

Universidade Metodista de Piracicaba

Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**MODELO PARA ESTIMAR O ESTOQUE DE CARBONO
EM FLORESTAS PLANTADAS DE *PINUS* E *EUCALYPTUS*
COM ABORDAGEM NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

ELCIO MARTENS

Santa Bárbara d'Oeste (SP)

29 de Outubro de 2018

Universidade Metodista de Piracicaba

Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**MODELO PARA ESTIMAR O ESTOQUE DE CARBONO
EM FLORESTAS PLANTADAS DE *PINUS* E *EUCALYPTUS*
COM ABORDAGEM NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

ELCIO MARTENS

Orientador: Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho

Tese de Doutorado apresentada no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do título de doutor em Engenharia de Produção.

Santa Bárbara d'Oeste – SP

29 de Outubro de 2018

Ficha Catalográfica

MODELO PARA ESTIMAR O ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTAS PLANTADAS DE *PINUS* E *EUCALYPTUS* COM ABORDAGEM NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

ÉLCIO MARTENS

Tese de Doutorado defendida e aprovada, em 29 de outubro de 2018,
pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho
PPGEP – UNIMEP

Prof. Dr. André Luiz Heleno
PPGEP – UNIMEP

Prof. Dr. Fernando Celso de Campos
PPGEP – UNIMEP

Prof. Dr. José Dilcio Rocha
EXTERNO - EMBRAPA

Prof. Dr. Frederico Fonseca da Silva
EXTERNO – IFPR/UFMT

Dedico este trabalho à minha esposa, Aparecida Tioko Arai Martens e, aos filhos, Adam Arai Martens e Allan Arai Martens por compreenderem minhas ausências e mau humor e que, por acreditarem, sempre incentivaram à continuidade para o meu crescimento.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e, por nos dotar de capacidades.

À minha esposa Aparecida Tioko, pelo apoio e compreensão em minhas ausências (mesmo quando fisicamente em casa), e por todo incentivo para a conclusão de mais esta etapa. Aos filhos Adam e Allan, que de alguma forma estiveram presentes em mais esta etapa e com quem pude partilhar esta experiência, de levar a cabo cada projeto iniciado, independentemente do quão difícil e sofrido possa ser. A estes que souberam compreender meus momentos de ausência e de silêncio, meus sinceros agradecimentos.

Aos professores do PPGEP/UNIMEP, com os quais tive o privilégio de conviver durante esses quatro anos de minha vida, com os quais adquiri novos conhecimentos.

E, em especial, ao Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho, pela acolhida, dedicação, disposição e competência com que nos transmitiu seus conhecimentos; pelo incentivo e sabedoria com que nos orientou durante o curso e, principalmente, por sua amizade.

Aos amigos Professores: Dr. Frederico Fonseca da Silva, por suas especiais contribuições, companheirismo e apoio; Dr. Renato Luiz do Nascimento, Dr. Paulo Tetsuo Yamamoto, Pedro Antônio Bittencourt Pacheco, Dr. Emerson Rabello pelo companheirismo, apoio e motivação.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu tivesse êxito em mais esta etapa de minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – BRASIL.

MARTENS, E. Modelo para estimar o estoque de carbono em Florestas plantadas de *Pinus* e *Eucalyptus* com abordagem na avaliação do Ciclo de Vida. 2018, 185p. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste - SP.

RESUMO

O rápido aumento populacional tem aumentado o consumo e com isso a pressão da exploração dos recursos naturais. Desta forma destacam-se esforços e investimentos em tecnologias, realizados por diversos países no setor produtivo, com a finalidade de atender às suas demandas frente ao crescimento econômico industrial e populacional. Porém, na medida em que ocorre o desenvolvimento, estudos mostram que a exploração e uso dos recursos naturais estão próximos do limite de sua capacidade. Desta forma, é preciso buscar alternativas, para continuar suprindo à demanda crescente por matérias primas, assim como por energia. Um dos segmentos vitais para a humanidade é o setor agrícola, e dentro dele, destaca-se a área florestal, com foco na produção industrial e de energia. Além disso, as florestas naturais e as plantadas constituem de fontes reguladoras de fixação de carbono, assim como, são importantes agentes que auxiliam na mitigação das emissões e sequestro dos gases de efeito estufa - GEE, especialmente o dióxido de carbono (CO₂). No Brasil, em função da exploração das florestas naturais, o governo Federal e dos Estados, juntamente com a iniciativa privada e terceiro setor, tem feito esforços no sentido de incentivar e intensificar o uso de florestas renováveis, como fonte de matéria prima para a indústria e como insumo energético. Nesse contexto, a presente pesquisa tem por objetivo propor um modelo para estimar o estoque de carbono de florestas plantadas para fins industriais e energéticos, com abordagem na avaliação do ciclo de vida (ACV). Especificamente, nesse estudo, como fontes de coleta de dados, foram avaliadas as florestas plantadas do Estado do Paraná, compostas por espécies de *Pinus* e de *Eucalyptus*. Foi feito levantamento de dados em instituições estaduais, responsáveis pela legislação e normas relativas ao plantio, cultivo e exploração de áreas de reflorestamentos. Os cálculos do estoque de carbono, assim como de emissões e captura de CO₂ foram feitos a partir de indicadores e procedimentos teóricos disponíveis na literatura científica. A quantificação feita com relação à área plantada com *Eucalyptus* corresponde a 340.315 ha, em que é possível estocar o equivalente a 19,93 tC.ha⁻¹ a cada ciclo de 7 anos, o que corresponde a captura de 73,13x10⁶ t.CO₂. Com relação às florestas plantadas de *Pinus*, com área de 653.566 ha, as florestas estocam o equivalente a 124,29x10⁶ tC.ha⁻¹, a cada ciclo de 13 anos, que corresponde à captura de 456,15x10⁶ t.CO₂. Estes valores mostram que o plantio de florestas para fins industriais e energia, mesmo sendo uma monocultura, contribuem positivamente para o meio ambiente, por meio da mitigação de GEE.

Palavras chaves: Florestas Industriais, Biomassa Florestal, Estoque de Carbono, Gases de Efeito Estufa, Avaliação do Ciclo de Vida.

MARTENS, E. Model for estimating the carbon stocks in *Pinus* and *Eucalyptus* planted forests with approach of Life Cycle Assessment approach. 2018, 185p. Ph.D. Thesis in Production Engineering. Faculty of Engineering Architecture and Urbanism, Methodist University of Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste - SP.

ABSTRACT

The rapid increase in population has increased consumption and thus the pressure of exploitation of natural resources. In this way, efforts and investments in technologies carried out by several countries in the productive sector stand out in order to meet their demands in the face of industrial and population economic growth. However, as development occurs, studies show that the exploitation and use of natural resources are close to the limit of their capacity. In this way, it is necessary to look for alternatives, to continue supplying the growing demand for raw materials, as well as for energy. One of the vital segments for humanity is the agricultural sector, and within it stands out the forest area, with focus on industrial production and energy. In addition, natural and planted forests are a source of carbon sequestration, as well as important agents that help to mitigate emissions and sequester greenhouse gases - GHGs, especially carbon dioxide (CO₂). In Brazil, due to the exploitation of natural forests, the Federal and State governments, together with the private sector and third sector, have made efforts to encourage and intensify the use of renewable forests as a source of raw material for the industry and as an energy input. In this context, the present research aims to propose a model to estimate the carbon stock of planted forests for industrial and energy purposes, with a life cycle assessment approach (LCA). Specifically, in this study, as sources of data collection, we evaluated the planted forests of the State of Paraná, composed of species of *Pinus* and *Eucalyptus*. Data collection was done in state institutions, responsible for the legislation and norms related to the planting, cultivation and exploration of reforestation areas. Calculations of carbon stock, as well as CO₂ emissions and capture were made from the indicators and theoretical procedures available in the scientific literature. The quantification of the area planted with *Eucalyptus* corresponds to 340,315 ha, where it is possible to stock the equivalent of 19.93 tC.ha⁻¹ in each cycle of 7 years, corresponding to the capture of 73.13x10⁶ t.CO₂. In relation to the planted forests of *Pinus*, with an area of 653,566 ha, the forests store the equivalent of 124.29x10⁶ tC.ha⁻¹, with each cycle of 13 years, corresponding to the capture of 456,15x10⁶ t.CO₂. These values show that the planting of forests for industrial purposes and energy, even being a monoculture, contribute positively to the environment, through the mitigation of GHG.

Keywords: Industrial Forests, Forest Biomass, Carbon Stocks, Greenhouse Gases, Life Cycle Assessment

Lista de Siglas	I
Lista de Figuras	Erro! Indicador não definido.
Lista de Tabelas	II
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Problema da Pesquisa	10
1.2 Objetivos	10
1.3 Justificativa e Relevância	11
1.4 Estrutura do Trabalho	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Questões Climáticas	20
2.1.1 Mudanças Climáticas	23
2.1.2 O Efeito Estufa	26
2.1.3 Ciclo de Carbono	30
2.1.4 Protocolo de Kyoto	35
2.1.5 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)	38
2.1.5.1 MDL Florestal e as Reduções Certificadas de Emissões	43
2.1.5.2 Mercado de Carbono	45
2.2 Sistema de Produção Florestal	47
2.2.1 Biomassas Brasileiras	48
2.2.2 Florestas Nativas	53
2.2.3 Florestas Plantadas	57
2.2.3.1 Ciclo de Vida de Florestas Plantadas	64
2.2.4 Produtividade das Florestas Plantadas	66
2.3 Destinação das Florestas Plantadas	81
2.3.1 Estimativa de Biomassa das Florestas Plantadas	89
2.4 Modelos para Estimar o Estoque de Carbono	95
2.4.1 Volume Estimado de CO₂ Liberado Durante o Ciclo do Cultivo	100
2.4.2 Volume Estimado de CO₂ Capturado Durante o Ciclo do Cultivo	101
2.4.3 Estimativa das Emissões de CO₂ Durante o Processo de Transformação de Biomassa em Celulose	107
2.5 Síntese do Referencial Teórico	110
3. MÉTODO DA PESQUISA	113

4. RESULTADOS	117
4.1 Estimativa do Balanço de C das Florestas Industriais do Paraná – <i>Eucalyptus</i>	121
4.1.1 Estimativa do C Acumulado com Base no Volume de Biomassa Viva	124
4.1.2 Estimativa de C acumulado com base no IMAM	128
4.1.3 Estimativa de C Acumulado e de CO₂ Capturado para os Principais Produtos da Madeira de <i>Eucalyptus</i>	129
4.2 Estimativa do Balanço de C das Florestas Industriais do Paraná – <i>Pinus</i>	133
4.2.1 Estimativa de C Acumulado com Base no Volume de Biomassa Viva	135
4.2.3 Estimativa de C Acumulado com Base nos Principais Produtos da Madeira de <i>Pinus</i>	138
4.3 Estimativa do C Acumulado Total (<i>Eucalyptus</i> e <i>Pinus</i>) no Estado do Paraná	138
5 CONCLUSÃO	140
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros	144
REFERÊNCIAS	146

Lista de Siglas

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantada

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AFOLU – *Agriculture, Forestry and Other Land Use*

AGC – Aboveground carbon (carbono acima do solo)

CDM – *Clean Development Mechanism*

COP – *Conference of the Parties*

CPAS – *Component Project Activities*

DS – Desenvolvimento Sustentável

EOD – Entidades Operacionais Designadas

EPCLA – *European Platform on Life Cycle Assessment*

ERPA – *Emission Reduction Purchase Agreement*

ET – *Emissions Trade*

FAO - *Food and Agriculture Organization*

FCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*

GEE – Gases de Efeito Estufa

GWP – *Global Warming Potential*

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

JI – *Joint Venture*

MCTIC – Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

MCV - Mercado de Carbono Voluntário

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

PNMC – Plano Nacional sobre Mudanças Climáticas

PoA - *Program of Activities*

RCE – Reduções Certificadas de Emissões

SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura

SFB – Serviço Florestal Brasileiro

VCS – *Voluntary Carbon Standard*

VERs – *Voluntary Emission Reductions* ou *Verified Emission Reductions*

Lista de Figuras

Figura 1 – Cadeia Agroindustrial da Madeira	9
Figura 2 – Dados e métodos do ciclo de vida como base de ferramentas e abordagens para apoiar políticas sustentáveis de produção e consumo.....	13
Figura 3 - Quadro Resumo da Estrutura do Trabalho	18
Figura 4 - Ciclo de Carbono.....	33
Figura 5 - Ciclo de Projeto do MDL	42
Figura 6 - Biomás Brasileiros.....	49
Figura 7 - Ciclo de Vida de um Produto.....	64
Figura 8 - Estrutura de Uso e Consumo de Biomassa Florestal - <i>Eucalyptus</i>	83
Figura 9 - Finalidade da madeira bruta produzida no mundo entre 1989 e 2009	84
Figura 10 - Composição da Área de Florestas Plantadas no Brasil.....	84
Figura 11 - Destinação da Área de Florestas de <i>Eucalyptus</i> e de <i>Pinus</i> no Brasil.....	85
Figura 12 - Evolução do incremento médio anual (IMA) dos plantios florestais	85
Figura 13 - Composição da Área de Florestas Plantadas por Segmento, 2014	87
Figura 14 - Aspectos da variação obtida para os parâmetros ICAV e IMAV, para <i>E. grandis</i> , no DAP.....	92
Figura 15 - Aspectos da variação obtida para parâmetros ICAM e IMAM, para <i>E. grandis</i> , no DAP	93
Figura 16 - Quantificação dos Fluxos de CO ₂ na Cadeia Produtiva do Papel	104
Figura 17 - Ilustração do Processo Kraft	107
Figura 18 - Representação Esquemática do Processo Kraft	109
Figura 19 - Diagrama do Modelo Proposto	115
Figura 20 - Mapa dos Plantios Florestais no Paraná.....	120
Figura 21 - Estrutura do Processamento de Biomassa Florestal - <i>Eucalyptus</i>	132

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Pesquisas Realizadas sobre ACV e Mensuração de Biomassa Florestal	7
Tabela 2 - Emissões de GEE por Mudança de Uso do Solo e Florestas (t.CO2e) do Brasil.....	29
Tabela 3 - Área de Florestas por Bioma no Brasil	49
Tabela 4 - Estimativa do volume de madeira por Bioma e, em relação ao solo, em 2015.....	50
Tabela 5 - Estimativa da Quantidade de C de Florestas Nativas, em 2015	57
Tabela 6 - Áreas de Florestas Plantadas por Continente	59
Tabela 7 - Área de Florestas Plantadas por Espécie e UF	62
Tabela 8 - Composição das Florestas Plantadas no Brasil - por espécie.....	63
Tabela 9 - Área de florestas plantadas no Brasil (ha, em 2016).....	63
Tabela 10 - Distribuição % da biomassa por compartimento, em diferentes idades do <i>Eucalyptus</i>	69
Tabela 11 - Médias do diâmetro a altura do peito (DAP) sem casca para <i>Pinus taeda</i> , em 4 diferentes espaçamentos – por idade.....	71
Tabela 12 - Médias de altura do <i>Pinus taeda</i> , em diferentes espaçamentos, por idade.....	72
Tabela 13 - Médias do volume (m ³) para <i>Pinus taeda</i> , sem casca, em 4 diferentes espaçamentos, por idade.....	73
Tabela 14 - Relação dos parâmetros dendrométricos em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> e valores médios	73
Tabela 15 - Distribuição % da biomassa por compartimento, em diferentes idades (<i>Pinus</i>).....	76
Tabela 16 - Biomassa por componente do <i>P. taeda</i> em diferentes idades (kg.árv ⁻¹) Peso de biomassa (kg.árv ⁻¹).....	77
Tabela 17 - Biomassa dos componentes de <i>P. taeda</i> em diferentes idades (t.ha ⁻¹)	77
Tabela 18 - Valores médios encontrados para o teor de C por compartimento.....	79
Tabela 19 - Algumas espécies arbóreas e seus principais usos.....	82
Tabela 20 – Quantidade e usos de madeira proveniente de florestas nativas e plantadas	86
Tabela 21 - Características dendrométricas dos povoamentos de <i>Eucalyptus spp</i> em propriedades rurais de Vera Cruz, RS	90
Tabela 22 - Biomassa dos compartimentos <i>Eucalyptus</i> (t.ha ⁻¹), em povoamentos de <i>Eucalyptus spp</i> em propriedades rurais de Vera Cruz, RS	91

Tabela 23 – Valores médios dos incrementos de volume (cm ³), considerando um disco com espessura de 1,0 cm em nível de DAP.....	92
Tabela 24 – Valores médios dos incrementos anuais de massa para o <i>Eucalyptus</i>	93
Tabela 25 - Valores Médios da Biomassa Individual de <i>Pinus spp.</i>	94
Tabela 26 - Valores médios encontrados em cada idade - <i>Pinus taeda</i>	95
Tabela 27 - Produtividade média anual e no final da rotação para plantios de <i>Eucalyptus</i> em alguns Estados do Brasil	103
Tabela 28 – CO ₂ Sequestrado e Emitido durante um ciclo de cultivo de <i>Eucalyptus</i>	105
Tabela 29 – Área do Estado do Paraná e de Área Plantada por Região e por Núcleo Regional.....	118
Tabela 30 – Médias das espécies/procedências de <i>Eucalyptus</i> , aos 7 anos de idade, em Campo Mourão, Estado do Paraná	121
Tabela 31 – Valores de altura total, diâmetro a altura do peito (DAP) e volume total com casca (VTcc), Região de Umuarama	122
Tabela 32 – Área Plantada de <i>Eucalyptus</i> no Paraná por Região e por Núcleo Regional.....	123
Tabela 33 – Sequestro e Emissões de CO ₂ pelas Florestas Industriais do Paraná, em função do uso da madeira – Celulose e Papel	125
Tabela 34 - Sequestro e Emissões de CO ₂ pelas Florestas Industriais do Paraná, em função do uso da madeira – Energia.....	126
Tabela 35 – Sequestro e Emissões de CO ₂ pelas Florestas Industriais do PR, em função do uso da madeira – Serrarias e Laminadoras	126
Tabela 36 – Resumo da captura, emissões e estoque de CO ₂ e C.....	127
Tabela 37 – Cálculo da Estimativa de C acumulado, com base no IMAM.....	129
Tabela 38 – Comparação do estoque de Cc em diferentes momentos	129
Tabela 39 – Cálculo de C e de CO ₂ capturado para os principais produtos do <i>Eucalyptus</i> , em função do uso da madeira	130
Tabela 40 – Área Plantada de <i>Pinus</i> no Paraná por Região e por Núcleo Regional	134
Tabela 41 – Sequestro e Emissões de C pelas Florestas Industriais do Paraná, em função do uso da madeira - <i>Pinus</i>	136
Tabela 42 – Cálculo da Estimativa de C acumulado (<i>Pinus</i>), com base no IMAM.....	137
Tabela 43 – Sequestro e Emissões de C pelas Florestas Industriais do Paraná – aos 13 anos, com base no IMAM e em função do uso da madeira - <i>Pinus</i>	138
Tabela 44 – Resumo do sequestro e emissões de CO ₂ por espécie florestal – um ciclo.....	139
Tabela 45 – Resumo das retenções e emissões de CO ₂ por espécie florestal – 2 ciclos <i>Eucalyptus</i> e 1 ciclo <i>Pinus</i>	139

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas foram realizados esforços e investimentos por diversos países no setor produtivo para atender suas demandas e fazer frente ao crescimento econômico, industrial e populacional (GOMES, 2014). Porém, à medida que avançam estudos mostram a necessidade de consumo consciente e responsável dos recursos naturais visando garantir a sustentabilidade e reduzir o risco do esgotamento da capacidade de reposição desses recursos, de modo que é preciso buscar formas alternativas para continuar suprimindo a demanda crescente por matérias primas e por energia sem elevar o consumo dos recursos naturais ou a dependência destes (HAMEL, 2016).

No Brasil, em função da exploração das florestas naturais, o governo Federal e os governos Estaduais, juntamente com a iniciativa privada e terceiro setor, tem feito esforços no sentido de incentivar e intensificar o uso de florestas renováveis, tanto como fonte de matéria prima para a indústria de base florestal, quanto como insumo para a geração de energia (MÜLLER, 2005; SEARLE e MALINS, 2014).

Florestas naturais e plantadas constituem fontes reguladoras de fixação de carbono (C), assim como, são importantes agentes que auxiliam na mitigação das emissões e captura dos gases de efeito estufa (GEE), especialmente o dióxido de carbono (CO₂) (IBÁ, 2015). Para Cintas *et al.* (2016), estudos realizados sobre o balanço de C, mudanças climáticas e gestão de bioenergia das florestas, mostraram que o aumento do uso de biomassa florestal pode contribuir para a mitigação da mudança climática.

O uso em larga escala de combustíveis fósseis, a crescente demanda global de energia e o aprofundamento das preocupações ambientais, posicionaram a integração das energias renováveis entre as prioridades governamentais, para garantir o fornecimento de energia e reduzir as emissões de GEE. A bioenergia permite a geração constante e controlável de energia e tem potencial significativo de mitigação de GEE, o que motivou pesquisadores e gestores públicos, fazer

sua inclusão nas matrizes energéticas ou de projetos futuros para a mitigação de GEE (BOUCHARD *et al.*, 2013).

A mudança climática e as variações dos preços do petróleo nos últimos anos, impulsionaram o interesse pelos combustíveis e produtos químicos baseados em matérias-primas renováveis (SHARMA *et al.*, 2015), tendo em vista que o uso de combustíveis fósseis é considerado como um dos principais fatores para o aumento das emissões de GEE e contribuinte do aquecimento global (MANRIQUE *et al.*, 2011). Por outro lado, os combustíveis e os produtos químicos baseados em biomassa estão entre as fontes efetivas de energia com baixas emissões de C, o que pode reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e também reduzir significativamente as emissões de GEE. Nesse cenário, a biomassa é o principal recurso de energia renovável que pode ser direcionado diretamente aos combustíveis líquidos (MANRIQUE *et al.*, 2011; DECICCO, 2015; SHARMA *et al.*, 2015).

Segundo Calvin *et al.* (2016), 81% dos GEE emitidos no ano de 2008, foram provenientes da combustão para a geração de energia e de processos industriais, sendo que a América Latina contabilizou apenas 7% dessas emissões globais. Entretanto, quase 40% das emissões de GEE da América Latina provém da agricultura, silvicultura e outros usos da terra (em Inglês: *Agriculture, Forestry and Other Land Use – AFOLU*) que, em 2008, representou mais que o dobro da média global.

Também, é crescente a conscientização com os problemas resultantes das atividades humanas que afetam o meio ambiente, provocando o aquecimento global, em que as consequências das mudanças climáticas podem ser tanto o aumento da temperatura do planeta, quanto a extinção de determinadas espécies ou até mesmo o fim de algumas atividades produtivas, inclusive podem afetar a produção florestal, que é um dos principais sumidouros de GEE (GRAHAM *et al.*, 1990; STEINFELD *et al.*, 2006). Neste contexto, segundo Gomes (2014) “mesmo nos cenários mais otimistas, as mudanças climáticas podem provocar prejuízos em diversas cadeias de produção do setor agrícola, com fortes impactos negativos nas economias em desenvolvimento, que dependem em grande medida

do setor primário”; refletindo tanto nas políticas econômicas e governamentais, quanto nas diversas áreas da sociedade e do conhecimento (SASEENDRAN *et al.*, 2000; MOREIRA, *et al.*, 2017).

Assim, cada vez mais aumenta a demanda por investimentos em pesquisas científicas e tecnológicas, a busca pela inovação e por novas práticas ou por práticas já consumadas, a adequação dos processos produtivos, bem como os padrões de consumo; todas, focadas na responsabilidade e comprometimento ambiental, com vistas à mitigação dos GEE. Tais necessidades proporcionam também, novas alternativas e oportunidades que minimizem a vulnerabilidade climática, mudanças globais e os riscos associados (SBS, 2009; CINTAS *et al.*, 2016; LIU *et al.*, 2016; ROYNE *et al.*, 2016).

Paliwal *et al.* (2016), em seu estudo sobre a emissão de C destacam que a combustão incompleta de combustíveis, como biomassa agrícola e florestal, carvão, diesel, contribuem para o aumento das taxas de emissão do C. Destacam também que a combustão ineficiente desses combustíveis é ainda mais perniciosa por apresentar índices mais elevados de C; pois, além da qualidade do ar e dos efeitos na saúde, provocam uma série de impactos climáticos incluindo alterações de temperatura pela adsorção atmosférica, modificações nas precipitações e o aumento do degelo da neve. Além disso, embora seja uma fonte de aquecimento em escala global, por outro lado, em escala regional, tem efeitos adversos na qualidade do ar e na saúde humana.

Thakkar *et al.* (2016), destacaram que gerar energia a partir da biomassa é uma das muitas opções disponíveis para mitigar o impacto das emissões de GEE, resultantes do consumo de combustíveis fósseis. Destacam que existem várias maneiras de usar a biomassa como, na conversão em calor, eletricidade ou outras formas de energia como biocombustíveis líquidos, biogás ou combustíveis sólidos. A biomassa também pode ser convertida em carvão vegetal, que é diferente de outros combustíveis sólidos por ser um combustível estável e com alto percentual de C. O carvão vegetal pode ser depositado no solo com mínima degradação, mesmo que permaneça armazenado por longo período.

A biomassa florestal para geração de energia é considerada como C neutro, porque a quantidade de CO₂ liberada durante a combustão é quase a mesma que é absorvida pelas árvores durante o crescimento; portanto, o que fica estocado é quantidade muito pequena, se comparada ao volume disponível. Mesmo considerando os GEEs que são emitidos durante o transporte e processamento dos resíduos florestais, são inferiores ao total de emissões de GEE com a geração de energia a partir de combustíveis fósseis. Ressalta-se, porém, que o volume de emissões de GEEs na geração de energia, está diretamente relacionado ao tipo de biomassa e a forma como é queimada (THAKUR *et al*, 2014).

Assim, a preocupação com os volumes de emissões de GEE propiciam o surgimento de iniciativas que visam sua redução. Portanto, entre as diversas iniciativas da sociedade em prol do meio ambiente, destaca-se o Protocolo de Kyoto, formalizado no âmbito da Convenção das Nações Unidas sobre Mudança de Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*), em nível internacional, no ano de 1997, que passou vigorar de fevereiro de 2005 a 2012, o qual previa a redução de 5,2%, em média, das emissões de GEE dos países desenvolvidos, do ano base de 1990 (CGEE, 2010).

Adicionalmente, o referido Protocolo estabeleceu que, parte dessas reduções pudessem ser negociadas com os países em desenvolvimento, por meio dos mecanismos de flexibilização (que compreende o comércio internacional de emissões, o mecanismo de desenvolvimento limpo e a implantação conjunta entre os países que estão obrigados a cumprir suas metas e os que estão dispensados, por seu baixo nível de industrialização), no sentido de facilitar o cumprimento das metas estabelecidas; criando assim o mercado mundial de C. Ao mesmo tempo o protocolo isentou desse compromisso, os países em desenvolvimento (CGEE, 2010).

Nos EUA, segundo Greenblatt (2015), a Califórnia foi o primeiro estado a estabelecer políticas abrangentes e vinculativas para reduzir as emissões de GEE, com a aprovação de sua Assembleia, retornando o nível das emissões aos níveis de 1990 (427 Mt.CO_{2e}), em 2020. Posteriormente, o governo da Califórnia,

estabeleceu metas tanto para as estatais como para o setor de transporte, que estão obrigados a reduzir suas atuais emissões para 80% das emissões de 1990 até 2050.

No Brasil foi implementado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT (BRASIL, 2014) o “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL”, com a finalidade de contribuir no processo de redução das emissões de GEE relativo ao C pelos países industrializados, juntamente com os países em desenvolvimento por meio da negociação dos Créditos de Carbono (CC) (LAU *et al.*, 2012).

Assim, a partir do MDL, podem ser elaborados e propostos projetos que contribuam para o desenvolvimento sustentável (DS) e que apresentem condições que favoreçam a redução das emissões de GEE, obtendo assim as Reduções Certificadas de Emissões (RCE). As RCE's, que são emitidas pelo Conselho Executivo do MDL, podem ser negociadas no mercado global. Os países industrializados possuem cotas de redução de emissões de GEE, de forma que podem adquirir as RCE's comercializadas pelos desenvolvedores de projetos nos países em desenvolvimento auxiliando no cumprimento de suas metas (CGEE, 2010; LAU, *et al.*, 2012; GOMES, 2014).

No contexto das negociações do Protocolo de Kyoto, nem todas as atividades relacionadas com o setor florestal podem ser objeto de comercialização de CC, em que as únicas atividades de projeto elegíveis para tal finalidade, envolvendo o setor florestal, são as voltadas para a contabilidade de C por meio da remoção de CO₂ da atmosfera, que são florestamento e reflorestamento (F/R). Esta definição foi aplicada para o primeiro período de compromisso (2008 a 2012), devendo ser revista quando das negociações para futuros períodos de compromisso. Em função das incertezas associadas às estimativas e ao monitoramento do C nos diferentes reservatórios florestais (biomassa viva – acima e abaixo do solo; matéria orgânica morta – madeira morta e serapilheira; e C no solo orgânico), o Protocolo de Kyoto estabelece limites para a utilização dos créditos com origem nas atividades de projetos MDL florestais (...), a 1% das emissões de CO₂ do país em 1990, vezes cinco (total de anos), no primeiro período de compromisso, de 2008 a 2012 (GOMES, 2014; TORRES, 2015).

Neste contexto, o Brasil passou a dispor de oportunidade no mercado de CC, uma vez que possui vasta extensão de terras usadas por culturas agrícolas; podendo assumir posição privilegiada, principalmente se reduzir a destruição das florestas por meio de queimadas, por exemplo; assim como incentivar o florestamento e reflorestamento para sequestro de C (GOMES, 2014; SALIBA, 2015).

Outro fator que deve servir de motivação relacionado ao MDL, pode ser o aumento da área de plantio florestal, prioritariamente com espécies de rápido crescimento, como o *Pinus* e o *Eucalyptus*; sendo que no Brasil plantações florestais desses gêneros, atingem índices cerca de dez vezes o volume produzido por hectare, por alguns dos países líderes neste mercado (MOTTA *et al.*, 2010; GOMES, 2014), o que põe o Brasil em posição de destaque no que se refere à produção florestal, conseqüentemente de sequestro e estocagem de C e, acúmulo de biomassa; tornando-o referência mundial.

Portanto, em função da posição ocupada pelo Brasil, diversos estudos têm sido realizados nos últimos anos sobre sequestro e estoque de C florestal, em que o acúmulo de biomassa e o estoque de C ocorrem na parte aérea e no sistema radicular de plantas (SILVA, 2007; SILVA *et al.*, 2008; SEEG_BRASIL, 2014; FARIA, 2015). A quantificação do estoque de C em compartimentos aéreos da planta pode ser feita, por exemplo, por meio da análise de regressão para a modelagem do estoque de C total presente na biomassa das árvores e arbustos, composição da serapilheira e troncos caídos (fitomassa morta acima do solo) e composição das raízes (biomassa abaixo do solo), assim como de plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* (PEDROSA *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2015).

