliar (m^2) e índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$), aos 40 e 52 meses de idade, para os seis tratamentos avaliados

Clone	Espaçamento	Tratamento	AF ($\text{m}^2 \text{ arv}^{-1}$)	IAF ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$)
40 meses				
AEC 0144	3x2	1	33,75 cd	5,62 ab
AEC 224	3x2	2	38,14 c	6,36 a
COP 1404	3x2	3	28,19 d	4,70 cd
AEC 0144	3x4	4	49,05 b	4,09 de
AEC 224	3x4	5	60,28 a	5,02 bc
COP 1404	3x4	6	46,60 b	3,88 e
52 meses				
AEC 0144	3x2	1	24,58 d	4,10 b
AEC 224	3x2	2	30,43 c	5,07 a
COP 1404	3x2	3	21,37 d	3,56 bc
AEC 0144	3x4	4	37,11 b	3,09 c
AEC 224	3x4	5	43,32 a	3,61 bc
COP 1404	3x4	6	42,34 ab	3,53 bc

Aos 40 meses de idade, o clone AEC 224 no espaçamento 3x4 m apresentou os maiores valores de área foliar (AF), com $60,28 \text{ m}^2 \text{ arv}^{-1}$. Aos 52 meses, o clone manteve-se estatisticamente superior aos demais clones, juntamente com o COP 1404, apresentando valores médios de $43,22 \text{ m}^2 \text{ arv}^{-1}$ e $42,34 \text{ m}^2 \text{ arv}^{-1}$, respectivamente.

É possível observar que aos 40 meses os clones AEC 224 e AEC 0144 tiveram os maiores IAF no espaçamento 3x2 m, com $6,36 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $5,62 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, respectivamente; e o clone AEC 224 no espaçamento 3x4 m com $5,07 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$.

4.3. Biomassa e Estoque de carbono

As tabelas 8, 9 e 10 apresentam as equações alométricas obtidas para a obtenção da biomassa de todas as árvores da parcela, baseando-se nos dados de amostragem destrutiva das árvores e nos valores de diâmetro a altura do peito (DAP) e/ou altura total (H) obtidos através de inventários florestais e da cubagem rigorosa (Figuras 20 a 23).

Para os componentes folhas e galhos as equações alométricas foram feitas por idade (40 e 52 meses). Já para o tronco e as raízes considerou-se as duas idades agrupadas.

Tabela 8. Equações alométricas de biomassa (kg árv⁻¹) desenvolvidas para folhas, galhos e raízes, aos 40 meses de idade, com R² representando o coeficiente de determinação e REQM a raiz do erro quadrático médio

Clone	Espaçamento	Tratamento	Parâmetros		Modelo	R²	REQM
			a	b			
Folhas							
AEC 0144	3x2	1	0,037973	1,776662	B = 0,0380 (DAP) ^{1,7767}	0,66	26,44
AEC 224	3x2	2	0,016621	2,182096	B = 0,0166 (DAP) ^{2,1821}	0,69	21,15
COP 1404	3x2	3	0,026772	2,00484	B = 0,0267 (DAP) ^{2,0048}	0,87	16,60
AEC 0144	3x4	4	0,264009	1,12879	B = 0,2640 (DAP) ^{1,1288}	0,94	5,42
AEC 224	3x4	5	1,467758	0,504206	B = 1,4678 (DAP) ^{0,5042}	0,63	6,16
COP 1404	3x4	6	0,005975	2,62407	B = 0,0060 (DAP) ^{2,6240}	0,95	12,43
Galhos							
AEC 0144	3x2	1	0,259151	1,256127	B = 0,2592 (DAP) ^{1,2561}	0,62	17,92
AEC 224	3x2	2	0,007539	2,752317	B = 0,0075 (DAP) ^{2,7523}	0,71	27,74
COP 1404	3x2	3	0,014146	2,484962	B = 0,0141 (DAP) ^{2,4850}	0,91	17,82
AEC 0144	3x4	4	0,159199	1,625682	B = 0,1592 (DAP) ^{1,6257}	0,98	4,48
AEC 224	3x4	5	0,689732	1,0348	B = 0,6897 (DAP) ^{1,0348}	0,66	12,75
COP 1404	3x4	6	0,019126	2,492539	B = 0,0191 (DAP) ^{2,4925}	0,89	17,16
Raízes							
AEC 0144	3x2	1	0,020684	2,440780	B = 0,0206(DAP) ^{2,4407}	0,91	14,75
AEC 224	3x2	2	0,009340	2,802402	B = 0,0093 (DAP) ^{2,8024}	0,82	15,97
COP 1404	3x2	3	0,128208	1,686392	B = 0,1282 (DAP) ^{1,6863}	0,73	21,79
AEC 0144	3x4	4	0,083106	1,932153	B = 0,0831 (DAP) ^{1,9321}	0,96	15,59
AEC 224	3x4	5	0,020484	2,472623	B = 0,0204 (DAP) ^{2,4726}	0,97	9,38
COP 1404	3x4	6	0,051103	2,198534	B = 0,0511 (DAP) ^{2,1985}	0,89	17,27

Tabela 9. Equações alométricas de biomassa (kg árv⁻¹) desenvolvidas para folhas, galhos e raízes, aos 52 meses de idade, com R² representando o coeficiente de determinação e REQM a raiz do erro quadrático médio

Clone	Espaçamento	Tratamento	Parâmetros		Modelo	R²	REQM
			a	b			
Folhas							
AEC 0144	3x2	1	0,052722	1,526601	B = 0,0527 (DAP) ^{1,5266}	0,85	17,66
AEC 224	3x2	2	0,003048	2,697094	B = 0,0030 (DAP) ^{2,6971}	0,91	10,26
COP 1404	3x2	3	0,00383	2,663647	B = 0,0038 (DAP) ^{2,6637}	0,99	6,71
AEC 0144	3x4	4	0,071682	1,50338	B = 0,0717 (DAP) ^{1,5034}	0,86	25,10
AEC 224	3x4	5	0,00099	3,072733	B = 0,0010 (DAP) ^{3,0727}	0,95	11,65
COP 1404	3x4	6	0,157953	1,30642	B = 0,1580 (DAP) ^{1,3064}	0,78	15,62
Galhos							
AEC 0144	3x2	1	0,000793	3,376508	B = 0,0008 (DAP) ^{3,3765}	0,94	18,88
AEC 224	3x2	2	0,000846	3,426669	B = 0,0008 (DAP) ^{3,4267}	0,94	10,28
COP 1404	3x2	3	0,002835	3,01354	B = 0,0028 (DAP) ^{3,0135}	0,98	9,41
AEC 0144	3x4	4	0,037557	1,998447	B = 0,0376 (DAP) ^{1,9984}	0,87	28,02
AEC 224	3x4	5	0,029889	2,065022	B = 0,0299 (DAP) ^{2,0650}	0,85	15,88
COP 1404	3x4	6	0,000503	3,779931	B = 0,0028 (DAP) ^{3,0135}	0,98	11,15
Raízes							
AEC 0144	3x2	1	0,020684	2,440780	B = 0,0206(DAP) ^{2,4407}	0,91	14,75
AEC 224	3x2	2	0,009340	2,802402	B = 0,0093 (DAP) ^{2,8024}	0,82	15,97
COP 1404	3x2	3	0,128208	1,686392	B = 0,1282 (DAP) ^{1,6863}	0,73	21,79
AEC 0144	3x4	4	0,083106	1,932153	B = 0,0831 (DAP) ^{1,9321}	0,96	15,59
AEC 224	3x4	5	0,020484	2,472623	B = 0,0204 (DAP) ^{2,4726}	0,97	9,38
COP 1404	3x4	6	0,051103	2,198534	B = 0,0511 (DAP) ^{2,1985}	0,89	17,27

Tabela 10. Equações alométricas de biomassa seca do tronco ($\text{kg } \text{árv}^{-1}$) desenvolvidas para tronco, com R^2 representando o coeficiente de determinação e REQM a raiz do erro quadrático médio

Clone	Espaçamento	Tratamento	Parâmetros		Modelo	R²	REQM
			a	b			
Tronco							
AEC 0144	3x2	1	0,010377	1,050396	B = 0,0104 (DAP² * H) ^{1,0504}	0,99	6,63
AEC 224	3x2	2	0,014189	1,003766	B = 0,0142 (DAP² * H) ^{1,0038}	0,98	6,29
COP 1404	3x2	3	0,010883	1,052054	B = 0,0109 (DAP² * H) ^{1,0520}	0,99	4,15
AEC 0144	3x4	4	0,019510	0,973195	B = 0,0195 (DAP² * H) ^{0,9732}	0,99	6,73
AEC 224	3x4	5	0,034947	0,895387	B = 0,0350 (DAP² * H) ^{0,8954}	0,99	4,63
COP 1404	3x4	6	0,016081	1,004257	B = 0,0161 (DAP² * H) ^{1,004}	0,99	4,82

Figura 20. Biomassa foliar (Kg) em função do DAP (cm) para o ano de 2015 (40 meses) e 2016 (52 meses), nos seis tratamentos avaliados
 Nota: R^2 : coeficiente de determinação e REQM: raiz do erro quadrático médio

Figura 21. Biomassa de galhos (Kg) em função do DAP (cm) para o ano de 2015 (40 meses) e 2016 (52 meses), nos seis tratamentos avaliados
 Nota: R^2 : coeficiente de determinação e REQM: raiz do erro quadrático médio

Figura 22. Biomassa de raízes (Kg) em função do DAP (cm) para o ano de 2015 (40 meses) e 2016 (52 meses), nos seis tratamentos avaliados
 Nota: R^2 : coeficiente de determinação e REQM: raiz do erro quadrático médio

Figura 23. Biomassa do tronco (Kg) em função do DAP (cm) para o ano de 2015 (40 meses) e 2016 (52 meses), nos seis tratamentos avaliados
 Nota: R^2 : coeficiente de determinação e REQM: raiz do erro quadrático médio

A figura 24 apresenta os valores totais da produção de biomassa ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), para os seis tratamentos avaliados, aos 40 e 52 meses de idade.

Figura 24. Produção total de biomassa ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), por tratamento, aos 40 e 52 meses de idade
 Nota: Letras minúsculas representam diferenças significativas entre tratamentos aos 40 meses de idade e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre tratamentos aos 52 meses de idade

Considerando todas as parcelas experimentais avaliadas, a biomassa total variou de 69,55 ($3 \times 4 \text{ m}$) a 109,70 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($3 \times 2 \text{ m}$), aos 40 meses e 114,25 ($3 \times 2 \text{ m}$) a 171,04 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($3 \times 2 \text{ m}$), aos 52 meses de idade. Assim, observa-se que para as duas idades avaliadas houve maior produção de biomassa no espaçamento $3 \times 2 \text{ m}$, sendo as maiores médias encontradas para os clones AEC 0144 e AEC 224.

A tabela 11 apresenta os valores de estoque de carbono para os compartimentos da árvore, serrapilheira, húmus, tocos e o somatório desse estoque por tratamento.

Tabela 11. Estoque de carbono (Mg C ha⁻¹) para os diferentes compartimentos da floresta nos seis tratamentos avaliados, aos 40 e 52 meses de idade

Compartimento	40 meses					
	3x2 m			3x4 m		
	AEC 0144	AEC 224	COP 1404	AEC 0144	AEC 224	COP 1404
Estoque de C (Mg ha⁻¹)						
Árvore						
Folhas	2,87 a	3,02 a	2,46 a	2,18 a	2,34 a	1,99 a
Galhos	4,66 ab	5,00 a	3,62 c	4,37 ab	3,99 bc	4,05 bc
Tronco	33,42 a	25,16 b	21,07 c	21,66 bc	18,81 c	16,76 c
Raízes grossas	7,52 a	7,00 a	4,95 b	5,16 b	5,31 b	5,10 b
Serrapilheira	4,20 a	3,34 a	4,30 a	3,53 a	2,82 a	3,69 a
Húmus	1,77 a	1,90 a	1,85 a	1,61 a	0,94 a	1,79 a
Tocos	5,04 a	4,05 a	4,14 a	4,76 a	4,45 a	4,34 a
Total	59,48 a	49,47 b	42,39 c	43,27 bc	38,66 c	37,72 c
52 meses						
Estoque de C (Mg ha⁻¹)						
Árvore						
Folhas	2,47 ab	2,78 a	2,21 b	2,49 ab	2,51 ab	2,83 a
Galhos	4,47 bc	4,61 bc	3,50 c	5,32 ab	4,59 bc	5,57 a
Tronco	51,59 a	39,30 b	32,45 bc	34,02 bc	30,20 c	28,43 c
Raízes grossas	9,72 a	10,00 a	5,85 c	6,50 bc	7,47 b	6,88 bc
Serrapilheira	3,30 a	2,49 a	3,72 a	3,15 a	2,09 a	2,22 a
Húmus	5,22 a	4,10 a	4,92 a	3,97 a	3,42 a	4,60 a
Tocos	4,19 a	3,37 a	3,44 a	3,96 a	3,70 a	3,61 a
Total	80,97 a	66,66 b	56,10 bc	59,42 bc	53,98 c	54,04 c

Nota: As letras representam diferenças estatísticas entre os tratamentos ($p < 0,05$) por componente

O estoque de carbono na floresta, considerando os componentes aéreo e subterrâneo das árvores (folhas, galhos, tronco e raízes), serapilheira e húmus acumulados sobre o solo e tocos provenientes de rotações anteriores, variou de 37,72 Mg C ha⁻¹ a 59,48 Mg C ha⁻¹, aos 40 meses e 53,98 Mg C ha⁻¹ a 80,97 Mg C ha⁻¹, aos 52 meses de idade.

No geral, o estoque de carbono dentro dos componentes da árvore ocorreu de forma similar nos tratamentos avaliados. Nos dois períodos de avaliação, o maior acúmulo de carbono foi encontrado no tronco, seguido pelas raízes, galhos e folhas.

Assim, seguindo essa ordem, aos 40 meses de idade o clone AEC 0144 no espaçamento 3x2 m apresentou seu total de carbono distribuídos em 68,94%, 15,52%, 9,61% e 5,92%; o clone AEC 224 em 62,62%, 17,47%, 12,45% e 7,51%; e o clone COP 1404 em 65,64%, 15,42%, 11,27% e 7,66%. Já no espaçamento 3x4 m, o clone AEC 0144 apresentou distribuição de 64,91%, 15,46%, 13,10% e 6,53%; o clone AEC 224 de 61,77%, 17,44%, 13,10% e 7,69%; e o clone COP 1404 de 60,07%, 18,27%, 14,52% e 7,13% (Tabela 11).

Aos 52 meses de idade a distribuição do carbono nos componentes da árvore no espaçamento 3x2 m foi de 75,58%, 14,24%, 6,54% e 3,62% para o clone AEC 0144; 69,33%, 17,64%, 8,13% e 4,90% para o clone AEC 224; e 73,73%, 13,29%, 7,95% e 5,02% para o clone COP 1404. Já no espaçamento 3x4 m, o clone AEC 0144 apresentou distribuição de 70,39%, 13,44%, 11,08% e 5,15%; o clone AEC 224 de 67,46%, 16,69%, 10,25% e 5,61%; e o clone COP 1404 de 65,04%, 15,74%, 12,74% e 6,47% (Tabela 11).

4.4. Balanço de carbono

A Tabela 12 mostra os fluxos de carbono em g C m⁻² ano⁻¹, para os seis tratamentos avaliados.

Tabela 12. Fluxos de carbono para os seis tratamentos avaliados.

Fluxos (g C m ⁻² ano ⁻¹)	Tratamentos					
	3x2 m			3x4 m		
	AEC 0144	AEC 224	COP 1404	AEC 0144	AEC 224	COP 1404
ANPP	2088,78	1641,40	1453,99	1668,79	1480,59	1723,81
Folhas	190,07	189,23	236,56	271,98	229,66	344,73
Galhos	76,15	35,58	69,99	153,85	108,88	224,58
Tronco	1822,55	1416,60	1147,45	1242,94	1142,05	1154,49
TBCF	2056,36	1903,83	1805,61	1835,93	1847,54	1927,43
Emissão de CO ₂ do solo	2059,08	1891,85	1966,83	1954,15	1832,16	1993,87
Folheto depositado	330,61	289,95	352,37	307,28	264,99	331,18
Decomposição de tocos	-84,75	-74,80	-69,64	-80,12	-68,18	-73,09
Crescimento de raízes	219,82	299,58	90,10	134,94	215,23	177,04
Incremento de serrapilheira e húmus	192,82	77,15	170,69	134,24	133,32	160,79
Rp	1852,31	1455,58	1289,39	1479,87	1312,98	1528,66
GPP	5997,45	5000,81	4548,98	4984,59	4641,11	5179,90
Partição (fração)						
Tronco NPP	0,87	0,86	0,79	0,74	0,77	0,67
ANPP:GPP	0,35	0,33	0,32	0,33	0,32	0,33
TBCF:GPP	0,34	0,38	0,40	0,37	0,40	0,37

Nota: Tronco NPP = produtividade primária líquida do tronco; ANPP = produtividade primária líquida da parte aérea; Rp = respiração autotrófica da parte aérea; TBCF = fluxo de carbono abaixo do solo; GPP = produtividade primária bruta

4.4.1. Produtividade primária líquida da parte aérea (ANPP)

A tabela 12 e a figura 25 apresentam a produtividade primária líquida da parte aérea (ANPP), por componente (folhas, galhos e tronco) e respiração autotrófica da parte aérea (Rp), para os seis tratamentos avaliados.

Figura 25. Componentes da produtividade primária líquida da parte aérea para os seis tratamentos
Nota: As barras representam o erro padrão da média. ANPP = produtividade primária líquida da parte aérea; Rp = respiração autotrófica da parte aérea

A produtividade primária líquida acima do solo (ANPP) variou de 1453,99 g C m⁻² ano⁻¹ (Clone COP 1404 no espaçamento 3x2 m) a 2288,78 g C m⁻² ano⁻¹ (Clone AEC 0144 no espaçamento 3x2), apresentando variação de até 48% entre os tratamentos.

Na figura 26 apresenta a partição de carbono do tronco em relação a produtividade primária bruta (GPP).

Figura 26. Partição de carbono para o tronco em relação à GPP

Nota: Tronco NPP = produtividade primária líquida do tronco; GPP = produtividade primária bruta

Seguindo o mesmo padrão encontrado nos resultados da ANPP, a respiração autotrófica da parte aérea (R_p) foi significativamente maior para os clones AEC 0144 em ambos espaçamentos e COP 1404 no espaçamento 3x2 m (Figura 25).

4.4.2. Fluxo de carbono abaixo do solo (TBCF)

O fluxo de carbono abaixo do solo (TBCF) foi significadamente diferente entre os tratamentos sendo que as maiores médias foram encontradas para os clones AEC 0144 e AEC 224, no espaçamento 3x2 m, com $2056,36 \text{ g C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e $1903,83 \text{ g C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente; e para o clone COP 1404 no espaçamento 3x4 m ($1927,43 \text{ g C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$) (Figura 27).

Figura 27. Componentes do fluxo de carbono abaixo do solo para os seis tratamentos

Nota: As barras representam o erro padrão da média. TBCF = fluxo de carbono abaixo do solo; Fs = Emissão de CO₂ do solo; Fa = Folheto depositado; ΔC = variação de carbono (decomposição de tocos; crescimento de raízes e incremento de serrapilheira e húmus)

Na avaliação de respiração do solo ou emissão de CO₂ do solo (Fs) as maiores médias foram encontradas para os clones AEC 0144 no espaçamento 3x2 m e COP 1404 no espaçamento 3x4 m, com 2059,08 g C m⁻² ano⁻¹ e 1993,87 g C m⁻² ano⁻¹, respectivamente.

O folheto depositado (Fa) não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos e variação de carbono (ΔC - somatório da produtividade de raízes grossas; serrapilheira e húmus acumulados e decomposição dos tocos da rotação anterior) apresentou as maiores médias para os clones AEC 0144 e AEC 224, no espaçamento 3x2 m, com 327,88 g C m⁻² ano⁻¹ e 301,93 g C m⁻² ano⁻¹, respectivamente; e para os clones AEC 224 (280,36 g C m⁻² ano⁻¹) e COP 1404 (264,75 g C m⁻² ano⁻¹) no espaçamento 3x4 m.

A figura 28 apresenta a sazonalidade anual da respiração do solo com início das medições em maio de 2015 e frequência quinzenal. Os efluxos de CO₂ mantiveram-se baixos durante os primeiros meses de medições (de maio de 2015 a agosto de 2015) com aumento gradual a partir de setembro de 2015, alcançando os maiores índices nos meses mais chuvosos (de novembro de 2015 a março de 2016).

Figura 28. Valores de efluxo de CO₂ do solo para os seis tratamentos avaliados

A Figura 29 apresenta a sazonalidade da deposição do folheto avaliada de maio de 2015 a maio de 2016. Observa-se que houve picos de deposição de folheto nos meses de junho e setembro de 2015; e de janeiro a abril de 2016. Observa-se que após novembro de 2015 e com maior pluviosidade (Figura 5) a tendência de deposição de material sobre o solo foi diferenciada entre os tratamentos, destacando-se os clones AEC 0144 no espaçamento 3x2 m e COP 1404 no espaçamento 3x4 m.

Figura 29. Deposição mensal de folheto para os seis tratamentos avaliados

TBCF foi positivamente correlacionado com a GPP ($R^2 = 0,41$, $p < 0,004$) (Figura 30a) e não apresentou correlação com a ANPP ($R^2 = 0,14$, $p = 0,12$). Contudo, a partição do TBCF (TBCF:GPP) foi significativa com o aumento da ANPP ($R^2 = 0,67$, $p < 0,0001$) (Figura 30b).

Figura 30. a) Relação entre o TBCF (fluxo de carbono abaixo do solo) e a GPP (produtividade primária bruta), para os seis tratamentos avaliados. b) Relação entre a partição do TBCF (TBCF:GPP) e a ANPP para os seis tratamentos avaliados

4.4.3. Produtividade primária bruta (GPP) e partição de carbono

Os valores de GPP variaram de 4548,98 g C m⁻² ano⁻¹ (Clone COP 1404 no espaçamento 3x2 m) a 5997,45 g C m⁻² ano⁻¹ (Clone AEC 0144 no espaçamento 3x2

m) (Tabela 12). A GPP teve diferenças significativas entre os tratamentos, sobressaindo os clones AEC 0144 no espaçamento 3x2 m e COP 1404 no espaçamento 3x4 m (Figura 31).

Figura 31. Produtividade primária bruta (GPP) para os seis tratamentos

A figura 32 apresenta a produtividade primária bruta (GPP) e seus constituintes. Com exceção do clone AEC 0144 no espaçamento 3x2 m, que teve maior contribuição da ANPP (somatório ANPP galhos, ANPP folhas e ANPP tronco) na GPP, todos os tratamentos tiveram maior representatividade da GPP pela TBCF.

Figura 32. Produtividade primária bruta (GPP) e seus constituintes

Nota: TBCF: Fluxo de carbono abaixo do solo; Rp: Respiração autotrófica da parte aérea; ANPP Galhos: produtividade primária líquida do compartimento galho; ANPP Folhas: produtividade primária líquida do compartimento folha; ANPP Tronco: produtividade primária líquida do compartimento tronco

5. DISCUSSÃO

5.1. Crescimento das árvores

5.1.1. Diâmetro à altura do peito e área basal

O crescimento das árvores depende de fatores como a disponibilidade de recursos ambientais (luz, água e nutrientes), espaço físico (arranjo espacial), tamanho e constituição genética da árvore, bem como sua história de desenvolvimento, cada um destes podendo afetar sozinho ou em conjunto seu desempenho (POORTER; BONGERS, 1993).

Segundo Shimoyama; Barrichelo (1989), o espaçamento de plantio, ou densidade inicial, podem afetar diretamente o crescimento e morfologia das árvores, principalmente no incremento em diâmetro. Binkley et al. (2002), salientam que a escolha de arranjos e espaçamentos inadequados à espécie e a finalidade do plantio podem intensificar a competição e reduzir a homogeneidade de crescimento, o que contribui para o aumento do número de árvores dominadas e menor utilização dos recursos disponíveis.

A redução diamétrica no espaçamento mais adensado (3x2 m) ocorreu pela maior competição entre indivíduos por fatores do meio, como água, luz e nutrientes, que está relacionado ao maior número de árvores por unidade de área (Figura 14). Segundo Cardoso (1989), povoamentos muito densos tendem naturalmente a apresentar árvores de diâmetro menor, se comparadas com árvores de povoamentos mais amplos, onde a concorrência por espaço é menor e o crescimento em diâmetro é mais acentuado.

Muller et al. (2005) verificaram relação direta entre o aumento do diâmetro em função do aumento do espaçamento entre plantas ao estudar um híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, aos 2 anos de idade, com enfoque energético. Pacheco (2013) também observou em povoamentos de *Pinus taeda* L., aos 9 anos de idade, em Irati, região Centro-Sul do Paraná, diferenças significativas nas médias dos diâmetros (DAP), observando nas maiores densidades menores médias de diâmetros.

Cordóva (2015), estudando o crescimento de clones de eucalipto na área do presente estudo, encontrou diferenças estatísticas entre os espaçamentos (3x1 m, 3x2 m e 3x4 m), sendo o espaçamento 3x4 m aquele que apresentou as maiores

médias de crescimentos diamétrico. Ressalta-se que esse comportamento foi observado em todas as idades de avaliação (21, 25, 27, 31, 35 e 37 meses), demonstrando que a idade da floresta pouco influenciou o crescimento em diâmetro encontrado nas parcelas aferidas.

Avaliando a especificidade de clones (Figura 14), Sampaio et al. (2014) também encontraram bom desempenho para os clones AEC 0144 e AEC 224, aos 24 meses de idade, principalmente quando cultivados em regiões déficit hídrico prolongado (1450 mm) e elevadas temperaturas.

Reis et al. (2014), ao estudarem a aptidão de diferentes materiais clonais de eucalipto na região de Ponta Porã, MS, sob solo do tipo Latossolo Vermelho distrófico e precipitação de 1660 mm anuais, verificaram que os clones AEC 0144 e AEC 224 foram superiores em DAP, em relação aos demais clones avaliados (GG 100, GG 58, COP 1277 e três testemunhas seminais (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*)); indicando a potencialidade desses materiais ao serem utilizados em ambientes com tais características.