Diante do exposto, a alta produtividade das espécies – *Pinus* e *Eucalyptus* e da posição de destaque ocupada pelo Brasil, o foco nesta tese é estimar o C armazenado nessas duas espécies, sem sub-especificá-las. Outros estudos sobre Avaliação de Ciclo de vida (ACV) e métodos de mensuração e quantificação de biomassa florestal foram desenvolvidos, dentre os quais encontram-se os apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Pesquisas Realizadas sobre ACV e Mensuração de Biomassa Florestal

Tipo de Floresta (N/P)	Espécie (Pinus/ Eucalyptus)	Modelo	Descrição	Referência
Florestas Plantadas	<i>Pinus taeda</i> , <i>Araucária angustifolia</i> e na Floresta Ombrófila Mista Montana	Método para estimar a biomassa e C orgânico em plantações, utilizando imagens de satélite.	Trata se de uma metodologia não destrutiva para quantificações de biomassa e de C, em plantações de <i>Pinus</i> e <i>Araucária</i> e na Floresta Ombrófila Mista Montana, em que os resultados obtidos no mapeamento e quantificação a partir dos modelos selecionados e aplicados às imagens demonstraram o potencial da utilização destas ferramentas na quantificação da biomassa e C aéreo. As estimativas das variáveis foram consideradas utilizando dados provenientes das imagens do satélite IKONOS II, mostraram que os valores obtidos das mesmas permitem quantificar a biomassa arbórea e o C arbóreo.	Watzlawick <i>et al.</i> , 2003
Floresta Plantada	<i>Pinus taeda</i> L.	Método para quantificar a captura de C em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. com diferentes idades.	Trata se da proposição de um método para quantificar a captura de C em floresta plantada de <i>Pinus taeda</i> L., com base no volume total da madeira por há, de cada idade. A quantidade de C capturado foi de 6,5 Mg/ha aos 5 anos; 41,8 Mg/ha aos 14 anos; 109,9 Mg/ha aos 18 anos; 91,4 Mg/ha aos 25 anos e 91,9 Mg/ha aos 26 anos. Quando considerado o total de C orgânico capturado por m ³ de madeira, o povoamento de 26 anos apresenta maior quantidade, 0,221Mg/m ³ , tendo se em vista o que influencia na quantidade de C orgânico por m ³ de madeira é a densidade básica. Contudo, no total de C orgânico por ha, além da densidade básica, o volume de madeira, que está diretamente relacionado com a densidade do plantio, tem grande influência.	Sette Junior <i>et al.</i> (2006)
Florestas Nativas		Avaliação dos estoques de C em três ecossistemas florestais arquetípicos.	Trata se de uma avaliação de reservatórios de C na biomassa de ecossistemas arbóreos acima do solo e no solo, em região do município de Coronel Moldes. A biomassa acima do solo é o reservatório mais importante em Yungas, enquanto que o solo desempenha papel fundamental para os reservatórios de Chaco e Escamosos, que são ambientes mais secos. As florestas nativas na província têm um alto potencial para mitigação de GEE, uma vez que o uso da biomassa pode substituir os combustíveis fósseis e reduzir as emissões de CO ₂ . O potencial de sequestro de C nos ecossistemas permite estabelecer um planejamento de uso da terra abrangente e sustentável na região.	Manrique, <i>et al.</i> (2011).
Florestas Plantadas	<i>Eucalyptus grandis</i>	Estimativa da biomassa aérea em plantio de <i>E. grandis</i> com base nos métodos de cubagem das árvores representativas, assim como na estimativa do teor de umidade.	Trata se de um modelo para quantificação/estimativa de biomassa aérea acumulada em plantios de <i>E. grandis</i> . Foram tomadas parcelas aleatórias de 50x20m, medidas do diâmetro (DAP) e a altura as árvores. Foi usado o método de Smalian para cálculo do volume de biomassa, além de medidas do teor de umidade de cada um dos exemplares. O método utilizado apresentou resultados diferentes quanto à estimativa de biomassa seca por ha, devido as diferenças existentes no conteúdo de umidade entre árvores de mesma espécie.	Pedrosa <i>et al.</i> (2013)
Florestas Nativas e Plantadas		Metodologia para avaliação de biomassa florestal disponível em grande escala, para a cogeração comercial de energia em usinas.	Trata se de uma metodologia, para estimar a biomassa disponível na região de New Brunswick para colheita anual, para uso comercial voltada a cogeração de energia, da ordem de 1,1 GW de calor para o aquecimento residencial. A biomassa florestal da província foi empregada para o desenvolvimento e operação de uma usina de cogeração, permitindo à usina operar com maior eficiência e proporcionar melhor retorno econômico.	Bouchard <i>et al.</i> (2013)
Floresta Plantada	<i>Eucalyptus</i> e <i>Pinus</i>	Método para quantificar o impacto potencial em	Trata se de um estudo de caso de ACV, relacionado aos benefícios climáticos devido à extração de madeira para produção de energia, comparados aos impactos de	Zelm <i>et al</i> (2015)

		ecossistemas terrestres das emissões biogênicas de C provenientes da extração de madeira para a produção de biocombustíveis.	atividades relacionadas aos combustíveis fósseis. Os impactos causados pela extração dependem de vários aspectos específicos, como: do local, estoque de biomassa, tempo de rotação e condições climáticas. Os resultados mostraram que na atual ACV de bioenergia, os impactos das mudanças climáticas devido à produção de energia a partir da madeira não são apropriadamente calculados quando emissões biogênicas devido à extração de madeira são desconsideradas.	
Florestas plantadas	Silvipastoril	Estimativa das emissões de GEE e a produção de biomassa armazenada em diferentes sistemas no sudeste do Brasil	Estimar as emissões de GEEs e C acima do solo de sistemas silvipastoris e agrissilvipastoris, e estimar o n° de árvores necessárias para neutralizar essas emissões.	Torres <i>et al.</i> , (2015)
Florestas Plantadas	<i>Eucalyptus</i>	Quantificação do estoque de C em compartimentos aéreos da planta, e modelagem do estoque de C total (C_{total}), lenho comercial (C_{leco}) e parte residual (C_{rsd}) presentes na biomassa aérea de <i>Eucalyptus spp.</i>	Trata-se de modelos para quantificação do estoque de C em compartimentos aéreos da planta, o uso da análise de regressão para a modelagem do estoque de C total, do lenho comercial e parte residual presentes na biomassa aérea em plantações de <i>Eucalyptus spp.</i> O estudo foi realizado em plantios com idades de 2-8 anos. O estoque de C total médio presente na parte aérea das árvores igual a 38,98 kg.árv ⁻¹ , mostrando a importância das plantações de <i>eucalyptus</i> para a fixação de C. O lenho comercial e a parte residual foram responsáveis por 68,9% (27,11 kg.árv ⁻¹) e 31,1% (12,33 kg.árv ⁻¹) do estoque de C total da parte aérea da árvore. Os modelos permitiram estimativas para o estoque de C_{total} , C_{leco} e C_{rsd} em plantações de <i>Eucalyptus spp.</i>	Silva <i>et al.</i> (2015)
Florestas Plantadas	Mudança de Uso da Terra - MUT	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), e implicações de suas práticas em diferentes contextos de tomada de decisão.	As práticas comuns para avaliação do impacto do clima em ACV de produtos florestais excluem a maioria das características dinâmicas de absorção, armazenamento e liberação de C. As emissões biogênicas de dióxido de C são na maioria dos estudos consideradas neutras quanto ao clima, e o tempo das emissões é raramente considerado. Além disso, o Potencial de Aquecimento Global (<i>Global Warming Potential - GWP</i>), GWP100 é a meta de impacto climático mais comum.	Royne <i>et al.</i> (2016)
Florestas nativas		Modelo para analisar os efeitos e a incerteza na regularização de posse em relação a mecanismos de proteção da terra.	A conversão de terras em agrícolas pode trazer impactos a outros serviços ecossistêmicos e à biodiversidade. Dependendo do grau, pode ser aceitável se o desenvolvimento trazer retornos econômicos e sociais positivos. As áreas de alta prioridade podem mudar o futuro e motivar a proteção de áreas adicionais para manejo adaptativo. Em relação ao C esforços devem ser direcionados à proteção legal, conservação de áreas e, manutenção de reservas.	Freitas <i>et al.</i> (2018)

Fonte: Elaborado pelo autor

As concentrações de GEE faz com que se eleve a temperatura do ar da superfície terrestre, de modo que a opção de sequestrar C pode ser viabilizada principalmente com a redução do desflorestamento (corte ou colheita e, derrubada de florestas), como também pelo reflorestamento de áreas degradadas e, até mesmo pelo plantio de florestas para fins industriais e energéticos. Os plantios florestais atuam como depósitos de C, absorvendo o CO₂ da atmosfera, liberando o oxigênio, restando, desta forma, C que será estocado na massa da madeira (DERECZYNSKI *et al.*, 1998).

Em função dos fatores climáticos, da exploração das florestas naturais e com a finalidade de preservá-las, muitos trabalhos e pesquisas têm sido realizados no sentido de incentivar o florestamento e reflorestamento, bem como, para intensificar o uso de florestas renováveis. As florestas plantadas no Brasil destinam-se ao abastecimento da cadeia produtiva de base florestal, que a cada ano supera tanto sua produtividade quanto seus volumes de exportações, contribuindo com a economia do país (IBÁ 2014; IBÁ 2017); esta cadeia produtiva estruturada conforme apresentada na Figura 1; com vasta segmentação e, que serve para a produção de grande diversidade de produtos, nos quais pode estar armazenado certa quantidade de C que, em muitos casos, permanecem por longos períodos de tempo (ECCLESTON, 2009).

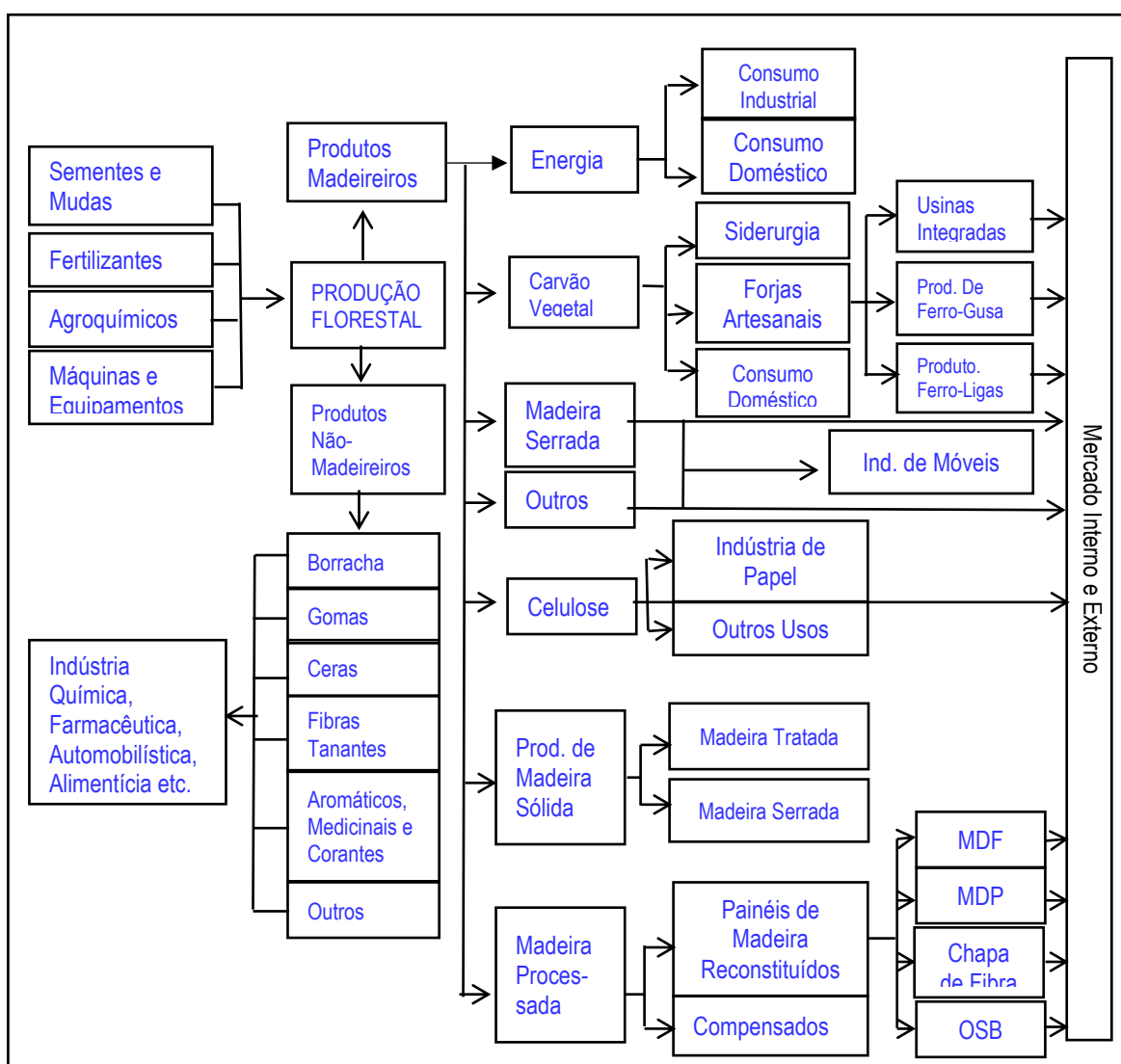


Figura 1 – Cadeia Agroindustrial da Madeira

Fonte: Adaptado de Puentes (2010); ABRAF (2012).

Em que: MDF – *Medium Density Fiberboard* (Fibras de madeira de média densidade); MDP - *Medium Density Particleboard* (placa/painel de partículas de média densidade); OSB – *Oriented Strand Board* (placa de suporte orientado, com tiras de madeira).

O cultivo de florestas plantadas de *Eucalyptus* em áreas de pastagens tem propiciado alterações no estoque de C e nitrogênio (N) no solo, em função das diferentes características de cada planta e o manejo dos resíduos vegetais. O *Eucalyptus* pode propiciar o acúmulo de maiores volumes de C e N, nos resíduos na camada superficial do solo (PEGORARO *et al.*, 2011; WINK *et al.*, 2013; PEGORARO *et al.*, 2014).

1.1 Problema da Pesquisa

O problema de pesquisa deste trabalho é definido pela seguinte pergunta:

- Como pode ser feita a estimativa do C armazenado em florestas industriais de *Pinus* e *Eucalyptus* por meio da abordagem da avaliação do ciclo de vida?

1.2 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é propor um modelo para estimativa do C armazenado em florestas plantadas para fins industriais e energéticos, por meio da abordagem da avaliação do ciclo de vida.

No sentido de atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Fazer o levantamento de informações com relação ao crescimento das florestas plantadas no Brasil, para reflorestamentos de ciclo curto, desde o plantio até o corte;
- Avaliar os modelos existentes para mensurar e quantificar os volumes de biomassa e de CO₂, por florestas plantadas;
- Quantificar o volume de biomassa acumulada e o volume de CO₂ capturado durante o crescimento das florestas plantadas para fins industriais, delimitando o Estado do Paraná como fonte para obtenção dos dados; e,
- Realizar balanço de emissão e captura de gases de efeito estufa, com foco no CO₂, relativo às florestas industriais.

1.3 Justificativa e Relevância

Entre os diversos problemas ambientais causados pela ação do homem, destacam-se os relacionados às mudanças climáticas, resultantes das emissões de GEE, em que a principal fonte é a queima de combustíveis de origem fóssil. Outras atividades, como: indústrias de transformação, agricultura, desmatamento, queimadas, pecuária, uso de máquinas nos tratos agrícolas, também contribuem para o agravamento da situação climática, por meio da emissão de GEE (SILVA, 2007; ECCLESTON, 2009; CRESSEY, 2012). A mudança de uso da terra é outro fator que contribui para o total de emissões de GEE, posicionando o Brasil entre os maiores emissores de CO₂, neste segmento, no período de 1990 a 2014 (FREITAS et al. 2018).

O uso de produtos florestais se torna cada vez mais um dos elementos fundamentais para substituição das fontes energéticas de origem fóssil; assim como o uso na construção civil, por meio da substituição de materiais de alto consumo energético, como o ferro, o cimento, o aço; no setor de celulose e papel, compensados, placas de madeira, de madeiras serradas e indústria moveleira; sendo que estes últimos, do ponto de vista da armazenagem de C, são os mais importantes, pois tendem a retardar seu retorno à atmosfera (SIKKEMA *et al.*, 2013).

Os ecossistemas florestais são excelentes retentores de C pois, independente do tipo de floresta, a eficiência de florestas nativas ou plantadas para sequestrar e armazenar C deve levar em conta o seu ciclo de vida, que engloba o estágio atual de degradação da área de plantio, o manejo que está sendo adotado, o tempo de permanência da floresta, até o seu corte, assim como a vida média dos produtos gerados (SILVA, 2007; THAKUR *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2015). Neste caso, o ciclo de vida das florestas, impacta no volume de C sequestrado e estocado; por exemplo, mudas manipuladas geneticamente, resultam em plantações com crescimento e maturação em ciclo curto, o ciclo de vida dos produtos gerados contribuirão para prolongar o ciclo de vida da floresta e, por consequência, para a retenção de C por períodos mais longos; de modo que se pode afirmar, de outra forma, que contribuem para a redução das emissões de GEE.

O reflorestamento tem o potencial de sequestrar quantidades significativas de C da atmosfera, assim pode desempenhar papel importante para mitigar as mudanças climáticas, de modo que as florestas tenham potencial para reduzir de forma econômica, dezenas ou mesmo centenas de milhões de toneladas de equivalentes de dióxido de carbono (CO_{2e}) por ano nas próximas décadas, o que poderá ser comprovado, dependendo dos pressupostos de modelagem que forem utilizados (REESON *et al.*, 2015).

A quantificação do volume de C nos ecossistemas florestais vem recebendo mais atenção nos últimos anos, uma vez que as florestas contribuem para a estabilidade ambiental de diversas formas, por exemplo, a mitigação das temperaturas extremas, o aumento das precipitações regionais, a prevenção de erosões e da deterioração do solo e desempenham papel fundamental no ciclo do C. Assim, as florestas atuam como sumidouros de C, em que, por meio da fotossíntese as florestas em crescimento absorvem CO₂ da atmosfera que são armazenados em sua biomassa, de modo que podem ser consideradas um grande reservatório de C (SILVEIRA, 2008; RICHARDS e LYONS, 2016).

Em relação ao ciclo de vida, observa-se ainda que há uso irracional de recursos que causam danos ambientais, ou cujos processos exploratórios impactam o meio ambiente. O fato de se conhecer o ciclo de vida dos produtos tanto auxilia na resolução de questões parciais, como evita que os tomadores de decisões incorram em erros (GUINÉE *et al.*, 2001). A Análise ou ACV é uma técnica que incorpora em sua metodologia o conceito de ciclo de vida, pois identifica os pontos em que ocorrem os impactos ambientais e quais são os mais relevantes, a partir da perspectiva de ciclo de vida dos produtos (WENZEL *et al.*, 1994). É importante ter em conta cada uma das etapas do ciclo de vida dos produtos (bens ou serviços), desde a extração dos recursos materiais e energéticos disponíveis no meio ambiente e, que são usados no processo, na visão do berço ao túmulo (SONNEMANN *et al.*, 2004; SONNEMANN *et al.*, 2017).

Ainda no que se refere ao ciclo de vida, de acordo com Laurent *et al.* (2013), a biomassa florestal pode contribuir para sua expansão, por exemplo, na construção civil que é considerada um ramo com alto consumo energético e intensivo em C, tendo-se em vista que parte do ciclo de vida de um edifício está relacionado com os materiais utilizados na sua construção, os quais podem contribuir para a redução das emissões de GEE, entre outros danos ambientais.

O uso de material de origem florestal, em estratégias de longo prazo, em substituição de concreto e do aço, pode contribuir para a solução.

A União Europeia, por meio da Comissão Europeia de Comunicação – CEC, na sua comunicação sobre política integrada aos produtos, publicou em 2003, que a ACV proporciona a melhor estrutura de avaliação dos potenciais impactos ambientais dos produtos disponíveis atualmente e chamou a atenção para a necessidade de dados mais consistentes e metodologias de maior consenso com a ACV.

Para tanto, a UE criou a Plataforma Europeia para a Avaliação do Ciclo de Vida (EPLCA – *European Platform on Life Cycle Assessment*) Figura 2, com a finalidade de elevar a credibilidade, aceitação e uso da ACV por empresas e autoridades públicas; garantindo a coerência entre os instrumentos baseados em ACV e disponibilizar recursos, consistentes e robustos para a implantação de políticas ambientais e instrumentos comerciais. A Plataforma proposta pela UE pode ser aplicada em outras regiões, ou mesmo por outros países, como o Brasil.

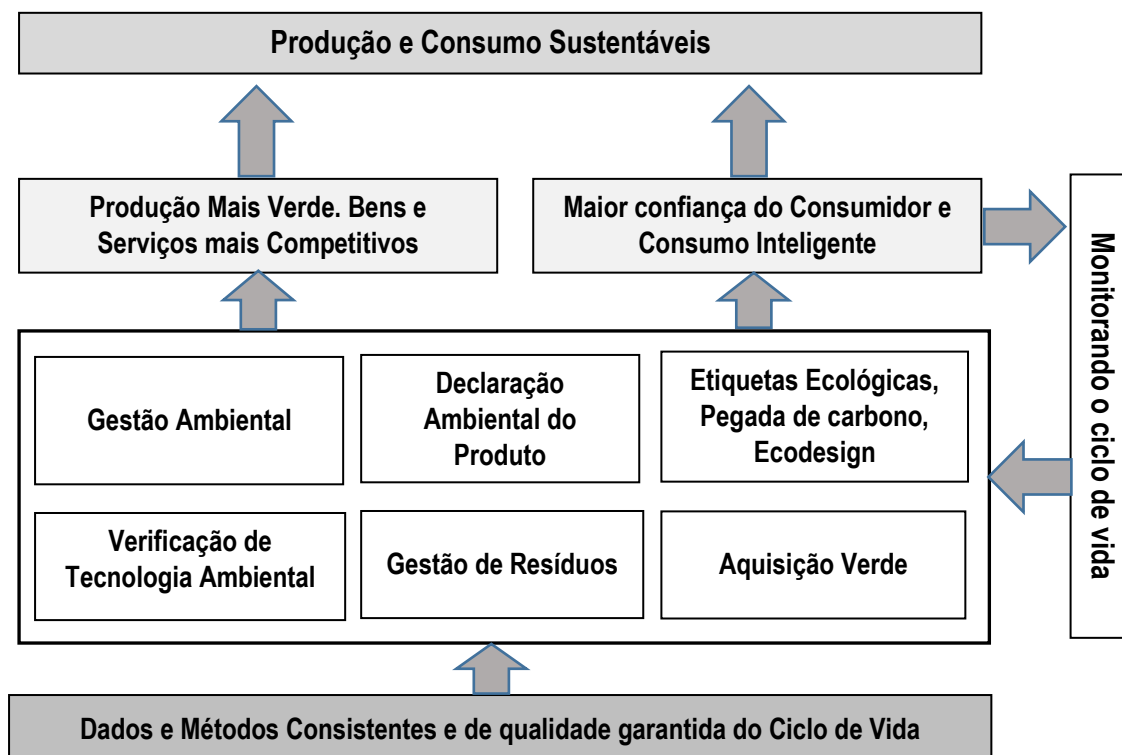


Figura 2 – Dados e métodos do ciclo de vida como base de ferramentas e abordagens para apoiar políticas sustentáveis de produção e consumo
Fonte: Sonnemann *et al.*, 2017

Nesse contexto, destacam-se que alguns modelos foram desenvolvidos (como apresentados na Tabela 1) em que as pesquisas realizadas buscavam, de alguma

forma, quantificar: a biomassa florestal, o C ou o CO₂ sequestrado e/ou acumulado.

Watzlawick et al. (2005) estimou a biomassa e o carbono orgânico em plantações florestais de *Pinus taeda* L. pertencente à Indústria Pedro N. Pizzatto Ltda, localizada no município de General Carneiro-PR, calculou-se a biomassa seca, utilizando a seguinte formulação:

$$BS = BC \cdot (1 - Um) \quad (1)$$

em que BS = biomassa seca (kg); BV = biomassa verde (kg); e Um = teor de umidade (%). Após os cálculos da biomassa seca, procederam-se aos cálculos relativos à quantidade de carbono orgânico existente em cada componente, utilizando-se para tanto a seguinte formulação:

$$CO = BS \cdot TCO \quad (2)$$

em que CO = carbono orgânico (kg); e TCO = teores médios de carbono orgânico.

Sette Júnior et al. (2006) em pesquisa realizada com *Pinus taeda* L. na Região de Rio Negrinho-SC, buscou quantificar o total do carbono orgânico capturado (Mg/ha) em cada idade, inicialmente foi determinada a massa seca ou fitomassa arbórea total (kg/ha), com base no volume de madeira obtido no inventário florestal e na densidade básica, utilizando-se a seguinte equação:

$$Mse = D \cdot V_{ve} \quad (3)$$

em que: Mse = massa seca ou fitomassa (kg); D = densidade básica (kg/m³); V_{ve} = volume madeira (m³). Portanto, para obter o carbono orgânico total capturado foi multiplicado a fitomassa arbórea total (Mg/ha) de cada idade pelos respectivos teores médios de carbono orgânico.

Pedrosa et al. (2013) em estudo realizado com o objetivo de estimar a biomassa em um plantio de *Eucalyptus grandis* com 8 anos de idade, na cidade de Brasília no centro-oeste brasileiro. Instaladas aleatoriamente duas parcelas amostrais com dimensões de 50 x 20 m, equidistantes aproximadamente 50 m; nas quais foram medidas altura e DAP de todos os indivíduos, que foram agrupados em classes

de DAP de 3 a 9,5 cm; 9,6 a 16,1 cm; e, 16,2 a 22,7 cm. Destas amostras foi abatida um indivíduo em cada, que foram cortadas em toretes de 50 cm, para cubagem (equação 4) e obtenção do volume (equação 5).

$$V_t = V_0 + \sum_{i=1}^n V_i + V_c \quad (4)$$

Em que: V_t = volume total (m³); $V_0 = g_0 \cdot l_0 \Rightarrow$ volume do torete;

$$V_i = \frac{(g_i + g_{i+1})}{2} \cdot l_i \Rightarrow \text{volume das secções intermediárias; e,}$$

$$v_c = \frac{1}{3} g_n \cdot l_n \Rightarrow \text{volume do cone.}$$

$$V_v = g \cdot h \cdot f \quad (5)$$

Em que: V_v = volume verde (m³); g = área basal (m²); h = altura (m); e f = fator de forma artificial da árvore centro de classe.

$$f_{1,3} = \frac{vr}{v_{c_{1,3}}} \quad \text{sendo: } vr = \text{volume rigoroso cubado pelo método de Smalian;} \\ \text{e } v_c = \text{volume do cilindro perfeito com diâmetro a 1,3 m de altura.}$$

Zelm et al. (2015) realizaram pesquisa com o objetivo de desenvolver um método (modelo) global para quantificar o impacto potencial das emissões biogênicas de CO₂, provenientes da extração de madeira florestal para produção de biocombustíveis, em ecossistemas sanitários e terrestres. E o modelo proposto por eles foi:

$$CF_e = \frac{-\Delta C_{\text{floresta}}}{\Delta R} \cdot \frac{\Delta T}{-\Delta C_{\text{floresta}}} \cdot \frac{\Delta I_e}{\Delta T} \quad (6)$$

Em que: CF_e é o fator de caracterização; ΔR é a mudança na extração de recursos de madeira (m³ e r⁻¹); $\Delta C_{\text{floresta}}$ é a redução do estoque de carvão na floresta (tC); ΔT é a mudança na temperatura média global (°C); e, ΔI_e é a

alteração do impacto no ponto final, por exemplo, nos seres humanos ou nos ecossistemas.

Silva *et al.* (2015) desenvolveram uma pesquisa com o objetivo de quantificar o estoque de carbono nos compartimentos aéreos da planta e o uso da análise de regressão para a modelagem do estoque de C total. Os modelos para a estimativa do C foram desenvolvidos com base nos logaritmos do DAP e a altura dos indivíduos arbóreos. O estoque de carbono total (C_{total}), em kg, foi calculado pelo somatório do estoque de carbono presente nos componentes da árvore, sendo que o carbono no lenho comercial (C_{leco}), em kg, foi calculado pela multiplicação do carbono no lenho total pelo fator de correção 0,93 ajustado em campo, e o carbono no resíduo da árvore (C_{rsd}), em kg, foi calculado pelo somatório do carbono nas folhas, nos galhos, na casca e nos ponteiros dos lenhos descartados em campo.

Torres (2015) analisou, em seus estudos, as emissões de GEE e o armazenamento de C acima do solo em áreas silvipastoris e sistemas agrossilvipastoris, em Viçosa-MG; onde calculou as emissões de GEE em relação à produção, armazenamento e transporte de agroquímicos e atividades agrícolas de adubação e operações de máquinas na área estudada. Para tanto, quantificou a biomassa florestal e biomassa de capim acima do solo e respectivos estoque de C. A área estudada com integração de culturas, sendo: 1. Milho, pastagem (*brachiaria decumbnes*) e *Eucalyptus*; 2. Feijão, pastagem (*brachiaria decumbnes*) e *E. urograndis*; 3. pastagem (*brachiaria decumbnes*), clone de *E. urograndis* 9x1m; 4. pastagem (*brachiaria decumbnes*), clone de *E. urograndis* 12x3m. As emissões indiretas foram calculadas como produto da quantidade de N aplicada, como fator de emissão foi assumido 0,01; o fator de conversão de N_2 a N_2O e potencial de aquecimento global de N_2O definido como 298 unidades de CO_{2e} .

Royne *et al.* (2016) analisaram os métodos de avaliação do ciclo de vida com vistas no contexto da decisão pretendida em que os métodos mais utilizados são a avaliação do impacto climático, o potencial de aquecimento global e, como ele é aplicado nas avaliações do ciclo de vida.

Freitas et al. (2018) considerando que o Brasil é um dos principais contribuintes para as emissões resultantes das mudanças de uso da terra pela expansão agrícola destinada à produção de alimentos, rações e bioenergia; avaliaram a extensão dos mecanismos de governança pública que protegem os estoques de carbono de superfície (*Aboveground carbon – AGC*).

Diante do exposto, em que as pesquisas realizadas buscaram: estimar a biomassa e o C orgânico em *Pinus taeda* L; estimar o C da biomassa aérea de florestas em florestas de *Eucalyptus*; quantificar a biomassa acima do solo; avaliar o ciclo de vida pelo método do impacto climático provocado ou pelo potencial de aquecimento global; avaliar os mecanismos de governança para proteção do C na serapilheira etc. A contribuição deste trabalho consiste na aplicação da abordagem do ciclo de vida das florestas e dos produtos derivados de madeira para a proposição de um modelo para estimar o estoque de C em florestas plantadas.

1.4 Estrutura do Trabalho

A Figura 3 apresenta o resumo com as principais etapas desenvolvidas no presente trabalho composto pelos seguintes capítulos:

- Capítulo 1: introdução contendo o problema da pesquisa e os objetivos; a justificativa e relevância do trabalho;
- Capítulo 2: referencial teórico abordando os conceitos ligados à evolução do aquecimento do planeta; a emissão e captura dos GEE; a ACV de florestas plantadas; e, os indicadores e métodos usados para estimar o estoque de C;
- Capítulo 3: descreve o método da pesquisa;
- Capítulo 4: são apresentados os resultados, com base no referencial teórico e no método de execução do trabalho; e,
- Capítulo 5: é apresentada a conclusão e sugestões para futuros trabalhos.

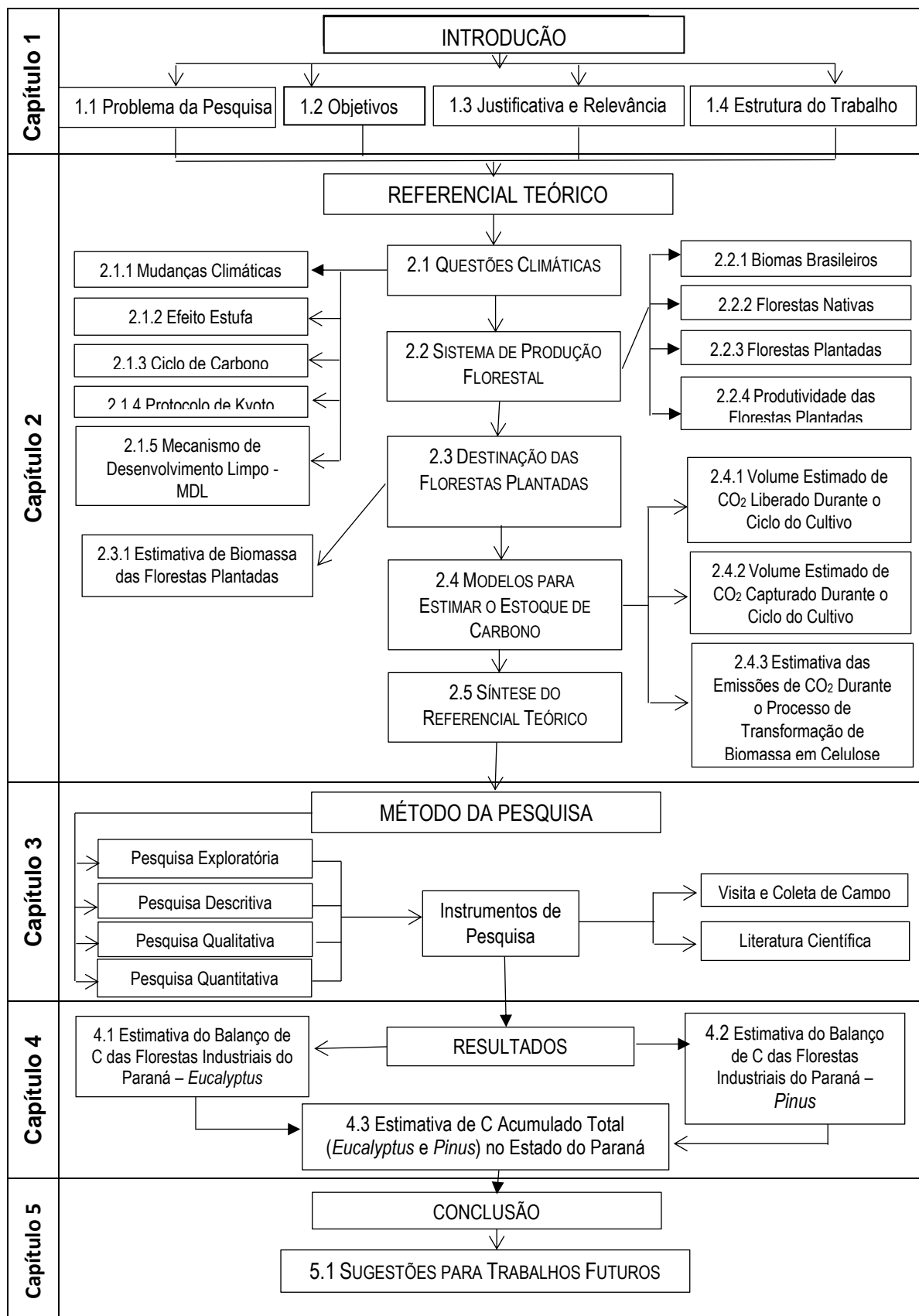


Figura 3 - Quadro Resumo da Estrutura do Trabalho

Fonte: elaborado pelo autor

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Silveira *et al.* (2008) e Glikson (2016), destacam que está previsto um aumento na temperatura global de 1,5 a 4,5 °C até o ano de 2050 e, que os impactos resultantes dessas variações afetarão todos os países, não só no aspecto ambiental, mas também social e econômico. Também, destacaram que estratégias devem ser estudadas e aplicadas com objetivo de reduzir a concentração de CO₂ atmosférico e as consequências de tais alterações; de modo que as principais ações devem estar concentradas na redução das emissões de C por queima de combustíveis fósseis, pela redução da queima de material vegetal, assim como pelo aumento do sequestro do C através do plantio de florestas, que estocam C tanto na biomassa acima, como abaixo do solo; em que o volume de C sequestrado representa quantidade superior ao volume do C que disponível atualmente em estoque na atmosfera.