Ao contrário do crescimento em diâmetro que foi maior no espaçamento mais reduzido, a área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) foi inversamente proporcional ao tamanho do espaçamento. Conforme observado na Figura 15, os maiores valores de área basal foram encontrados nos tratamentos com a maior densidade (3x2 m).

Isto deve-se à quantidade de árvores por unidade de área de terreno, que neste trabalho foi de 1666,6 arv.ha⁻¹ (3x2 m) e de 833,3 arv.ha⁻¹ (3x4 m). Assim, mesmo apresentando diâmetros menores, as árvores plantadas no espaçamento mais denso (3x2 m) acumularam áreas basais muito maiores das que foram encontradas no espaçamento mais amplo (3x4 m).

Esses resultados são semelhantes àqueles encontrados por Lima (2013) avaliando o crescimento de árvores de *Pinus taeda* L, aos nove anos de idade, submetidos à diferentes densidades de plantio, onde os maiores valores médios de área basal foram verificados nos espaços vitais menos amplos (2,0 m² e 1,0 m²), dentre nove densidades de plantio que variaram de 1,0 m² a 16,0 m², por planta.

Couto et al. (1977) avaliando um plantio de *Eucalyptus urophylla*, de 31 e 93 meses de idade, sob diferentes densidades de plantio (2,0 x 2,0 m; 3,0 x 2,0 m; 3,0 x 2,5 m; 3,0 x 3,0 m e 3,0 x 4,0 m) também encontraram maiores valores médios de área basal nos espaçamentos menores, mostrando que a densidade foi influenciada

pelo espaçamento em todas as idades avaliadas, apresentando decréscimo a medida que o espaçamento era aumentado.

Os clones AEC 0144 e AEC 224 no espaçamento 3x2 m apresentaram os maiores valores de área basal (Figura 15) assim como ocorreu no crescimento diamétrico (Figura 14). Esse resultado é esperado já que a área basal está diretamente ligada ao diâmetro individual da planta e densidade de plantas por área.

Matias (2015), ao avaliar o desempenho silvicultural de três clones de *Eucalyptus sp.* (GG100, AEC 0144 e VM 58) com 72 meses de idade, em um sistema Integração Lavoura Pecuária Floresta (iLPF), observou que os clones AEC 0144 e VM58 se destacaram com os maiores valores de área basal por hectare.

Barros Filho (2014) ao verificar a influência do cálcio e do boro na tolerância de clones de eucalipto (AEC 0144, AEC 224, AEC 063, AEC 182, 2486 e 3216) à deficiência hídrica, encontrou os maiores resultados de área basal, em todas as dez idades avaliadas, que variaram dos 23 meses a 81 meses, para os clones AEC 0144 e AEC 224.

Esses resultados demonstram que o material genético AEC 0144, aos 40 meses de idade apresentou melhor adaptação as condições edafoclimáticas locais. Essa tendência de diferenciação de crescimento tendeu a ser minimizada com o aumento da idade, entre os clones AEC 0144 e AEC 224, já que aos 52 meses de idade, ambos apresentaram superioridade estatística se comparados ao COP 1404.

Aos 52 meses de idade, observa-se que o clone COP 1404 não diferenciou estatisticamente entre os espaçamentos avaliados (Figura 15), o que demonstra que quando inserido no espaçamento mais amplo (3x4 m), esse clone foi mais favorecido, aumentando assim seu crescimento.

Outro fator importante a se destacar é que na densidade 3x4 m os clones tiveram desempenhos semelhantes, evidenciando que a menor competição por recursos do ambiente gerada pelo espaçamento mais amplo (3x4 m) resultou em plantas com menor diferenciação em sua área basal.

5.1.2. Altura

Segundo Leles et al. (1998), plantios mais adensados tendem a acentuar os efeitos da deficiência hídrica sobre as plantas, diminuindo a produtividade da floresta em razão da maior competição entre as espécies por água, nutrientes, luz e espaço.

Como no espaçamento 3x2 m o clone COP 1404 apresentou menor crescimento em altura nas duas idades de avaliação (Figura 16), sugere-se que neste espaçamento o adensamento mais acentuado gerou maior competição entre as plantas acarretando nessa redução.

Esses resultados corroboram com aqueles encontrados por Santos (2011) que ao avaliar um ensaio de espaçamentos conduzidos para um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, aos seis anos de idade, verificou um comportamento crescente da altura em função do aumento do espaçamento; e Silva (2005) que ao avaliar a altura total para clones híbridos *E. grandis* x *E. urophylla* no Estado de São Paulo observou um efeito positivo do aumento do espaçamento; com média da altura no maior espaçamento estudado (3x5 m) 14,9 % superior em relação ao menor espaçamento (3x2 m).

Por outro lado, para os clones AEC 0144 e o AEC 224 a semelhança estatística entre os tratamentos, nos dois espaçamentos avaliados, aos 40 meses de idade foi resultado de um maior crescimento em altura no espaçamento 3x2 m, alcançando médias muito próximas ao espaçamento mais amplo (Figura 16).

Leles et al. (2001), observaram que para o *E. camaldulensis* e o *E. pellita*, aos 52 meses de idade, houve maior influência do espaçamento sobre o diâmetro do que sobre a altura. Assis et al. (1999), estudando o comportamento de *E. urophylla* em função de diferentes espaçamentos (3x2 m, 3x3 m, 3x4 m, 3x5 m, m, 6x1,5 m, 5x1,8 m, 9x1 m), encontraram maior altura aos 49 meses de idade para as árvores pertencentes ao espaçamento mais reduzido (3x2 m).

Isto pode ser explicado pela maior competição por luz no espaçamento mais reduzido (3x2 m), uma vez que a árvore tem necessidade de ampliar ao máximo sua superfície foliar e cobrir sua necessidade de assimilação, estimulando assim, o crescimento em altura (SILVA, 1990). Em todo caso, é importante avaliar a idade da floresta estudada, pois podem ocorrer mudanças no comportamento da altura em idades mais avançadas (BERGER, 2000).

A superioridade estatística em altura observada para os clones AEC 224 e AEC 0144 foi semelhante àquela encontrada no crescimento diamétrico. Alguns trabalhos revelam a alta relação entre as variáveis DAP e altura (ZANON et al., 1996; TOMÉ et al., 2007; RETSLAFF et al., 2015), uma vez que, estabelecida a relação hipsométrica das árvores do povoamento, as alturas podem ser estimadas de forma precisa utilizando o DAP, que ao contrário da altura é uma variável de fácil obtenção.

5.1.3. Volume

Segundo Lima et al. (2013), em espaçamentos menos densos, o espaço vital de cada árvore é ampliado, proporcionando melhores condições de desenvolvimento da planta, promovendo dessa forma maior crescimento diamétrico, maior conicidade e melhor desenvolvimento radicial e da copa; esse conjunto de características contribui diretamente na qualidade e na quantidade da produção em termos individuais (Figura 17).

Silveira et al. (2014) avaliando o efeito do espaçamento na produção de madeira e serapilheira de *Eucalyptus dunni*, aos seis anos de idade, também encontraram os maiores valores de volume médio individual nos espaçamentos mais amplos, destacando-se as densidades 3x3 m ($0,199 \text{ m}^3 \text{ arv}^{-1}$) e 3x2 m ($0,185 \text{ m}^3 \text{ arv}^{-1}$). Silva (2005) avaliando híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, aos seis anos de idade, observou que o volume individual dos indivíduos no espaçamento $15 \text{ m}^2.\text{arv}^{-1}$ foi praticamente o dobro do observado no espaçamento $6 \text{ m}^2.\text{arv}^{-1}$.

No entanto, o ganho relatado para volume individual com a ampliação do espaçamento (Figura 17) não foi observado ao analisar o volume por hectare (Figura 18). Assim, à medida que o espaçamento aumentou, o volume por hectare reduziu.

Esse comportamento também foi encontrado por Moraes (2006), ao estudar a dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, até os 84 meses de idade, onde os maiores valores médios de volume por hectare foram observados nos espaçamentos mais adensados 3x2 m e 6x2 m, quando comparado com as densidades 6x3 m, 6x4 m e 12x2,5 m.

Oliveira Neto et al. (2003) citam que essa maior produção de madeira por unidade de área nos espaçamentos mais reduzidos ocorre em função do maior número de indivíduos. Entretanto, é importante ressaltar que o volume por hectare tende a aumentar nos espaçamentos mais amplos com o aumento da idade do povoamento, em virtude do estabelecimento de uma maior competição por recursos nos espaçamentos mais adensados (MARCOLINO, 2010).

Também foi observado que os materiais genéticos estudados apresentaram desempenhos diferentes quando avaliadas suas produtividades.

Os clones AEC 0144 e AEC 224 foram estatisticamente superiores ao clone COP 1404 no crescimento volumétrico individual e o clone AEC 0144 destacou-se significadamente no crescimento em volume por hectare.

Cipriani et al. (2013) estudando o crescimento inicial de clones de eucalipto em Vilhena, RO, aos 37 meses de idade, verificaram que o clone AEC 0144 destacou-se aos demais quanto às características de crescimento, demonstrando incremento volumétrico individual de $0,116 \text{ m}^3.\text{arv}^{-1}$.

Reis et al. (2014) ao avaliarem o desempenho de clones comerciais de eucalipto, aos 51 meses de idade, na região de Ponta Porã – MS, verificaram que os clones de maior desempenho, em volume de madeira, foram o AEC 0144 e o AEC 224, com $0,311 \text{ m}^3.\text{arv}^{-1}$ e $0,286 \text{ m}^3.\text{arv}^{-1}$, respectivamente. Além do bom crescimento, esses clones ainda apresentaram as melhores notas em termos de forma do fuste, espessura de galhos e baixa presença ou ausência de bifurcações.

Os clones AEC 0144 e AEC 224 apresentaram um desempenho superior ao clone COP 1404 exibindo as melhores médias de produtividade, fazendo desses clones, materiais potenciais para seleção em áreas com características edafoclimáticas semelhantes as encontradas em Itatinga-SP.

5.2. Área foliar (AF) e Índice de Área Foliar (IAF)

A figura 19 demonstra que houve um comportamento padrão para os tratamentos avaliados. Assim, observou-se que houve uma diminuição do índice de área foliar com a idade do povoamento para todos os tratamentos (Tabela 7), evento que ocorreu de forma similar em outros estudos com florestas de eucalipto (DOVEY; DU TOIT, 2006; POKORNÝ; STOJNIČ, 2012; LONDERO, 2015).

De acordo com Ryan et al. (1997) o índice de área foliar em povoamentos de eucalipto aumenta gradualmente até o fechamento do dossel e depois declina continuamente com o aumento da idade da floresta.

Xavier et al. (2002), ao avaliar o efeito da variabilidade temporal no IAF de cinco clones híbridos de *Eucalyptus grandis*, com idades variando de 12 a 84 meses, relataram maiores valores de IAF em um talhão de 24 meses de idade, com média de $4,31 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, sendo que após esse período houve uma redução do IAF de forma gradativa. Dovey e Du Toit (2006) estudando um plantio jovem de *Eucalyptus grandis* encontraram um IAF médio de $4,1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ aos 2 anos e $3,8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ aos 3 anos, demonstrando um comportamento semelhante ao encontrado neste estudo.

Uma das causas do declínio do IAF pode estar associada a diminuição da biomassa de galhos vivos substituída pela biomassa de galhos mortos, fenômeno

que ocorre naturalmente devido ao progressivo fechamento do dossel com a idade do povoamento (Figura 21). Assim, como a incidência de radiação solar dentro da parcela diminui ocorre uma redução na produção de folhas em regiões mais inferiores da copa.

Outro ponto importante a se destacar é que espaçamentos mais amplos também promovem uma redução no índice de área foliar, uma vez que povoamentos menos adensados comportam um menor número de indivíduos por hectare (MACHADO, 2014). Assim, o menor IAF encontrado no espaçamento 3x4 m, foi resultado de uma diminuição da interceptação da luz e fotossíntese por unidade de área e tempo, se comparado ao espaçamento 3x2 m.

Avaliando a especificidade dos clones avaliados, o AEC 224 foi o que apresentou os maiores IAF e o COP 1404 os menores valores (Tabela 7). Momentel (2016) ao avaliar o desempenho de clones *Eucalyptus urophylla* submetidos a diferentes doses de adubação potássica, verificou que aos 39 meses de idade o clone AEC 224 apresentou o maior IAF, com $3,24 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e o clone COP 1404 o menor IAF, com $2,37 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$.

Cordóva (2016) verificou um desempenho semelhante ao estudar o comportamento de seis materiais genéticos do gênero *Eucalyptus sp.* plantados em diferentes espaçamentos, onde aos 27, 31 e 35 meses de idade, os clones AEC 224 juntamente com o AEC 042 (*Eucalyptus urophylla*) exibiram os maiores IAF e o COP 1404 os menores valores.

Ressalta-se ainda que, neste estudo também foram feitas fotografias hemisféricas para determinação do IAF e foi verificado que o COP 1404 foi o clone que apresentou a maior abertura do dossel, independente do espaçamento adotado. Isso reforça o fato de que a senescência é um dos fatores que contribui para a queda das taxas de crescimento no IAF.

Assim, observa-se que os diferentes valores de IAF também resultam de processos fisiológicos intrínsecos à planta e que variam conforme o material genético adotado.

Segundo Lang e Mcmurtrie (1992), o IAF está diretamente relacionado com a produtividade e a evapotranspiração de ecossistemas florestais. Smethurst et al. (2003) encontraram forte relação entre o IAF e a produtividade de *Eucalyptus nitens*, ao analisarem o efeito da fertilização no IAF e no crescimento da espécie. Albaugh et al. (1998) encontraram uma relação linear positiva e significativa entre o IAF e a

produtividade em volume e biomassa de um experimento de fertilização e irrigação de *Pinus taeda* L., onde os valores máximos de produtividade estiveram fortemente relacionados aos picos máximos de IAF nos tratamentos.

Neste trabalho, nota-se que o clone AEC 224 foi o clone que obteve o maior IAF aos 52 meses de idade, mas não apresentou a melhor produtividade (Tabela 7 e Figura 18). É importante destacar que o IAF do clone de maior produtividade (AEC 0144) foi alto nos dois períodos de avaliação, sobressaindo estatisticamente juntamente com o clone AEC 224 aos 40 meses de idade.

Para Müller et al (2005), o IAF tem relação com a capacidade fotossintética da população vegetal por estar relacionado à área de assimilação de CO₂ e de interceptação de radiação, mas também altos IAF podem indicar redução da própria taxa fotossintética, visto que a maior quantidade de folhas provoca maior perda de água e consequente favorecimento de deficiência hídrica na planta, prejudicando assim seu crescimento.

Desse modo é importante conhecer os fatores que influenciam o processo de crescimento das florestas, principalmente aqueles que se relacionam com copa das árvores, uma vez que as folhas são as principais responsáveis pela captação de energia solar e pela produção de matéria orgânica através da fotossíntese, assumindo um papel muito importante para estudos de biomassa (MATTOS, 2015).

5.3. Biomassa e Estoque de carbono

Schumacher e Caldeira (2004), encontraram resultados de biomassa inferiores àqueles encontrados ao presente estudo (Figura 24), ao avaliar um povoamento de *Eucalyptus saligna* no espaçamento 3x2 m, aos 48 meses de idade, onde a produção total foi de 79,6 Mg.ha⁻¹. Um padrão similar foi observado por Leles et al. (2001), estudando plantações de *Eucalyptus camaldulensis* na região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais, sob a densidade de 3x4 m, que constatarem uma biomassa total de 86,3 Mg.ha⁻¹, aos 52 meses de idade.

De acordo com Leles et al. (2013), a quantidade de biomassa total produzida em um povoamento florestal está diretamente relacionada ao espaçamento de plantio, uma vez que a densidade das plantas presentes na área influencia diretamente o crescimento da floresta.

Goulart et al. (2003), avaliando um experimento com *Eucalyptus grandis* sob 12 diferentes espaçamentos de plantio aos 10 anos de idade, observaram um comportamento semelhante ao verificar uma redução da biomassa seca da madeira produzida com o aumento da distância entre as plantas, variando de 91 Mg.ha⁻¹ para o espaçamento de 4x3 m, até 272 Mg.ha⁻¹ para o espaçamento 1,5x1 m.

Silva (2015) estudando árvores de *Eucalyptus benthamii* com seis anos de idade sob quatro diferentes densidades de plantio (3x2 m, 3x3 m, 4x3 m e 4x4 m), também observou resultados semelhantes, onde a maior produção de biomassa aérea foi no espaçamento 3x2 m, com 184,2 Mg.ha⁻¹.

Assim, observa-se que o principal fator que influenciou a produção de biomassa por unidade de área foi o número de plantas por hectare, mesmo ocorrendo reduções no crescimento individual das plantas (Figura 17).

Já as diferenças encontradas entre os clones avaliados podem ter sido resultadas das características genéticas intrínsecas à espécie e também pela interação genótipo-ambiente (Figura 24). Pinto et al (2011) ao avaliarem a produção de biomassa e a eficiência nutricional de mudas de seis clones de eucalipto (58, 386, GG100, I042, AEC 144 e VM1), cultivados em solução nutritiva, identificaram diferenças na eficiência de absorção, translocação e utilização dos nutrientes, sendo que o clone AEC 0144 mostrou-se mais eficiente em termos de absorção nutricional e produção de biomassa.

Além disso, é importante destacar que as maiores médias de crescimento volumétrico por hectare (Figura 18) em ambas idades de avaliação, bem como altos valores de índices de área foliar (Tabela 7) foram encontradas no clone de maior produção de biomassa (AEC 0144) (Figura 24).

Segundo Souza et al. (2002), interceptando mais radiação, a planta pode ter sua produção elevada, uma vez que a produção depende, além da disponibilidade de água no solo e de nutrientes, da taxa fotossintética e da quantidade de radiação interceptada pela planta.

Assim, ganhos de biomassa resultam da atividade fotossintética realizada pelas plantas, a qual permite a transformação de energia solar em compostos orgânicos, sendo o carbono o principal constituinte dos tecidos vegetais (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996).

Campoe (2012), estudando florestas de *Eucalyptus grandis* aos seis anos de idade, verificou que em média o total de C armazenado no tronco, raízes, casca,

galhos, folhas e raízes grossas (>10mm), foi de 76,3%, 10,7%, 6,4%, 3,6% e 3,0%, respectivamente.

Ribeiro et al. (2015) ao avaliarem a produção de biomassa e o estoque de carbono em um plantio clonal de *Eucalyptus grandis* no Sudeste do Brasil, encontraram uma distribuição média do C estocado em 70,12% (tronco), 14,72% (raízes), 7,22% (casca), 5,24% (galhos) e 2,7% (folhas).

Estes resultados, bem como os encontrados neste estudo e por Stape et al. (2008), Gatto et al. (2011), Schumacher et al. (2011) e Silva et al. (2015), apresentam o tronco como o componente de maior contribuição para o estoque de carbono total presente na biomassa aérea.

No entanto, observa-se que mesmo apresentando um padrão no estoque de carbono dentro dos componentes da árvore, é possível observar que houve uma variação do comportamento dos clones nesse processo, e isso pode ser constatado, por exemplo, ao verificar a diferença encontrada no estoque de carbono do tronco aos 40 meses de idade para os clones AEC 0144 (68,95%) e AEC 224 (62,62%), ambos no espaçamento 3x2 m (Tabela 11). A variação encontrada foi de aproximadamente 6,00%, o que em valores absolutos representa 8,26 Mg C ha⁻¹ a mais para o tronco do clone AEC 0144.

Dessa forma, enquanto o clone mais produtivo (AEC 0144) alocou mais C no tronco, os clones menos produtivos destinaram esse C na formação de outros componentes da planta. Isso pode ser verificado, ao observar que no espaçamento 3x4 m o clone AEC 0144 apresentou 64,91% do C estocado no tronco, enquanto que para o clone COP 1404 essa alocação foi de 60,07%. Parte desse carbono que não foi alocado tronco foi utilizado na formação de raízes (2,81%).

Outro ponto importante a se destacar é que no espaçamento 3x2 m os clones apresentaram médias de C estocado nas raízes superiores ao espaçamento 3x4 m (Tabela 11). Oliveira Neto (2008) afirma que uma maior produção de biomassa nas raízes em determinados sítios ocorre quando a disponibilidade de água e nutrientes é reduzida, fazendo com que a árvore destine uma maior proporção de seus fotoassimilados na formação das raízes em detrimento dos demais componentes. Assim, no espaçamento 3x2 m houve uma maior limitação dos recursos disponíveis se comparado ao espaçamento 3x4 m.

De forma geral, as diferenças encontradas na distribuição percentual do estoque de C nos diferentes componentes das árvores estão fortemente associados

a fatores como espécie (CHAVE et al., 2005; FORRESTER; COWIE, 2006), idade (WINK et al., 2013; SILVA et al., 2015), material genético (TRUGILHO, 2010; MATTOS, 2015), qualidade de sítio (CAMPOE, 2012) e manejo adotado (LADEIRA et al., 2001; MADEIRA et al. 2002; OLIVEIRA NETO, 2003), podendo ou não seguir um mesmo padrão, já que esses fatores podem estar atuando sozinho ou em conjunto no comportamento da floresta. Além disso, é importante destacar que a complexidade desses fatores ainda está aliada as diferentes condições climáticas.

5.4. Balanço de carbono

5.4.1. Produtividade primária líquida da parte aérea (ANPP)

Os valores de ANPP encontrados neste estudo foram semelhantes ou até superiores àqueles encontrados por Nouvellon et al. (2012) que ao estudar plantações de *Eucalyptus grandis* dos quatro aos seis anos de idade, encontrou uma ANPP de 1624 g C m⁻² ano⁻¹; e Campoe (2012) que ao avaliar florestas de *Eucalyptus grandis* dos cinco aos seis anos de idade, encontrou resultados que variaram de 1208 a 1791 g C m⁻² ano⁻¹.

Nota-se que diferentemente do que ocorreu na produção de biomassa, onde as maiores produções foram encontradas no espaçamento 3x2 m (Figura 24), a ANPP apresentou médias elevadas em ambos espaçamentos.

O espaçamento pode afetar diretamente o desenvolvimento e a produtividade das florestas (LELES et al., 1998). Maiores densidades de plantio resultam em maior competição intraespecífica por água, nutrientes, luz e espaço, o que diminui a produtividade final da floresta. No entanto, espaçamentos reduzidos também comportam um maior número de árvores, que assim como o volume total do povoamento (ha ano⁻¹) resultam em uma maior ANPP.

Além disso, Henskens et al. (2001) afirmam que maiores índices de área foliar encontrados em espaçamento mais reduzidos cooperam para a elevação da RFAI (radiação fotossinteticamente ativa interceptada) o que resulta em um maior crescimento em biomassa e consequente elevação da produtividade primária líquida da floresta.

Observa-se que o clone AEC 0144 no espaçamento 3x2 m além de apresentar um elevado valor de ANPP (Figura 25), também se destacou pelas

maiores médias volumétricas (Figura 18) e de acúmulo de carbono (Tabela 11). Em contraste, nota-se que o clone COP 1404 no espaçamento 3x4 m não apresentou esse comportamento, apresentando alta ANPP, baixa produtividade volumétrica e menor estoque de carbono total nos componentes da árvore (Figura 18 e Tabela 11).

Esse comportamento distinto entre os tratamentos resultou de uma diferença nos padrões de alocação de carbono entre os compartimentos da floresta, como apresentado na tabela 12. Observa-se que para os três clones avaliados a maior NPP de tronco em relação a ANPP total foi encontrada no espaçamento 3x2 m, podendo chegar em até 87% a ANPP destinada a produção de lenho e casca. O clone COP 1404 no espaçamento 3x4 m, por exemplo, apresentou a segunda maior ANPP, no entanto, parte dessa produção foi destinada à formação de folhas e galhos (33%).

Além disso, ressalta-se ainda que essa inferioridade da produtividade primária líquida do tronco encontrada para o clone COP 1404 foi resultado de uma menor fração da produtividade primária bruta ou fotossíntese anual (GPP) utilizada para produção de madeira (Figura 26).

Com relação a respiração autotrófica (R_p), importante componente dos orçamentos de carbono em escala ecossistêmica (BOWMAN et al., 2008; CHEN et al., 2013), Waring et al. (1997) avaliando orçamentos anuais de carbono em diferentes tipos de florestas naturais e plantações de *Pinus sp.* e *Nothofagus sp.*, encontraram uma relação constante entre a respiração autotrófica anual e a fotossíntese bruta anual indicando que a relação entre esses processos é altamente linear.

A maior produtividade primária bruta encontrada para o clone AEC 0144 no espaçamento 3x2 m (Tabela 12), implicou em um maior consumo de energia utilizado no processo de respiração dos componentes da árvore. Assim, ao mesmo tempo em que o novo C foi sendo assimilado pela planta através da fotossíntese para posteriormente ser utilizado na construção de novos tecidos vegetais, parte desse C foi perdido através da respiração.

5.4.2. Fluxo de carbono abaixo do solo (TBCF)

Os valores de fluxo de carbono abaixo do solo (TBCF) encontrados nesse estudo, mostraram-se superiores àqueles encontrados por Nouvellon et al. (2012), que ao estudarem o crescimento e a alocação de carbono em plantações de *Eucalyptus grandis* nos dois últimos anos da rotação (dos 4 aos 6 anos de idade), encontraram um TBCF de $1097 \text{ g C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$; e Ryan et al. (2010), que ao avaliarem a produtividade de plantações clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* submetidas a diferentes disponibilidades de água e nutrientes na cidade de Teixeira de Freitas – BA, constataram um TBCF para o tratamento não irrigado de $1000 \text{ g C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ (dos 3 aos 5 anos de idade).

Observa-se que o componente de maior representatividade do TBCF no presente estudo foi a emissão de CO_2 do solo (Fs) (Figura 27). Comportamento semelhante foi observado por Giardina et al. (2002); Stape et al., (2008) e Ryan et al., (2010).

Segundo Epron (2001), o processo de respiração do solo compreende pelo menos três fontes metabólicas: a respiração microbiana, das raízes e dos organismos. Além disso, podem ser incluídas ainda, algumas fontes não metabólicas como oxidação química dos minerais do solo (LIRA, 1999) e reações com compostos fenólicos (DEC et al.; 2003).