As mudanças climáticas ocorridas ao longo do tempo no planeta foram e são motivadas pelo aumento das emissões de GEE, especialmente o CO₂ que, a cada dia provoca alterações nos ecossistemas e compromete a sustentabilidade da vida na terra. Análises realizadas nas geleiras polares, nas montanhas da Antártida e da Groelândia, mostraram variações da concentração de CO₂ atmosférico, considerando que, na era glacial a concentração de CO₂ foi de 200 ppm, porém teve um aumento gradual para cerca de 225 ppm, ao longo de oito mil anos e, para 250 ppm nos sete mil anos seguintes (PAIXÃO, 2004; GLIKSON, 2016; LIU *et al.*, 2016).

Ainda, segundo Paixão (2004), no início da Revolução Industrial, por volta do ano 1850, a concentração de CO₂ variou entre 275 ppm e 285 ppm; enquanto que em 1998, a concentração de CO₂ se encontrava em torno de 366 ppm. No ano de 2010, a concentração de CO₂ atingiu 393,18 ppm (MOREIRA, 2011) e, no ano de 2016, atingiu 405,07 ppm (CO2.earth, 2017).

Assim, com o avanço da industrialização, houve rápida elevação do acúmulo de CO₂ na atmosfera, o que tem refletido no aquecimento global, em que as

temperaturas médias anuais estão mais altas. Por esse motivo, uma vez que as florestas em crescimento absorvem o CO₂ da atmosfera através do processo de fotossíntese, formando grandes reservatórios de C, os ecossistemas florestais têm se tornado importante alternativa para a redução dos GEE (PAIXÃO, 2004).

As florestas secundárias representam quase 80% das florestas em maturação e, os ecossistemas florestais têm desempenhado papel importante, influenciando o ciclo de C global, pois armazenam quase 2/3 do C terrestre, em que a relação C/ha é maior do que outros usos da terra; o que é quase 20% de toda a fonte de C antropogênica. No entanto, a emissão de C dos ecossistemas florestais é um produto da mudança de área e da densidade de C. Pois, mesmo quando há pouca mudança na área florestal, o armazenamento de C será reduzido por causa da degradação da floresta pela interferência humana (WANG *et al.*, 2001).

Neste cenário as árvores são uma alternativa para reduzir o aquecimento global com a absorção do CO₂, melhorando as condições de vida no planeta e, adicionalmente, proporcionando melhorias nas condições econômicas das comunidades onde houver reflorestamento. De acordo ainda com Wang *et al.* (2001), a humanidade, além de colher grãos e alimentos para o sustento, também precisa da terra para fornecer madeira e combustível, de modo que a floresta foi submetida a degradação por um longo período até os dias de hoje.

2.1 Questões Climáticas

As questões climáticas passaram a ser vistas como questões que afetam tanto a saúde humana quanto a continuidade de vida no planeta, quando o uso e consumo dos recursos ambientais se tornaram maiores que a capacidade da natureza em repor tais recursos; ou ainda, quando os dejetos, ou resíduos, gerados com as atividades humanas são dispensados em volumes tão altos que superam a capacidade de absorção pela natureza (SOUZA e TAVARES, 2013).

No período 1980-1990, a questão ambiental adquiriu contorno preocupante para a humanidade, deixando evidente que o aumento da produção industrial, assim como o avanço das fronteiras agrícolas e da pecuária, implicaram na

intensificação da degradação do meio ambiente, atingindo dimensões globais. As consequências adversas do aquecimento global, expressadas como mudanças climáticas globais, estão entre as principais preocupações ambientais reais enfrentadas pelos seres humanos (GOLDEMBERG e LUCON, 2007; REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE, 2016), de modo que os problemas e as crises ambientais se diferem ao longo dos anos, por características como sua dinâmica, amplitude e profundidade, que são resultantes da expansão da produção capitalista que visa atender aos mercados consumidores (SEGHEZZO *et al.*, 2011; ARANA e BOIN, 2013).

Os avanços causadores da crise ambiental, afetam a camada de ozônio, a qual tem por finalidade bloquear a ação direta dos raios ultravioletas na superfície terrestre que causam graves danos, especialmente à saúde (OLIVEIRA, 2014; SILVA *et al.*, 2016).

As cidades representam menos de 1% da superfície terrestre, mas concentram mais de 50% da população global e liberam cerca de 80% das emissões de GEE no mundo. Por exemplo, a China é o maior emissor de GEE do mundo desde 2009 e é responsável por cerca de 20% das emissões globais, tanto de origem industrial e transporte como por incêndios florestais (HAI-QING *et al.*, 2007). As estimativas de emissões de GEE permite que os governos locais criem uma linha de bases das emissões, acompanhem seu progresso, avaliem as contribuições relativas das fontes de emissões, se comuniquem com as partes interessadas e criem estratégias de mitigação. Compreender o alcance dessas emissões, pode auxiliar no desenvolvimento de planos de ações ou a implementação de políticas climáticas (FENG *et al.*, 2015).

Os avanços do conhecimento humano e, assim como o desenvolvimento de novos conceitos em cada ramo da ciência, promoveram no campo econômico, a busca desenfreada pelo seu crescimento e desenvolvimento a qualquer custo, o que foi difundido em quase todos os países do mundo, apoiando-se nos desenvolvimentos tecnológicos e, com pouca ou nenhuma avaliação, reflexão e consciência das consequências que poderiam advir dessa evolução. Porém, criou-se a falsa ideia de que os seres humanos têm total poder sobre a natureza

e, que suas ações de exploração, inconsequente, não resultariam em quaisquer prejuízos à humanidade (MONTEIRO *et al.*, 2012).

Ao contrário do que se esperava, ou que não esperava, o planeta vem apresentando implicações de um estilo de vida insustentável que no curto horizonte de tempo, comprometerá a permanência e a continuidade da vida na Terra. A crescente destruição da camada de ozônio, o aumento do efeito estufa, as profundas alterações climáticas, o desmatamento acentuado, a degradação de ecossistemas e a poluição do ar, da água e do solo; são alguns dos indicativos da incapacidade humana de gestão e, muito menos, de domínio sobre a natureza (MONTEIRO *et al.*, 2012).

Concomitantemente à degradação do meio ambiente natural, efeitos correspondentes estão ocorrendo para saúde humana na forma de doenças, com números crescentes nos índices mundiais. E, como se não bastasse os danos à “sua própria saúde”, os humanos estão destruindo também outras espécies vivas, com quem compartilham sua existência e que, não estão imunes aos efeitos provocados (BÔLLA *et al.*, 2013).

Há um grande foco na produção e utilização de combustíveis renováveis, os biocombustíveis à base de biomassa para o setor de transporte, que é responsável por cerca de 13,5% das emissões de GEE no mundo. As emissões podem ser reduzidas usando diferentes vias, como melhorias na eficiência do motor, uso de veículos elétricos, veículos híbridos de gasolina-eletricidade, veículos de células de combustível de hidrogênio e biocombustíveis. Com relação aos biocombustíveis, além de contribuir para a redução das emissões de GEE, por outro lado, absorvem o CO₂ produzido durante o crescimento da biomassa. Além disso, queimam de forma mais eficiente, comparados aos combustíveis fósseis (LE *et al.*, 2013; SHARMA *et al.*, 2015).

Assim, devido a preocupação com a crescente ameaça das mudanças climáticas globais a partir das concentrações de GEE na atmosfera, no ano de 1998, mais de 176 países se uniram, por meio da ONU, se tornando Partes para a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (FCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*), comprometendo-se a

reduzir suas emissões em pelo menos 5,2% abaixo dos níveis de 1990, até o ano de 2050 (VINE *et al.*, 2000).

2.1.1 Mudanças Climáticas

Mudanças climáticas no passado geológico ocorreram ao longo de milhares de anos, aquecendo e resfriando gradativamente por centenas de gerações de plantas e animais, dando tempo suficiente para que seus mecanismos de processo evoluíssem. No entanto, o homem alterou esse cenário; desenvolveu um sistema de cultivo e ocupou áreas de floresta, de cerrado, de caatinga e savanas, reduzindo a escala de milhares para centenas, dezenas e a poucos anos. O diferencial agora é que a referência são décadas, com o agravante de que há uma crescente discrepância entre a velocidade das mudanças climáticas e a do processo evolutivo, em que, por exemplo o aumento das taxas de extinção de espécies é um dos resultados das mudanças climáticas (JOLY, 2007; FREITAS, 2012; MONTEIRO *et al.*, 2012).

A mudança climática ocorre com a intensa atividade humana, de forma que não se tem conhecimento do seu início e é praticamente impossível precisar uma data, para tal evento. Por outro lado, é possível verificar a partir de quando essas questões começaram a preocupar a sociedade, aos intelectuais e aos governantes, pois alguns tratados internacionais datam do início do século XX. Antes disso, os eventos eram localizados e muito específicos, setorial e geograficamente delimitados (FREITAS, 2012).

Muitos eventos foram realizados sobre o meio ambiente em nível internacional; os quais, a cada dia mais, se tornam específicos, versando sobre as questões voltadas à preservação e a conservação da fauna e da flora, dos recursos marítimos, do controle da qualidade do ar, das emissões e descartes de resíduos perigosos e substâncias tóxicas, da restrição do uso de armas e dos experimentos nucleares etc.; dando-se prioridade aos acordos mais abrangentes que envolvem o maior número de países (BUENO, 2010; FREITAS, 2012).

Neste sentido, iniciativas foram tomadas e eventos foram realizados, como em 1909, em Paris, o Congresso Internacional para a Proteção da Natureza, cujo

principal objetivo foi a criação de uma organização internacional responsável pela preservação ambiental. No ano de 1913 foi fundada a Comissão Consultiva para a Proteção Internacional da Natureza, com a função de coletar, classificar e publicar informações relevantes ao meio ambiente (FRANCO, 2002; FREITAS, 2012).

A Rio+10, segunda Conferência Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, realizada em 1992 (Eco 92), no Rio de Janeiro (Brasil), teve como principal objetivo combater a pobreza e defender o meio ambiente, uma vez que os mais afetados são também os mais vulneráveis. Portanto, a intenção inicial foi de criar um plano de ação em nível global atingível (e concreto), focado em áreas carentes de maior atenção e essenciais à manutenção da vida com qualidade: água e saneamento básico, energia, saúde, agricultura e biodiversidade (MONTEIRO *et al.*, 2012).

Os avanços mais importantes relacionados às questões ambientais no Brasil ocorreram no período de 1920 a 1940. Em 1921 foi criado Serviço Florestal do Brasil (SFB), com a finalidade de promover a conservação e o aproveitamento dos recursos florestais. Em 1934 foi estabelecido o código de Caça e Pesca e, regulamentado o despejo de resíduos industriais das usinas açucareiras nas redes fluviais. Em 1934, foi feita a promulgação do Código das Águas, estabelecendo os direitos de propriedade e de uso; as finalidades e normas, fiscalização e proteção; e, em 1965, foi criado o Código Florestal, tipificando as florestas conforme suas funções. (OELTJEN e FISCHER, 1978; FREITAS, 2012).

Esse conjunto de organismos, acordos e normas, foram essenciais para a regulamentação e manutenção das questões relacionadas ao meio ambiente, o qual é a base para a mitigação dos GEE e a regulação do clima no planeta. Por outro lado, paralelamente ao crescimento da população, se desenvolvem as tecnologias voltadas à produção de alimentos e de produtos industrializados para o consumo em geral. Desta forma, era inevitável que o sistema produtivo, ainda com baixa tecnologia, fosse suficiente para atender à demanda, também, crescente. Portanto, para se produzir mais, a alternativa encontrada foi a expansão das fronteiras agrícolas com a derrubada de floresta, na contramão do

que os acordos e tratados previam ou pretendiam (FREITAS, 2012; COOK *et al.*, 2016).

Há um relativo consenso a respeito do problema das mudanças climáticas e seus efeitos para os ecossistemas. Por exemplo, cientistas do *International Panel for Climate Change* (IPCC) destacaram que há uma probabilidade, entre 90 e 99% de que o aquecimento global resulte essencialmente das atividades humanas e sociais (ANDRADE *et al.*, 2011).

Também, as Nações Unidas relataram que o aquecimento global deve-se, principalmente, ao consumo progressivo de recursos fósseis na terra. A atual estrutura de consumo de energia depende principalmente do carvão, petróleo e gás natural para geração de energia e produtos químicos na maioria dos países e, resulta em emissões substanciais de GEE (SHEN *et al.*, 2015).

Com o Protocolo de Kyoto, assinado em 1997, constituiu-se um regime internacional para lidar com a questão das mudanças climáticas; a partir do qual diversas alternativas foram propostas, com o fim de atacar o problema ou, no mínimo, reduzir os seus efeitos danosos, riscos e ameaças à vida em sentido amplo. Caso nada seja feito para alterar esse cenário, a temperatura média da terra pode aumentar entre 1,4°C e 5,8°C, até 2100, podendo elevar os níveis médios dos oceanos de 9 a 88 cm, no mesmo período; além da intensificação de ocorrências e da severidade de eventos climáticos extremos, como furacões, enchentes e secas ao redor do planeta (ECCLESTON, 2009; MEINSHAUSEN *et al.*, 2011; MOREIRA, 2011).

Desde a virada do século (XX para XXI), vários autores - dentre os quais Andrade *et al.* (2011); Richards e Lyons (2016) destacaram que o novo modelo de desenvolvimento, deve assumir os problemas de adaptação e de vulnerabilidade, que exigem mudanças substanciais na gestão dos recursos e do consumo. E, no contexto do aquecimento global, em toda a sua complexidade por envolver questões sociais, político-ideológicos, econômicos, tecnológicos e culturais; fica evidente que, na busca de soluções para os problemas climáticos, envolvem custo econômico e investimentos no redirecionamento do modelo energético

baseado em fontes não-renováveis, para preservar as florestas e recursos ambientais ainda existentes.

Resultados de pesquisas mostram que as florestas intactas podem estar ajudando a amortecer a taxa de aumento do CO₂ atmosférico, reduzindo assim os impactos das mudanças climáticas globais. Mas o estoque de C pode estar comprometido porque as reservas florestais maduras estão vulneráveis a vários fatores, como desmatamento, fragmentação, aquecimento e mudanças nos regimes de precipitações (ANDRADE *et al.*, 2011; RICHARDS e LYONS, 2016; STAHL *et al.*, 2016).

No Brasil, com o objetivo de identificar, planejar e coordenar as ações e medidas que possam mitigar as emissões de GEE e aquelas necessárias para adaptar a sociedade aos impactos ocorridos com as mudanças climáticas foi lançado em 2008, a Política Nacional sobre Mudanças Climáticas – PNMC. Dentre suas principais ações está a busca pela redução das taxas de desmatamento, eliminação das perdas líquidas de cobertura florestal até 2015, devendo, portanto, conservar as florestas nativas, e também dobrar a área de florestas plantadas de 5,5 milhões de ha para 11 milhões de ha, até 2020 (CISMC, 2008).

2.1.2 O Efeito Estufa

De acordo com o Manual de Capacitação sobre Mudanças Climáticas e Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), CGEE (2010), o planeta terra é uma estufa natural, pois há gases nas camadas que o envolvem, as quais são transparentes à radiação solar, mas que retém, mesmo que parcialmente, a passagem da radiação infravermelha. Esses gases têm como função resfriar a superfície terrestre, ou manter equilibrada sua temperatura.

Caso não existissem esses gases, a superfície terrestre seria 33°C mais fria, o que tornaria quase impossível a sobrevivência de espécies na maior parte do planeta. Os gases que não provocam (ou não contribuem para) o efeito estufa representam 99% dos gases da atmosfera terrestre e, 1% restante são relevantes apenas na composição química da atmosfera, justamente por causarem o efeito estufa (CGEE, 2010).

Dentre os gases, o vapor d'água recebe especial atenção, por sua importância no efeito estufa, devido a sua alta capacidade de absorção da radiação infravermelha e ao seu grande volume, quando comparado a outros gases desse grupo. Sua concentração na atmosfera é resultante do balanço entre a evaporação e transpiração e, a precipitação, que não dependem e não é determinada pelo homem. Ainda é o único gás da atmosfera que existe nas três fases – gasosa, líquida e sólida, e que, de acordo com as condições de temperatura e pressão, exerce importante papel associado diretamente com a vida na superfície da terra, graças ao ciclo hidrológico (CGEE, 2010).

Por outro lado, destacam-se os gases, que foram criados com fins industriais, como os clorofluorcarbonos (CFC), e ou outros resultantes de processos industriais e, alguns com alto poder de aquecimento (GONÇALVES *et al.*, 2013; GREENBLATT, 2015).

A principal questão relacionada ao aquecimento do planeta está centrada no volume dos GEE concentrados na atmosfera; que aumentaram e continuam a aumentar devido à ação humana. Outros fatores que contribuem para o efeito estufa e, que tem parcela de participação humana, são os aerossóis, a variação da refletividade da superfície (albedo), a variabilidade solar, os vulcões e a variação do ozônio na estratosfera (BUENO, 2010; ROYNE *et al.*, 2016).

O efeito estufa é necessário para a conservação da vida na terra, no entanto deve estar em equilíbrio. Que em função das atividades humanas, foi alterado com a retenção de maiores percentuais dos raios solares projetados na superfície do planeta terra. Do total da radiação solar incidente, 70% passam através da atmosfera, e os outros 30% são refletidos para o espaço, sem que atinjam a superfície da terra (BUENO, 2010).

A atmosfera, que tem a finalidade de filtrar os raios solares e proporcionar o equilíbrio das condições de vida na terra é formada por diversos gases, com destaque para o nitrogênio (78,09%); oxigênio (20,95%); argônio (0,93%) e CO₂ (0,03%), entre outros elementos como hélio, metano, óxido de nitrogênio e, água. O metano, o óxido nítrico e o CO₂, são alguns dos gases considerados como causadores do efeito estufa (GOMES, 2014).

De acordo com Loeffler e Anderson (2014), as concentrações atmosféricas globais de CO₂ aumentaram cerca de 67% em comparação aos níveis pré-industriais, 240 ppm, para cerca de 400 ppm atualmente, com evidências científicas que isolam as emissões de fontes antropogênicas da combustão de combustíveis fósseis como causa primária. E estudos realizados demonstram fatores específicos que afetam o potencial de mitigação de GEE dos combustíveis fósseis, assim como condições em que os combustíveis de biomassa podem ser mais positivos no balanço de C.

O CO₂ é o que tem maior participação no conjunto de GEE, pois representa 55% do total dessas emissões na atmosfera e, sua concentração atingiu 379 ppm em 2005; de acordo com a Agência Ambiental Europeia, em 2014 atingia o nível de 406,4 ppm, e, 407,17 ppm em maio de 2016, conforme publicou o Instituto de Oceanografia da Universidade da Califórnia em San Diego (USA); alteração motivada, principalmente, pelo uso de combustíveis fósseis e, numa proporção menor, pela mudança do uso da terra (BUENO, 2010; GLATZLE, 2014).

Os solos constituem-se no maior reservatório de C superficial, com aproximadamente 1.500 Gt, equivalente a quase três vezes a quantidade armazenada na biomassa terrestre e o dobro da quantidade na atmosfera (IPCC, 2003). Portanto, qualquer modificação no uso da terra ou do manejo do solo, pode induzir a mudanças nos estoques de C do solo, mesmo em sistemas agrícolas em que o C é percebido como sendo em estado estacionário (NZILA *et al.*, 2002; LAL, 2010).

Dentre as alterações que contribuem para a mudança climática, resultantes das atividades humanas, estão as mudanças da composição de gases. O metano que nos últimos milhões de anos não havia passado de 800 ppb, atinge 1600 ppb, no século XX, dobrando o seu volume em apenas 100 anos. E, na primeira década deste século (XXI) atingiu a concentração de 1774 ppb; com potencial de aquecimento 21 vezes maior que o CO₂. Também, o óxido nitroso (N₂O), com potencial de aquecimento 310 vezes maior que o CO₂, atingiu concentração de 319 ppb em 2005; sendo que mais de um terço de suas emissões são resultantes

de atividades antropogênicas, principalmente da agricultura (BUENO, 2010; RODRIGUES, 2012; GOMES, 2014).

Em contrapartida, as florestas, durante o período de crescimento, podem contribuir para a redução do efeito estufa, por meio da absorção do CO₂, que se denomina “fixação de C” ou “sequestro de C” ou “captura de C. Conforme Campos (2001) e Arana e Boin (2013), estima-se que cada hectare de floresta de *Eucalyptus* em crescimento absorve até 100 toneladas de CO₂ por ano.

A Tabela 02 mostra os volumes anuais das emissões GEE no Brasil, resultante das mudanças de uso do solo, em cada um dos biomas no período de 1990 a 2013, e demonstram que houve expressiva redução nas emissões, ao que se pode atribuir como sendo resultante das ações tomadas pelos gestores, em função do acordo assumido, a partir dos termos de assinatura do Protocolo de Kyoto pelos países signatários da Convenção de Mudança do Clima (SEEG_BRASIL, 2014).

Tabela 2 - Emissões de GEE por Mudança de Uso do Solo e Florestas (t.CO₂e) do Brasil

Emissões Brutas de GEE por Mudanças de Uso do Solo e Florestas (t.CO ₂ e) do Brasil						
Fontes	1990	1995	2000	2005	2010	2013
Calagem	5.103.428	5.395.368	8.717.368	7.474.412	9.640.620	14.727.240
Queima de Resíduos	88.200.700	133.398.000	89.590.200	85.656.600	29.091.600	25.770.284
Amazônia	31.852.700	77.050.000	47.348.700	48.320.600	15.520.100	14.245.701
Caatinga	8.968.000	8.968.000	6.188.700	5.291.600	1.933.100	1.521.827
Cerrado	21.379.000	21.379.000	18.347.700	16.799.600	6.343.100	5.931.827
Mata Atlântica	11.068.000	11.068.000	8.246.700	5.123.600	1.744.100	1.342.275
Pampa	7.099.000	7.099.000	4.361.700	5.144.600	1.996.100	1.584.827
Pantanal	7.834.000	7.834.000	5.096.700	4.976.600	1.555.100	1.143.827
MUT – Mudança de Uso da Terra	1.153.522.031	2.065.024.663	1.359.632.895	1.413.043.126	560.234.195	501.970.431
Amazônia	759.022.031	1.606.439.999	1.007.569.959	1.051.132.184	386.974.087	325.666.335
Caatinga	28.850.000	41.532.057	41.532.057	20.101.244	13.982.532	13.982.532
Cerrado	304.400.000	327.813.780	221.292.052	296.091.494	134.993.790	134.993.790
Mata Atlântica	32.520.000	74.611.302	74.611.302	15.911.043	5.286.505	8.330.493
Pampa	50.000	94.630	94.630	17.183.073	15.661.265	15.661.265
Pantanal	28.680.000	14.532.895	14.532.895	12.624.088	3.336.016	3.336.016
Total Geral	1.246.826.159	2.203.818.031	1.457.940.463	1.506.174.138	598.966.415	542.467.955

Fonte: Adaptado de SEEG_BRASIL, 2014

Mesmo com a redução dos GEE por mudanças no uso do solo e coberturas florestais no Brasil, conforme dados da Tabela 2, ainda houve aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera, pois à medida que são liberados se espalham pela atmosfera, e não permanecem sobre a região em que foram liberados. Estas mudanças de composição podem ter importantes impactos na acumulação de C, na dinâmica e na biota das diversas fisionomias florestais da Amazônia. A fumaça das queimadas nessa região contribui para a redução de precipitação o que, associado ao desmatamento e alterações na dinâmica da floresta, afetam diretamente o ciclo da água, a carga de poluição atmosférica e a dinâmica de circulação (JOLY, 2007). Assim, observa-se que, as emissões totais resultantes da queima de resíduos e da mudança de uso da terra são crescentes até 2005, a partir daí começa a reduzir, o que indica que os resultados das ações tomadas a partir do Protocolo de Kyoto, começam a ser sentidos.

2.1.3 Ciclo de Carbono

O C sempre existiu na natureza em níveis e em equilíbrio adequados, em que os quatro principais compartimentos de C na terra são os oceanos, a atmosfera, as formações geológicas contendo C fóssil e mineral e os ecossistemas terrestres compostos pela biota e pelo solo (GOMES, 2014; BUENO, 2010).

Com o passar do tempo, aos poucos o equilíbrio foi alterado, pois por meio da ação natural dos seres vivos; principalmente os humanos e animais, em números cada vez maiores, aceleraram o desequilíbrio. Além disso, outras ações contribuíram para o desequilíbrio, pelo aumento das emissões de C, associados com os desmatamentos e a instalação de indústrias para a produção de alimentos, bens, serviços, energia e transporte, sendo que este último utilizou ao longo de décadas, combustíveis de origem fóssil (STEHFEST *et al.*, 2009).

A necessidade de alimentos para uma população crescente é uma ameaça aos recursos naturais; enquanto as pessoas se esforçam para tirar o máximo proveito da terra já em produção ou avançar para as novas fronteiras agrícolas (STEINFELD *et al.*, 2006). O plantio sem os cuidados necessários e sem a devida correção do solo provocam danos cada vez mais evidentes, como: erosão das terras aráveis, salinidade, desertificação e disseminação urbana, escassez de

água, desmatamentos e ameaças à biodiversidade; os avanços das fronteiras agrícolas, com o desmatamento e, alteração da cobertura do solo, que é considerada como um importante fator no aquecimento global (FOLEY *et al.*, 2011).

De acordo com Parmar *et al.* (2015), os maiores contribuintes para GEE global são as emissões resultantes do uso de combustível fóssil e a mudança de uso do solo. Os padrões de uso da terra mudaram ao longo do tempo em resposta às necessidades humanas; porém, em razão das demandas por energia faz-se necessário reverter o processo, destinando áreas antes desmatadas para a produção de culturas energéticas, as quais para serem consideradas como viáveis e sustentáveis, devem emitir menor quantidade de GEE em comparação ao uso de combustíveis fósseis. E, as espécies arbóreas podem influenciar o sequestro de C_{org} do solo e os fluxos de GEE devido à variação das taxas de decomposição.

Creutzig *et al.*, (2015) afirmam que a mudança de uso da terra pode ser benéfica, pois aumentam a oferta de emprego nas áreas rurais e, quando cultivada em larga escala traz benefícios, não só aos proprietários, mas a todos os que vivem no seu entorno, com a redução das emissões de GEE e melhoria na qualidade do ar, bem como por disponibilizar fonte energética para uso doméstico. Para eles, a implantação de bioenergia parece ser mais benéfica quando não é uma atividade adicional de uso da terra, mas integra-se e influencia a maneira como agricultores e proprietários usam suas terras.

Os solos agrícolas e degradados do planeta têm potencial de absorver 50 a 66% das perdas históricas de C, que é de 42 a 78 Gt., dependendo da estrutura do solo, precipitação, temperatura, sistema de cultivo, manejo do solo e das tecnologias adotadas. Estratégias para elevar o estoque de C no solo incluem ações como, restauração do solo, regeneração de florestas, plantio direto, culturas de cobertura, manejo e nutrientes, adubação e aplicação de lodo, colheitas, melhorias nas pastagens, conservação de água, irrigação eficiente, práticas agroflorestais (LAL, 2004).

Ainda de acordo com Lal (2004), o potencial de absorção de C pelo solo, é similar às perdas históricas acumuladas, que são estimadas entre 55 e 78 Gt. Dependendo da textura do solo, características e perfil do clima podem apresentar taxas anuais entre zero e 150kg C.ha.ano⁻¹, em regiões secas e quentes e, de 100 a 1.000kg C.ha.ano⁻¹ em regiões úmidas e climas frios. Quando aplicadas as práticas de manejo recomendadas, associadas ao uso criterioso da terra, essas taxas podem ser mantidas por 20 a 50 anos, ou até que a capacidade do solo seja preenchida.

Outros estudos indicam que os serviços e valores que as culturas perenes prestam ao ecossistema, com a restauração de terras degradadas, por meio de sistemas agroflorestais, controle de erosão e até mesmo nos efeitos climáticos regionais, tais como melhor retenção de água e precipitação (FAAIJ, 2006; VAN DER HILST *et al*, 2012; CREUTZIG *et al*, 2015).

Por estes fatores, as florestas merecem atenção devido ao seu importante papel no fluxo global de C; pois armazenam grandes quantidades de C na vegetação e no solo, trocam C com a atmosfera através da fotossíntese e respiração. Também, se tornam sumidouros atmosféricos de C no período de crescimento da floresta, e atuam como fontes de C se forem perturbados por alguma atividade humana ou por causas naturais (HARIPRIYA, 2003; DENARDIN *et al.*, 2014).

O C está entre os gases encontrados na atmosfera e o seu ciclo se dá com o processo de sequestro pelas florestas com a presença da luz solar. Por outro lado, quando da ausência destas florestas também é produzido C, que é lançado na atmosfera pelas atividades agrícolas, pecuárias e demais atividades humanas, incluindo os meios de locomoção e transporte, que são os principais geradores de CO₂. Porém, as florestas possuem grande capacidade de captura de CO₂, que é superior ao que ela libera no período noturno, i.e., sem a incidência de luz natural (SALIBA, *et.al.*, 2015). A Figura 4, mostra de forma simplificada o ciclo do C (NATURE, 2006; NEGRI, 2008).

Grande parte do CO₂ que é capturado é acumulada nas diversas estruturas (folhas, galhos, fuste e raízes) e, também no solo e na serapilheira. Ao longo do processo de decomposição da biomassa, decorrente da morte natural dos

indivíduos ou relacionadas à exploração pelo homem libera C; que, depois de ser liberado na atmosfera, continua o ciclo, em que é absorvido pelas florestas ou pelos oceanos, na forma de “sumidouros” que, ao absorverem, o estocarão. No caso das florestas, a estocagem se dá pelo incremento de biomassa em árvores vivas, por meio da fotossíntese, em que o acúmulo se dá, principalmente, no seu tronco (AJANI *et. al.*, 2013; SALIBA, *et.al.*, 2015).

Pesquisas feitas por Tsukamoto Filho (2003) permitiram estimar o volume de CO₂, fixado ou armazenado pelas plantas, considerando que de certo modo, pode-se afirmar que está consolidado, que para a massa seca de um tronco foi adotado o fator 0,49. Também, segundo Faria (2015), o teor de C na madeira de *Eucalyptus*, em média é de 50%.