As taxas de respiração do solo podem ser influenciadas por diversos fatores bióticos e abióticos (ANDRADE, 1999; VARGAS; SCHOLLES 2000; QI; XU, 2001). Santos e Camargo (1999) afirmam que das variáveis ambientais, a precipitação e a temperatura do solo são as que exercem maior influência sobre essas taxas. No entanto, fatores como a umidade e a temperatura atmosférica, ou seja, condições de tempo, também são considerados influenciadores diretos (EKBLAD et al., 2001; WANG et al., 2010).

As maiores taxas de emissão de CO_2 do solo foram encontradas nos períodos mais chuvosos (início de setembro de 2015 a março de 2015) e as menores taxas nos meses mais secos (maio de 2015 a agosto de 2015 e abril e maio de 2016) (Figura 28). Tendência similar foi encontrada por Epron et al. (2004), Epron et al. (2006), Nouvellon et al. (2008) e Versini et al. 2013, ao avaliarem variações de efluxo de CO_2 do solo em povoamentos de *Eucalyptus sp.*

Salimon (2003), avaliando o efeito da mudança de cobertura vegetal sobre a respiração do solo em pastagens e florestas secundárias, em Rio Branco, Acre, observou também que os maiores efluxos de CO₂ ocorreram durante a estação chuvosa (de novembro a maio) com picos em janeiro e fevereiro e os menores fluxos no mês de agosto, um dos meses mais secos do ano.

Segundo Zanchi et al. (2003), após a chuva, ocorre um aumento da emissão de CO₂ do solo, pois, quando a água é drenada sobrevém a saída forçada de CO₂, que anteriormente estava presente nos espaços porosos. Isto pode explicar o fato de em épocas de baixa pluviosidade as taxas de desprendimento de CO₂ pelo solo terem sido menores (Figura 5 e Figura 28).

Na figura 27 é possível observar que houve diferenças significativas entre tratamentos, onde sendo que os clones AEC 0144 no espaçamento 3x2 e COP 1404 no espaçamento 3x4 tiveram os maiores índices de emissão de CO₂ do solo (Tabela 12). Um dos fatores que podem estar ligados ao aumento dessas taxas de respiração é o maior aporte de serrapilheira e húmus encontrados nesses tratamentos, ainda que as diferenças não tenham sido significativas entre os tratamentos (Tabela 11).

Ekblad et al. (2005) e Sotta (2004) afirmam que maiores quantidades de deposição de serrapilheira sobre o solo auxiliam a criação de condições propícias ao crescimento da população microbiana (diminuição da temperatura do solo e aumento da umidade relativa) com consequente elevação na taxa de respiração do solo. No entanto, as variáveis serrapilheira e húmus não apresentaram correlação significativa com a Fs ($R^2 = 0,06$, $p = 0,29$).

Além disso, apesar da tendência geral ser de aumento da emissão de CO₂ do solo com o aumento da produtividade florestal, os tratamentos avaliados não apresentaram correlação significativa da produtividade do lenho com a respiração do solo ($R^2 = 0,0004$, $p = 0,89$).

Esse comportamento fora do padrão da respiração do solo com serrapilheira depositada e a produtividade dos tratamentos, sugerem algumas hipóteses de como a Fs poderia estar sendo influenciada: 1) pela variação de temperatura e umidade do solo; 2) pela composição química do material depositado sobre o solo, sucedendo diferentes taxas de decomposição da matéria orgânica e consequente variação na eficiência dos organismos decompositores; 3) pelas quantidades de raízes finas proveniente do material genético sob os diferentes espaçamentos, ocasionando em

maior ou menor associação à fungos micorrízicos; e 4) pelas propriedades físicas do solo, em especial a porosidade.

Além disso, a emissão de CO₂ do solo é altamente afetada pela atividade fotossintética do dossel. Assim, quaisquer fatores que afetem a fotossíntese ou o suprimento nutricional das raízes e microorganismos da rizosfera - tais como irradiação, estresse hídrico, estado nutricional, atividade humana e herbívora - podem ser influenciadores diretos (KUZYAKOV; GAVRICHKOVA, 2010).

À curto prazo, uma alta taxa de respiração do solo indica maior atividade microbiana e uma decomposição mais rápida do material orgânico, com consequente liberação mais elevada de nutrientes para as plantas (CARTER, 1986) e, à longo prazo, perda de C orgânico do solo para a atmosfera (PARKIN et al., 1996), devendo dessa forma ser analisada cuidadosamente, em cada contexto.

É importante ressaltar que o clone 1404 apresentou alta deposição de folheto em ambos espaçamentos estudados, mesmo não sendo o material genético de maior produtividade. Isto reforça o fato de que esse clone foi o menos eficiente dentre os demais no quesito alocar carbono para formação de madeira, visto que a energia consumida para a formação do lenho foi gasta de forma mais acentuada para a produção de folhas e galhos.

Em síntese, a queda das folhas resulta de uma série de processos metabólicos ligados à fisiologia da espécie e também pelos estímulos vindos do ambiente, como fotoperíodo, temperatura, estresse hídrico, entre outros fatores. (SCHUMACHER et. al., 2004). A quantidade de material orgânico depositado ao longo do tempo está relacionada com as condições climáticas locais, sendo menor nas regiões frias e maior em regiões equatoriais quentes e úmidas (BRAY; GHORAN, 1964).

Elevados índices do fluxo mensal de carbono para o folheto depositado foram observados em meses com baixa precipitação (julho de 2015 e abril de 2016) (Figura 29). Isto pode estar relacionado à estratégia de redução da área foliar que a planta utiliza visando otimizar seu funcionamento em condições de baixa disponibilidade hídrica. Dias et al. (2002) ressaltam ainda que o estresse hídrico desencadeia uma série de eventos fisiológicos na planta, acarretando, no final, a abscisão das folhas.

Andrade et al. (2000) encontraram resultados semelhantes em um estudo realizado com espécies leguminosas arbóreas, onde foi encontrada a maior

deposição mensal no período que ocorreu uma diminuição da precipitação e da temperatura, o que poderia ter estimulado as plantas a aumentarem a queda de material senescente.

No entanto, é possível observar que meses de alta pluviosidade como janeiro, fevereiro e março também tiveram altos índices de deposição do folheto (Figura 29), como nos meses de menor precipitação, principalmente para os clones AEC 0144 no espaçamento 3x2 m e COP 1404 no espaçamento 3x4 m. Essas altas deposições também foram observadas no período em que a respiração do solo foi maior nesses tratamentos, demonstrando que o material depositado sobre o solo pode ter auxiliado à criação de condições adequadas para o aumento da emissão de CO₂ do solo.

A maior variação de carbono (ΔC) encontrada para os clones AEC 0144 e AEC 224, no espaçamento 3x2 m e para os clones AEC 224 e COP 1404 no espaçamento 3x4 m, teve maior representatividade pelo crescimento das raízes, seguida pelo incremento de serrapilheira e húmus e por último a decomposição dos tocos da rotação anterior (Tabela 12).

Os resultados obtidos da variação do carbono foram semelhantes àqueles encontrados por Nouvellon et al. (2012), ao avaliar a alocação de carbono em plantações de *Eucalyptus grandis* dos 4 aos 6 anos de idade, onde a variação de carbono no crescimento das raízes foi de 243 g C m⁻² ano⁻¹, da serrapilheira 181 g C m⁻² ano⁻¹ e dos tocos da rotação anterior de -31,00 g C m⁻² ano⁻¹.

Foi observado uma relação positiva de aumento da TBCF à medida que se aumentou a produtividade primária bruta (GPP) da floresta (Figura 30a). Esse comportamento também foi observado por Bown et al. (2011) ao avaliar a influência da adubação e do balanço hídrico sobre a alocação de carbono em florestas de *Pinus radiata*, dos quatro aos cinco anos de idade. No entanto, é importante destacar que fatores como temperatura, idade e fisiologia da planta podem causar alterações consideráveis nos padrões de alocação de C da floresta (LITTON; GIARGINA, 2008; PEICHL et al., 2010; LANDSBERG; SANDS, 2011).

A razão de partição de C para o TBCF variou de 33% a 47% da GPP (Figura 30b). Esses valores são semelhantes aqueles encontrados por Ryan et al. (2004) (46%) e superiores ao encontrados por Nouvellon et al. (2012) (25%).

Também foi observado que o TBCF:GPP reduziu com o aumento da ANPP. Tendência semelhante foi encontrada por Campoe (2012) que encontrou uma

variação de 14% a 31% da partição de C para TBCF com redução à medida que se aumentou a ANPP. Assim, com os resultados observados neste trabalho verificou-se que com o aumento da proporção de carboidratos sendo alocados nos compartimentos da parte aérea das árvores, menos C foi particionado para os processos abaixo do solo.

5.4.3. Produtividade primária bruta (GPP) e partição de carbono

Os resultados obtidos no presente estudo foram superiores aos relatados por Nouvellon. et al. (2012), Giardina et al. (2003) e Ryan et al. (2010) ao avaliarem variações de GPP em povoamentos de *Eucalyptus sp.* As elevadas GPP encontradas neste trabalho provavelmente foram resultados dos altos IAF dos clones, boa adaptação dos materiais às condições locais e das avaliações terem sido realizadas durante um período em que as florestas estavam em elevado ritmo de crescimento (Figura 31).

Avaliando a especificidade dos clones, o aumento do espaçamento de plantio proporcionou menores GPP para os clones AEC 0144 e AEC 224, mas não para o clone COP 1404 (Tabela 12 e Figura 31). Os clones AEC 0144 e AEC 224 reduziram 20,3% e 7,4% da GPP, respectivamente, com a diminuição da densidade de plantas; enquanto que o COP 1404 aumentou 12%.

Aumentos na produtividade primária bruta associados ao aumento da disponibilidade de nutrientes e água têm sido observados em diversos estudos (KEITH et al.; 1997; GIARDINA et al., 2003; RYAN et al., 1996; RYAN et al.; 2010). Neste trabalho, o aumento do espaçamento de plantio e consequente elevação na quantidade dos recursos limitantes proporcionou um aumento expressivo da GPP para o clone COP 1404.

No entanto, apesar dos clones COP 1404 no espaçamento 3x4 e AEC 0144 no espaçamento 3x2 m terem apresentado semelhança estatística em suas GPP, eles mostraram comportamentos distintos ao ser avaliada suas produtividades volumétricas (Figura 18 e Figura 31) e padrões de alocação do carbono (Figura 32), demonstrando que mesmo com elevadas taxas de fluxos de C entrando na floresta, nem sempre os clones comportam-se de formas semelhantes.

Assim, embora a ANPP de folhas ter sido superior para o clone 1404 no espaçamento 3x4 m, uma possível elevação nas taxas fotossintéticas do tratamento

não resultou em uma elevação na partição de carbono para formação do tronco. Foi observado maior Tronco:NPP para o clone AEC 0144 no espaçamento 3x2 m (Tabela 12 e Figura 32). Enquanto o clone AEC 0144 no espaçamento 3x2 m particionou 30,4% do C para formação do tronco, o clone COP 1404 no espaçamento 3x4 m contribuiu com 22%. Além disso, o clone AEC 0144 no espaçamento 3x2 m foi o único que teve maior partição do C para a parte aérea (ANPP), diferente do que ocorreu no demais tratamentos que alocaram mais carbono na parte subterrânea (TBCF).

Os mecanismos que determinam a absorção de C ainda são bastante incertos (BARFORD et al., 2001), devendo ser cuidadosamente avaliadas variáveis bióticas, abióticas e suas inter-relações visando melhorar a compreensão do ciclo do carbono em escalas regionais e globais (RUNNING et al., 1999).

6. CONCLUSÃO

Com base nas avaliações realizadas neste trabalho, conclui-se que:

- O índice de área foliar (IAF) reduziu com o aumento do espaçamento de plantio e com a idade da floresta. No entanto, a área foliar por árvore foi maior nos espaçamentos mais amplos que proporcionaram maior disponibilidade de recursos (água, luz e nutrientes).
- O principal fator que influenciou a produção de biomassa por unidade de área foi o número de plantas por hectare, mesmo ocorrendo reduções no crescimento individual das plantas.
- O TBCF aumentou à medida que se aumentou a GPP, ao passo que não apresentou correlação significativa com a ANPP. O componente de maior representatividade do TBCF foi a respiração do solo (F_s), que não foi correlacionada com a produtividade de madeira (Tronco NPP).
- Nem todos os clones que apresentaram altas GPP apresentaram elevação em suas produtividades volumétricas. No entanto, os clones mais produtivos foram aqueles que apresentaram maior partição do carbono para a produção do tronco.
- O clone AEC 0144 foi o material genético mais produtivo e apresentou maior partição do C para produção do tronco e menor TBCF:GPP, ou seja, a maior fração da produtividade primária bruta (GPP) foi destinada à formação de madeira e a menor para constituição das raízes.
- Nos tratamentos com baixa densidade de plantio houve aumento da GPP por metro quadrado de folha, mas não houve maior alocação de carbono para formação de madeira.