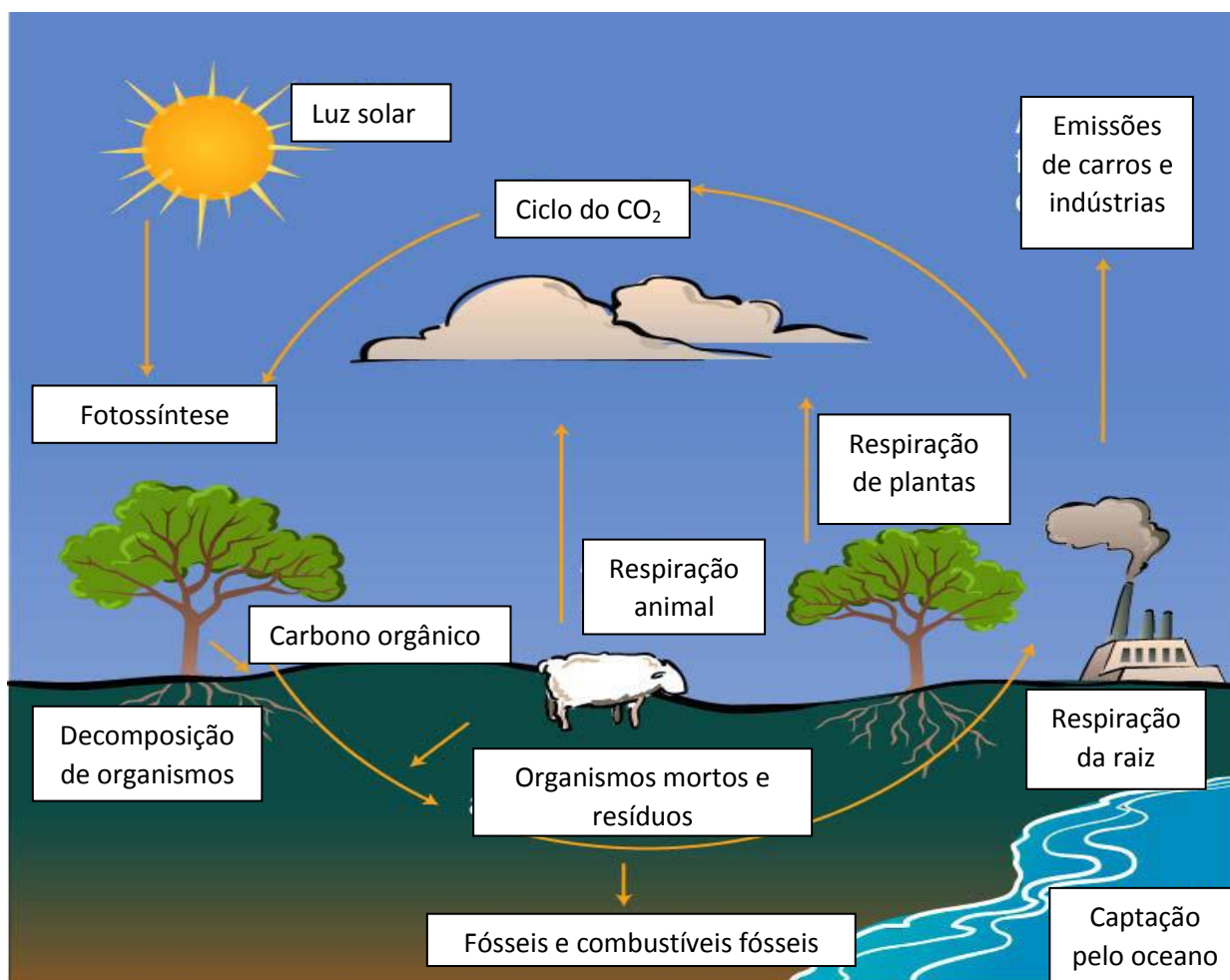


Figura 4 - Ciclo de Carbono

Fonte: Adaptado de Nature (2006); Negri (2008)

O MCTIC (Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações) apresentou algumas estimativas de C sequestrado por florestas plantadas de *Eucalyptus* e *Pinus*, no período de 1990 a 1994, demonstrando que o tronco das árvores foi o componente com os maiores volumes fixados, em torno de 65% para o *Eucalyptus* e de 63% para o *Pinus* (NZILA *et al.*, 2002). Pesquisa realizada por Reis *et al.* (1994), em plantios de *Eucalyptus*, determinaram que foram sequestrado 10,32 t.C.ha⁻¹.ano⁻¹, e desse total 65% estava concentrado na biomassa do tronco.

Em estudos feitos por Silva *et al.* (2015), sobre a análise do teor de C na biomassa aérea de espécies de *Eucalyptus*, mostraram que, em média, o C presente na biomassa total seca foi de 46,3%. Ainda, em plantações de *E. grandis* e *E. urophylla*, o C encontrado para folhas, casca, galhos e lenho foram nas porcentagens médias de 52,4%; 47,9%; 52,5% e 50,6%, respectivamente, do volume analisado de cada um dos seus compartimentos, indicando que a maior concentração de C se dá nos galhos 52,5% e folhas 52,4%, observa-se portanto, que a média de C presente na árvore (indivíduo) foi de 50,85%.

Dentre as diversas pesquisas realizadas, há certa variação para o C estocado em espécies florestais; no entanto o volume de C estocado na forma de madeira, que corresponde ao C, oxigênio e traços de cinza, contém em termos de valores médios 48% de C na forma de lignina e celulose (DERECZYNSKI *et al.*, 1998).

Estudo realizado por Campos (2012) mostrou que o teor de C em biomassa seca pode ser estimado em 47% e, que outras hipóteses de composição entre celulose, lignina e hemicelulose podem trazer ligeiras variações para o teor de elementos químicos. Saliba (2015) afirma que, os reflorestamentos mais recentes são mais eficazes, no sequestro de C atmosférico quando comparado aos mais antigos.

Segundo Gomes (2014) as principais formas de manejo florestal para reduzir o CO₂ na atmosfera são: *i*) aumentar a área de cobertura florestal por meio de florestamento e reflorestamento; *ii*) aumentar a densidade média de C no tempo ou no estoque de C por unidade de área de terra; e, *iii*) evitar o desmatamento e degradação florestal.

O termo florestamento se refere à cobertura florestal por meio de plantio, semeadura e/ou a promoção de fontes naturais de semeadura, em área sem qualquer cobertura florestal há, pelo menos, 50 anos. O termo reflorestamento corresponde à cobertura florestal por meio de plantio, semeadura e/ou promoção de fontes naturais de semeadura, ou área que era de floresta, mas foi convertida em área não-florestal, em no máximo até 49 anos (RIBEIRO, 2013).

2.1.4 Protocolo de Kyoto

No ano de 1992, em Nova York, representantes de governos adotaram a Convenção denominada Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, como o ponto de partida para tomarem ações mais rígidas no futuro e estabelecem o compromisso de permanentes revisões, discussões e troca de informações com relação às condições climáticas do planeta (BRASIL, 2014).

Em dezembro de 1997, em Kyoto, Japão, essa conferência – Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima culminou na decisão de se adotar um Protocolo por meio do qual os países industrializados reduziriam, no período entre os anos de 2008 e 2012, suas emissões combinadas de GEE em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 (BRASIL, 2014).

O artigo 2, do Protocolo de Kyoto apresenta os compromissos propostos e assumidos pelas partes, com a finalidade de promover o desenvolvimento sustentável, por meio de (BRASIL, 2014):

- (a) Implementar e/ou aprimorar políticas e medidas de acordo com suas circunstâncias nacionais, tais como:
 - (i) O aumento da eficiência energética em setores relevantes da economia nacional;
 - (ii) A proteção e o aumento de sumidouros e reservatórios de GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal, levando em conta seus compromissos assumidos em acordos internacionais relevantes sobre o meio ambiente, a promoção de práticas sustentáveis de manejo florestal, florestamento e reflorestamento;

- (iii) A promoção de formas sustentáveis de agricultura à luz das considerações sobre a mudança do clima;
 - (iv) A pesquisa, a promoção, o desenvolvimento e o aumento do uso de formas novas e renováveis de energia, de tecnologia de sequestro de CO₂ e de tecnologias ambientalmente seguras, avançadas e inovadoras;
 - (v) A redução gradual ou eliminação de incentivos fiscais, de isenções tributárias e tarifárias e de subsídios para todos os setores emissores de GEE que sejam contrários ao objetivo da Convenção e aplicação de instrumentos de mercado;
 - (vi) O estímulo a reformas em setores relevantes, visando a promoção de políticas e medidas que limitem ou reduzam emissões de GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal;
 - (vii) Medidas para limitar e/ou reduzir as emissões de GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal no setor de transportes; e,
 - (viii) A limitação e/ou redução de emissões de metano por meio de sua recuperação e utilização no tratamento de resíduos, bem como na produção, no transporte e na distribuição de energia; e,
- (b) Cooperar com outras Partes incluídas no Anexo I, no aumento da eficácia individual e combinada de suas políticas e medidas adotadas segundo este Artigo. Para esse fim, essas Partes devem adotar medidas para compartilhar experiências e trocar informações sobre tais políticas e medidas, desenvolvendo formas de melhorar sua comparabilidade, transparência e eficácia. A Conferência das Partes na qualidade de reunião das Partes deste Protocolo deve considerar maneiras de facilitar tal cooperação, levando em conta toda a informação relevante.

O Protocolo de Kyoto, tanto estabelece as condições para a realização de acordos entre partes (países), quanto os procedimentos para a realização desses acordos; pois, uma vez assumido os compromissos entre as partes, o referido Protocolo é enfático, em exigir o seu cumprimento. Também determina a revisão e avaliação periódica e, transparência das informações. Mesmo tendo sido estabelecido em 1997, entrou em vigor, somente em fevereiro de 2005; com

previsão de redução média das emissões de GEE em 5,2%, para os países desenvolvidos, tendo como referência suas emissões de 1990, limite que deveria ter sido atingido até 2012.

Sikkema *et al.* (2013) informam que é necessário a implantação de medidas que limitem os aumentos médios da temperatura global, resultantes das mudanças climáticas e, no centro dessa questão, reside a necessidade de reduzir os GEEs. Diante disso, em dezembro de 2011, a 17ª Conferência das Partes das Nações Unidas sobre o Clima (COP-17), 37 governantes de países industrializados e da comunidade europeia estabeleceram um acordo, segundo período do Protocolo de Kyoto, para vigorar a partir de primeiro de janeiro de 2013.

De acordo ainda com Sikkema *et al.* (2013), há três formas principais, pelas quais o setor florestal pode contribuir: *i*) uso da biomassa florestal para geração de energia; *ii*) substituir os materiais que consomem intensamente energia, por biomassa florestal; e, *iii*) aumentar a área de cobertura florestal e madeira como fixadores de C. Nessa oportunidade alguns assumiram compromissos que visam contribuir para a redução das temperaturas médias, como foi o caso da União Europeia (EU-27), que objetiva uma contribuição de 20% do consumo bruto de energia em fontes renováveis, em 2020.

Conforme Horio *et al.* (2015), as políticas energéticas, em muitos países, estão mudando para aumentar o peso das energias renováveis na matriz energética, não apenas para responder às pressões internacionais que exigem a transição para energia com baixa emissão de C, mas para intensificar sua segurança energética e econômica.

Estudos como o realizado por Galdos *et al.* (2013), demonstram que resíduos da queima, que leva a emissões de GEE e C, usados para facilitar a colheita manual da cana-de-açúcar, contribuem para o aquecimento global e causam problemas de saúde, além de elevar o seu custo de produção. No futuro quando estiver totalmente mecanizado, as emissões esperadas do Potencial de Aquecimento Global (*Global warming potential – GWP*) será 70% menor, e as emissões de C serão 216 vezes menores do que quando toda a cana-de-açúcar colhida, era queimada. Isto mostra que a produção de etanol no Brasil está melhorando em

termos de aquecimento global e no aspecto da saúde humana; como é considerada uma das opções de biocombustíveis mais sustentáveis, é essencial identificar e promover políticas e práticas que melhoram sua produção e aumentam o rendimento de etanol por unidade de área plantada e, eliminar a queima da pré-colheita.

2.1.5 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

Com o objetivo de não comprometer a economia dos países compromissados com o Protocolo de Kyoto, foi estabelecido o MDL, que permite que parte de suas reduções possam ser compensadas por meio do sequestro de C nos países em desenvolvimento, os quais receberiam investimentos em projetos certificados de manutenção e implantação de florestamento e reflorestamento, por meio da compra de CC, cujas bases formais para o surgimento desse mercado também foi criada por esse protocolo (GOMES, 2014).

Em contrapartida, os países em desenvolvimento podem elaborar projetos que contribuam para o DS e com a redução das emissões de GEE, com isso obtendo a RCE, que são emitidas pelo Conselho Executivo do MDL, que são negociadas no mercado de C (MELLO *et al.*, 2010; GOMES, 2014).

O MDL é um acordo resultante da convenção realizada em Kyoto-Japão em 1997, que flexibiliza o cumprimento das metas acordadas de redução das emissões de gases causadores do efeito estufa, pelos países desenvolvidos ou industrializados. Pois permite que estes invistam em projetos de manutenção ou de implantação de florestas para a mitigação de GEE. Porém, tais investimentos são limitados a 1% de suas emissões em 1990; caso não houvesse essa limitação, muitos países poderiam investir o máximo de suas necessidades em outros países (PUENTES, 2010; GOMES, 2014).

O MDL serve como uma alternativa de incentivo aos países, para remunerar os benefícios ambientais proporcionados por quem, deixar de usar o solo para outras finalidades como, pecuária ou agrícola, e destiná-la ao plantio de florestas; sejam elas de florestamento ou reflorestamento, porém que viabilizem um DS. Assim, quando se conservam, preservam, recuperam ou plantam florestas, ocorre o

processo inverso devido ao surgimento de um sumidouro de C, uma vez que as florestas removem parte do CO₂ da atmosfera pela fotossíntese (SILVA, 2008; HIGUCHI, 2015). As árvores podem trazer benefícios para as culturas como, redução da temperatura tanto do solo quanto do ar, reduzir a velocidade dos ventos e aumentar a umidade relativa, minimizando possíveis perdas provenientes das mudanças climáticas, além de serem sumidouros de CO₂ atmosférico (PUENTES, 2010).

O compromisso de compensação (ou sequestro e estocagem) das emissões de GEE deve ser assumido pelo próprio país em seu território, para que com o reflorestamento também melhore as condições de vida local, porque além de estocar C, ainda eleva a qualidade do ar. Por outro lado, com a possibilidade de os países contabilizarem o C sequestrado pelas florestas nos seus inventários nacionais de emissões, criou-se nova alternativa e perspectiva para o setor florestal, que pode se destacar na comercialização de CC, viabilizando o negócio com maior retorno sobre o investimento; uma vez que estará recebendo anualmente os valores referentes ao volume de C sequestrado naquele período.

Nesse sentido o Brasil encontra-se em vantagem, em relação aos demais países, por dominar a tecnologia de manejo genético-florestal; pela disponibilidade de grande extensão de terras totalmente adequadas ao cultivo florestal, além do seu potencial produtivo (SILVA, 2008; SFB, 2010).

As reduções das emissões resultantes dos MDL's devem receber certificação de entidades designadas pela Conferência das Partes (COP), as quais avaliarão os seguintes critérios: *i*) participação voluntária dos países envolvidos; *ii*) que haja benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados à mitigação da mudança climática; e, *iii*) que as reduções das emissões sejam resultantes da atividade certificada (BRASIL, 2014; GOMES, 2014).

Para implementar um projeto de MDL e gerar CC, deve respeitar as etapas: concepção do projeto, validação, aprovação, registro, monitoramento e, emissão dos certificados de CC. No Brasil, em função das condições naturais apropriadas, são aceitos projetos voltados a energias renováveis, a florestamento e reflorestamento (CGEE, 2010; PUENTES, 2010; GOMES, 2014). A Resolução

nº 01 (CGEE, 2010) estabelece cinco critérios que objetivam definir se uma atividade de projeto contribui para o DS e estabelece procedimentos específicos para a participação de membros locais acerca desses projetos, sendo:

- (a) Contribuição para a sustentabilidade ambiental local;
- (b) Contribuição para o desenvolvimento das condições de trabalho e a geração líquida de emprego;
- (c) Contribuição para a distribuição de renda;
- (d) Contribuição para a capacitação e desenvolvimento tecnológico; e,
- (e) Contribuição para a integração regional e a articulação com outros setores.

No âmbito do MDL, há atividades com peculiaridades que as diferenciam; mas, todas têm como objetivo as reduções das emissões de GEE. Por exemplo, o tipo denominado de MDL de grande escala (ou de larga escala), cuja característica é não estabelecer limites para sua extensão. As metodologias aplicadas nesse tipo de projeto devem ser submetidas pelo proponente e se torna pública após sua aprovação (GOMES, 2014).

Outra característica do MDL de grande escala é que pode ser o conjunto de várias atividades menores, agregadas em um único projeto de MDL. E, não se estabeleceu limites para o número ou o tamanho das atividades produtivas que compõem ou comporão o projeto. O MDL grande escala, será validado e verificado por Entidades Operacionais Designadas - EOD distintas (CGEE, 2010).

Os projetos de MDL de pequena escala foram criados, depois de se avaliar que os custos envolvidos na atividade de MDL de grande escala inviabilizaria sua aplicação para uma série de empresas menores; diante disso, alguns procedimentos foram simplificados para reduzir os custos transacionais; criando, portanto, os seguintes tipos de projetos (CGEE, 2010):

- (a) projetos do tipo I: atividades de projetos de energia renovável com uma capacidade máxima de produção de 15 MW (ou um equivalente adequado);
- (b) projetos do tipo II: atividades de projetos de melhoria da eficiência energética que reduzam o consumo de energia, no lado de oferta e/ou da demanda, em até o máximo de 60 GWh por ano (ou um equivalente adequado); e,

(c) projetos do tipo III: outras atividades de projetos que resultem em reduções de emissão inferiores ou equivalentes a 60 kt CO₂ equivalentes anual.

Outra categoria de projetos de MDL é o de florestamento/reflorestamento ou MDL florestal; para o qual se permitiu que uma política local, regional e/ou nacional, para reduções de emissões de GEE fosse incorporada a projetos de MDL. Assim, o programa de atividades constitui-se numa ação coordenada por entidades públicas ou privadas, com a função de implantar políticas que reduzam as emissões de GEE ou que aumentem a capacidade de remoção desses gases (CGEE, 2010; GOMES, 2014).

Na 32ª reunião do Conselho Executivo do MDL, adotou-se diretrizes para o registro de um Programa de Atividades (*Program of Activities – PoA*), também denominado de MDL programático. Por meio deste PoA, tornou-se possível a implantação de política local, regional e nacional, visando que a redução de emissões de GEE fosse incorporada a projetos de MDL. Trata-se de uma ação voluntária que é coordenada por entidades, públicas ou privadas, que implementam políticas ou medidas redutoras das emissões de GEE ou que aumentem as redes de remoção dos gases adicionais, considerando um cenário sem atividades dos projetos, os quais podem ser implementados em localidades distintas, desde que o conjunto de tecnologias e a metodologia aplicada para as atividades sejam comum a todas as áreas.

A Figura 5 mostra de forma simplificada o “Ciclo de Projeto MDL”, subdividido em duas partes, sendo que a primeira vai desde a submissão (passo 1) até o registro (passo 4); a segunda parte, vai do monitoramento (passo 5) até a emissão das RCE's (passo 7) (CGEE, 2010). O segundo ciclo se repetirá na frequência em que o proponente pretender obter novas RCE's, para o que ele contratará uma EOD para elaborar o relatório de verificação, quantificando e certificando as reduções alcançadas pelo projeto naquele período, e solicitar ao Conselho Executivo do MDL a emissão das RECs a que o projeto tem direito.

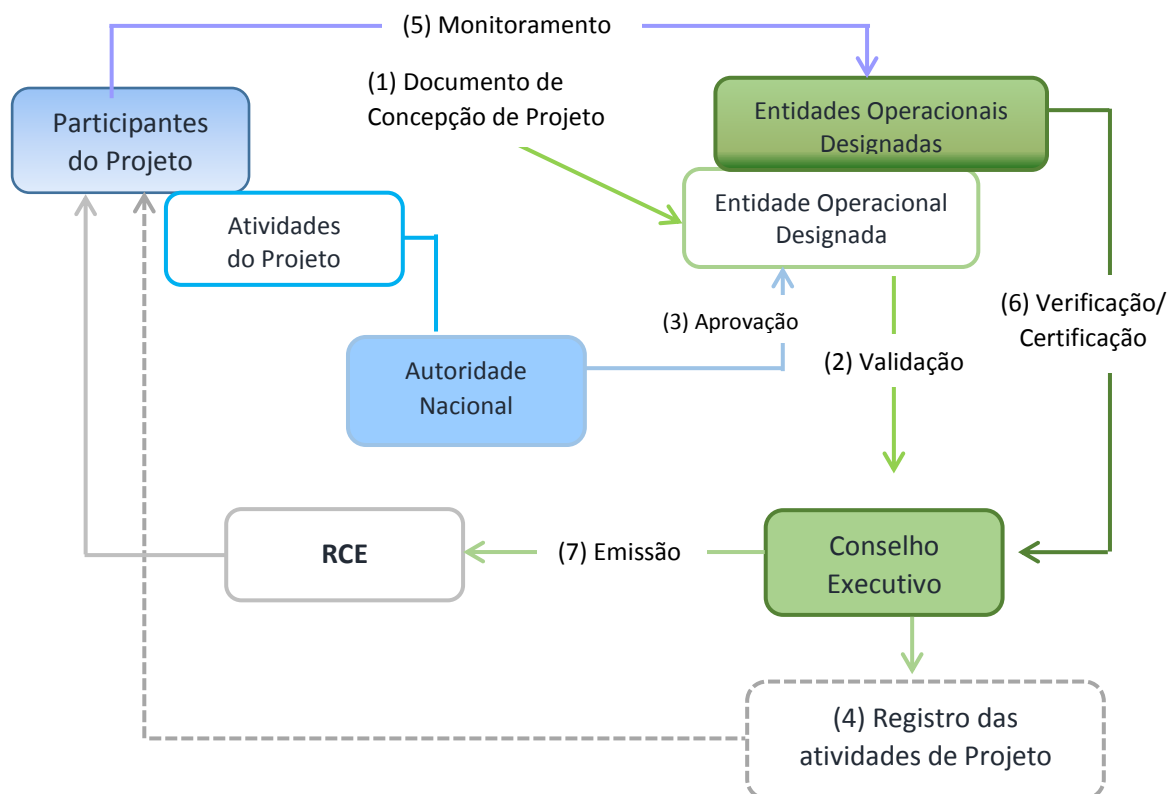


Figura 5 - Ciclo de Projeto do MDL
Fonte: CGEE (2010)

Ainda conforme o CGEE (2010), os passos para o seu desenvolvimento, são idênticos às atividades de projeto de MDL tradicional, porém sua principal diferença é que as várias atividades de projetos (*Clean Development Mechanism, programme activities – CDM, ou Component Project Activities – CPAS*) individuais que compõem o PoA são unificadas e apresentadas conjuntamente, e CPAS desenvolvidas podem ser adicionadas ao PoA, se cumprirem as mesmas regras e sua inclusão seja informada ao Secretariado do Conselho Executivo. Outra vantagem é que possibilita a realização de uma série pequenas atividades de projeto no âmbito do MDL, uma vez que simplifica procedimentos e reduz custos, por incluir várias atividades em um único programa.

Com o objetivo de incentivar investimentos em mudanças climáticas, por meio do Protocolo de Kyoto, foram apresentados três mecanismos de flexibilização do compromisso da convenção objetivando a redução das emissões, com a Implementação Conjunta (*Joint Implement – JI*), ou Comércio de Emissões (*Emissions Trade – ET*) e MDL (*Clean Development Mechanism – CDM*).

Com esses mecanismos abriram-se alternativas para que países desenvolvidos, que não dispõem mais de espaços para a implantação de florestas, ou não tenham interesse em realiza-la, possam realizar investimentos em projetos de reduções de emissões de baixo custo fora do seu território, por meio da implantação e manutenção de florestas em países em desenvolvimento, que lhes dêem “equivalência” a um volume de GEE emitidos por eles e suas empresas. Porém isso ocorre mediante o pagamento anual de valores definidos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo mercado. Ao realizar o investimento, recebem certificados de CC que comprovam seus investimentos para a compensação de suas emissões, com a manutenção de florestas em outros países (PAIXÃO, 2004).

2.1.5.1 MDL Florestal e as Reduções Certificadas de Emissões

O MDL florestal pode ser uma alternativa para pequenos agricultores, que não dispõem de recursos financeiros para plantios de lavoura temporária, mas dispõem de mão-de-obra, para os cuidados culturais; desta forma, necessitando de menor volume de recursos para a realização das atividades, como o plantio de florestas, que pode proporcionar no curto prazo os CC a serem comercializados. Assim, segundo Arana e Boin (2013), o governo brasileiro propôs o PRONAF FLORESTAL e o FUNCAF, com linhas de créditos a pequenos produtores como atrativo para a implementação da cultura do *Eucalyptus*.

No Brasil ficou definido que os projetos de MDL Florestal poderiam ser desenvolvidos com vegetação arbórea que atinja altura superior a 5m e área de cobertura foliar das copas superior a 30%, de sua altura; e com área mínima plantada de 1,0 ha. Os objetivos desses critérios foram de maximizar os resultados da atividade de MDL Florestal, com reduzido custo de monitoramento (CGEE, 2010).

Este tipo de projeto se diferencia do MDL convencional por envolver atividades de uso da terra, mudança no uso da terra e florestas, na forma de sumidouro de GEE. Esta modalidade restringe-se às atividades de florestamento e reflorestamento, porém, não contempla outras atividades que envolvam o manejo, a regeneração ou conservação de florestas como atividade no âmbito do MDL;

tendo-se em vista que projetos de compensação de CO₂ devem ter um efeito real, ou seja, o projeto deve sequestrar mais CO₂ do que teria sido sequestrado caso o projeto não fosse implantado (RORIZ, 2010).

Portanto, as áreas em que foram realizadas mudanças no seu uso após data de 31/12/89, ou seja, que nessa data apresentavam e tinham cobertura florestal, tornaram-se inelegíveis para inclusão em projetos MDL. Também ficou de fora do MDL, ao menos no primeiro período, a conservação florestal por entenderem que tal procedimento, nada mais é do que a manutenção de áreas florestais com a simples finalidade de conservação o que, de certo modo, incentiva o desmatamento de áreas nativas para futuro plantio com o objetivo de obter benefício, como novo projeto de reflorestamento; comercializando assim os CC. Para a implantação de projetos MDL e conseqüente benefício com CC, é necessário e obrigatório estabelecer a metodologia de monitoramento para verificar o cumprimento das metas e a redução de emissões e/ou de sequestro de C; desta forma, tais projetos serão certificados, beneficiando os detentores do reflorestamento (GOMES, 2014).

As atividades no âmbito do MDL florestal, ao final do ciclo do MDL, geram unidades de reduções de emissões específicas, denominadas de Reduções Certificadas de Emissões Temporárias (RCET) e Reduções Certificadas de Emissões de Longo Prazo (RCEI), e o proponente deve selecionar o modo de quantificação das reduções de emissões de GEE, no qual se enquadra o seu projeto. Essa escolha implica na quantificação da biomassa estocada em cada período do compromisso, sendo que a RCETs, são limitadas a cada período comprometido e ao final deve-se realizar uma verificação; quantificando o montante de RCE estocado na biomassa e emitidos RCETs equivalentes a essa quantia. As emissões de períodos anteriores deverão ser substituídas por outros tipos de unidades ou por RCETs válidas. A escolha pelo modo RCEI implica verificações incrementais ao longo da vida útil do projeto e, todos os RCEI emitidos pelo projeto expirarão ao término da sua vida útil (CGEE, 2010).

Portanto, a principal diferença entre RCETs e RCEI é o seu tempo de validade. Os RCETs são ciclos fechados que não geram obrigações de manutenção da

biomassa plantada entre os períodos de compromisso, enquanto que para os RCEI, as verificações serão incrementais ao longo da vida útil do projeto (CGEE, 2010).

2.1.5.2 Mercado de Carbono

O mercado de C consiste na abertura dada a partir do Protocolo de Kyoto, visando incentivar o plantio de florestamento e reflorestamento e, conseqüentemente o sequestro de C. Os países emissores, ao terem que cumprir metas de reduções de suas emissões e, sem área disponível para o plantio florestal ou a indisponibilidade de tecnologias para implantação imediata, que reduzissem seus níveis de poluição, poderiam investir na compra de CC dos países em desenvolvimento, os quais realizam plantios florestais, que passariam a comercializar o C sequestrado e acumulado em suas florestas (CGEE, 2010; MOREIRA, 2017).

Esse comércio (ou mercado) de emissões é baseado em um programa que estabelece limites a serem comercializados, uma vez que o principal objetivo é a flexibilização para o cumprimento das metas de redução de emissões. Se não houvesse limitações, os países desenvolvidos transfeririam toda a responsabilidade pela manutenção de florestas para os países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos. Porém, da forma como os critérios foram estabelecidos, apenas uma parte dessa responsabilidade poderá ser transferida a terceiros. Em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, há disponibilidade de área, além do que as florestas plantadas serão destinadas às indústrias à base de madeira e a produção de celulose e papel (LIMA, 2014).

Conforme o Manual de Capacitação sobre Mudanças Climáticas (CGEE, 2010), no comércio de C o administrador do sistema emite uma quantidade limitada de permissões de emissão; cujo certificado é denominado *Assigned Amount Unit* (Unidade de Quantidade Atribuída – UQA); que representa o total da meta de redução estabelecida para todas as partes. Essas permissões são alocadas gratuitamente ou leiloadas pelo administrador, assim os países ou empresas ganham o direito de emitirem t.CO₂ equivalentes às UQAS que possuem.

As instituições reguladas nesse regime, para alcançar suas metas, podem optar por reduzir internamente suas emissões ou comprar mais permissões. As entidades que optarem por reduzir e conseguirem baixar suas emissões de GEE, além do seu limite ou teto, poderão comercializar permissões excedentes. Desta forma, empresas que apresentam custos maiores para reduzir suas emissões de GEE, podem adquirir UQAS daquelas que tem custos menores (CGEE, 2010).

Assim, os plantios florestais ao atingirem os limites mínimos estabelecidos, poderão ter os créditos relativos ao CO₂ sequestrado, comercializados no novo mercado de ativos financeiros, similar a outros já existentes. O que pode ocorrer de forma direta vendedor/comprador, negociando as quantidades de reduções de emissões (*Emission Reduction Purchase Agreement – ERPA*), ou CC, em troca de seu investimento (REZENDE *et al.*, 2006; AROEIRA, 2017).

Os mercados de C continuam sendo vinculados ao Protocolo de Kyoto; porém mesmo que sejam criados por questões obrigatórias ou, a partir de programas voluntários; recentemente, têm surgido novas plataformas de negociação que são denominadas de mercados voluntários (REZENDE *et al.*, 2006;).

Um aspecto importante sobre o Mercado de Carbono Voluntário (MCV), é que ele opera de modo paralelo ao mercado regulado, com o qual mantém certa relação. Nesse mercado, são comercializados tanto RCEs provenientes do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) quanto do *Voluntary Emission Reductions* ou *Verified Emission Reductions (VERs)*. Adicionalmente, servem como ferramenta de inovação e experimentação *Voluntary Carbon Standard (VCS)*.

Porém, mesmo havendo um mercado ativo e certo, o volume de CC comercializados no mercado voluntário é menor, e a demanda é criada por seus compradores sem obrigação legal para reduzirem, ficando desta forma vulnerável ante as variações econômicas, o que contribui para maior variabilidade dos preços praticados. Como os participantes desse mercado não estão obrigados a adquirir cotas de emissões, a decisão de comprar créditos é resultado da combinação de fatores, como: benefícios ambientais gerados pelo projeto; estratégias de C neutro e marketing; comprometimentos com políticas de

responsabilidade sócio empresarial; e aprendizado para futuros sistemas obrigatórios e demanda dos clientes (CGEE, 2010).

2.2 Sistema de Produção Florestal

Uma floresta é composta por uma diversidade de espécies arbóreas, que comporta uma diversidade de vida, abaixo e acima do solo e, seu ciclo seja longo, superior a sete anos; a partir da qual se pratique uso ou exploração florestal sustentável (MARTINI, 2004; EMBRAPA FLORESTAS, 2015).

As florestas se constituem num fator essencial para a regulação climática do planeta, pois funcionam como enormes sumidouros de C atmosférico, sendo capaz de estocar até 148 toneladas de CO₂, por hectare (PAIXÃO, 2004; BRIANEZI, 2014; TORRES, 2015). Também, reguladoras do ciclo hidrológico com a evapotranspiração em grandes volumes de água para a atmosfera (EMBRAPA FLORESTAS, 2015).

O sequestro de C é um fator motivador para a manutenção de florestas e é considerado como um elemento nesse portfólio de bens e serviços derivados de florestas, em que há um mercado de C que apresenta valor e mercado definidos (CGEE, 2010; BRASIL, 2011). Porém, nos casos em que não houver fluxo constante, deverão ser tratados juntamente com os produtos florestais tradicionais e, na ausência desse mercado ainda assim o sequestro de C continua sendo importante serviço prestado à sociedade, proporcionando benefícios às futuras gerações (EMBRAPA FLORESTAS, 2015).

Conforme SFB (2016), o estoque das florestas visa expressar a quantificação das seguintes variáveis: volume de madeira, peso da biomassa e peso de C encontrado nas áreas com cobertura florestal existente nos biomas brasileiros. Os cálculos de volume, biomassa e C foram estimados a partir de dados da literatura, compilados em 2014 pelo Serviço Florestal Brasileiro, por fitofisionomia, originando a tabela de referência disponibilizada no Sistema Nacional de Informações Florestais. Esses valores podem ser atualizados/alterados, à medida que surgem novas informações, a fim de se obter estimativas mais precisas.