REFERÊNCIAS

- ADUAN, R.E.; VILELA, M.F.; KLINK, C.A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro**. Planaltina, 2003. 30 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 105).
- ALTEYRAC, J. Variation of microfibril angle of *Pinus radiata* d. Don in relation to tree spacing in chilean plantations. **Revista árvore**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 751-758, 2015.
- ALTHOFF, T.D. **Calibração do Century para simulação da ciclagem de carbono em uma área de caatinga preservada no sertão paraibano**. 2010. 75 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.
- ANDRADE, A. **Sequenciamento, identificação e análise de proteínas do caule de mudas de *Eucalyptus grandis***. 2006. 121 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- ANDRADE, A.G.; COSTA, G.S. FARIA, S.M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.777-785, 2000.
- ANDRADE, G. Interacciones microbianas en la rizosfera. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas: Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, p. 551-575, 1999.
- AREVALO, L.A.; ALEGRE, J.C.; MONTOYA VILCAHUAMAN, L.J. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Colombo, PR. 2002. 40 p.
- ASSIS, R.L.; FERREIRA, M.M.; MORAIS, E.J. Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 151-156, 1999.
- BALDOCCHI, D. D. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. **Global Change Biology**, Oxford, v. 9, n. 4, p. 479-492, 2003.
- BALLONI, E.A.; SIMÕES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 1-16, 1980.

BARFORD, C.C.; WOFSY, S.C.; GOULDEN, M.L.; MUNGER, J.W.; HAMMONDPYLE, E.; URBANSKI, S.P.; HUTYRA, L.; SALESKA, S.R.; FITZJARRALD, D.; MOORE, K. Factors controlling long- and short-term sequestration of atmospheric CO₂ in a mid-latitude forest, **Science**, Washington, v. 294, p. 1688-1691, 2001.

BARICHELO, L.R.; SCHUMACHER, M.V.; VOGEL, H.L.M. Quantificação da biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. Na região sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 129-135, 2005.

BARROS FILHO, N.F. **Discriminação isotópica do ¹³C e nutrição com cálcio e boro em clones de eucalipto submetidos ao déficit hídrico**. 2014. 59 p. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal De Viçosa, Viçosa, 2014.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilidade**. 2000. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

BERTOLINO, M. L. A questão ambiental: florestas e biodiversidade. In: I SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO, 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007. p. 245-252.

BINKLEY, D.; STAPE, J.L.; RYAN, M.G.; BARNARD, H. Age- related decline in forest ecosystem growth: an individual- tree, stand- structure hypothesis. **Ecosystems**, New York, v.5, p.58- 67, 2002.

BINKLEY, D.; STAPE, J.L.; TAKAHASHI, E.; RYAN, M. Tree-girdling to separate root and heterotrophic respiration in two *Eucalyptus* stands in Brazil. **Oecologia**, Berlin, v. 148, n. 3, p. 447-454, 2006.

BOARETTO, L.F. **Identificação de proteínas diferencialmente expressas e avaliação da composição química da parede celular de folha de clones de *Eucalyptus grandis* em resposta à ferrugem (*Puccinia psidii* Winter)**. 2008. 86 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

BOWMAN, W.P.; TURNBULL, M.H.; TISSUE, D.T.; WHITEHEAD, D.; GRIFFIN, K.L. Sapwood temperature gradients between lower stems and the crown do not influence estimates of stand-level stem CO₂ efflux. **Tree Physiology**, Oxford, v.28, p. 1553–1559, 2008.

BOWN, H.E.; WATT, M.S.; CLINTON, P.W.; MASON, E.G. Soil C/N influences the carbon flux and partitioning in control and fertilized mini-plots of *Pinus radiata* in New Zealand. **Ciencia e investigación agraria**, Santiago, v.38, n.2, p. 277-289, 2011.

BRAGA, J.L.P. **Estabilidade fenotípica de clone de *Eucalyptus urograndis*, na fazenda Bom Jardim - Aparecida - SP.** 2008. 27 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** Brasília: 2010. 520 p.

_____. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Florestas plantadas: bases para a política nacional.** Número 1. Brasília, 2014. 8 p.

_____. Portal. **Entenda como funciona o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meioambiente/2014/05/entendacomo-funciona-o-mecanismo-de-desenvolvimento-limpo-mdl>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registro Nacional de Cultivares.** Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/detalhe_cultivar.php?codsr=27025>. Acesso em: 1 mar. 2016.

BRAY, J.R.; GHORAN, E. Litter production in forest of the world. **Advances in Ecological Research**, London, v.2, n.1, p.101-157, 1964.

BROOKER, M.I.H. A new classification of genus *Eucalyptus* L'Her. (Myrtaceae). **Australian System Botany**, Sidney, v. 13, p. 79-148, 2000.

BROWN, S. Present and potential roles of forests in the global climate change debate. **Unasylva**. Roma: FAO, v. 185, n. 47, p. 3 – 9, 1996.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer.** Rome: FAO, 1997. 55 p. (Forestry Paper, 134).

BURBA, G. **Eddy Covariance Method for Scientific, Industrial, Agricultural, and Regulatory Applications: A Field Book on Measuring Ecosystem Gas Exchange and Areal Emission Rates.** 1 ed. Lincoln: LI-COR Biosciences, 2013. 331 p.

CAIRNS, M.A.; BROWN, S.; HELMER, E.H.; BAUMGARDNER, G.A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, Berlin, v. 111, p. 1-11, 1997.

CALDEIRA, M.V.W.; WATZLAWICK, L.F.; VIERA, M.; BALBINOT, R.; CASTRO, K.C. Biomassa e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 1027-1034, 2015.

CAMPOE, O.C. **Ecologia da produção e da competição intra-específica do *Eucalyptus grandis* ao longo de um gradiente de produtividade no Estado de São Paulo**. 2012. 124 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

CAMPOE, O.C.; STAPE, J.L.; LACLAU, J.-P.; MARSDEN, C.; NOUVELLON, Y. Stand-level patterns of carbon fluxes and partitioning in a *Eucalyptus grandis* plantation across a gradient of productivity, in Sao Paulo State, Brazil. **Tree Physiology**, Oxford, Special Issue, v. 32, n. 6, p. 696-706, 2012.

CARDOSO, J.A. Bracatinga. **Brasil Madeira**, Curitiba, v. 3, n. 33, p. 1-10, 1989.

CARDOSO JÚNIOR, A.A.; TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S.R.; MENDES, L.M. Deformação residual longitudinal em diferentes espaçamentos e idades em clone de híbrido de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 218-224, 2005.

CARTER, M.R. Microbial biomass as an index for tillage induced changes in soil biological properties. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 7, p. 29-40, 1986.

CHAMBERS, J. Q.; JEFFREY, Q.; TRIBUZY, E.S.; TOLEDO, L.C.; CRISPIM, B.F.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; ARAÚJO, A.C.; KRUIJT, B.; NOBRE, A.D.; TRUMBORE, S.E. Respiration from a tropical forest ecosystem: partitioning of sources and low carbon use efficiency. **Ecological Applications**, Tempe, v. 14, n. 4, p. 72-88, 2004.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M.; CHAMBERS, J.; EAMUS, D.; FOLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J.P.; NELSON, B.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, Berlin, v.145, n.1, p.87-99, 2005.

CHEN, Z.; YU, G.; GE, J.; SUN, X.; HIRANO, T.; SAIGUSA, N.; WANG, Q.; ZHU, X.; ZHANG, Y.; ZHANG, J.; YAN, J.; WANG, H.; ZHAO, L.; WANG, Y.; SHI, P.; ZHAO, F. Temperature and precipitation control of the spatial variation of terrestrial ecosystem carbon exchange in the Asian region. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 182-183, p. 266-276, 2013.

CIPRIANI, H.N.; VIEIRA, A.H.; GODINHO, V.P.C. **Crescimento inicial de clones de eucalipto em Vilhena, RO**. Porto Velho, 2013. 3 p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 388).

CORDÓVA, K.S.F. **Estudo das respostas ecofisiológicas no crescimento de clones *Eucalyptus spp.* submetidos a variações de níveis de restrições hídricas em distintas condições edáficas**. 2016. 232 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

COUTO, L.; BRANDI, R.M.; CONDÉ, A.R.; PAULA NETO, F. **Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais.** 1977. 54 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1977.

CROPPER, W.P.; GHOLZ, H.L. Evaluating potential response mechanisms of a forest stand to fertilization and night temperature: A case study using *Pinus Elliottii*. **Ecological Bulletins**, Copenhagen, v. 43, p. 154-60, 1994.

DAVIDSON, E.A.; SAVAGE, K.; VERCHOT, L.V.; NAVARRO, R. Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 113, p. 21-37, 2002.

DEC, J.; HAIDER, K.; BOLLAG, J. Release of substituents from phenolic compounds during oxidative coupling reactions. **Chemosphere**, Oxford, v. 52, p. 549-556. 2003.

DELIBERALI, I. **Captura e alocação de carbono em *Pinus taeda* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* sob manejos hídricos e nutricionais distintos.** 2016. 108 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

DELUCIA, E.H.; DRAKE, J.E.; THOMAS, R.B.; GONZALEZ-MELER, M. Forest carbon use efficiency: is respiration a constant fraction of gross primary production? **Global Change Biology**, Oxford, v. 13, p. 1157-1167, 2007.

DEXHEIMER, L.; LINDAU, L.A.; NODARI, C.; ALBANO, J.F. A pegada ecológica dos incidentes rodoviários. In: XXVI CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA A ENSINO EM TRANSPORTES, 2011, Joinville. **Anais...** Joinville: Anpet, 2011. p. 892-904.

DIAS-FILHO, M.B. **A fotossíntese e o aquecimento global.** Belém, 2006. 24 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 234).

DOVEY, S.B.; TOIT, B. Calibration of LAI-2000 canopy analyzer with leaf area index in a young eucalypt stand. **Trees**, Berlin, v. 20, p. 273-277, 2006.

EKBLAD, A.; HOGBERG, P. Natural abundance of ^{13}C in CO_2 respired from forest soils reveals speed of link between photosynthesis and root respiration. **Oecologia**, Berlin, v. 127, n.3, p.305–308. 2001.

EKBLAD, A.; BOSTRÖM, B.; HOLM, A.; COMSTEDT, D. Forest soil respiration rate and $\delta^{13}\text{C}$ is regulated by recent above ground weather conditions. **Oecologia**, Berlin, v.143, n. 1, p.136-142, 2005.

EMBRAPA. **Eucalipto: espaçamento.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/eucalipto/arvore/CONTAG01_49_2572006132315.html>. Acesso em: 4 fev. 2017.

EPRON, D.; LE DANTEC, V.; DUFRENE, E.; GRANIER, A. Seasonal dynamics of soil carbon dioxide efflux and simulated rhizosphere respiration in a beech forest. **Tree physiology**, Oxford, v.21, n. 2-3, p.145-152, 2001.

EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; ROUPSARD, O.; MOUVONDY, W.; MABIALA, A.; SAINT-ANDRÉ, L.; JOFFRE, R.; JOURDAN, C.; BONNEFOND, J.M.; BERBIGIER, P.; HAMEL, O. Spatial and temporal variations of soil respiration in a eucalyptus plantation in congo. **Forest Ecology and Management**, Dordrecht, v. 202, p.149-160, 2004.

EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; DELEPORTE, P.; IFO, S.; KAZOTTI, G.; M' BOU, A.T.; MOUVONDY, W.; ANDRE, L.S.; ROUPSARD, O.; JOURDAN, C.; HAMEL, O. Soil carbon balance in a clonal eucalyptus plantation in congo: Effects of logging on carbon inputs and soil CO₂ efflux. **Global Change Biology**, Oxford, v.12, p.1021-1031, 2006.

EPRON, D.; LACLAU, J.P.; ALMEIDA, J.C.R.; GONÇALVES, J.L.M.; PONTON, S.; SETTE JR, C.R.; DELGADO-ROJAS, J.S.; BOUILLET, J.P.; NOUVELLON, Y. Do changes in carbon allocation account for the growth response to potassium and sodium applications in tropical *Eucalyptus plantations*?, **Tree Physiology**, Oxford, v. 32, p. 667-679, 2012.

EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; MARESCHAL, L.; MOREIRA, R.M.; KOUTIKA, L. S.; GENESTE, B.; DELGADO-ROJAS, J.S.; LACLAU, J.P.; SOLA, G.; GONÇALVES, J.L.D.M.; BOUILLET, J.P. Partitioning of net primary production in *Eucalyptus* and *Acacia* stands and in mixed-species plantations: Two case-studies in contrasting tropical environments. **Forest Ecology and Management**, Dordrecht, v. 301, p. 102-111, 2013.

FAHEY, R.T.; STUART-HAËNTJENS, E.J.; GOUGH, C.M.; DE LA CRUZ, A.; STOCKTON, E.; VOGEL, C.S.; CURTIS, P.S. Evaluating forest subcanopy response to moderate severity disturbance and contribution to ecosystem-level productivity and resilience. **Forest Ecology and Management**, Dordrecht, v. 376, n. 15, p. 135-147, 2016.

FAO. **Global Forest Resources Assessment. How are the world's forests changing?** Rome, 2015. 56 p.

_____. **A desflorestação diminui no mundo devido a uma melhor gestão das florestas.** Disponível em: <<http://www.fao.org/news/story/pt/item/327830/icode/>>. Acesso em: 3 fev. 2016.

FERREIRA, D.H.A.A.; LELES, P.S.S.; MACHADO, E.C.; ABREU, A.H.M.; ABILIO, F.M. Crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em diferentes espaçamentos. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 3, p. 431-440, 2014.

FRIEND, A.D.; ARNETH, A.; KIANG, N.Y.; LOMAS, M.; OGÉE, J.; RÖDENBECK, C.; RUNNING, S.W.; SANTAREN, J.; SITCH, S.; VIOVY, N.; WOODWARD, I.F.; ZAEHLE, S. Fluxnet and modelling the global carbon cycle. **Global Change Biology**, Oxford, v. 13, n. 3, p. 610-633, 2007.

FORRESTER, D.I.; BAUHUS, J.; COWIE, A.L. Carbon allocation in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Dordrecht, v. 233, n. 2–3, p. 275–284, 2006.

GARLIPP, R.; FOELKEL, C. O papel das florestas plantadas para atendimento das demandas futuras da sociedade. In: XIII CONGRESSO FLORESTAL MUNDIAL, 2009, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: FAO, 2009. p. 1-18.

GATTO, A.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.S.; IVO, R.; LEITE, H.G.; VILLANI, E.C.A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n.4, p. 895-905, 2001.

GIARDINA, C.P.; RYAN, M.G. Total belowground carbon allocation in a fast *Eucalyptus* plantation estimated using a carbon approach. **Ecosystems**, Verona, v. 5, p. 1-38, 2002.

GIARDINA, C.P.; RYAN, M.G.; BINKLEY, D.; FOWNES, J.H. Primary production and carbon allocation in relation to nutrient supply in a tropical experimental forest. **Global Change Biology**, Oxford, v. 9, n. 10, p. 1438-1450, 2003.

GIARDINA, C.P.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G.; FOWNES, J.H.; SENOCK, R.S. Belowground carbon cycling in a humid tropical forest decreases with fertilization. **Oecologia**, Berlin, v.139, p. 545–550, 2004.

GONÇALVES, J.L.M.; ALVARES, C.A.; GONÇALVES, T.D. MOREIRA, R.M. MENDES, J.C.T. GAVA, J.L. Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*, com uso de sistema de informação geográfica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 187-201, 2012.

GONÇALVES, T.D. **Mapeamento de solos e de produtividade em plantações de *Eucalyptus grandis* na Estação Experimental de Itatinga, ESALQ, com uso de geoprocessamento.** 2003. 47 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GONZÁLEZ, E.R. **Transformação genética de *Eucalyptus grandis* e do híbrido *E.grandis* x *E.urophylla* via *Agrobacterium*.** 2002. 93 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

GOULART, M.; HASELEIN, C.R.; HOPPE, J.M.; FARIAS, J.A.; PAULESKI, D.T. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167-175, 2003.

GOULDEN, M.L.; MCMILLAN, A.; WINSTON, G.; ROCHA, A.; MANIES, K.; HARDEN, J.W.; BOND-LAMBERTY, B. Patterns of NPP, GPP, Respiration and NEP During Boreal Forest Succession. **Global Change Biology**, Oxford, v. 17, n. 2, p. 855-871, 2010.

GOWER, S.T. KRANKINA, O.; OLSON, R.J.; APPS, M.; LINDER, S.; WANG, C. Net primary production and carbon allocation patterns of boreal forest ecosystems. **Ecological Applications**, Tempe, v. 11, n. 5, p. 1395-1411, 2001.

HAIRIAH, K.; DEWI, S.; AGUS, F.; VELARDE, S.; EKADINATA, A.; RAHAYU, S.; VAN NOORDWIJK, M. **Measuring Carbon Stocks Across Land Use Systems: A Manual**. Bogor, 2010. 155 p.

HENSKENS, F.L.; BATTAGLIA, M.; CHERRY, M.L.; BEADLE, C.L. Physiological basis of spacing effects on tree growth and form in *Eucalyptus globulus*. **Trees**, Berlin, v.15, p.365-377, 2001.

HUNZIKER, M. **A study on above-and belowground biomass and carbon stocks as well as sequestration of mountain birch (*Betula pubescens* Ehrh.) along a chronosequence in southern Iceland**. 2011. 70 p. Thesis (Master in Physical Geography and Environmental Change) – University of Basel, Base, 2011.

IBÁ. **Relatório Ibá 2014**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2014>. Acesso em: 9 dez. 2015.

_____. **Relatório Ibá 2015**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2015>. Acesso em: 9 dez. 2015.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura 2012**. 2013. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=45>. Acesso em: 19 mai. 2015.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland: 2014, 151 p.

IPEF. **ArcelorMittal BioEnergia Ltda - Produção de madeira em região de déficit hídrico**. 2014. Disponível em: <http://www.ipef.br/eventos/2009/melhoramento5/02_ArcelorMittal_BioEnergia.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2016.

KUZYAKOV, Y.; GAVRICHKOVA, O. Review: Time lag between photosynthesis and carbon dioxide efflux from soil: A review of mechanisms and controls. **Global Change Biology**, v.15, n.12, p. 3386-3406, 2010.

LACERDA, J.S.; COUTO, H.T.Z.; HIROTA, M.M. PASISHNYK, N.; POLIZEL, J.L. **Estimativa da biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas**. Piracicaba: METRVM/ESALQ, 2009. 23 p.

LACLAU, J.P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J.L.M.; MAQUERE, V.; KRUSCHE, A.V.; M'BOU, A.T.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J.; PICCOLO, M.C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1771-1785, 2010.

LADEIRA, B.; REIS, G.; REIS, M.; BARROS, N. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n. 1, p. 69-78, 2001.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, p. 1623-1627, 2004.

LANDSBERG, J.J.; SANDS, P.J. **Physiological ecology of forest production: principles, processes, and models**. London: Academic Press, 2011. 331 p.

LANG, A.R.G; MCMURTRIE, R.E. Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun's beam. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.58, p.79-92, 1992.

LELES, P.S.S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E.J. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

LELES, P.S.S.; OLIVEIRA NETO, S.N.; ALONSO, J.M. Restauração florestal em diferentes espaçamentos. In: Leles PSSL, Oliveira Neto SN, editores. **Recomposição Florestal da Bacia do Rio Guandu**. Seropédica: Editora Rural, 2013.

LELES, P.S.S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E.J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 77-87, 2001.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D.F. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson, J., Illius, A.W. (E.E.). The ecology and management of grazing systems. CAB International. Oxon. pp.3-36.

LIMA, R.; INOUE, M.T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAUJO, A.J.; MACHADO, S.A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 2, p. 223-230, 2013.

LIRA, A.C.S. **Comparação entre um povoamento de eucalipto sob diferentes práticas de manejo e vegetação natural de cerradão, através da respiração, infiltração de água e mesofauna do solo**. 1999. 70 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1999.

LITTON, C.M.; RAICH, J.W.; RYAN, M.G. Carbon allocation in forest ecosystems. **Global Change Biology**, Oxford, v. 13, p. 2089-2109, 2007.

LITTON, C.M.; GIARDINA, C.P. Below-ground carbon flux and partitioning: global patterns and response to temperature. **Functional Ecology**, Oxford, v.22, p.941–954, 2008.

LIU, X.; EKOUNGOULOU, R.; LOUMETO, J.J.; IFO, S.A.; BOCKO, Y.E.; KOULA, F.E. Evaluation of carbon stocks in above- and below-ground biomass in Central Africa: case study of Lesio-louna tropical rainforest of Congo. **Biogeosciences**, Hoboken, v. 11, p. 10703-10735, 2015.

LONDERO, E.K.; SCHUMACHER, M.V.; SZYMCAK, D.A.; ARAUJO, E.F. Calibration of model 3-pg for *Eucalyptus saligna* in the region of Guaíba, Rio Grande do Sul State. **Ciencia Florestal**, Santa Maria, v.25, n.2, p. 293-305, 2015.

LONGUE JÚNIOR, D.; COLODETTE, J.L. Importância e versatilidade da madeira de eucalipto para a indústria de base florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 429-438, 2013.

LUGO, A.E.; BROWN, S. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. **Forest Ecology and Management**, Dordrecht, v. 54, p. 239-255, 1992.

MACHADO, F.C. **Crescimento inicial de um clone de *Eucalyptus grandis* em diferentes arranjos de plantio no sistema de curta rotação**. 2014. 55 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2014.

MACHADO, P.L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MADEIRA, M.V.; FABIÃO, A.; PEREIRA, J.S.; ARAÚJO, M.C.; RIBEIRO, C. Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill, plantations induced by different water and nutrient availability. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.171, p.75-85, 2002.

MAIER, C.A.; ALBAUGH, T.J.; ALLEN, H. L.; DOUGHERTY, P.M. Respiratory carbon use and carbon storage in mid-rotation loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations: the effect of site resources on the stand carbon balance. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, p. 1335-1350, 2004.

MALHI, Y. ARAGÃO, L.E.O.C.; METCALFE, D.B.; PAIVA, R.; QUESADA, C.A.; ALMEIDA, S.; ANDERSON, L.; BRANDO, P.; CHAMBERS, J.Q.; COSTA, A.C.L.; HUTYRA, L.R.; OLIVEIRA, P.; PATIÑO, S.; PYLE, E.H.; ROBERTSON, A.L.; TEIXEIRA, L.M. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. **Global Change Biology**, Oxford, v. 15, n. 5, p. 1255-1274, 2009.

MALHI, Y.; MEIR, P.; BROWN, S. Forests, Carbon and Global Climate. **Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, London, v. 360, n. 1797, p. 1567-1591, 2002.

MAPA. **Plano de agricultura de baixa emissão de carbono do Estado do Tocantins – Plano ABC-TO**. Palmas, 2012. 35 p.

MAQUÈRE, V.; LACLAU, J.P.; BERNOUX, M.; SAINT-ANDRÉ, L.; GONÇALVES, J.L.M.; CERRI, C.C.; PICCOLO, M.C.; RANGER, J. Influence of land use (savanna, pasture, Eucalyptus plantations) on soil carbon and nitrogen stocks in Brazil. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 59, p. 863–877, 2008.

MARCOLINO L. **Crescimento de clones de eucalipto em quatro espaçamentos de plantio no interior de São Paulo**. 2010. 36 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

MARTINS, R. J.; SEIXAS, F.; STAPE, J. L. Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba v. 37, n. 83, p. 253-263, 2009.

MATIAS, S.V.B.G. **Desempenho silvicultural e qualidade da madeira de clones de *eucalyptus* em sistemas de integração lavoura pecuária floresta**. 2016. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

MATTHEWS, H.D.; GRAHAM, T.L.; KEVERIAN, S.; LAMONTAGNE, C.; SETO, D.; SMITH, T.J. National contributions to observed global warming. **Environmental Research Letters**, Califórnia, v. 9, p. 1-9, 2014.

MATTOS, E.M. **Caracterização da sazonalidade do crescimento do lenho, da copa e da eficiência do uso da luz em clones do gênero *Eucalyptus***. 2015. 130 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, Essex, v. 83, p. 37-46, 2002.

MCNAUGHTON, S.J.; OESTERHELD, M.; FRANK, D.A.; WILLIAMS, K.J. Ecosystem-level patterns of primary productivity and herbivory in terrestrial habitats. **Nature**, London, v. 341, n. 6238, p. 142-144, 1989.

MOMENTEL, L.T. **Crescimento e eficiência no uso da água por clones de eucalipto sob doses de potássio**. 2016. 222 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2016.

MORAIS, V.M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto sob diferentes espaçamentos na região noroeste do estado de Minas Gerais**. 2006. 63 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

MOURA, V.P.G. **O germoplasma de *Eucalyptus urrophylla* S. T. Blake no Brasil**. Brasília, 2004. 12 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Comunicado técnico, 111).

MUIANGA, M.R.D. **Relação entre crescimento e respostas ecofisiológicas em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* submetidos à diferentes doses de adubação potássica.** 2013. 70 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

MÜLLER, M.D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Etamarandiba, MG.** 2005, 94 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

NOUVELLON, Y.; EPRON, D.; KINANA, A.; HAMEL, O.; MABIALA, A.; 'ANNUNZIO, R.; DELEPORTE, R.; SAINT-ANDRÉ, L.; MARSDEN, C.; ROUPSARD, O.; BOUILLET, J.-P.; LACLAU, J.-P. Soil CO₂ effluxes, soil carbon balance, and early tree growth following savannah afforestation in Congo: Comparison of two site preparation treatments. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p.1926-1936, 2008.

NOUVELLON, Y.; LACLAU, J.-P.; EPRON, D.; LE MAIRE, G.; BONNEFOND, J.-M.; GONÇALVES, L.; BOUILLET, J.-M. Production and carbon allocation in monocultures and mixed-species plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil, **Tree Physiology**, Oxford, v. 32, p. 680-695, 2012.

OHSE, S.; DERNER, R.B.; OZÓRIO, R.A.; CUNHA, P.C.R.; LAMARCA, C.P.; SANTOS, M.E.; MENDES, L.B.B. Revisão: Sequestro de Carbono Realizado por Microalgas e Florestas e a Capacidade de Reprodução de Lipídios Pelas Microalgas. **Insula**, Florianópolis, v. 36, n. 26, p. 39-74. 2007.

OLIVEIRA NETO, S.N.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; NEVES, J.C.L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p.15-23, 2003.

OTTO, M.S.G.; VERGANI, A.R.; GONÇALVES, A.N.; VRECHI, A.; SILVA, S.R.; STAPE, J.L. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n.3, p. 431-439, 2013.

PACHECO, J.M. **Influência do espaçamento no crescimento de *Pinus taeda* L. na região Centro-Sul do Paraná.** 2013. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2013.