Espera-se que a preocupação com a escala global das mudanças climáticas, tema recorrente nas rodadas de negociações em nível mundial e, a entrada em vigor do Protocolo de Kyoto, que haja tanto maior conscientização quanto fiscalização para o cumprimento dos compromissos assumidos e a consequente preservação das áreas florestais ainda remanescentes; por outro lado, que as nações desenvolvam políticas que facilitem e motivem mudanças de uso da terra para o plantio de florestas comerciais, em volumes suficientes para atender às demandas internas, no mínimo (FOELKEL, 2013).

2.2.1 Biomas Brasileiros

Bioma é o conjunto de vida (vegetal e animal) formado pelo agrupamento de diversos tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças resultando numa diversidade biológica própria para o referido bioma (SFB, 2013).

O Sistema Florestal Brasileiro está estruturado em seis Biomas: o Amazônico, do Cerrado, da Caatinga, do Pantanal, da Mata Atlântica e dos Pampas. A Figura 6 mostra o mapa do Brasil com as áreas de abrangência de cada bioma (SFB, 2013). Cabe salientar que, mesmo não sendo apresentado nos mapas dos biomas, há áreas de savanas no extremo norte do Brasil, no Estado de Roraima, que se estende até a Guianas, na região do Rio Rupununi que dá origem ao nome das “savanas Roraima-Rupununi” (MIRANDA e ABSY, 2000).

Por outro lado, a Tabela 3 mostra as áreas, em volume de ha, de cobertura florestal de cada um dos biomas, conforme dados do Serviço Florestal Brasileiro (2013 e 2016). Destaca-se ainda que, apenas três deles, Amazônia, Cerrado e Caatinga juntos representam 93% de toda a cobertura florestal do Brasil.

Biomass Brasileiros

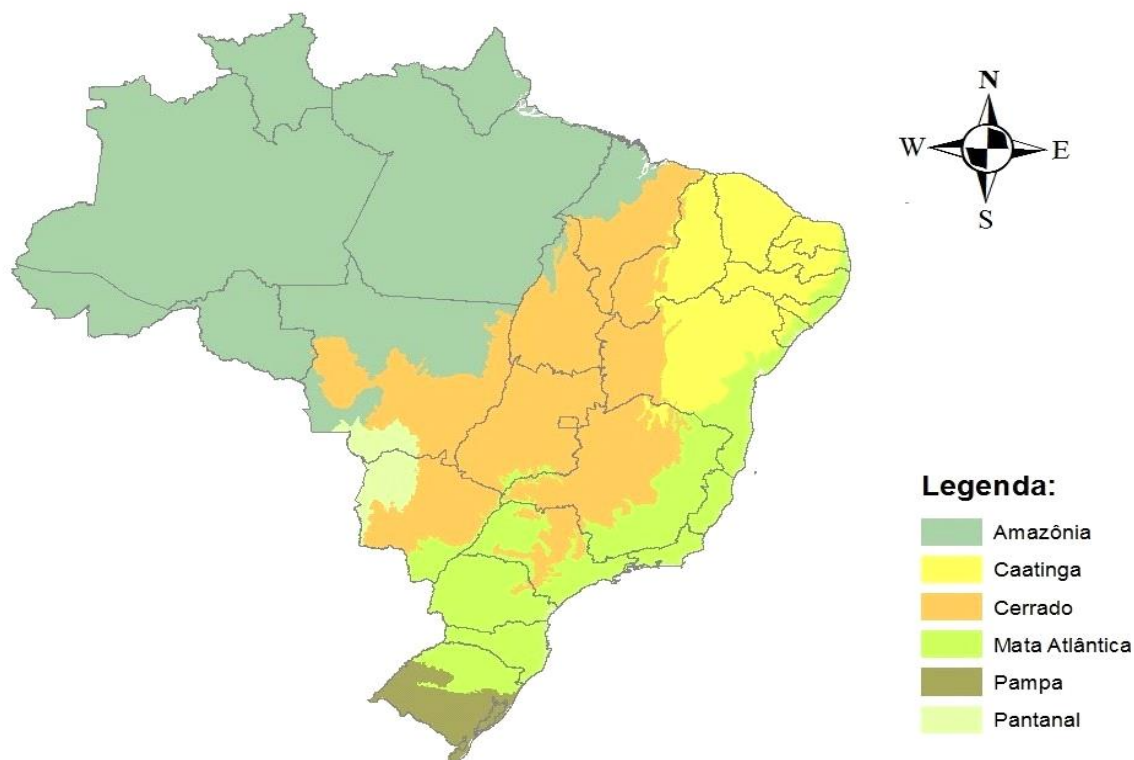


Figura 6 - Biomas Brasileiros

Fonte: SFB, 2016.

Tabela 3 - Área de Florestas por Bioma no Brasil

Bioma	Área de Floresta por Bioma			
	Área (ha) em 2013	%	Área (ha) em 2015	%
Amazônia	325.469.969	71,36	342.027.340	70,4
Caatinga	41.409.651	9,08	40.582.671	8,3
Cerrado	57.312.446	12,57	69.235.988	14,3
Mata Atlântica	20.128.299	4,41	21.770.466	4,5
Pampa	2.817.106	0,62	3.210.486	0,7
Pantanal	8.937.485	1,96	8.975.022	1,8
Total Nativa	456.083.955	100,0	485.801.973	100,0

Fonte: adaptado de SFB, 2013 e SFB, 2016.

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO (SNIF, 2016), “Biomassa é a matéria orgânica presente tanto acima quanto abaixo do solo, viva e morta, como por exemplo, árvores, culturas agrícolas, gramíneas, serapilheira, raízes”. Nesse contexto, como exemplo, a Tabela 4 (parte B) mostra os dados do bioma brasileiro, segundo esta definição da FAO.

Tabela 4 - Estimativa do volume de madeira por Bioma e, em relação ao solo, em 2015

A - Estimativa do volume de madeira total, em milhões de m³, para as florestas nativas, por bioma, em 2015.		B - Estimativa da quantidade de biomassa, em milhões de toneladas métricas, para as florestas naturais do Brasil, por compartilhamento, em 2015.	
Bioma	2015		
Amazônia	84.616	Biomassa Acima do Solo	95.244
Caatinga	2.564	Biomassa Abaixo do Solo	20.275
Cerrado	4.569	Biomassa Morta	1.451
Mata Atlântica	2.111		
Pampa	1.111		
Pantanal	668		
Total Brasil	94.965	Total (Brasil)	116.970

Fonte: SNIF, 2016.

Ter conhecimento do quantitativo de biomassa e do estoque de C é importante tanto para o manejo, como para o planejamento industrial e o próprio comércio de C. Assim, avaliar o potencial produtivo de biomassa em uma área por meio da produção, é fundamental para o manejo e para o planejamento das indústrias de base florestal, especialmente quando se conhece a distribuição da biomassa nos diversos componentes da árvore, ou seja, o percentual de biomassa acumulada de acordo com a idade dos indivíduos (PAIXÃO, 2004). E, a média de C estocado nos biomas florestais temperados é aproximadamente 280 t.C.ha⁻¹, que equivale 1.030 t.CO₂.ha⁻¹, com pequenas variações de acordo com o tipo de solo (DONDINI *et al.*, 2015).

As regras de conservação florestal no Brasil são estabelecidas, tanto para as áreas públicas quanto para as áreas privadas pelo “Código Florestal (Lei 12.651/2012) Brasil (2012), que regulamenta a manutenção das Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL) e existem ainda as áreas protegidas em Terras Indígenas e Unidades de Conservação”. E, a Lei 11.284/2006 Brasil/MMA (2006), protege as florestas públicas que se encontram fora dessas unidades de conservação.

O **bioma da Amazônia** representa em torno de 30% das florestas tropicais que ainda restam no mundo, e além de suas dimensões – que ultrapassa as fronteiras

brasileiras, estendendo-se pela Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela. Em solo brasileiro, cobre uma área em torno de 3,7 milhões de km², abrangendo os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Maranhão, Tocantins e Mato Grosso. Agrega enorme diversidade de ambientes, mais de 600 tipos de *habitats* terrestres e de água doce, abrigando riquíssima biodiversidade, com cerca de 45.000 espécies de plantas e vertebrados (SAITO, 2006; SFB, 2013).

A vegetação predominante é formada por florestas ombrófila densa e aberta, que abrigam elevado estoque de madeira comercial e de C e, grande diversidade de produtos florestais não madeireiros. Além da floresta e da biodiversidade, há grande variedade de ecossistemas; nessa vasta extensão de floresta, encontra-se mata com terra firme, florestas inundadas, várzeas, igapós, campos abertos e cerrados; também, reservas minerais e a biodiversidade pouco conhecida (SAITO, 2006; SFB, 2013).

O **bioma do Cerrado**, localizado no Planalto Central é o segundo maior bioma em área do país, apresenta cobertura com fisionomias que englobam formações florestais (Mata ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campos Sujo, Rupestre e Limpo). São encontradas 11.627 espécies de plantas nativas, segundo o Ministério do Meio Ambiente. É também nessa região que nascem três das principais bacias hidrográficas da América do Sul – Amazônica/Tocantins; São Francisco e Prata (SAITO, 2006; BRASIL, 2016).

O **bioma Mata Atlântica**, se estende por longa extensão da costa brasileira margeando o Oceano Atlântico. Este bioma abriga várias das principais e maiores cidades do país, as quais além de ocuparem vasta extensão da área do bioma, contribuem para a degradação das áreas de sua reserva natural. Abriga vasta diversidade biológica em suas formações florestais que são compostas por florestas ombrófila, mata estacional semidecidual e estacional decidual, manguezais, restingas e campos de altitude associados e brejos interioranos no Nordeste (SAITO, 2006; SFB, 2013).

Na região sul do Brasil, encontram-se Florestas de Araucária, ombrófila mista; neste bioma abrigam-se a maioria das espécies de animais e plantas ameaçadas de extinção no Brasil. Sua floresta é tropical, na qual encontra-se os ecossistemas costeiros de mangues, restingas e florestas com araucárias no planalto do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O solo diversificado apresenta estruturas e composições florísticas bem diferenciadas, acompanhando tanto as características dos solos como dos relevos e do clima dessa vasta região que se estende desde o litoral sul do Rio Grande do sul, passando por todos os estados litorâneos até a metade norte, além da faixa leste de Minas Gerais e pequena faixa no triângulo mineiro, integralmente os estados do Paraná e Santa Catarina, e sudeste do Mato Grosso do Sul (SAITO, 2006; SFB, 2013).

O **bioma Caatinga** é exclusivamente brasileiro, ocupa 11% do território nacional e é o bioma mais frágil; clima semiárido, com longos períodos sem chuva e curtos períodos chuvosos e, este ainda é muito irregular, pois, além de chover pouco ainda não se pode esperar que chova em toda a região. Sua vegetação espinhosa, com florestas que ficam secas em períodos do ano. Com biodiversidade heterogênea, mesmo se tratando de região semiárida; de grande importância econômica, pois sustenta atividades agrosilvipastoris, industriais – principalmente do ramo farmacêutico, de cosméticos, químico e alimentos (SCHISTEK, 2012).

O **bioma Campos Sulinos**, conhecido e comumente denominado de “**Pampas**” (na língua indígena – “região plana”), com mais de 200 mil km² se estende pelo sul do Rio Grande do Sul, sem contar suas áreas no Uruguai e Argentina. Sua paisagem apresenta relevos com ondulações suaves, em forma de colinas cobertos por gramíneas de pequeno porte e arbustos; com banhados e áreas úmidas do extremo sul até o litoral gaúcho. Os campos na região de serra são similares aos encontrados nas regiões mais altas de Santa Catarina e Paraná (SAITO, 2006).

Sua vegetação é predominantemente rasteira, intercalada por florestas mesófilas, florestas subtropicais (principalmente floresta com araucária) e florestas estacionais. As florestas do bioma Pampa são: Estepe Arborizada; Savana

Estépica (Campanha Gaúcha); Floresta Ombrófila Densa (floresta Pluvial Tropical); Floresta Estacional Decidual e Semidecidual; Vegetação com Influência Marinha ou Fluviomarinha (Mangue e Restinga); e Reflorestamento (SFB, 2013).

O **bioma Pantanal** possui diferentes *habitats*, tipos de solos e os regimes de inundação, responsáveis pela heterogeneidade da paisagem e grande variedade de formações vegetais, que abrigam riquíssima biota terrestre e aquática. É considerado uma das maiores áreas úmidas contínuas do planeta. É um grande reservatório de água, responsável pela alta produtividade biológica e pela grande diversidade da fauna (SAITO, 2006).

As florestas que compõem esse bioma são: Ecótono (Zona de Transição); Enclave; Floresta Estacional Decidual; Floresta Estacional Semidecidual; Vegetação com Influência Fluvial ou Lacustre; Savana Florestada e Arborizada (Cerradão e Campo-Cerrado); Savana Estépica Florestada e Arborizada; e, Vegetação Secundária (SFB, 2013).

2.2.2 Florestas Nativas

Consideram-se como florestas nativas a cobertura de origem natural de cada região, com toda a diversidade de espécies, as quais vêm sendo exploradas pela atividade humana e, que por longo período de tempo, não houve a preocupação em gerenciar o manejo; levando, dessa forma, à sua extinção ou à redução de área de cobertura em muitas regiões do Brasil, o que não é diferente de outros países (CUBBAGE *et al.*, 2007). Diversos estudos foram realizados, com o intuito de demonstrar que é mais interessante cultivar espécies para fins comerciais do que explorar as florestas nativas. Cubbage *et al.* (2007), ainda realizaram pesquisa em que avaliam o retorno sobre os investimentos em madeira de plantações selecionadas (comerciais) e de florestas nativas na América do Sul, cujas taxas de retorno variaram entre 13% e 23% para florestas plantadas enquanto que para as florestas nativas foi entre 4% e 8%, e entre 5% e 13%, para espécies mais nobres, como é o caso da araucária; isto não considerando os custos da terra.

As mudanças de uso da terra, para a agricultura ou pecuária, ameaçam as florestas remanescentes, pequenos agricultores e povos indígenas que vivem nessas áreas. Nas últimas décadas a América Latina, viveu um período de grandes desmatamentos e de redução da vegetação natural, principalmente nas florestas regionais como o Cerrado (Brasil), as florestas do Chiquitanos (Bolívia), o Chaco (Bolívia, Paraguai, Brasil e Argentina), que tiveram fortes danos. É interessante ressaltar que na América do Sul estão duas importantes reservas florestais a Amazônia (ao norte) e o Chaco (ao sul) (MANRIQUE *et al.*, 2011).

Conservar as florestas nativas tem como vantagem a preservação de inúmeros serviços ecossistêmicos que são dependentes dessa estrutura, e são significativamente reduzidos quando a floresta é degradada. Portanto, a gestão sustentável dessas florestas deve ter em conta a multiplicidade de usos desses recursos, mantendo o seu equilíbrio entre o potencial da reserva de C, o desenvolvimento local e a proteção da biodiversidade (MANRIQUE *et al.*, 2011).

Seghezzo *et al.* (2011), alertam sobre potenciais consequências negativas resultantes do desmatamento de florestas nativas, como a perda de fertilidade do solo e da soberania alimentar. Deve-se ter em conta que há impactos tanto de fatores ecológicos para as instituições humanas, quanto vice-versa, pois a natureza e os recursos naturais têm suas características, ciclos e dinâmicas que determinam limites ao ser humano ou influenciam suas ações; limites que devem ser levados em consideração para o gerenciamento das ações, de modo que se desenvolvam de forma sustentável. Ignorá-los pode por a sociedade em risco.

A exemplo da importância das florestas naturais, estudos realizados na Argentina em que foram medidas as árvores, pesados (úmidos) herbáceas, arbustos e lixo das áreas, coletadas amostras do solo para determinar alguns parâmetros como, densidade aparente e orgânica de C. Após realizar as mensurações da biomassa de cada reservatório estudado em $t \cdot ha^{-1}$ e, considerando o fator de 0,5 de conteúdo de C, concluiu-se que as reservas de C (do solo e da biomassa florestal acima do solo) em três ecossistemas – Yungas, Chaco e Maciços – foram 162, 92 e $48 tC \cdot ha^{-1}$, para cada um respectivamente (MANRIQUE *et al.*, 2011).

Estudos realizados em florestas gerenciadas de Nova Gales do Sul, na Austrália por período de 200 anos em duas áreas de florestas nativas, mostram que as florestas fornecem maiores benefícios de GEE com C armazenado em produtos por longo prazo e benefícios na substituição de produtos críticos para o resultado, como aço, alumínio, plástico e concreto; o que foi alcançado com a implementação de práticas de gerenciamento florestal ecologicamente sustentável e, o estabelecimento de uma indústria internacionalmente competitiva e com valor agregado (XIMENES *et al.*, 2012).

Florestas nativas da região das Planícies do Norte dos EUA (Montana, Wyoming, Colorado, Dakota do Norte, Dakota do Sul, e Nebraska) desempenham importante papel tanto na ecologia quanto na economia local, localizadas em cadeias de montanhas e/ou às margens de riachos, rios e lagos, fornecem o habitat da vida selvagem, madeira, e proteção para as bacias hidrográficas (JOYCE *et al.*, 2018).

Para Keith *et al.* (2015), os benefícios da mitigação da mudança climática do setor terrestre não estão sendo realizados pela incerteza e controvérsia sobre o papel do manejo de floresta nativa. A colheita sustentável de florestas para a produção de madeira gera maior benefício de mitigação. E, a mudança do manejo florestal nativo da colheita comercial para a conservação pode contribuir para a mitigação; a conservação de florestas nativas resulta em redução imediata e substancial das emissões líquidas em relação a outro caso de referência de colheita comercial.

A conversão de florestas tropicais em terras agrícolas alteram os processos de transformação do N no solo e do C da biomassa, que afetam a produtividade e a estabilidade dos usos derivados da terra, causando preocupação aos ecologistas. Essas mudanças estão ligadas à produtividade futura, pois com a retirada das florestas naturais, resulta em aumento da mineralização de NH_4 e redução de N da matéria orgânica do solo e, em última instância, reduz o teor de N do ecossistema. Desta forma, expõem o solo às radiações do sol, que contribuem para a redução da produtividade, motivada pela perda de nutrientes (PANDEY *et al.*, 2010).

Na perspectiva da manutenção das florestas nativas, reduzir os impactos ao ecossistema, preservar as espécies (biodiversidade) que dependem dessas florestas, Meynard *et al.* (2014) propõem que: *i)* se produza grandes quantidades de madeira em pequenas áreas, liberando as florestas nativas da pressão de exploração; *ii)* as plantações florestais podem ter impactos menores na biodiversidade do que outras práticas agrícolas; e, *iii)* gerenciar a paisagem como mosaicos de diferentes usos da terra, com a agrossilvicultura em torno das florestas nativas remanescentes, reduzindo assim os efeitos da fragmentação e, como corredores entre os remanescentes. Com isso, a paisagem gerenciada, maximiza a produção de madeira, conserva a biodiversidade e serviços ecossistêmicos, como a regulação da água.

O Serviço Florestal Brasileiro considera como floresta, vegetações lenhosas que se enquadram em uma das categorias de vegetação, conforme Sistema de Classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (SFB, 2013):

- Floresta Ombrófila Densa;
- Floresta Ombrófila Aberta;
- Floresta Ombrófila Mista;
- Floresta Estacional Semidecidual;
- Floresta Estacional Decidual;
- Campinarana (Florestada e arborizada);
- Savana (Florestada e arborizada) – Cerradão e Campo-Cerrado;
- Savana Estépica ((Florestada e arborizada) – Caatinga arbórea;
- Estepe (arborizada);
- Vegetação com influência marinha, fluviomarinha (arbóreas);
- Vegetação remanescente em que pelo menos uma formação seja florestal;
- Vegetação secundária em áreas florestais;
- Reflorestamento.

O conceito de floresta de acordo com a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) é toda área com mais de 0,5 ha, cujas árvores tenham mais que 5 metros de altura e com copa superior a 10% de sua altura, ou

árvores que sejam capazes de atingir esses parâmetros. Porém, não inclui áreas com predominância do uso agrícola ou urbano (SFB, 2013).

Com o intuito de conservar ou evitar a ação humana e, conseqüentemente, a devastação, algumas áreas são demarcadas e protegidas legalmente, as quais podem ser públicas ou privadas. A Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, Brasil (2012), define critérios para se estabelecer as áreas protegidas prioritariamente da Reserva Legal e da Área de Preservação Permanente (SFB, 2013).

Há também as Unidades de Conservação Estaduais, que somadas totalizam 75.318.100 hectares; e neste segmento o Brasil possui: 658 Unidades de Conservação Estadual, das quais, 294 são Unidades de Proteção Integral e, 294 Unidades de uso Sustentável, sendo que destas, 70 são Reservas Particulares do Patrimônio Natural (SFB, 2013).

Para a mensuração e apresentação do quantitativo de C para as florestas naturais, podem ser consideradas as referências fornecidas pela FAO, em que “o C representa cerca de 50% da biomassa” e encontra-se estocado nos diversos compartimentos de biomassa nas florestas, ou seja, na biomassa viva (acima e abaixo do solo), na biomassa morta e na matéria orgânica do solo (SNIF, 2016), como mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Estimativa da Quantidade de C de Florestas Nativas, em 2015

Estimativa da quantidade de C, em milhões de toneladas métricas, para as florestas naturais do Brasil, por compartilhamento, em 2015.	
C estocado em Biomassa Acima do Solo	47.998
C estocado em Biomassa Abaixo do Solo	10.333
C estocado em Biomassa Morta	737
C estocado na Serapilheira	1.034
C estocado no Solo	20.711
Total (Brasil)	80.813

Fonte: SNIF, 2016

2.2.3 Florestas Plantadas

O plantio de florestas no mundo é resultado da preocupação com a questão ambiental e expectativa de finitude dos combustíveis fósseis. Pois na questão ambiental, as florestas atuam na captura de CO₂ e liberação de oxigênio,

contribuindo, desta forma, para a melhoria da condição climática do planeta. Essas florestas contribuem, também, para geração de emprego e renda, tanto de forma direta, em que os envolvidos estão nas etapas do processo de produção de mudas, preparo da área, plantio, cuidados pós-plantio, manutenção, colheita, e demais etapas de acordo com o destino a ser dado à madeira; e, a forma indireta envolve todas as outras atividades necessárias para que estas aconteçam (MOREIRA *et al.*, 2017).

A madeira é a mais antiga e ainda uma das principais formas de energia renovável, com sua demanda crescente para a geração de energia, em função do esgotamento progressivo dos combustíveis fósseis e o aumento dos riscos sociais das mudanças climáticas; o que tem provocado aumento das fontes de energia renováveis e motivado um forte debate sobre como derivar um ciclo de vida de GEE (ZELM *et al.*, 2015).

Para Cosic *et al.* (2011) e Akhtari *et al.* (2014), os protocolos e acordos globais recentes têm motivado os países a usar a biomassa para a geração de energia. No entanto, as barreiras na utilização da biomassa, incluindo variações na disponibilidade, alta umidade, baixa densidade aparente e distribuição dispersa de biomassa tornaram os investidores relutantes em aplicar em projetos de bioenergia em algumas partes do mundo. Porém em outras partes, onde os recursos estão disponíveis em maiores volumes, a quantidade de área disponível para tal fim, a torna mais atrativa; em que já está ocorrendo a substituição dos combustíveis fósseis por outros, bem como, a busca por melhoria da eficiência na conversão energética e por novas tecnologias.

A FAO (2016), apresenta um quadro evolutivo de florestas plantadas no mundo (Tabela 6), em que dada a necessidade/demanda por recursos de base florestal e com as graves consequências sofridas pela humanidade nas diversas partes do planeta, resultante das mudanças climáticas, mais investimentos estão sendo canalizados tanto para a compra de áreas para plantio, quanto para incentivar/financiar plantios florestais com fins comerciais.

Tabela 6 - Áreas de Florestas Plantadas por Continente

Continente	Superfície (em milhões de ha)	
	2010	2015
Ásia	124	129
Europa	70	83
América do Norte e América Central	38	43
África	13	16
América do Sul	15	15
Oceania	4	4,4

Fonte: Adaptado da FAO, 2016.

De acordo com Reeson *et al.* (2015), o reflorestamento tem potencial de sequestrar quantidades significativas de C da atmosfera e, portanto, pode desempenhar papel importante no esforço para mitigar CO₂ amenizando os efeitos das mudanças climáticas. No caso da Austrália, por exemplo, estima-se que suas florestas de C tenham potencial para reduzir dezenas ou mesmo centenas de milhões de CO_{2e} por ano e de forma econômica, nas próximas décadas.

Porém é importante compreender a escala provável da mudança de uso da terra para a silvicultura de C, pois os modelos, normalmente utilizados para avaliar sua viabilidade, levam em conta na comparação com o Valor Presente Líquido (VPL) resultante dos retornos esperados com cenários em que os preços do C subvalorados da floresta de C e, com retornos de usos da terra atualizados; admitindo, portanto, que os retornos atuais serão mantidos no horizonte temporal. São decisões que envolvem incerteza, irreversibilidade e flexibilidade e que, ao se tomar decisões com base em informações subjetivas os resultados alcançados podem não ser o esperado. Portanto, é interessante migrar de culturas de *commodities* para a silvicultura de C, quando os benefícios gerados são superiores aos custos esperados, incluindo a perda de flexibilidade de gestão futura (CALVIN *et al.*, 2016).

Do ponto de vista ambiental, o setor de florestas plantadas proporciona benefícios socioeconômicos e contribui, tanto para a conservação quanto para a manutenção das florestas nativas e promoção da biodiversidade, uma vez que oferece alternativa econômica sustentável de madeira proveniente de plantios florestais, evitando o desmatamento das florestas nativas para igual finalidade

econômica. Contribui também para manutenção dos regimes hídricos, fertilidade do solo e qualidade do ar e água (DEL QUIQUI, 2015).

O solo contém aproximadamente 2.344 Gt de C orgânico global e é a maior reserva terrestre de C orgânico. Porém, a maior reserva de C do planeta terra são os oceanos, com cerca de 38.400 Gt. O total de C armazenado, na reserva terrestre, encontra-se nos três primeiros metros do solo; desse total cerca de 1.500 Gt (54%) estão depositados no primeiro metro (JOBÁGY e JACKSON, 2000; GUO e GIFFORD, 2002); e, anualmente são lançadas na atmosfera cerca de 9 Gt de “novo” C liberado de fontes fossilizadas (carvão, petróleo e gás) e através da degradação do ecossistema. O sequestro de C do solo, requer um longo prazo de duração estipulado (em torno de 100 anos) para ser considerado um aumento permanente sob sistemas agrícolas gerenciados (STOCKMANN *et al.*, 2013).

A União Europeia estabeleceu limites de geração de energias renováveis, tanto que para a Irlanda, foi estabelecida como meta, que 16% de todo o seu consumo venha de recursos renováveis até 2020. Portanto, as florestas na Irlanda são uma importante fonte de biomassa para a indústria madeireira e para a geração de energia; no século XX, sua cobertura florestal era de apenas 1% do total de suas terras, mas graças aos programas estaduais de arborização, aumentou para 11% em 2011, com o objetivo de alcançar 17% em 2030 (MURPHY *et al.*, 2014).

De acordo com Richards e Lyons (2016), ao reconhecer as oportunidades associadas às mudanças climáticas, o setor financeiro que se fundamenta nas atividades de mercado, certos de que se trata de atividade com perspectivas de retornos; investem na aquisição de terras, no hemisfério sul, para realizar plantios florestais direcionados a biocombustíveis e o sequestro de C. Transformando a silvicultura e as culturas alimentares em ativos, com mercado internacional dinâmico, com a financiarização da terra e da natureza.

Ainda conforme Richards e Lyons (2016), com esses investimentos ocorrem a mudança de controle da propriedade e do direito de acesso à terra, água e outros materiais biológicos, das mãos de agricultores camponeses e de subsistência para grandes corporações. O fim das denominadas terras distantes pelos

gestores do capital internacional, seja para o sequestro de C, a conservação, o desenvolvimento ou para fins de segurança alimentar, impõe impactos adversos ao nível local, apesar das justificativas de que os tais investimentos se traduzem em maior desenvolvimento social e econômico local.

Em termos mundiais, as florestas plantadas brasileiras aparecem em oitavo lugar, com área em torno de 7 milhões de ha ou 0,89% de seu território. O Brasil, com sua grande área de florestas naturais tem muito a evoluir quando se trata de florestas plantadas, uma vez que a maior parte da demanda de produtos de base florestal é suprida por madeira originária deste tipo de floresta. Além disso, cada hectare de floresta plantada preserva cerca de dez hectares de florestas nativas (ORO *et al.*, 2012).

Com base em dados de 2009 da SBS (2009), as florestas plantadas, em nível global, ocupavam 271 milhões de ha, equivalentes a 2% das terras do planeta e representava 6,9% de todos os tipos de florestas existentes. Desse total, 205 milhões ha (76%) com a finalidade de produzir madeira ou produtos não madeireiros e 66 milhões de ha (24%) com função exclusiva de proteção.

Por florestas plantadas compreende-se as plantações florestais de espécies introduzidas ou nativas, estabelecidas mediante plantio de mudas ou sementeira, com espaçamento regular e de mesma idade, assim como os componentes plantados de espécies nativas das florestas semi-naturais. De acordo com os dados encontrados foi observado divergências significativas entre os totais das áreas de plantio apresentadas pelos diferentes agentes, sendo que para o SBS (2009), as florestas plantadas no Brasil somam 140 milhões de ha, dos quais 110 milhões de ha para fins industriais e comerciais e, em torno 30 milhões de ha com funções de proteção.

Enquanto que para SFB (2010) e BASSANELI *et al.*(2012) em 2012, o Brasil dispunha de 543 milhões de ha (64,3% do seu território) em florestas naturais e plantadas, sendo a segunda maior área florestal do planeta. Desse total, cerca de 5,5 milhões de ha são de florestas plantadas; sendo as principais espécies cultivadas são dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, que representam em torno de 93,4%, destes 64,4% é de *Eucalyptus* e 29% de *Pinus*.

E segundo a ABRAF (2013), no ano de 2012, o Brasil contava com 6.664.812 ha em florestas plantadas, e desse total 76,552% de *Eucalyptus* e, 23,448% de *Pinus*; e, no ano e 2016, de acordo com os dados apresentados pelo SNIF (2016) a área plantada em *Eucalyptus* e *Pinus* somavam 9.596.122 ha, sendo que dessa área, 78,39% em *Eucalyptus* e 21,61% em *Pinus*, distribuídos como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 - Área de Florestas Plantadas por Espécie e UF

Área Plantada em ha						
UF	2012			2016		
	<i>Eucalyptus</i>	<i>Pinus</i>	Total	<i>Eucalyptus</i>	<i>Pinus</i>	Total
MG	1.438.971	52.710	1.491.681	1.839.459	38.933	1.878.392
SP	1.041.695	144.802	1.186.497	966.850	186.219	1.153.069
BA	605.464	11.230	616.694	586.889	575	587.464
MS	587.310	9.825	597.135	993.807	4.276	998.083
RS	284.701	164.832	449.533	652.966	265.401	918.367
ES	203.349	2.546	205.895	287.057	2.047	289.104
PR	197.835	619.731	817.566	684.382	920.251	1.604.633
MA	173.324	0	173.324	261.605	0	261.605
PA	159.657	0	159.657	154.907	0	154.907
TO	109.000	853	109.853	134.720	443	135.163
SC	106.588	539.377	645.965	341.130	647.322	988.452
MT	59.980	0	59.980	191.995	0	191.995
AP	49.506	445	49.951	219.545	48	219.593
GO	38.081	16.432	54.513	134.280	8.139	142.419
PI	27.730	0	27.730	36.316	0	36.316
RJ	18.368	0	18.368	36.552	8	36.360
Total	5.101.559	1.562.783	6.664.342	7.522.460	2.073.662	9.596.122
Participação	76,55 %	23,45 %	100,00 %	78,39%	21,61%	100,00%

Fonte: adaptado de ABRAF (2013)/SNIF (2016)

Dentre as diversas espécies, o *Eucalyptus* ocupa posição de destaque no cenário agrícola brasileiro, graças à diversidade de espécies, variedades e adaptabilidade; por isso passou a ser considerado como a principal matéria-prima florestal, pelo seu alto rendimento e crescimento rápido. As florestas plantadas para fins industriais e comerciais são empregadas para geração de energia, fabricação de móveis, na construção civil, produção de papel e celulose, etc. (VITAL, 2009; PUENTES, 2010).

O SFB, em sua publicação de 2013, com base nos dados de 2012 e de 2016, apresenta a composição das florestas plantadas no Brasil – Tabela 8, indicando as principais espécies que são cultivadas e, respectivas áreas de cultivo, de acordo com os controles disponíveis.