PARKIN, T.B.; DORAN, J.W. & FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W. & JONES, A., eds. **Methods for assessing soil quality.** Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.231-245.

PEICHL, M.; BRODEUR, J.J. MIROSLACA k.; ARAIN, M. A. Biometric and eddy-covariance based estimates of carbon fluxes in an age-sequence of temperate pine forests **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.150, p.952-965, 2010.

PIMENTEL, C. Metabolismo de carbono de plantas cultivadas e o aumento de CO₂ e de O₃ atmosférico: situação e previsões. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.1-12, 2011.

PINTO, S.I.C.; FURTINI NETO, A.E.; NEVES, J.C.L.; FRANQUIN, V. MORETTI, B.S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 523-533, 2011.

POKORNY, R.A.V.B.C.V.G.Z.; STOJNIC, S. Leaf area index of norway spruce stand in relation to age and defoliation. **Beskydy**, Brno, v.5, n. 2, p.173-180, 2012.

POORTER, L.; BONGERS, F. **Ecology of tropical forests**. Wageningen, 223 p. 1993.

PORTAL FLORESTAL. **Dados técnicos sobre clones comerciais**. Disponível em: <<http://www.portalflorestal.com.br/dados-tecnicos-sobre-clones-comerciais/>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

PRENTICE, I.C.; FARQUHAR, G.D.; FASHAM, M.J.R.; GOULDEN, M.L.; HEIMANN, M.; JARAMILLO, V.J.; KHESHGI, H.S.; LE QUÉRÉ, C.; SCHOLLES, R.J.; WALLACE, D.W.R. 2001. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In: J.T. HOUGHTON, et al. (eds). **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001, p. 183 - 237.

QI, Y.; XU, M. Separating the effects of moisture and temperature on soil CO₂ efflux in a coniferous forest in the sierra nevada mountains. **Plant and Soil**, The Hague, v. 237, p.15-23, 2001.

RAICH, J.W. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 9, n. 1, p. 23-36, 1995.

REIS, C.A.F.; SANTOS, P.E.T.; PALUDZYSYN FILHO, E. Avaliação de clones de eucalipto em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 80, p. 263-269, 2014.

RETSLAFF, F.A. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A.N.; BERNETT, L.G.; FIGURA, M.A. Curvas de sítio e relações hipsométricas para *Eucalyptus grandis* na região dos Campos Gerais, Paraná. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 2, p. 219-225, 2015.

RIBEIRO, S.C.; SOARES, C.P.B.; FEHRMANN, L.; JACOVINE, L.A.G.; VON GADOW, K. Aboveground and belowground biomass and carbon estimates for clonal eucalyptus trees in southeast brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.2, p. 353-363, 2015.

ROMQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas, 2010. 30 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

ROSADO, A.M.; ROSADO, T.B.; ALVES, A.A.; LAVIOLA, B.G.; BHERING, L.L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p. 964-971, 2012.

RUNNING, S.W.; BALDOCCHI, D.D.; TURNER, D.P.; GOWER, S.T.; BAKWIN, P.S.; HIBBARD, K.A. A global terrestrial monitoring network integrating tower fluxes, flask sampling, ecosystem modelling and EOS satellite data, **Remote Sensing of Environment**, New York, v.70, p.108-127, 1999.

RYAN, M.G.; HUBBARD, R. M.; PONGRACIC, S.; RAISON, J.; MCMURTRIE, R.E. Foliage, fine-root, woody-tissue and stand respiration in *Pinus radiata*. **Tree Physiology**, Oxford, v. 16, n. 3, p. 333-343, 1996.

RYAN, M.G.; LAVIGNE M.B.; GOWER, S.T. Annual carbon cost of autotrophic respiration in boreal forest ecosystems in relation to species and climate. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Hoboken v. 102, n. 24, p. 28871-28883, 1997.

RYAN, M.G.; BINKLEY, D.; FOWNES, J.H.; GIARDINA, C.P.; SENOCK, R.S. An experimental test of the causes of forest growth decline with stand age. **Ecological Monographs**, v. 74, p.393-414, 2004.

RYAN, M.G.; STAPE, J.L.; BINKLEY, D. Factors controlling Eucalyptus productivity: how water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, Dordrecht, v. 259, p. 1695–1703, 2010.

SALIMON, S.I. **Respiração do solo sob florestas e pastagens na Amazônia Sul-Ocidental, Acre**. 2003. 97 p. Tese (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Piracicaba, 2003.

SAMPAIO, T.F. Adubação potássica e desenvolvimento de clones de Eucalipto cultivados em Luís Eduardo Magalhães-BA. 2014. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2014.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 1.ed. Porto Alegre: Genesis Edições, 1999. 654 p.

SANTOS, G.A.; RESENDE, M.V.D.; SILVA, L.D.; HIGA, A.; ASSIS, T.F. Interação genótipos x ambientes para produtividade de clones de *Eucalyptus l'her.* no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.1, p. 81-91, 2015.

SANTOS, J.D.; NASCIMENTO, A.F. O sofrimento no trabalho e a síndrome de burnout nos trabalhadores das fazendas de eucalipto na região de alagoinhas-bahia. **Cairu em Revista**, Salvador, v. 4, n. 6, p. 95-106, 2015.

SANTOS, M.D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*.** 2011. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Julho de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINO, T.R.; ZILLOTTO, M.A.B.; GOMES, F.S. (Eds.). **As florestas e o carbono.** Curitiba: FUPEF / Imprensa da UFPR, 2002. p. 119-140.

SANQUETTA, C.R; BALBINOT, R. Metodologia para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (Eds.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisa.** Curitiba: Instituto Ecoplan, 2004. p. 77-94.

SCHIMEL, D.; MANNING, M. **IPCC meeting on current scientific understanding of the processes affecting terrestrial carbon stocks and human influences upon them.** Geneva: WMO – UNEP, 2003. 34 p. (Expert Meeting Report).

SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da Biomassa e do conteúdo de Nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p.45-53, 2001.

_____. Quantificação de biomassa em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. com diferentes idades. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v.1, n.4, p. 381-391, 2004.

SCHUMACHER, M.V.; BRUNO, E.J.; HERNANDES, J.I.; KÖNIG, F.G. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.1, p.29-37, 2004.

SCHUMACHER, M.V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F.N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus spp.* de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 17-22, 2011.

SHIMOYAMA, V.R.S.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, p. 1-22, 1989.

SIEGENTHALER, U.; STOCKER, T.F.; MONNIN, E.; LUTHI, D.; SCHWANDER, J.; STAUFFER, B.; RAYNAUD, D.; BARNOLA, J.M.; FISCHER, H.; MASSON-DELMOTTE, V.; JOUZEL, J. Stable carbon cycle-climate relationship during the late pleistocene. **Science**, Washington, v. 310, p. 1313-1317, 2005.

SILVA, C.R. **Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo.** 2005. 51 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, J.F. **Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e sua interação com espaçamentos.** 1990. 126 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

SILVA, S.V.K. **Produção de biomassa e quantificação de nutrientes em *Eucalyptus benthami* maiden et cambage sob diferentes densidades de plantio.** 2015. 89 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2015.

SILVEIRA, E.R.; REINER, D.A.; SMANIOTTO, J.R. Efeito do espaçamento de plantio na produção de madeira e serapilheira de *Eucalyptus dunni* na região sudoeste do Paraná. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, Curitiba, p. 1-9, 2014.

SMETHURST, P. BAILLIEA, C.; CHERRYA, M.; HOLZA, G. Fertilizer effects on LAI of four *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology and Management**, Diboll, v. 176, p. 531-542, 2003.

SMITH, A. **The climate bonus: co-benefits of climate policy.** 1 ed. Abington: Routledge, 2013. 448 p.

SMITH, P. How long before a change in soil organic carbon can be detected? **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, p. 1878-1883, 2004.

SOUZA, M.J.H.; RAMOS, M.M.; COSTA, L.C.; LHAMAS, A.J.M.; SIQUEIRA, D.L. Déficit hídrico e radiação interceptada e refletida pela limeira ácida 'tahiti'. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz de Iguaçu, **Anais...** Foz de Iguaçu: CBMET, 2002. p. 22-34.

SOTTA, E.D.; MEIR, P.; MALHI, Y.; NOBRE, A.D.; HODNETT, M.G.; GRACE, J. Soil CO₂ efflux in a tropical forest in the Central Amazon. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, p. 601-617, 2004.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. Production and carbono allocation in a clonal *Eucalytus* plantation with water and nutrientes manipulations. **Forest Ecology and Management**, Diboll, v. 255, p. 920-930, 2008.

STENSETH, N.C.; MYSTERUD, A.; OTTERSEN, G.; HURRELL, J.W.; CHAN, K.S.; LIMA, M. Ecological Effects of Climate Fluctuations. **Science's Compass Review**, Washington, v. 297, p. 1292-1296, 2002.

TEIXEIRA, L.M. **Influência da intensidade de exploração seletiva de madeira no crescimento e respiração do tecido lenhoso das árvores em uma floresta tropical de terra-firme na região de Manaus.** 2003. 59 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – INPA/UFAM, Manaus, 2003.

TCHEBAKOVA, N.; VYGODSKAYA, N.; ARNETH, A.; MARCHESINI, L.; KURBATOVA, Y.U.; PARFENOVA, E.; VALENTINI, R.; VERKHOVETS, S.; VAGANOV, E.; SCHULZE, E.-D. Energy and mass exchange and the productivity of main Siberian ecosystems (from Eddy covariance measurements). 2. carbon exchange and productivity. **Biology Bulletin**, Moscow, v. 42, n. 6, p. 579-588, 2015.

TOMÉ, M.; RIBEIRO, F.; FAIAS, S. Relação hipsométrica geral para *Eucalyptus globulus* Labill. em Portugal. **Silva Lusitana**, Lisboa, v.15, n.1, p.41-55, 2007.

TRUGILHO, P.F.; ARANTES, M.D.C.; PÁDUA, F.A.; ALMADO, R.P.; ANA, E.R.B. Estimativa de carbono na madeira de um clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 33-40, 2010.

TURNER, D. P.; OLLINGER, S. V.; KIMBALL, J. S. Integrating Remote Sensing and Ecosystem Process Models for Landscape- to Regional-Scale Analysis of the Carbon Cycle. **BioScience**, Washington, v. 54, n. 6, p. 573-584, 2004.

UNFCCC. **Adoption of the Paris Agreement**. Paris, 2015. 31 p.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 35-42. 2000.

VERSINI, A.; NOUVELLON, Y.; LACLAU, J.-P.; KINANA, A.; MARESCHAL, L.; ZELLER, B.; RANGER, J.; EPRON, D. The manipulation of organic residues affects tree growth and heterotrophic CO₂ efflux in a tropical eucalyptus plantation. **Forest Ecology and Management**, Dordrecht, v. 301, p. 79-88, 2013.

VITAL, M.H.F. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-276, 2007.

XAVIER, A.C.; SOARES, J.V.; ALMEIDA, A.C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n.4, 2002.

WANG, M.; GUAN, D.X.; HAN, S.J.; WU, J.L. Comparison of eddy covariance and chamber-based methods for measuring CO flux in a temperate mixed forest. **Tree Physiology**, Oxford, v. 30, n. 1, p. 149-163, 2010.

WANG, W.; CHEN, W.; WANG, S. Forest soil respiration and its heterotrophic and autotrophic components: Global patterns and responses to temperature and precipitation. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 42, n. 8, p. 1236–1244, 2010.

WARING, R.H.; LANDSBERG, J.J.; WILLIAMS, M. Net primary production of forests: A constant fraction of gross primary production? **Tree Physiology**, Oxford, v. 18, p. 129-134, 1997.

WINK, C. **Estoque de carbono em plantações de *Eucalyptus sp.* implantados em campo nativo**. 2009. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

WINK, C.; REINERT, D.J.; MÜLLER, I.; REICHERT, J.M.; LUCIANO, J. A idade das plantações de *Eucalyptus sp.* influenciando os estoques de carbono. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 333-343, 2013.

YAN, F.; WU, B.; WANG, Y.J. Estimating aboveground biomass in Mu Us Sandy Land using Landsat spectral derived vegetation indices over the past 30 years. **Journal of Arid Land**, Urumqi, v. 5, n. 4, p. 521–530, 2013.

ZANCHI, F.B.; ROCHA, H.R.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F.L.; DEUS, J.A.; AGUIAR, L.J.G. Medição do efluxo de CO₂ do solo: monitoramento com câmaras automáticas sobre floresta e pastagem em Rondônia. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 6., 2003, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Ed. Betania, 2003. p. 631-632.

ZANON, M.L.B.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R.; KLEIN, J.E.M.; COELHO, M.C.B. Funções paradescrever a relação altura diâmetro de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.26, n.1, p.87-90, 1996.

ZHA, T.S.; BARR, A.G.; BERNIER, P.Y.; LAVIGNE, M.B.; TROFYMOW, J.A.; AMIRO, B.D.; ARAIN, M.A.; BHATTI, J.S.; BLACK, T.A.; MARGOLIS, H.A.; MCCAUGHEY, J.H.; XING, Z.S.; VAN REES, K.C.J.; COURSOLE, C. Gross and aboveground net primary production at Canadian forest carbon flux sites. **Agricultural and forest meteorology**, Amsterdam, v. 174, p. 54-64, 2013.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of wood production**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 337p.