Tabela 8 - Composição das Florestas Plantadas no Brasil - por espécie

Espécie	Nome científico	2012		2016		Var. %
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	
<i>Eucalyptus</i>	<i>Eucalyptus spp</i>	5.304.163	71,79	5.673.784	72,30	6,97
<i>Pinus</i>	<i>Pinus spp</i>	1.562.783	21,75	1.584.333	20,19	1,38
Seringueira	<i>Hevea brasiliensis</i>	168.848	2,29	229.964	2,93	36,20
Acácia	<i>Acácia mearsnii / acácia magium</i>	148.311	2,01	159.877	2,04	7,80
Paricá	<i>Schizolobium amazonicum</i>	87.901	1,19	90.047	1,15	2,44
Teca	<i>Tectona grandis</i>	67.329	0,91	87.502	1,12	29,96
Araucária	<i>Araucária angustifolia</i>	11.343	0,15	11.114	0,14	-2,02
Populus	<i>Populus spp</i>	4.216	0,06	4.216	0,05	0,00
Outras		33.183	0,45	6.641	0,08	-79,99
Total		7.388.077	100,0	7.847.478	100,00	6,22

Fonte: SFB, 2016.

De acordo com os dados disponíveis as espécies que mais se destacam são *Eucalyptus* e *Pinus*, com as maiores áreas de plantio. Conforme dados do SNIF (2016), com destaque para as principais espécies, as áreas plantadas são as apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Área de florestas plantadas no Brasil (ha, em 2016)

Espécie	IBGE (2015)	IBGE (2016)	IBÁ (2016)
<i>Eucalyptus</i>	7.444.625	7.543.707	5.673.784
<i>Pinus</i>	2.065.560	2.079.162	1.584.333
Outras	427.762	400.207	589.361
Total	9.937.947	10.023.076	7.847.478

Fonte: SFB, 2016.

Quando comparadas as Tabelas 8 e 9, vê-se que as áreas de plantio são crescentes tanto em relação aos dados do IBÁ (2016), quanto aos dados do IBGE, disponibilizados em SNIF (2016 e 2017); o que é muito positivo, do ponto de vista do sequestro e estocagem de C. Porém, quando confrontados os dados

destas com a Tabela 7, se verifica maiores discrepâncias, uma vez que o SNIF apresenta totais de áreas plantadas em *Pinus* e *Eucalyptus* que estão mais próximos dos dados do IBGE. De modo que se entende haver a necessidade de centralidade das informações, objetivando reduzir as divergências, ou eliminá-las se possível, objetivando maior precisão tanto no planejamento quanto nas estimativas que são realizadas a partir de tais dados.

2.2.3.1 Ciclo de Vida de Florestas Plantadas

O conceito de ciclo de vida é baseado na abordagem do “berço ao túmulo”, na qual cada etapa do ciclo de vida de um produto (extração e processamento de matérias-primas, fabricação, transporte, distribuição, reutilização ou reciclagem, tratamento e deposição dos resíduos), tanto apresentam impactos econômicos, quanto ambientais associados (GREGSON *et al.*, 2013). A Figura 7 mostra, de forma simplificada, o fluxo da ACV de um produto, que compreende as etapas da extração da matéria-prima, seu processamento, embalagem, transporte, uso, reuso, destinação (PIOTTO, 2003; LUNDKVIST *et al.*, 2013; SARAIVA *et al.*, 2017).

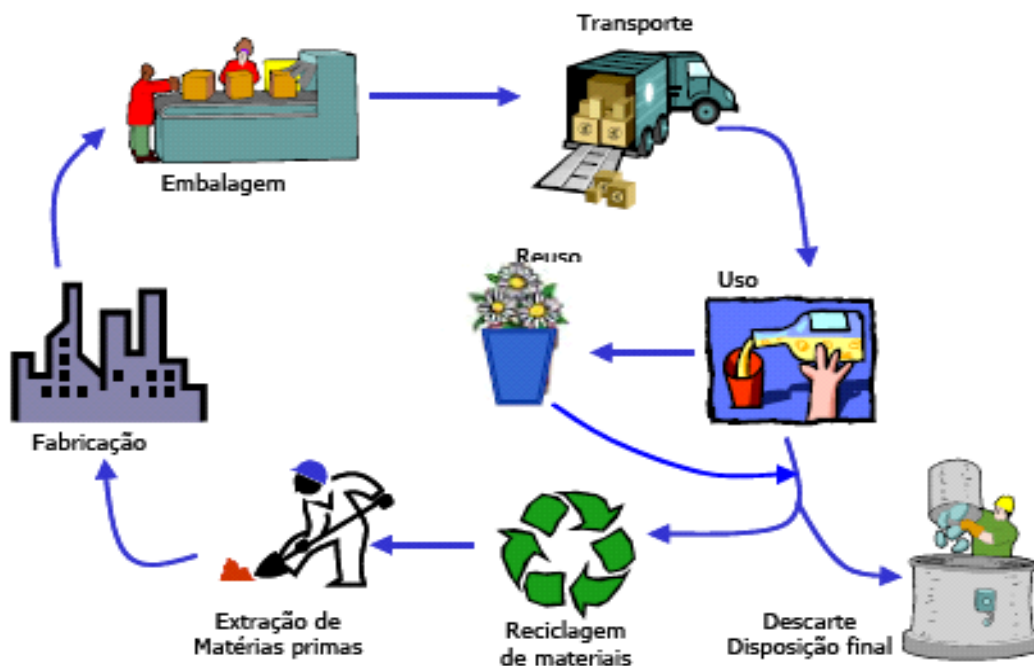


Figura 7 - Ciclo de Vida de um Produto
Fonte: Piotto (2003)

O ciclo de vida das florestas plantadas compreende o ciclo de vida de cada unidade/indivíduo que a compõe. O ciclo de vida do indivíduo compreende o período entre o nascimento da muda, independente se por meio de semente ou outra forma, até o momento do seu corte na floresta. E, segundo Negri (2008): o processo de sequestro se encerra no momento em que começa a sua colheita, pois nesta fase termina o ciclo de vida da árvore.

Por outro lado, quando se olha para uma floresta como um depósito CO₂ armazenado (sequestrado/capturado), o ciclo de vida da floresta pode ser compreendido em um período de tempo mais amplo, dependendo da atividade para a qual se destina a plantação. Segundo Gatto *et al.* (2011): a quantidade de C fixado e o seu tempo de residência no ecossistema dependem, entre outros fatores, da idade da planta, do componente em que o C é alocado e do uso destinado à madeira.

Desta forma, compreenderá desde o momento que se inicializar o processo de preparação da área de plantio, quando se iniciam as emissões relativas à floresta em andamento, até a destinação da madeira após o seu descarte, que pode ser lançado fora, deixando-a para decompor naturalmente ou, pode ser utilizado como lenha, ou ainda, ser dado outro fim qualquer, como por exemplo, usá-la na produção de artesanato ou produtos de decoração. Portanto, a ACV das florestas plantadas, não finda com o abate da árvore, mas pode se estender muito além, pois o final do ciclo de uma floresta está relacionado com o destino dado às árvores depois de abatidas (SBS, 2009).

No caso das florestas plantadas, o ciclo de vida depende do planejamento e da finalidade da floresta, que definem o seu ciclo. Por exemplo, o ciclo de cultivo é dividido em curto (em torno de sete anos) e longo, quinze anos ou mais. Para a cultura de *Eucalyptus*, quando se destinar à produção de celulose e papel, escoras, moirões, lenha, carvão etc., não é necessário um tronco com maior diâmetro, de modo que o corte ocorre geralmente em sete anos. Assim, nestes casos, quando do corte da floresta de ciclo curto pode-se manter as raízes, no primeiro corte; pois, ela rebrota por até mais dois ciclos, podendo realizar até três colheitas a partir de uma única muda plantada (PIOTTO, 2003).

Nos casos em que a finalidade do cultivo for a produção de madeira, então a cultura terá um ciclo com tempo maior, e a plantação deverá ter também, maior espaçamento entre os indivíduos, diferente do tratamento dado para a produção com destinações para celulose e papel, escoras, moirões, lenha, carvão etc. Porém para todos os casos um fator de importância, que deve ser levado em conta, é a definição do melhor momento para corte/abate da planta (ANJOS, 2013).

Desta forma, a produção florestal deve ser tratada como a produção de outros produtos industrializados, pois em seu processo produtivo o custo quando não controlado, pode inviabilizar sua produção. Os custos de corte, descascamento, empilhamento e transferência representam altos percentuais no valor final da madeira produzida, sendo objeto de preocupação dos empresários florestais. Não menos importante, a época economicamente ideal para o corte é outro fator que exige atenção. Quando uma operação de derrubada é realizada, antes ou depois da idade ideal, o silvicultor contribui para a elevação dos seus custos de produção deixando, portanto, comprometendo a maximização do retorno sobre o investimento (HOFFMANN e BERGER, 1973).

A ACV de florestas industriais deve ser realizada dentro de critérios, os quais, segundo Piotto (2003), são: *i*) definição do escopo; *ii*) execução do inventário detalhado do ciclo de vida, compilando-se os dados relativos ao consumo de energia, recursos naturais e emissões em cada etapa do ciclo; *iii*) estimativa dos impactos ambientais associados ao uso dos recursos naturais, processo produtivo e as emissões geradas; *iv*) interpretação dos resultados relacionando-se os dados obtidos com o objetivo do trabalho.

2.2.4 Produtividade das Florestas Plantadas

Estimar o volume de biomassa acima do solo é essencial ao estudo do balanço de C sendo que tal estimativa é um indicador para monitorar e avaliar a exportação de nutrientes após a exploração florestal, quando se busca minimizar os impactos ambientais resultantes dessa atividade. Para avaliar sua produtividade, deve levar em conta os principais fatores que podem interferir nos

resultados, que são: precipitação, temperatura, latitude, variabilidade genética, nutrição, tipo de solo da região (SILVEIRA, 2008).

Apesar de as florestas prestarem um serviço, conforme Ribeiro (2009), as florestas plantadas proporcionam outros benefícios, principalmente, financeiros, além da captura de CO₂ e outros. Para, De La Torre (2013), as florestas são essenciais para o desenvolvimento econômico e para a manutenção de todas as formas de vida.

As florestas industriais e comerciais não tem a finalidade de ser refúgio para a fauna, mas quando plantadas, abrigam grande número de aves, invertebrados e répteis, que são agentes essenciais para o controle biológico de pragas. Para cada hectare plantado, 0,65 ha é destinado à preservação, enquanto, na agropecuária, tal relação é de apenas 0,07 ha. As áreas preservadas pelo setor de florestas plantadas representam 13,3% dos 50,10 milhões de ha de *habitats* naturais preservados no Brasil, fora de unidades de preservação. As florestas plantadas tende a serem vistas, como redutos de biodiversidade e, apresentam condições favoráveis para facilitar a recuperação dos ecossistemas (EMBRAPA, 2015).

No Brasil, segundo *Foelkel* (2013), há necessidade de se superar alguns desafios, como: *i*) alcançar patamares de produtividade florestal em regiões pouco, ou ainda, não exploradas; e, *ii*) consolidar entre os participantes desse segmento, o conceito de sustentabilidade florestal, que compreende quatro vertentes, que mesmo distintas entre si, se interligam: a sustentabilidade do negócio, a sustentabilidade da capacidade produtiva do sítio florestal, a sustentabilidade ambiental ou ecológica, sustentabilidade social. O resultado desses quatro enfoques conduz à sustentabilidade ou ao Desenvolvimento Sustentável (DS), que tem seus fundamentos nos aspectos econômicos (negócio), ambiente (natureza) e sociais (ser humano), de forma que é preciso plantar florestas e elas precisam ser produtivas e sustentáveis.

Há um crescente aumento do interesse na definição da produção e uso de biomassa para substituir os combustíveis fósseis pela produção de calor, eletricidade, combustíveis para transporte e vários tipos de produtos químicos,

plásticos e outros materiais. As organizações internacionais, como a Agência Internacional de Energia (EIA), encorajam o uso de resíduos e resíduos de biomassa para a produção de energia, porque podem gerar lucro, contribuir para a mitigação dos GEEs e ajudar as comunidades a diversificar suas fontes de energia e alcançar independência de energia sem ameaçar o abastecimento alimentar mundial. Em algumas regiões, há uma abundância de resíduos lenhosos e resíduos de biomassa florestal, gerados a partir de atividades de manejo florestal e fabricação de produtos florestais (CAMBERO e SOWLAT, 2014).

Apesar dos benefícios do uso da biomassa florestal, desafios técnicos e econômicos impedem o uso intensificado; pois esses resíduos encontram-se espalhados por toda a região, o que aumenta os custos de coleta, manuseio e transporte. Além disso, há variabilidade tanto na quantidade quanto na qualidade da biomassa florestal, devido à acessibilidade da floresta durante o ano, condições climáticas, pré-processamento, transporte e condições de armazenamento e competição de outros usuários finais (CAMBERO e SOWLAT, 2014).

A silvicultura brasileira utiliza de práticas que contribui para o aumento da capacidade de estocagem de C, tais como a não utilização da queima como meio de limpeza da área de plantio, mas que os resíduos sejam substrato para novos plantios; incentivo ao cultivo florestal em áreas degradadas por mau uso agrícola e áreas inaptas à atividade agrícola, que são medidas de mitigação das mudanças climáticas. Na construção civil, pode complementar o uso de concreto e ferro e ao mesmo tempo salvar até $0,5 \text{ t.CO}_2.\text{m}^{-2}$, preservando-o por até um século ou mais. Quando são utilizados resíduos em substituição ao uso de combustíveis fósseis, pode economizar até $1,1 \text{ t.CO}_2$ por tonelada de madeira utilizada.

A manutenção de florestas pode ser uma estratégia na garantia da qualidade e disponibilidade de água, assim como para reduzir o escoamento de água na superfície do solo, contribuindo para a reposição dos aquíferos e melhoria de sua qualidade (DERECZYNSKI *et al.*, 1998).

Nesse contexto, maior quantidade de C pode ser estocada por períodos mais longos se as colheitas forem mais tardias, aumentar a densidade da floresta, tornando-a apta à produção de madeira para as diversas finalidades, sendo que dessa forma permanecerá armazenada por longo período. Adicionalmente, visando alcançar maior capacidade produtiva, manter a sustentabilidade ambiental e ecológica, tem-se utilizado baixo volume de agroquímicos nos plantios florestais (EMBRAPA, 2015).

O *Eucalyptus* é uma árvore nativa da Austrália, de rápido crescimento e pode ser usada para fornecer biomassa para bioenergia e outras finalidades. As preocupações se concentram no potencial de invasividade, uso da água e aceitação social e, seus potenciais efeitos sobre a sustentabilidade que podem ocorrer em todos os estágios do seu ciclo de vida e dos biocombustíveis. Ainda o seu desenvolvimento e uso para energia, sempre traz algum impacto ao meio ambiente, por exemplo, sobre a qualidade da água, do ar e biodiversidade; restando, portanto, o desafio de desenvolver meios para negociar compensações nos custos e benefícios da escolha energética, considerando tanto os efeitos ambientais, quanto os aspectos socioeconômicos da sustentabilidade (DALE *et al.*, 2013).

Tabela 10 - Distribuição % da biomassa por compartimento, em diferentes idades do *Eucalyptus*

Autor (ano)	Espécie/Var.	Idade (anos)	Local	Participação % da Biomassa por Compartimento				
				Casca	Folhas	Galhos	Tronco	Total
Silva <i>et al.</i> (2015)	<i>Eucalyptus spp</i>	2 a 8	Sul - Br	17,3	2,8	5,9	74,0	100,0
Gatto <i>et al.</i> (2011)	<i>E.grandis x urophylla</i>	4,5	Sul da Bahia		8,8	7,8	83,4	100,0
Gatto <i>et al.</i> (2011)	<i>Eucalyptus</i>	7	MG - SP	9,9	2,5	4,0	83,6	100,0

Fonte: Adaptado de Gatto *et al.* (2011)

Foelkel (2013) e Machado *et al.* (2015), informam que as empresas líderes conseguem produtividades médias de 40 a 55 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, mas há muitos talhões crescendo com 60-70 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, ou mais. Conforme informações Embrapa/Florestas (2015), o aumento da produtividade média contribuiu para o avanço das plantações florestais a tal ponto que, no período de 2000 a 2013, a

área cresceu de 45 milhões de ha para 65 milhões de ha, sem redução da área destinada à produção agrícola e, não só cresceram em volume de área como também no volume de produção.

Gomes (2014) complementa que a produção do *Eucalyptus* no Brasil tem se destacado pelo seu rendimento, pois quando comparado o crescimento florestal com a Finlândia cuja média é de $4\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$; Suécia $5,5\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$; Espanha $10\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$; Portugal $12\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$; Chile $30\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$; África do Sul $20\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$; e Brasil 35 a $55\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$; dados que mostram a vantagem do Brasil em relação aos demais, e a eficiência dos plantios de *Eucalyptus*, em função das características do solo e suas condições climáticas.

Por outro lado, de acordo com a Embrapa/Florestas (2016), espécies de *Pinus* estão sendo plantadas no Brasil a mais de um século, porém os plantios com espécies subtropicais foram iniciados por volta de 1936, pelo Serviço Florestal do Estado de São Paulo, atual Instituto Florestal de São Paulo. Programa de incentivo ao reflorestamento, em meados da década de 1960, incentivou o regime de silvicultura intensiva nas regiões Sul e Sudeste, onde foram plantadas, em maior escala as espécies *Pinus*, como o *P. elliotti* e *P. taeda* e, em menor escala as espécies *P. caribaea*, *P. oocarpa*; na época, dada à baixa qualidade e tecnologia, sua produtividade ficava em torno de 20 a $25\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$. E, a partir da década de 1970, experimentos com as espécies *P. caribaea*, *P. oocarpa*, *P. tecunumanii*, *P. maximinoi* e *P. patula*, permitiram a expansão de sua cultura em todo o Brasil, com espécies adequadas a cada região.

Estudos realizados pelo Projeto e Desenvolvimento de Pesquisa Florestal (Prodepef), criado no início da década de 1970, a partir de amostras de espécies conhecidas e, de diversas origens foi possível a disponibilização de diversas alternativas de espécies para o plantio comercial e a ampliação do seu potencial econômico. Também foram avaliadas as condições em que melhor se adaptava cada uma das espécies estudadas, contribuindo, desta forma, para melhores resultados com o cultivo da espécie ideal para cada localidade, altitude e clima (EMBRAPA/FLORESTAS, 2015).

Pacheco *et al.* (2015), informam que fatores como: luminosidade, disponibilidade de nutrientes, densidade de plantio, genética, tipo de solo, clima e outros influenciam o crescimento florestal e, que a escolha do espaçamento é fundamental para a obtenção do máximo crescimento com a melhor qualidade e menor custo.

A espécie *P. caribaea* variedade *hondurensis* é uma das espécies tropicais mais cultivadas no mundo e é indicada para toda a região tropical brasileira (regiões Sudeste, Centro-Oeste e partes do Norte e Nordeste, menos no semiárido). Esta espécie tem densidade moderada, produz resina, que pode ser um complemento financeiro em sua exploração comercial. Outra variedade *bahamensis* de destaca por sua alta produtividade de madeira e de resina, no SE do Brasil. A variedade *caribaea* é indicada para a produção de madeira e resina, e sua principal vantagem é ter um fuste retilíneo e ramos finos (EMBRAPA/FLORESTAS, 2015).

Em estudo realizado por Pacheco *et al.* (2015), no Centro Sul do Paraná, em que analisaram o impacto de nove densidades iniciais no crescimento do *Pinus taeda*, por meio da análise completa do tronco, avaliaram que dependendo do espaçamento utilizado no momento do plantio e dos cuidados culturais (como: podas, desbaste e a rotação do povoamento), obtém-se resultados distintos (Tabela 11).

Tabela 11 - Médias do diâmetro a altura do peito (DAP) sem casca para *Pinus taeda*, em 4 diferentes espaçamentos – por idade

Espaçamento m x m	Idade (anos)						
	3	4	5	6	7	8	9
1 x 1	2,04	5,11	5,56	7,84	8,96	10,26	15,53
2 x 2	2,22	4,37	6,76	9,01	10,63	11,83	14,73
3 x 3	2,99	6,52	10,26	13,32	15,79	17,89	21,99
4 x 4	2,83	6,07	9,97	13,06	15,90	18,58	21,65

Fonte: Adaptado de Pacheco *et al.* (2015)

As diferenças no DAP são expressivas do primeiro ao quinto ano; mas para alguns espaçamentos, observa-se que no nono ano se diferenciam dos demais (9 e 16 m²), com 21,99 cm e 21,65 cm de DAP; assim, se a destinação desta área for para celulose e papel (Tabela 9), pensando em volume de biomassa, é mais vantajoso o experimento de 1 m², pois mesmo apresentando 8,96 cm, menor no

DAP aos 7 anos, em relação ao de maior produtividade 15,90 cm DAP (16 m²) ganhará pelo volume, em função da quantidade de indivíduos que terá no povoamento.

A partir do 4^o ano o experimento com 9 m² se destaca em relação aos demais provavelmente, devido à baixa competição por luz e nutrientes. Quanto à altura, a variação até os nove anos foi muito pequena (Tabela 12), sendo a máxima observada foi no espaçamento 9 m² aos nove anos com média de 14,97 m; e a menor média no espaçamento 1 m², 14,06 m. Essa diferença representa cerca de 10 cm de incremento médio anual a mais em altura, o que leva a afirmar que a densidade inicial tem pouca interferência no crescimento médio da floresta, apesar de estar evidente maior ganho de altura para espaçamentos mais abertos e menor ganho para os mais fechados, nos últimos anos (PACHECO *et al.*, 2015).

Tabela 12 - Médias de altura do *Pinus taeda*, em diferentes espaçamentos, por idade

Espaçamento m x m	Idade (anos)							
	2	3	4	5	6	7	8	9
1 x 1	2,02	3,27	5,76	6,09	7,99	9,58	11,27	14,06
2 x 2	1,66	3,04	4,57	6,63	8,57	10,21	11,86	14,25
3 x 3	1,82	3,13	5,15	7,05	9,07	11,22	13,13	14,97
4 x 4	1,76	3,16	5,25	7,29	8,72	10,43	12,92	14,87

Fonte: Adaptado de Pacheco *et al.* (2015)

Diversos estudos realizados com o objetivo de avaliar o impacto causado pela densidade (espaçamento) no crescimento da floresta, chegaram a resultados similares aos encontrados por Pacheco *et al.* (2015), dentre os quais Lima (2015), encontrou altura de 10,03 m, aos 7 anos para o espaçamento 2 m². Outros estudos sobre a relação entre altura e densidade (espaçamento), como de Chies (2005), em que analisava diferentes espaçamentos para o *P. taeda* aos 21 anos no município de Três Barras-SC, e Pauleski (2010), que analisou a tendência da relação da altura em diferentes espaçamentos para o *P. taeda* chegaram a resultados similares.

Ainda, de acordo com Pacheco *et al.* (2015), quando se analisa o volume individual de biomassa (Tabela 13), observa-se variação em função do espaçamento. O maior volume encontrado foi de 0,2582 m³, no espaçamento 9

m^2 e, o menor $0,1224 m^3$, no espaçamento $4 m^2$, ambos aos 9 anos; o que representa uma diferença de 110,95%, do maior em relação ao menor valor. Portanto, o espaçamento influencia no volume de biomassa por indivíduo; mas a produção por unidade de área ($m^3 \cdot ha^{-1}$), é maior em espaçamentos mais adensados (menores), o que é recomendável para plantios que se destinam à produção de celulose, papel e/ou de energia.

Tabela 13 - Médias do volume (m^3) para *Pinus taeda*, sem casca, em 4 diferentes espaçamentos, por idade

Espaçamento $m_x m$	Idade (anos)						
	3	4	5	6	7	8	9
1x1	0,0019	0,0062	0,0117	0,0266	0,0405	0,0600	0,1513
2x2	0,0015	0,0054	0,0156	0,0306	0,0481	0,0698	0,1224
3x3	0,0024	0,0116	0,0337	0,0654	0,1075	0,1605	0,2582
4x4	0,0021	0,0099	0,0312	0,0608	0,1028	0,1583	0,2364

Fonte: Adaptado de Pacheco *et al.* (2015)

Em pesquisa realizada por Sette JR. *et al.* (2006), em Rio Negrinho - SC, com *Pinus* da espécie *P. taeda*, obteve os dados como apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Relação dos parâmetros dendométricos em povoamentos de *Pinus taeda* e valores médios

Parâmetros	Idade (anos)					
	5	12	14	18	25	26
Altura média (m)	6,2	17,8	20,3	24,1	27,0	25,0
DAP médio (cm)	11,8	22,0	27,7	27,3	35,0	33,0
Volume da madeira (m^3/ha)	37,2	431,6	218,9	515,5	442,0	415
Densidade (ár.v./ha)	1.119	1.450	480	742	490	427
Valores médios (kg/m^3)	323,23	342,52	344,18	378,19	373,44	404,92
Fitomassa média (kg/tronco)	10,76	101,95	156,97	262,74	336,86	393,86
Fitomassa total (t/ha)	12,04	147,83	75,34	194,96	165,06	168,04

Fonte: Adaptado de Sette JR *et al.* (2006)

Experimentos com diferentes densidades já foram realizados, como o estudo de Lima (2014), com *P. taeda*, com 10.000 árv./ha e 5.000 árv./ha, os quais, entre os quatro e cinco anos, foram responsáveis pelos maiores valores de incremento corrente anual, $67,15 m^3 ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ e $56,42 m^3 ha^{-1} \cdot ano^{-1}$, respectivamente, mas perde força nos anos seguintes, devido a alta densidade e competição por

radiação solar e nutrientes. Porém, com altas densidades, observou-se que os fustes apresentavam diâmetros menores, quando comparados com outros plantios de menores densidades; também eram mais tortuosos e pequenos.

A tendência para os plantios de *Pinus* nas regiões tropicais e subtropicais é de cultivar entre 1.000 e 1.500 árvores por hectare. O espaçamento é um fator determinante na altura dos primeiros galhos, do volume de madeira e influencia no uso final da madeira, que está relacionado com o comprimento e espessura do tronco. Em plantios comerciais de *P. taeda* no Paraná, segundo Lima *et al.* (2015), iniciou com densidade de 1.667 árv./ha, foram realizados dois desbastes, sendo o primeiro aos 10 anos, deixando 850 árv./ha, e o segundo aos 14 anos, permanecendo entre 400 e 450 árv./ha; aos 18 anos, é realizado o corte raso. O planejamento e o manejo dependem da finalidade a que se destina a cultura.

Cordeiro *et al.* (2015) informam que os plantios iniciais de *Pinus*, em escala comercial, foram realizados nas Regiões Sul e Sudeste, sendo o *P. taeda* para atender à demanda das indústrias de celulose e papel e, o *P. elliottii* para a extração de resina e a produção de madeira serrada. Posteriormente, com a introdução de outras espécies e o desenvolvimento tecnológico para o melhoramento genético das espécies disponíveis, o cultivo do *Pinus* se estendeu para as demais Regiões do país; tornando-se uma das principais fontes de matéria-prima para diversos produtos à base de madeira. De acordo com a ABRAF (2008), a Região Sul continua sendo o principal produtor, com cerca de 80% da produção nacional.

De acordo com Lima *et al.* (2014), apesar do conhecimento tecnológico, observa-se que, em determinadas localidades, ainda se aplica a cultura local e as práticas comuns quando da definição do espaçamento de um plantio florestal, e não se emprega as técnicas corretas na definição do espaçamento relacionada com os fins a que se destinam aquele plantio. Fatores diversos podem influenciar na determinação do espaçamento, tais como: a forma de crescimento e desenvolvimento radicial; as características do solo; o crescimento e o desenvolvimento das variáveis dendrométricas; a tolerância e a adaptabilidade da espécie escolhida; as práticas silviculturais e técnicas de manejo; os fatores

climáticos; as condições de mercado; os métodos de colheita e, principalmente, o objetivo da produção (LIMA *et al.*, 2016).

Para Sanquetta *et al.* (2004), é importante planejar o espaçamento na área a ser plantada; pois mesmo para uma mesma espécie, em uma mesma área com espaçamentos diferentes, implicará no número de tratos culturais; na taxa de crescimento; volume de produção da madeira; nas taxas de mortalidade e dominância; idade da estagnação do crescimento; nas práticas de implantação, manejo, exploração, volume da copa; na frustração e nos custos de produção, entre outros aspectos.

Quando o cultivo se destinar à produção de celulose, papel e/ou de energia, para as quais o ganho financeiro é em função do volume de biomassa produzido, não é recomendável adotar o desbaste, bem como, realizar o corte raso antes dos 15 anos, pois o ganho com o incremento volumétrico, entre 15 e 20 anos, em que o *P. taeda* é economicamente mais vantajoso, de modo que compensa retardar o corte. Os resultados mostraram que o espaçamento influencia as variáveis de crescimento, sendo primordial para se planejar a destinação da biomassa a ser produzida, se para a produção de celulose, papel, palanques ou mourões que exigem menores diâmetros; ou para serrarias e laminadoras, que requerem maiores diâmetros (PACHECO *et al.*, 2015).

Em pesquisa realizada por Lima *et al.* (2016), para avaliar os estoques de biomassa e C e, sua distribuição nas diferentes partes componentes de árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis*, no Sudoeste da Bahia, identificou que os teores médios de C variaram entre 51,22% para o fuste e, 48,80% para as acículas (folhas). O teor médio de C, considerando todos os compartimentos, foi de 49,94%, o que está muito próximo do valor de referência proposto pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*), que é de 50%, para projetos de CC.

A distribuição da biomassa de acordo com estudos realizados por Lima *et al.* (2016) *P. caribaea* var. *hondurensis*; Wojciechowsk *et al.* (2009) em povoamento de *P. elliotii*; Watzlawick *et al.* (2003), estudando *P. taeda*, estão distribuídas conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Distribuição % da biomassa por compartimento, em diferentes idades (*Pinus*)

Autor (ano)	Espécie/Var.	Idade (anos)	local	Participação % da Biomassa por Compartimento				
				Folhas	Galho	Casca	Fuste	Total
Lima <i>et al.</i> (2016)	<i>P. caribaea / Hondurensis</i>	10	V. Conquista - BA	6,0	16,4	21,1	56,5	100,
Wojciechowski <i>et al.</i> (2009)	<i>P. elliottii</i>	19	Rio Grande do Sul	4,0	7,0	11,5	77,5	100,
Watzlawick <i>et al.</i> (2005)	<i>P. taeda</i>	21	Paraná	2,9	16,3	12,2	68,6	100,

Fonte: Adaptado de Lima *et al.*, (2016).

Observam-se diferenças na distribuição dos percentuais de biomassa, encontradas nos três estudos, com diferentes espécies, diferentes idades, condições climáticas e pluviosidade, e em diferentes localidades; fatores que podem influenciar nos resultados, principalmente o último, uma vez que o solo é outro fator muito importante, pelo fato de proporcionar os nutrientes necessários à sobrevivência e desempenho do plantio, considerando que a espécie mais adequada para aquele tipo de solo, de clima e altitude.

O desbaste e a densidade do povoamento estão relacionados com a estrutura diamétrica dos indivíduos, de forma que a menor densidade contribui ou estimula a formação de fustes com maior diâmetro, destinados ao uso em finalidades industriais, ao passo que em talhões mais densos, produzem árvores mais finas, que são pouco valorizadas e são usadas para a produção de celulose, papel, escoras, mourões etc.; o regime de desbaste é resultante da combinação entre o tipo, intensidade e peso requerido para sua aplicação, conforme a destinação final pretendida para a floresta. E, as variáveis da área basal, volumes do fuste e total de cada indivíduo estão mais relacionados com a qualidade da área de plantio, do que ao regime de desbaste (DAVID *et al.*, 2017).

Programas de melhoramentos genéticos a partir do final dos anos 60 (do século XX), nos materiais que melhor haviam se adaptado nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, permitindo expressiva produtividade, principalmente na Região Sul, maior

produtora nacional, sendo que o Paraná é responsável por 48,45% e Santa Catarina por 39,54% da produção regional (FERREIRA *et al.*, 2016). O *Pinus taeda* L, cultivado no planalto catarinense, tem alcançado produtividade superior a $32 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, no auge do seu desenvolvimento entre o 14º e 15º ano de vida e, em áreas experimentais, com condições ideais de cultivo, atinge médias superiores a esta (ROTTERS, 2016).

Estudos ainda realizados por Ferreira *et al.* (2016), analisando *P. taeda* avaliou amostras de povoamentos com podas aos 3, 5 e 7 anos, desbastes aos 11 e 19 anos e, corte raso aos 23 e 33 anos de idade; em que quantificaram os volumes de folhas, galhos, copa e casca de 10 árvores. Aos 23 anos foram cortadas 388 árv.ha⁻¹, enquanto aos 33 anos foram 523 árv.ha⁻¹ e, mesmo tendo diferença de 10 anos, aos 23 anos cada árvore entregou maior volume de biomassa individual total (Tabela 16).

Tabela 16 - Biomassa por componente do *P. taeda* em diferentes idades (kg.árv⁻¹)
Peso de biomassa (kg.árv⁻¹)

Componente	Idade							Total
	3	5	7	11	19	23	33	
Folha	2,5	0,6	2,5	18,6	29,7	66,5	38,5	158,9
Galho	5,9	4,4	11,0	43,8	128,0	258,4	154,4	605,9
Copa	-	-	-	15,8	13,8	6,6	10,7	46,9
Casca	-	-	-	11,0	34,2	41,1	40,2	126,5
Total	8,4	5,0	13,5	89,2	205,7	372,6	243,8	

Fonte: FERREIRA (2016)

Tabela 17 - Biomassa dos componentes de *P. taeda* em diferentes idades (t.ha⁻¹)
Peso de biomassa (t.ha⁻¹)

Componente	Idade							Total
	3	5	7	11	19	23	33	
Folha	5,0	1,2	3,3	11,2	11,0	25,8	20,1	77,6
Galho	11,9	8,9	15,2	26,2	47,4	100,2	80,8	290,5
Copa	-	-	-	9,5	5,1	2,6	5,6	22,8
Casca	-	-	-	6,6	12,8	15,9	21,0	56,3
Total	16,8	10,1	18,5	53,5	76,3	144,5	127,5	

Fonte: FERREIRA (2016)

Nas Tabelas 16 e 17, são apresentados os volumes de biomassa dos componentes do *Pinus*, por indivíduo e por área, com destaque para os galhos que proporcionam grande quantidade de biomassa para a geração de subprodutos ou a queima e geração de calor/energia.

O procedimento de deixar os resíduos de colheita na lavoura, de acordo com Gonçalves *et al.* (2013), resulta em benefícios futuros, uma vez que há sempre a necessidade de reposição dos nutrientes extraídos pelos produtos florestais; assim, os componentes dos resíduos florestais (galhos, folhas, casca e serapilheira) pode contribuir com até 60% do nitrogênio (N), 60% do fósforo (P), 50% do potássio (K), 75% do cálcio (Ca) e 75% do Mg do estoque de nutrientes da parte aérea do povoamento, demonstrando ser altamente benéfico sua manutenção na lavoura.

Quando é realizada a colheita, são retirados do solo e exportados com a madeira cerca de 230 kg.ha⁻¹ de N, 20 kg.ha⁻¹ de P, 110 kg.ha⁻¹ de K, 110 kg.ha⁻¹ de Ca, ou seja, 43% de N, 39% de P, 49% de K e 24% de Ca do estoque de nutrientes contidos na biomassa aérea do povoamento. Constatou-se que com a retirada dos resíduos da área colhida, se reduz produtividade da colheita seguinte, podendo atingir perdas em torno de 36,5% de redução no volume da madeira. Portanto, é de grande importância a manutenção dos resíduos da colheita na lavoura, visando a sustentabilidade de produtividade, principalmente em solos de baixa fertilidade (FROMBO *et al.*, 2009; GONÇALVES *et al.*, 2013).

A manutenção dessa matéria orgânica no solo serve como repositório de nutrientes, melhorando sua capacidade de retenção de água e, intermediando os processos biológicos; influencia, portanto, suas propriedades físicas. Caso não sejam mantidos (ou retidos) favorece ao surgimento de erosões, carência de nutrientes e, conseqüentemente, leva à baixa produtividade; portanto é de suma importância tanto o manejo adequado dos resíduos vegetais, quanto a aplicação de técnicas de preparo que revolva o solo incorporando esses resíduos (ROTTERS, 2016).

Ainda para Roters (2016), os sistemas de cultivo de florestas, ao depositarem matéria orgânica por meio dos resíduos vegetais deixados na área podem elevar

o volume de C orgânico do solo, contribuindo para a sustentabilidade do solo, bem como reduz tanto as emissões de CO₂ na atmosfera, quanto a necessidade de reposição de nutrientes.

Estudos realizados por Dallagnol *et al.* (2011), em área de *P. taeda* encontraram a concentração de 49,56% de C presente na sua biomassa; porém, Sette Júnior *et al.* (2006) analisando o teor de C desta espécie em diferentes idades, chegaram a resultados diferentes, com teores bem mais elevados em comparação a outros trabalhos, tendo encontrado teor médio de 55,3%; portanto, mais de 5 pontos percentuais superior. E, segundo este autor os fatores que contribuíram para esse resultado foram, as condições do sítio (área), a escolha do material genético, tipo de material e manejo apropriado.

Os teores de C encontrados nas cinco espécies estudadas (*Araucária angustifolia*, *E. grandis*, *Mimosa scabrella*, *P. taeda*, *Populus deltóides*), no Sul do Brasil, quando comparados com outros estudos realizados, confirmam que, nos resultados encontrados nos diversos, os teores de C dificilmente ultrapassam a média de 50%. Observou-se ainda uma tendência comum (Tabela 18) dos teores de C nos seus compartimentos (folhas, galhos, fuste, raiz e casca) (DALLAGNOL *et al.*, 2011).

Tabela 18 - Valores médios encontrados para o teor de C por compartimento

Espécies	Casca (%)	Folhas (%)	Galhos (%)	Madeira (%)	Raiz (%)	Média (%)
<i>Araucária angustifolia</i>	43,08	45,27	44,46	45,25	43,35	44,28
<i>Eucalyptus grandis</i>	39,46	48,17	42,06	42,61	42,20	42,90
Bragatinga (<i>Mimosa scabrella</i>)	44,58	44,26	44,27	44,76	43,92	44,36
<i>Pinus taeda</i>	44,68	45,10	44,16	45,36	43,98	44,66
<i>Populus deltóides</i>	44,01	42,88	45,05	43,38	43,30	43,72

Fonte: Adaptado de Dallagnol *et al.* (2011)

Essa análise permitiu a Dallagnol *et al.* (2011), identificar similaridades na fixação de C nos compartimentos de espécies de mesmo grupo (coníferas, folhosas), porém diferente entre os grupos de coníferas e de folhosas (DALLAGNOL *et al.*, 2011). Péllico Netto (2008) informa que as espécies mais plantadas no Estado do

Paraná, *P. taeda* L. e *P. elliotii* var *elliotii*, as quais apresentam densidade $0,32 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,36 \text{ g.cm}^{-3}$ e, teor de C de 0,5.

As espécies de cultivo florestal, normalmente de ciclo curto, são classificadas como sendo uma mercadoria (ou produto), como outra qualquer, em razão de seu fluxo no mercado similar ao de outras *commodities* (DE LA TORRE, 2013). Porém, o termo Biomassa é definido de formas diferentes, ou divergentes, Martinelli *et al.* (1994), definem como a quantidade de massa de material vegetal que está à disposição na floresta. Brigadão (1992) define como sendo somente o material seco da planta, que denomina de fitomassa que combinado com a zoomassa é o equivalente à biomassa. Sanquetta (2002) destaca que o termo biomassa pode ser aplicado à parcela arbórea ou a toda a massa viva florestal.

Ratuchne *et al.* (2016) dizem que biomassa florestal pode ainda ser expressa por massa verde ou massa seca. Sendo que massa verde refere-se ao material fresco que contém uma porção de água, enquanto que a massa seca é a biomassa obtida após a secagem do material em estufa. Para Sanquetta *et al.* (2014) o termo biomassa representa a massa de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal; portanto, a biomassa florestal é toda a massa relativa à parte arbórea e/ou toda a massa existente na floresta.

De um modo geral, fitomassa é a massa total dos seres vegetais que subsistem em equilíbrio numa dada superfície de solo. Enquanto que, biomassa é a massa dos seres vegetais que subsistem em equilíbrio numa dada superfície de solo ou num dado volume de água oceânica. Assim, biomassa florestal é o total de massa verde florestal que subsiste em equilíbrio na superfície do solo, numa determinada localidade.

Com área ocupada de apenas $7,185 \times 10^6$ ha, o que corresponde a 0,9% do território nacional, o setor de florestas plantadas brasileiro é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no País. Os outros 9% vêm de florestas nativas legalmente manejadas e do desmatamento ilegal. Dessa área os plantios de *Eucalyptus* ocupam $5,1 \times 10^6$ ha, o que representa 71,9% do total, e estão localizados principalmente nos estados de Minas Gerais (25,2%), São Paulo (17,6%) e Mato Grosso do Sul (14,5%) (IBA, 2015).

Os plantios de *Pinus* ocupam $1,562 \times 10^6$ ha e as maiores concentrações estão localizadas no Paraná (42,4%) e em Santa Catarina (34,1%). Acácia, teca, seringueira e paricá estão entre as outras espécies plantadas no País (IBA, 2015).

O gênero *Eucalyptus* vem se despontando como uma das principais espécies para o plantio florestal. Tendo catalogado mais de 600 espécies e subespécies de grande produtividade em todos os campos de produção econômica florestal. São espécies que apresentam uso múltiplo e, englobam todos os segmentos de produção. O rápido crescimento do *Eucalyptus* aliado às tecnologias desenvolvidas, para implantação de povoamentos; sua fácil adaptação e aclimação e, diversidade de aplicações em diferentes setores faz com que este gênero ocupe lugar de destaque nos programas de florestamento e reflorestamento, a fim de se alcançar a produtividade que atenda à crescente demanda de madeiras para uso industrial (HOFFMANN e BERGER, 1973; ORO *et al.*, 2012; MOREIRA *et al.*, 2017).

Em virtude de apresentar rápido crescimento, grande produção por área, capacidade de aclimação e, por ter inúmeras aplicações em diferentes setores, o gênero *Eucalyptus* se enquadra entre as mais importantes “árvores industriais” do mundo. Seu cultivo, além de propiciar matéria-prima para diversos produtos, é responsável pela geração de grande quantidade de postos de trabalho, assim como importante “sumidouro” de C (ORO *et al.* 2012).

2.3 Destinação das Florestas Plantadas

A destinação da floresta a ser plantada trata-se de uma escolha em que é necessário escolher a espécie a ser cultivada no sentido de atender as finalidades para as quais foi destinada. Por exemplo, dentre as diversas espécies de *Eucalyptus*, na sua maioria, são sementes ou mudas geneticamente alteradas para melhor adaptação ou produtividade (FOELKEL, 2013). A Tabela 19 mostra as espécies mais recomendadas em função da finalidade ou uso (OLIVEIRA NETO, *et al.* 2010).

Tabela 19 - Algumas espécies arbóreas e seus principais usos

Usos	Espécies mais recomendadas
Lenha e Carvão Vegetal	<i>Mimosa scabrella</i> (bracatinga), <i>Anadenanthera peregrina</i> (angico-vermelho), <i>Piptadenia gonoacantha</i> (pau-ijacaré), <i>Machaerium nictitans</i> (bico-de-pato), <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>E. citriodora</i> , <i>E. cloeziana</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. tereticornis</i> , <i>E. urophylla</i> , e híbridos urograndis (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)
Papel e celulose	<i>E. grandis</i> , <i>E. saligna</i> , <i>E. dunnii</i> , <i>E. viminalis</i> , <i>E. urophylla</i> , e híbridos urograndis (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>) e <i>Gmelina arbórea</i>
Móveis	<i>Cariniana legalis</i> (jequitibá-rosa), <i>Toona ciliata</i> (cedro australiano), <i>Tectona grandis</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. saligna</i> , <i>E. urophylla</i> , <i>E. dunnii</i> e híbridos urograndis
Postes, dormentes, moirões	<i>E. citriodora</i> , <i>E. tereticornis</i> , <i>E. pilularis</i> , <i>E. microcorys</i> , <i>E. cloeziana</i> , <i>E. urophylla</i> , <i>E. paniculata</i> e <i>E. grandis</i>
Estruturas e construção civil	<i>Anadenanthera peregrina</i> (angico-vermelho), <i>Plathymenia foliolosa</i> (vinhático), <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. citriodora</i> , <i>E. paniculata</i> , <i>E. urophylla</i> e <i>E. cloeziana</i>
Taninos	<i>Anadenanthera peregrina</i> (angico-vermelho), <i>Acacia mearnsii</i> (acácia-negra), <i>Lecythis pisonis</i> (sapucaia), <i>Casuarina equisetifolia</i> (casuarina), <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. citriodora</i> e <i>E. smithii</i>

Fonte: Oliveira Neto, et al. (2010)

Em nível mundial, é significativa a participação de biomassa florestal na matriz energética, assim como é relevante a destinação de madeira para a produção de bens duráveis de uso e consumo, como nos setores de serraria e laminação, com 31% de participação, de modo que todo o C armazenado permanecerá estocado nesses produtos enquanto estiverem em uso, estendendo o ciclo de vida florestal. Não obstante, a biomassa usada na forma de energia, contribuirá, de forma contrária, para a emissão de GEE, principalmente na liberação do CO₂, estocado até então, para a atmosfera (MOREIRA, 2011).

A Figura 8 mostra um diagrama de blocos, com as principais formas de uso da biomassa florestal em diferentes segmentos industriais (MAZZOCHIN, 2010).

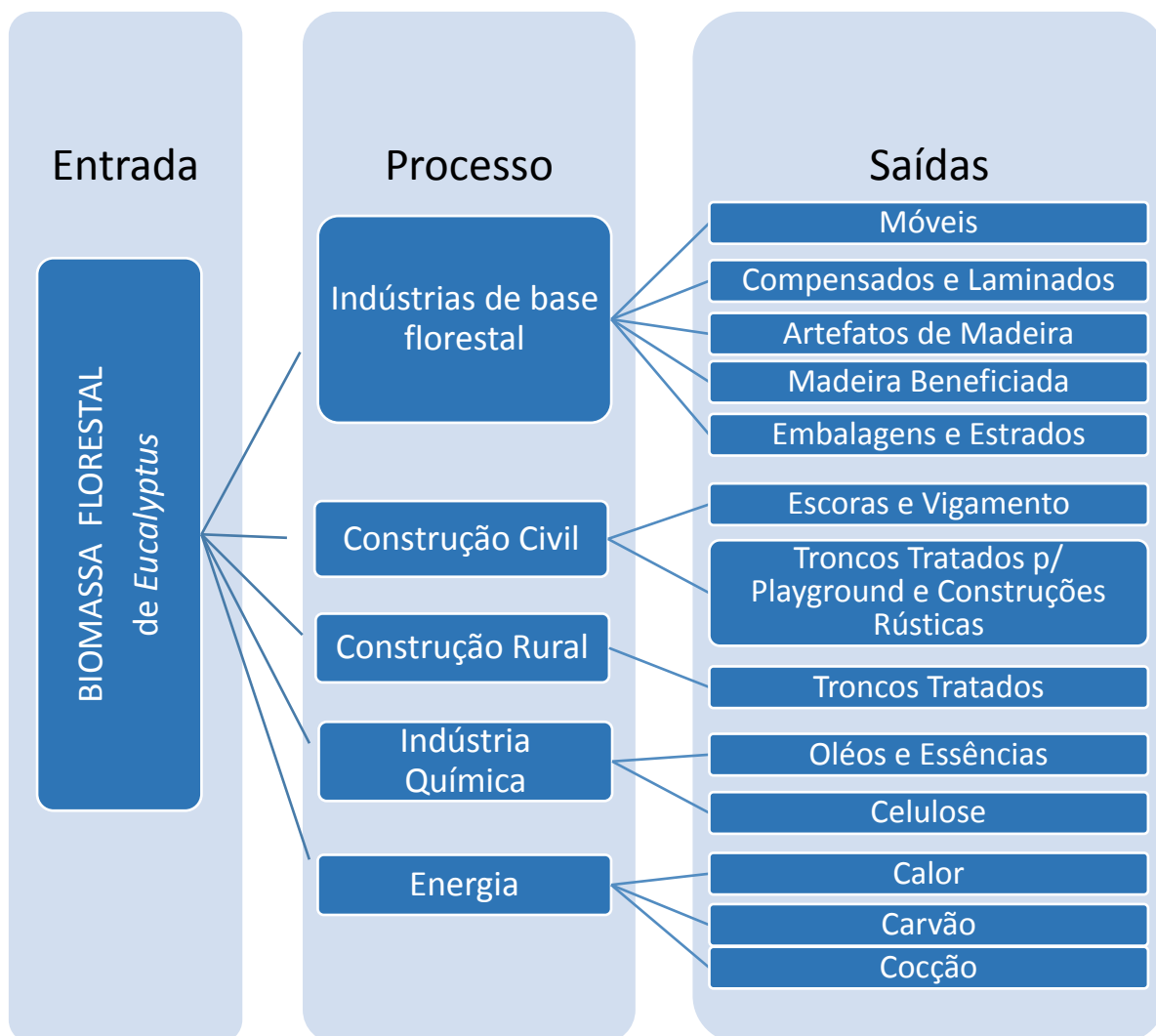


Figura 8 - Estrutura de Uso e Consumo de Biomassa Florestal - *Eucalyptus*
 Fonte: Adaptado de Mazzochin (2010)

Segundo Moreira (2011), a madeira bruta produzida no mundo no período de 1989 a 2009, foi superior a 130 bilhões de m³ e, mais da metade dessa biomassa (58%) foi destinada à produção de energia como apresentado na Figura 9. O segundo maior volume (31%) foi destinado à Serraria e Laminação. Apenas 6% foi destinado à produção de celulose e, os 5% restantes, foram destinados a outras indústrias de base florestal.

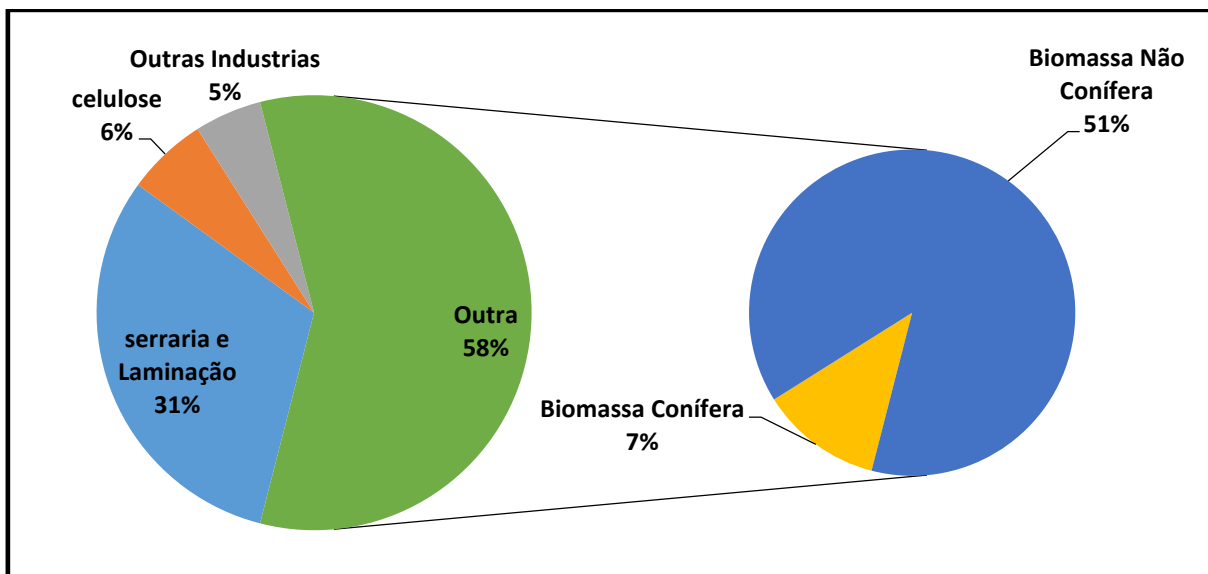


Figura 9 - Finalidade da madeira bruta produzida no mundo entre 1989 e 2009
Fonte: FAO (2010)

A Figura 10 mostra as principais destinações das florestas plantadas para fins industriais, no Brasil, em que se destaca a predominância para o consumo na produção de papel e celulose (48% de todos os gêneros), seguida pela siderurgia (21% dos plantios nacionais) nesta, utilizado como fonte energética para a produção do aço (CONSUFOR, 2014).

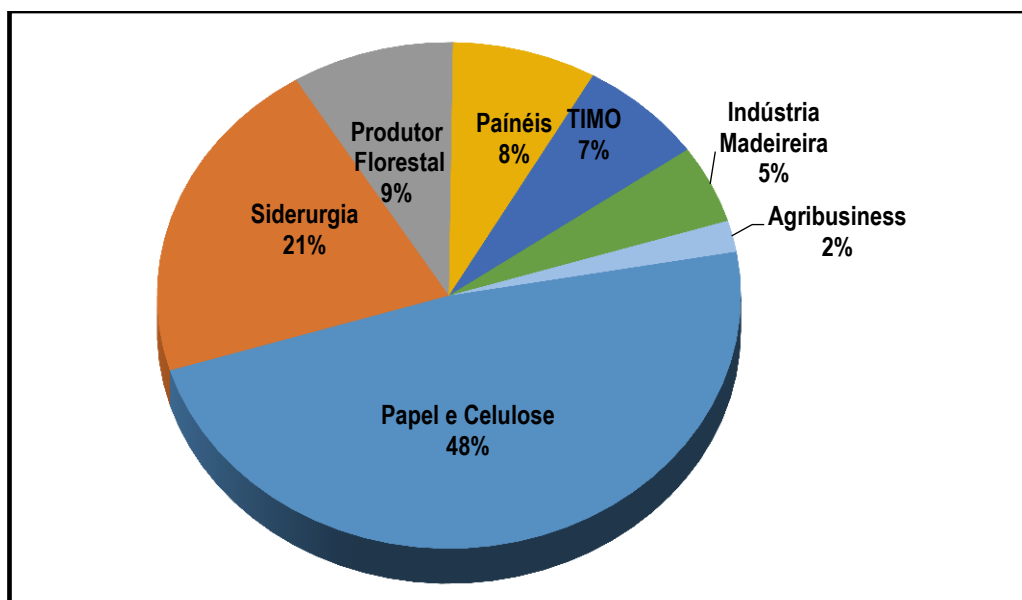


Figura 10 - Composição da Área de Florestas Plantadas no Brasil
Fonte: CONSUFOR, 2014

Os principais gêneros cultivados no Brasil são o *Eucalyptus* e o *Pinus*, sendo sua destinação apresentada na Figura 11. Com relação ao *Eucalyptus* plantado, em torno de 53%, são destinados à produção de papel e celulose; enquanto que do

Pinus, aproximadamente 35% são destinados à produção de papel e celulose, em função da morfologia do formato de suas fibras (CONSUFOR, 2014).

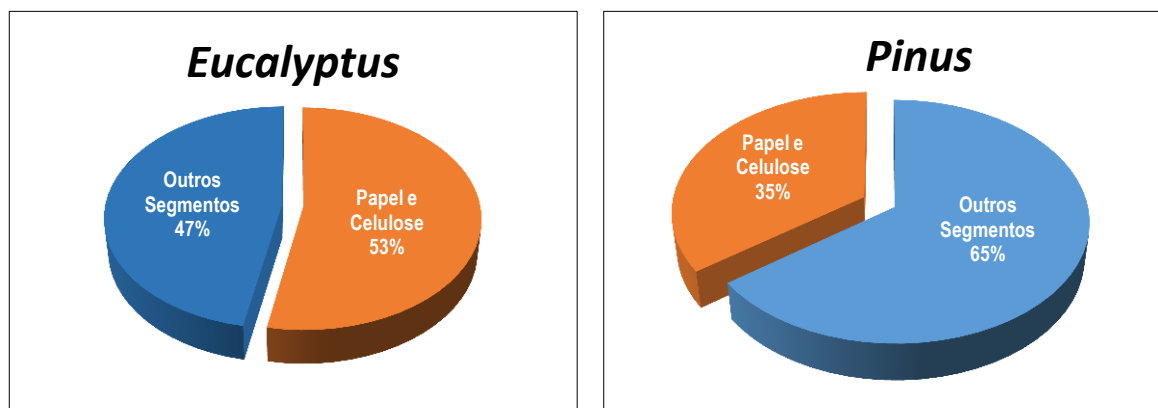


Figura 11 - Destinação da Área de Florestas de *Eucalyptus* e de *Pinus* no Brasil
Fonte: CONSUFOR, 2014

O A Figura 12 mostra a evolução do incremento médio anual (IMA) dos plantios florestais de empresas associadas à Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2012), pois indica o quanto o avanço nas tecnologias foi capaz de agregar em capacidade produtiva, diferenciando o Brasil por seu potencial produtivo. No período entre 2005 e 2012, o *Eucalyptus* apresentou aumento de $4\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$; enquanto que o *Pinus* aumento de $9,4\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

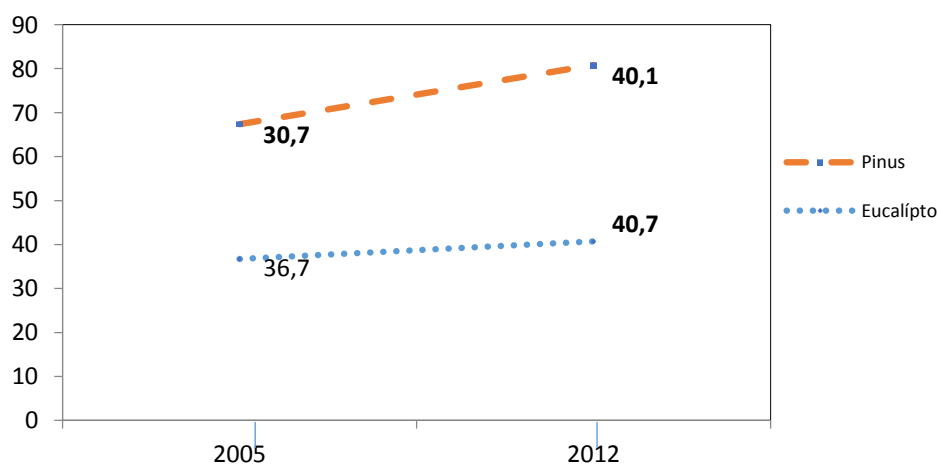


Figura 12 - Evolução do incremento médio anual (IMA) dos plantios florestais
Fonte: ABRAF (2012)

setor florestal brasileiro no segmento de florestas plantadas para fins industriais, vem apresentando aumento de produtividade, que é resultante dos fatores

ambientais favoráveis para a silvicultura, assim como das novas tecnologias utilizadas, dentre elas o melhoramento genético de sementes e a clonagem de espécies florestais; desse modo o Brasil se destaca mundialmente na produtividade florestal de coníferas e folhosas (SFB, 2013).

O Tabela 20 mostra a evolução das quantidades de madeira, em toras, provenientes de florestas nativas e plantadas entre 2006 e 2011, demonstrando o uso na indústria ou para combustível. Observa-se que, ocorre o processo inverso entre florestas nativas e florestas plantadas. O uso das florestas nativas decresce, enquanto que das plantadas cresce com relação ao volume extraído em toras para consumo; o que indica os efeitos das políticas de incentivos e investimentos em florestas industriais feitos pelos governos e sociedade (SFB, 2013).

Tabela 20 – Quantidade e usos de madeira proveniente de florestas nativas e plantadas

Madeira em tora		Quantidade (1.000m ³)				
Origem	Uso	2007	2008	2009	2010	2011
Floresta Nativa	Combustível	64.153	59.894	54.558	50.230	48.384
	Indústria	16.389	14.127	15.248	12.655	14.116
Subtotal de Floresta Nativa		80.542	74.021	69.806	62.885	62.500
Floresta Plantada	Combustível	69.538	73.841	68.439	75.688	84.763
	Indústria	105.132	101.262	106.911	115.742	125.852
Subtotal de Floresta Plantada		174.670	175.103	175.350	191.430	210.615
TOTAL		255.212	249.124	245.156	255.273	273.115

Fonte: IBGE, SFB (2013).

Rezaie e Rosen (2012) e Akhtari *et al.* (2014), abordam a questão do destino do plantio quando para a geração de energia e sugerem a implantação de um sistema distrital de energia, que atenda à demanda local. Pois é uma alternativa importante para a aplicação dos resíduos de madeira, especialmente, das regiões em que estão instaladas as indústrias madeireiras (madeira serrada, laminados, moveleira etc). O uso dos resíduos florestais contribui para a redução dos impactos ambientais resultantes da degradação da madeira em aterros ou depósitos, evita desperdícios e beneficia tanto a comunidade quanto as empresas locais, com o fornecimento de energia, por vezes, a um menor custo.

Mangoyana e Smith (2011) corroboram, enfatizando que a atenção recebida pelas pequenas centrais energéticas, por apoiarem o desenvolvimento local, com criação de empregos e a mitigação das mudanças climáticas locais são relevantes, pelo fato de estarem descentralizadas e, por contribuírem para a redução dos custos de produção, além de consumirem os resíduos disponíveis localmente, que é outra forma de contribuir com a natureza na mitigação dos GEE e, por emitirem menor volume de GEE, resultante da queima de combustível fóssil consumido no transporte.

A Figura 13 mostra a composição das áreas plantadas com florestas industriais no Brasil, no ano de 2014, quanto à origem do capital (IBÁ, 2015).

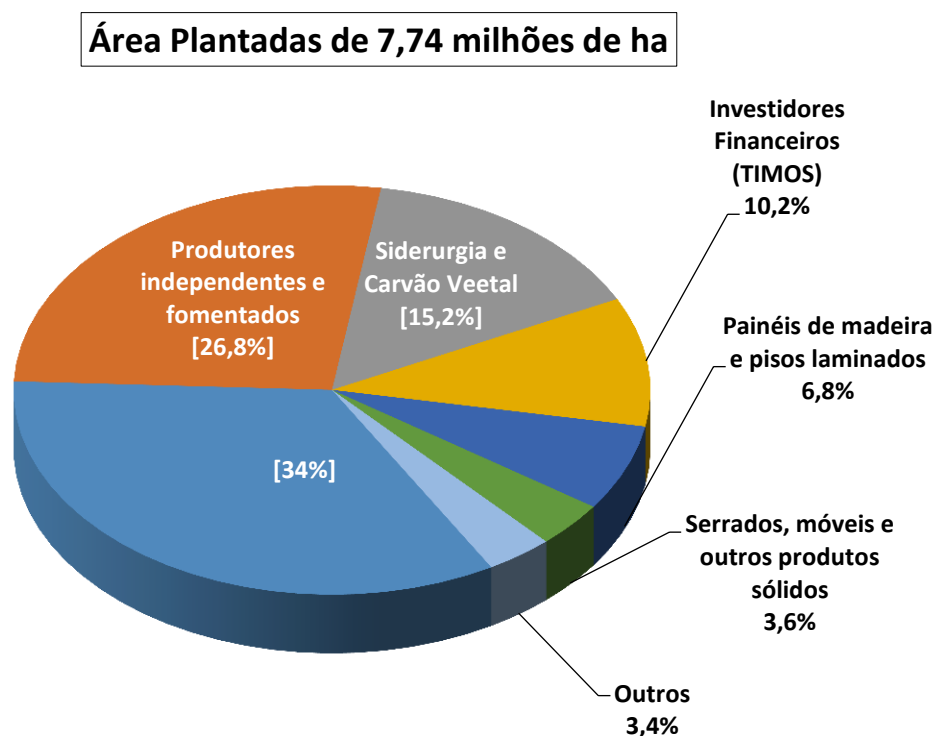


Figura 13 - Composição da Área de Florestas Plantadas por Segmento, 2014
Fonte: IBÁ (2015)

O uso da madeira em substituição a outras fontes de energia mais poluentes, e outros materiais cujos processos produtivos sejam mais complexos, consumindo mais energia para sua obtenção, pode ser muito benéfico ao planeta. As emissões de GEE podem ser reduzidas quando madeira é usada na construção civil ou em substituição de materiais de uso intensivo de energia, como concreto e aço. Estudos feitos por Sikkema *et al.* (2013) mostraram que a média mundial de redução das emissões de GEE é de aproximadamente 49% quando considerado

o uso de madeira em substituição de outros materiais; e, quando descartada, parte dessa madeira pode ser utilizada como matéria-prima para a geração de energia.

Conforme o IBA (2015) os benefícios proporcionados pelos 7,8 milhões de ha de florestas plantadas, são:

- **Benefícios ambientais** - absorvem $1,7 \times 10^9$ t.CO_{2eq} da atmosfera; preserva, 5,6 milhões de hectares de árvores naturais na forma de Áreas de Preservação Permanente (APPs), de Reserva Legal (RL) e de Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPNs), que representam um estoque médio de 2,48 bilhões de toneladas de CO_{2eq}; garantem a sustentabilidade e as boas práticas do setor, uma vez que 70% dos plantios são certificados. Em 2015 foram produzidos, 65,1 milhões de GJ de energia limpa, o que representa 67% do consumo energético do setor; e,
- **Benefícios sociais:** Os investimentos em programas sociais como saúde, cultura, qualidade de vida e educação; tais iniciativas beneficiam cerca de dois milhões de pessoas, em aproximadamente mil municípios, consolidando o setor brasileiro de base florestal como indutor de desenvolvimento econômico e social do País; a fixação da população no meio rural e geração de renda para as comunidades do entorno das unidades de negócio das empresas do setor; e 18,7 mil famílias beneficiadas por programas de fomento em 2015.

Portanto, as florestas plantadas são muito relevantes para o meio ambiente e a manutenção do equilíbrio climático do planeta; adicionalmente cabe destacar sua contribuição para a manutenção das florestas naturais, somada ao sequestro de C. No âmbito social, destaque para os benefícios proporcionados à qualidade de vida, emprego e renda, tanto no meio rural (produtores) quanto no meio urbano (empresas de base florestal) (IBÁ, 2015).

2.3.1 Estimativa de Biomassa das Florestas Plantadas

A quantificação da biomassa florestal pode ser obtida por dois métodos: o Direto, no qual se determina as áreas amostrais, as quais serão extraídas (cortadas), são pesadas no seu estado natural e depois de seco; enquanto que, pelo Indireto o volume de biomassa pode ser quantificado por meio de modelos matemáticos com base nos dados de inventário, com o uso de banco de informações resultantes de estudos e pesquisas anteriores já consolidados (SILVEIRA, 2008).

Silva *et al.* (2015), identificaram que a distribuição percentual da biomassa e o estoque total nos diferentes componentes das árvores estão associados ao tipo de espécie, idade, material genético, qualidade de sítio onde está sendo cultivado, densidade do plantio e fazes de crescimento da planta.

Na sequência, são apresentadas as alternativas e quantificação da biomassa florestal para as espécies de *Eucalyptus* e de *Pinus*.

a) *Eucalyptus*

Segundo Silva *et al.* (2015), como exemplo, em plantios localizados no sul da Bahia, pesquisas mostraram que as folhas de *E. grandis* armazenaram 8,8% do C total da árvore, os galhos 7,8% e o tronco 83,4%. Porém, estudando a contribuição dos compartimentos da árvore para o estoque de biomassa total em um povoamento de *Eucalyptus spp.*, com 10 anos de idade, na região Centro-Leste de Minas Gerais, o tronco, componente de maior interesse comercial, correspondeu, em média, a 64,7% da biomassa total, seguido pelo sistema radicular com 13,5%, serapilheira com 9,7%, casca com 7,3%, galhos com 3,3 e folhas com 1,5%.

Pesquisas feitas por Maier *et al.* (2017), mensurando os volumes em povoamento de *E. benthamii*, com 4 anos de idade, mostraram que o compartimento tronco contribuiu com 69% da biomassa total, seguido das folhas, galhos e casca. Contudo, observa-se que não só os fatores citados, como: espécie, idade, material genético, qualidade de sítio, densidade do plantio e fazes de crescimento

da planta, que são determinantes para o volume de biomassa, mas também a região em que se encontra o plantio.

As florestas plantadas, normalmente apresentam resultados favoráveis com relação ao ganho no volume de biomassa; porém há alguns fatores que podem frustrar os resultados esperados, como a densidade do plantio. Segundo Schumacher *et al.* (2011), no caso específico, objeto de estudo, em que os pequenos agricultores, não conservam regularidade no espaçamento entre as plantas, pode causar certo prejuízo ou, reduzir seus lucros.

Apesar da grande variabilidade e irregularidade no espaçamento entre as plantas, de modo geral, os povoamentos são implantados sob alta densidade populacional, na sua maioria em torno de 1,5m x 1,5m, mas apresentam redução no número de indivíduos após o plantio, em decorrência da alta taxa de mortalidade. A Tabela 21 mostra algumas características de plantações de *Eucalyptus*, em função da idade do plantio.

Tabela 21 - Características dendrométricas dos povoamentos de *Eucalyptus spp* em propriedades rurais de Vera Cruz, RS

Parâmetros	Idade do povoamento (anos)			
	2	4	6	8
Dap (cm)	6,5	6,8	12,8	13,2
Densidade (árvore ha ⁻¹)	2.645,8	2.569,4	2.354,2	2.375,0
Altura dominante (m)	11,9	14,0	27,4	28,6
Volume de madeira com casca (m ³ ha ⁻¹)	48,4	80,2	344,4	414,0
Volume de madeira sem casca (m ³ ha ⁻¹)	36,5	62,9	307,2	370,6

Em que: Dap = diâmetro à altura do peito (1,30 m)

Fonte: Schumacher *et al.* (2011)

Os dados apresentados na Tabela 21 mostram que o número de indivíduos por hectare, em pequenas áreas, é elevado quando comparado com grandes áreas de reflorestamento que tem média em torno de 1.600 indivíduos até o primeiro desbaste, mantendo-se após, algo em torno de 1.100 indivíduos por ha; desta forma a superpovoação, por mais que na sua totalidade apresente elevado ganho de biomassa, o mesmo não se pode dizer de cada um de seus indivíduos, pois de acordo com Schumacher *et al.* (2011), há muita perda por mortandade logo após

o plantio; além disso, a alta competição, por espaço e luz, fará com que todos cresçam muito, sem ganho de massa. Ainda, Schumacher *et al.* (2011), apresentam dados de biomassa dos compartimentos *Eucalyptus*, sub-bosque e serapilheira ($t\cdot ha^{-1}$), em povoamentos de *Eucalyptus spp* em propriedades rurais de Vera Cruz, RS, como mostra a tabela 22.

Tabela 22 - Biomassa dos compartimentos *Eucalyptus* ($t\cdot ha^{-1}$), em povoamentos de *Eucalyptus spp* em propriedades rurais de Vera Cruz, RS

Parâmetros	Idade do povoamento (anos)				
	2	4	6	8	
<i>Eucalyptus</i>	Folha	2,70	3,96	5,96	6,78
	Galho	5,42	8,00	12,33	13,84
	Vivo				
	Galho	0,55	0,97	-	-
	Morto				
	Casca	2,10	3,46	11,86	13,94
	Madeira	12,56 (38,5%)	22,55 (42,9%)	141,58 (67,8%)	173,20 (68,3%)
	Raiz	3,37	5,61	20,94	14,17
Sub-Bosque	Acima do solo	1,58	1,56	3,47	6,55
	Raiz	0,31	0,31	0,90	1,73
Serapilheira	4,05	5,98	11,80	12,28	
Biomassa Total	32,62	52,50	208,84	253,45	

Fonte: adaptado de Schumacher *et al.* (2011)

Em estudos realizados por Gatto *et al.* (2011), em florestas no Centro-Leste do Estado de Minas Gerais; apresentaram dados que foram coletados em plantas com 8 a 10 anos de idade, em Cocais (MG) e, também, de 7 a 10 anos, em Virgíópolis (MG). Os dados mostram que o lenho apresenta maior contribuição para a biomassa (com média de 70%), seguido por raízes (15%), casca (9%), galhos (4%) e folhas (2%).

Estudos pioneiros realizados por Rezende e Ferraz (1986), com relação aos incrementos correntes anuais de volume (ICAV) e incrementos correntes anuais de massa (ICAM) para *E. grandis*, encontraram que a idade ideal, com base exclusivamente em produtividade, está entre 7 e 12 anos (Tabela 23). Nesta pesquisa foram analisadas amostras pelo método de atenuação de radiação gama de 60 KeV, com varredura automática, nas quais foram feitas

determinações de densidade de discos, sendo em média 209 pontos por disco de madeira do tronco. Ainda conforme Rezende e Ferraz (1986) considerou-se, para efeito de cálculo, como um ano de vida da árvore o período de formação de dois picos outonais consecutivos, entre os picos de alta densidade. E, como para o *Eucalyptus* os anéis de crescimento não são distintos e de difícil separação, foi possível identificá-los por meio do uso da radiação gama.

Com base nestes dados, afirmaram que no Brasil, abate-se a planta com pouca idade e por critérios não técnicos, muito antes de atingir sua produtividade máxima, em termos de incremento de massa.

Tabela 23 – Valores médios dos incrementos de volume (cm^3), considerando um disco com espessura de 1,0 cm em nível de DAP

Incremento	Anel Anual													Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
ICAV	14,46	31,33	40,48	42,10	40,25	39,15	39,34	37,50	35,80	34,79	34,70	33,98	34,95	35,29
IGV	14,46	45,90	86,38	128,48	168,73	207,88	247,22	284,72	320,52	355,31	390,01	423,99	458,94	
IMAV	14,46	22,95	28,79	32,12	33,75	34,65	35,32	35,56	35,61	33,53	35,46	35,33	35,30	31,76

Fonte: Rezende e Ferraz (1986)

De outro modo, a Figura 14 mostra a evolução do ICAV e IMAV para o *E. grandis*

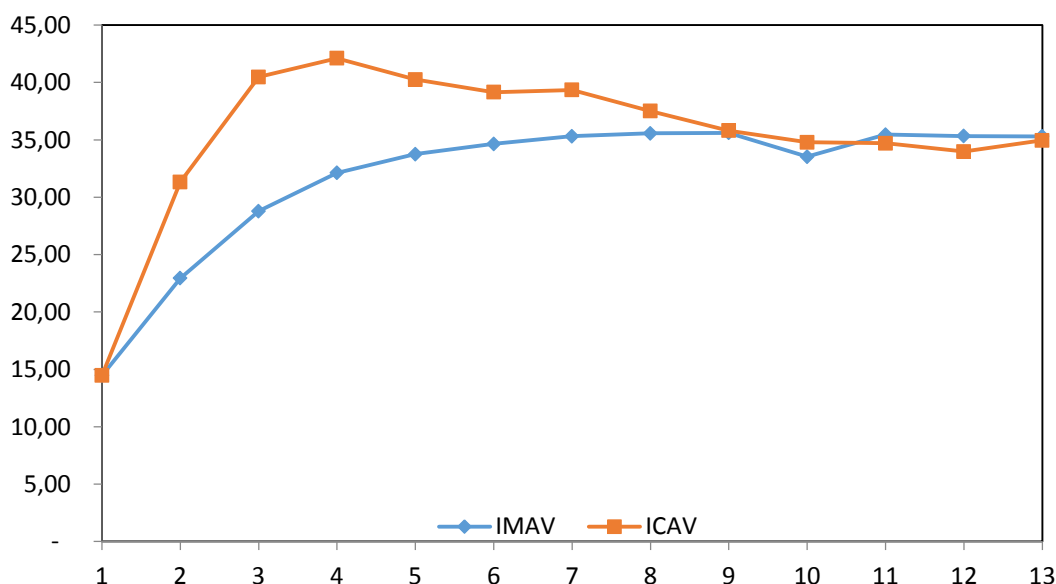


Figura 14 - Aspectos da variação obtida para os parâmetros ICAV e IMAV, para *E. grandis*, no DAP

Fonte: Rezende e Ferraz (1986)

Observa-se que o Incremento Médio Anual de Volume (IMAV) apresenta ganhos mais expressivos até o quinto ano. Por outro lado, os ganhos acumulados são mais elevados até o quarto ano, conforme o ICAV e, depois daí entra em declínio até apresentar estabilidade por volta do décimo ano.

Além disso, Rezende e Ferraz (1986) calcularam o ICAM; o IGM (incremento global de massa) e, o IMAM (incremento médio anual de massa), conforme apresentados na Tabela 24 e na Figura 15, em que indicam como idade ideal de corte para o *E. grandis*, com base exclusivamente em produtividade é a partir do sétimo ano de plantio, quando analisado pelo ICAM.

Tabela 24 – Valores médios dos incrementos anuais de massa para o *Eucalyptus*

Incremento	Anel Anual													Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
ICAM	6,62	13,41	18,87	21,41	22,14	22,44	23,72	24,22	23,94	22,68	22,46	20,78	20,98	20,22
IGM	6,62	20,03	38,90	60,31	82,45	104,89	128,61	152,83	176,77	199,45	221,91	242,69	263,67	
IMAM	6,62	10,02	12,97	15,08	16,49	17,48	18,37	19,10	19,64	19,95	20,17	20,22	20,28	16,65

Fonte: Rezende e Ferraz (1986)

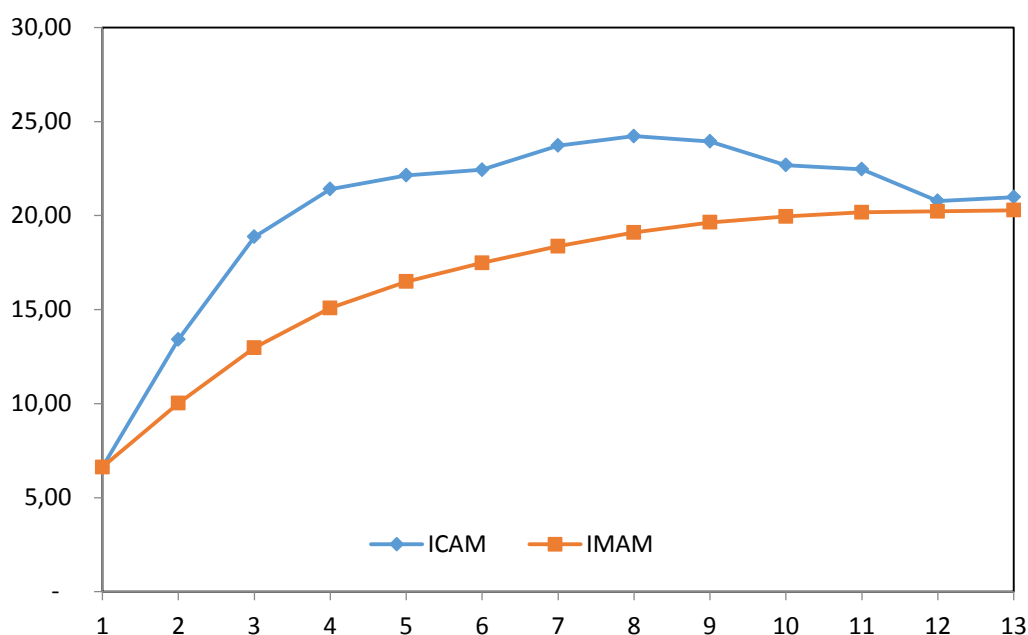


Figura 15 - Aspectos da variação obtida para parâmetros ICAM e IMAM, para *E. grandis*, no DAP

Fonte: Rezende e Ferraz (1986)

Rezende e Ferraz (1986), com base nos dados obtidos ao analisarem as variações do IMAM e do ICAM, concluíram que a idade ideal para corte é,

portanto, o momento em que as duas curvas se encontram. Assim, a partir da análise do incremento de massa, a nível DAP, foi de 12 anos, que é quando se tem a maior quantidade de matéria seca. Porém, levando-se em conta os valores relativos ao incremento médio volumétrico a idade ideal é aos 8 anos; por ser a idade que proporciona maior quantidade de volume ao nível DAP. Tais diferenças de idade de corte, são resultantes das variações de densidades anuais que crescem no sentido medula-casca e, proporcionam maior quantidade de massa por unidade de volume nos anéis mais externos.

Essa diferença, entre as idades de corte, deve ser levadas em consideração nos inventários florestais, pois está diretamente relacionada à variação da densidade no sentido medula-casca e, os dados obtidos com base apenas em incrementos volumétricos podem induzir de forma errônea à antecipação da idade ideal de corte. Observaram ainda que em idades superiores à ideal de corte, ou seja, próximo ao 12º ano a produtividade está muito próxima da média ideal e com massa específica maior (REZENDE e FERRAZ, 1986).

b) *Pinus*

Em pesquisa realizada por Schikowski *et al.* (2013) em povoamentos de *P. eliottii* e *P. taeda* localizados no centro sul do Estado do Paraná, com idades variando de 5 a 20 anos, em que foram selecionadas amostras entre indivíduos com diâmetros entre 3,6 cm e 35,9 cm. Para maior precisão na mensuração das raízes foram coletadas até o limite de 2 mm de espessura e a 50 cm de profundidade; para a determinação do peso da biomassa seca, as amostras foram secas em estufa e, o método utilizado foi o destrutivo com o qual obtiveram os dados, como apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Valores Médios da Biomassa Individual de *Pinus spp*

Idade (Anos)	DAP (cm)	Altura média (m)	Biomassa (kg)
5	14,96	8,35	55,373
10	23,13	17,85	173,424
15	28,97	22,78	408,519
20	37,56	27,60	688,205

Fonte: Adaptado de Schikowski *et al.* (2013)

Observa-se que, em análise individual, o ganho mais expressivo de massa se dá após os 10 anos, principalmente em função da redução de competitividade resultante do primeiro desbaste (Tabela 25), quando reduz o número de indivíduos por ha.

Brand *et al.* (2014) realizaram pesquisa no Planalto Sul do Estado de Santa Catarina, que apresentam condições climáticas e geográficas semelhantes às regiões de cultivo de *Pinus* no Estado do Paraná, em plantios de *Pinus* spp., com idades entre 3 e 24 anos, destinados à geração de energia com produção de 30 a 95 t.ha⁻¹, cujos dados estão apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Valores médios encontrados em cada idade - *Pinus taeda*

idade	Nº de árvores (ha)	Atividade Silvicultural	DAP médio	Altura total	Altura comercial média
3	2.000	1ª poda	10	Não medida	Não medida
6	2.000	2ª poda	16	8	Não medida
10	1.600	1º desbaste	20	13	9
12	1.333	2º desbaste	22	17	11
14	1.200	3º desbaste	21	16	11
16	800	4º desbaste	26	21	17
24	550	Corte raso	33	27	24

Fonte: Adaptado de Brand *et al.* (2014)

Apesar de que a madeira é destinada à geração de energia, como apresentam DAP médio superior a 20 cm, também podem ser destinados à produção de laminados e para serraria.

2.4 Modelos para Estimar o Estoque de Carbono

Estudos sobre captura (ou sequestro) de C são importantes na avaliação de uma floresta tanto como recurso natural, quanto na relação entre mudanças climáticas e o acúmulo de GEE na atmosfera, uma vez que as florestas removem o CO₂ da atmosfera e o estocam na forma orgânica (WANG *et al.*, 2001; SILVERA, 2008; MACHADO *et al.*, 2015; SHARMA *et al.*, 2015).

A madeira é formada por um agregado de componentes orgânicos e inorgânicos, que apresenta de uma maneira geral, a composição química com cerca de 50% de C, 6% H e 44% de O, pequenos teores de N e minerais. Esses componentes (orgânicos e inorgânicos) podem variar, tanto de uma espécie para outra, como dentro de uma mesma espécie vegetal, de acordo com a região, e até de uma célula para outra; mas sua composição química geralmente se mantém estável tanto para folhosas, quanto para coníferas (SILVEIRA, 2008; ANJOS, 2013; ORELLANA, 2015).

A fotossíntese consiste de um processo fotoquímico, que é a troca entre o meio ambiente e a planta, os quais ocorrem na presença de luz; processos enzimáticos, que não requerem luz; e processos de difusão, que provocam troca de CO₂ e O₂ entre os cloroplastos e o ar exterior. Considerando a massa atômica (uam = unidade atômica de massa) em que C = 12 uam e o CO₂ = 44 uam, a relação CO₂/C = 3,67 que corresponde ao fator de multiplicação entre a quantidade de C armazenado e a quantidade de CO₂ capturado (GOMES, 2014).

Apesar de a atividade fotossintética ser limitada, em virtude da baixa concentração natural de CO₂, este processo é o principal removedor deste gás da atmosfera. Estima-se que anualmente os ecossistemas terrestres removam em torno de 2Gt de C na forma de CO₂. Por isto, a vegetação é um estabilizador na circulação da matéria na biosfera e pode ser influenciada pelas mudanças climáticas globais (SILVA, 2007; PALIWAL *et al.*, 2016; STÄHL *et al.*, 2016).

É, portanto, é importante a manutenção das florestas remanescentes e a intensificação do plantio de novas florestas, seja para fins industriais e comerciais ou para a reposição florestal em regiões que foram dizimadas. Por mais que a fotossíntese seja uma atividade limitada, o volume florestal absorve grande quantidade de CO₂ proporcionando melhor qualidade de vida no planeta (SILVA, 2007; CAMBERO e SOWLATI, 2014; STÄHL *et al.*, 2016).

Ainda assim, se houver aumento da área plantada com florestas, em termos mundiais, inclusive para fins energéticos, o aquecimento global pode se estagnar ou até regredir. Portanto, entende-se que há razões para incentivar a manutenção das florestas existentes e o plantio das florestas industriais/comerciais, que

servem tanto para a mitigação de C, quanto para atender à grande demanda das indústrias de base florestal e melhorias das condições econômicas e sociais em regiões agrícolas, além da recuperação do solo em áreas degradadas (GOUVELLO *et al.*, 2010).

Neste sentido, de acordo com Richards e Lyons (2016), tem-se observado uma crescente migração do capital, para investimentos em nível global nos denominados “*carbontrade*”, especialmente em biomassa, incluindo silvicultura, biocombustíveis e materiais vegetais; itens de grande interesse para atividades comerciais, na produção de biocombustíveis, conservação, bio-eletricidade e bioplásticos, entre outros.

Cintas *et al.* (2016), informam que balanços de C e mudança média da temperatura global foram calculados para diversos regimes de gestão de bioenergia nas florestas e, os resultados indicam para a visão de que um aumento na utilização da biomassa florestal para energia pode contribuir para a mitigação da mudança climática. Destacaram ainda que o efeito climático da bioenergia baseada em biomassa depende dos ecossistemas florestais e de sua gestão, incluindo a extração da biomassa e outros produtos, e como a gestão se adequa às demandas antecipadas do mercado. Também destacam que os efeitos do sistema energético, determinam o deslocamento de C fóssil e outros efeitos de mitigação de GEE, por meio do uso de biomassa florestal para bioenergia e outros fins.

Além disso, Cintas *et al.* (2016), destacam que entre as estratégias para diminuir as emissões de GEE estão a redução do uso de combustíveis fósseis e promover o uso de florestas, mesmo que, com a remoção da biomassa influencie nos estoques de C da biosfera e, mesmo que alguns pesquisadores considerem que, para os sistemas de bioenergia, possam ser considerados neutros em C, portanto, deve-se ignorar os fluxos de CO₂ entre a atmosfera e a biosfera; ainda assim, os sistemas florestais de bioenergia tem sido reconhecidos como opções efetivas para substituir os combustíveis fósseis e reduzir as emissões de GEE no setor de energia.

Mattinen *et al.* (2016), destacam que, a busca pelo uso eficiente de energia de baixa emissão é a solução relevante para o aquecimento em muitas partes do mundo. E, que o setor residencial é responsável pelo consumo de grande parte da energia mundial, por conseguinte responsável por parte considerável das emissões de GEE e do aquecimento global, especialmente em países de clima frio. Por exemplo, na Finlândia, o uso de energia para aquecimento de edifícios residenciais foi de 64 TWh em 2009, responsável, portanto, por 11,6 Mt. de emissões de GEE, o que representa cerca de 18% das emissões totais de GEE da Finlândia no mesmo ano.

Neste sentido, Mattinen *et al.* (2016), apresentam meios para se reduzir o consumo residencial de energia e conseqüentemente das emissões de GEE nos países nórdicos, que são: mudança de hábitos e uso mais eficiente dos eletrodomésticos; substituição de aparelhos antigos por novos, mais eficientes; investimento em renovação energética da propriedade (isolamento térmico); mudanças no uso da eletricidade, para horários em que as emissões de produção são mais baixas; e, instalação de sistemas de aquecimento, que usam fontes renováveis de energia.

Para Smith *et al.* (2010) e Ståhl (2016), no campo da bioenergia, os recursos de biomassa substituem os combustíveis fósseis por eletricidade, aquecimento e dispositivos de transporte. O potencial de biomassa é grande; e, o seu uso para a conversão em energia é uma maneira de reduzir a emissão de GEE. No entanto, é importante que os recursos sejam utilizados de forma eficiente, buscando poucas emissões e com preocupação sobre como usar a terra para satisfazer a outras necessidades humanas, como a produção de alimentos.

Uma forma de processamento de biomassa é a conversão termoquímica, em que o calor é o agente dominante utilizado para converter a biomassa em outra forma química; o carvão vegetal difere de outros combustíveis sólidos à base de biomassa, com a principal diferença, que é muito estável e com alta percentagem de C. E, quando depositado no solo, pode ser armazenado por longo período com a mínima degradação. Também pode ser espalhado no solo, devolvendo a

quantidade de C orgânico encontrada na biomassa; prática que aumenta a fertilidade do solo (THAKKAR *et al.*, 2016).

É conhecido que há reservatórios de C passíveis de serem mensurados ou estimados, na forma de volumes armazenados. Os reservatórios mensuráveis correspondem a biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo, serapilheira, biomassa morta e o C no próprio solo (PUENTES, 2010).

Nas diversas partes do planeta, as florestas apresentam capacidades diferentes de estocagem de C, dentre outros fatores, motivados pelo clima. Como exemplo, as Florestas Tropicais podem armazenar até $147 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, seguidas pelas Florestas Temperada Decídua com $117 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e, as Florestas Tropicais Mista com $106 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. As demais florestas estocam volumes inferiores a $100 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (PUENTES, 2010).

A vegetação que serve de cobertura para grandes extensões nos diversos continentes, também é responsável por intenso fluxo de C no ciclo global e, estima-se que são absorvidos em torno de, 121 Gt.ano^{-1} de C da atmosfera pela produção primária, por meio da fotossíntese. Porém, cerca de 60 Gt de C retornam à atmosfera, como resultado da respiração dos seres vivos; outros cerca de 60 Gt de C retornam resultante da decomposição de matérias orgânicas deixadas na superfície terrestre e, ainda, em torno de 1,6 Gt de C são lançados na atmosfera pela ação do homem, por meio das queimadas de material vegetal (PUENTES, 2010).

O manejo sustentável das florestas, preservando-se as nativas e realizando plantios para atender à demanda nacional nas suas diversas finalidades permite elevar os níveis (ou volumes) de C armazenado. Porém, o que vem ocorrendo ao redor do planeta nos últimos tempos é a redução do volume, sendo em média de $0,5 \text{ Gt.ano}^{-1}$, principalmente motivado pelo desmatamento com objetivo de mudança no uso do solo, cuja finalidade era criar novas áreas produtivas (FAO, 2008).

Por exemplo, na América do Sul, as mudanças no uso do solo consistem no principal emissor de CO_2 ; neste caso, o setor agropecuário, que é responsável

pela emissão de aproximadamente $770 \text{ Mt.CO}_2.\text{ano}^{-1}$, o que torna esta atividade a principal responsável pelas emissões de CO_2 no Brasil, colocando-o na primeira posição entre os poluidores deste segmento no mundo (FAO, 2006; PUENTES, 2010; BELLARBY *et al.*, 2013).

Com os mecanismos de flexibilização do Protocolo de Kyoto, abriram-se alternativas para que países desenvolvidos, que não dispõem mais de espaços para a implantação de florestas, ou não tenham interesse em realizá-la, possam realizar investimentos em projetos de reduções de emissões de baixo custo fora do seu território, por meio da implantação ou da manutenção de florestas em países em desenvolvimento, que lhes deem “equivalência” a um volume de GEE emitidos por eles e suas empresas. Porém, isso ocorre mediante o pagamento anual de valores definidos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo mercado. Ao realizar o investimento, recebem certificados de CC que comprovam seus investimentos para a compensação de suas emissões, com a manutenção de florestas em outros países (PAIXÃO, 2004).

2.4.1 Volume Estimado de CO_2 Liberado Durante o Ciclo do Cultivo

Para que se possa elaborar um balanço de CO_2 , é necessário identificar não só os fatores e as operações que provocam a emissão de GEE, mas também é preciso levantar e quantificar essas emissões nas operações e no processo global. A quantidade de energia usada nas operações depende de vários fatores, como a energia proveniente do combustível, a energia agregada na fabricação e distribuição das máquinas, do óleo lubrificante e hidráulico, do trabalho humano, da atividade de colheita, uso final da madeira etc (OLIVEIRA JR. e SEIXAS, 2006).

Trabalhos foram desenvolvidos com intento de se estimar o volume das emissões de CO_2 , por meio da conversão do combustível consumido, levando-se em conta as distâncias percorridas, respeitando-se alguns limites geográficos do inventário. Assim, as emissões de CH_4 e N_2O e, a milhagem total percorrida pelos veículos deve ser convertida em emissões de CO_2 equivalente, multiplicando-se pelos fatores de emissão de cada tipo de veículo e respectivos potenciais de aquecimento global (GOMES, 2014).

Em pesquisas realizadas por Negri (2008), em plantios de *E. grandis*, os volumes de emissões de CO₂ pelas máquinas durante o plantio foram de 0,32 t.ha⁻¹; no corte foi 0,96 t.ha⁻¹; e, no transporte foi de 1,56 t.ha⁻¹, considerando uma distância média de 70 km entre o ponto de colheita e o local de depósito para consumo.

2.4.2 Volume Estimado de CO₂ Capturado Durante o Ciclo do Cultivo

Pesquisas feitas por Dereczynski *et al.* (1998), com relação ao plantio de *Eucalyptus* considerando um hectare de floresta, mostraram produção em torno de 22 m³.ha⁻¹. Ainda, considerando a densidade média da madeira seca de *Eucalyptus* de 430 kg.m⁻³, a biomassa resultante foi 9,46 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (=22 m³.ha⁻¹ x 430 kg.m⁻³). Também, destacaram que o armazenamento de C pela planta está distribuído da seguinte forma: 22% nas raízes; 10% nas copas e 68% no tronco (fuste) e, que as que madeiras duras, como é o caso do *Eucalyptus*, contém cerca de 48% de C na forma de lignina e celulose. Portanto, indicam que para a conversão de biomassa viva em C, é possível assumir que 48% da biomassa seca é constituída por C.

A captura de CO₂ pelas florestas ocorre de modo contínuo, porém não é igual para todas as partes da planta. Cada parte irá acumular por um período e, após esse período em que atingem o seu ponto máximo, de saturação, se estabilizam e assim permanecem até o momento do seu abate, exceto para o tronco. O tempo necessário para a saturação de cada uma das partes é distinto; por exemplo, na raiz ocorre aumento na taxa de sequestro de CO₂ até o 13^o ano, estabilizando a partir do 14^o, quando as raízes já atingiram o potencial máximo (DERECZYNSKI *et al.*, 1998).

Para o tronco a situação é distinta, pois seu ponto saturação, ou de estagnação, ocorrerá quando atingir o seu limite de crescimento, pois até lá haverá um contínuo aumento da biomassa até o 13^o ano. Por outro lado, considerando-se a hipótese de que a madeira seja utilizada em bens duráveis (construção de casas, confecção de móveis, etc.), portanto com ciclo mais longo, sua taxa de absorção entra em declínio, apesar de que continuará absorvendo, mas em proporções cada vez menores. As copas serão cortadas a cada rotação, estabilizando a

acumulação de biomassa a partir do 7º ano (DERECZYNSKI *et al.*, 1998; GOMES, 2014).

Pesquisas feitas por Negri (2008), com relação ao plantio de *E. grandis* tendo como base uma área de 1 hectare, com o espaçamento entre as árvores de 8,5m², 1.100 árvores por ha, mostraram que atingiram peso médio por unidade de 426 Kg (incluindo-se: raiz, caule e copa), no período de 7 anos.

Também, de acordo com Parmar *et al.* (2015), o acúmulo de CO₂ no solo depende da espécie que está sendo cultivada, pois as taxas de decomposição dos resíduos são geralmente distintas entre as espécies coníferas e folhosas, de modo que essas taxas são relacionadas com a qualidade dos resíduos deixados na superfície, podendo também afetar o pH do solo, que por sua vez afeta a atividade microbiana da decomposição. Ainda conforme Parmar *et al.* (2015), cerca de metade da respiração do solo é resultante da respiração das raízes das plantas e, o restante da respiração está associada com a decomposição da matéria orgânica, pela comunidade microbiana existente no local, que por suas atividades liberam CO₂, alimentando dessa forma as plantas, assim como, depositam e fixam CO₂ no solo.

Em pesquisas realizadas na Espanha, no Inventário Ecológico e Florestal, em que foram levantadas as quantidades de madeira, biomassa, nutrientes e C; a quantidade de C variou tanto por fração da parte aérea para cada espécie, quanto entre coníferas e folhosas. As madeiras de coníferas apresentaram porcentagem média de C, de 49,9% à 51,1%; enquanto que as folhosas apresentaram valores médios entre 47,2% a 48,6% (SILVEIRA, 2008).

Segundo Puentes (2010), estudos realizados em florestas plantadas, com 6 anos de idade, em diferentes estados brasileiros, mostram que há grande variabilidade no volume de biomassa produzida anualmente, que está entre 35 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ e 50 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ e, entre 200 m³.ha⁻¹ e 300 m³.ha⁻¹ no final do ciclo; porém, considerando que um m³ pesa 430 kg (DERECZYNSKI *et al.*, 1998), os volumes de produtividade são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Produtividade média anual e no final da rotação para plantios de *Eucalyptus* em alguns Estados do Brasil

Estado	Produtividade Mínima		Produtividade Máxima		Máxima Produtividade no Final da Rotação	
	(m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	(t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	(m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	(t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	(m ³ .ha ⁻¹)	(t.ha ⁻¹)
Mato Grosso	25	10,75	35	15,05	210	90,30
Tocantins	30	12,90	35	15,05	210	90,30
Maranhão	25	10,75	30	12,90	180	77,40
Piauí	25	10,75	35	15,05	210	90,30
Goiás	30	12,90	40	17,20	240	103,20
Minas Gerais	35	15,05	40	17,20	240	103,20
Pará	25	10,75	30	12,90	180	77,40
Bahia	35	15,05	40	17,20	240	103,20
Mato Grosso do Sul	40	17,20	50	21,50	300	129,00
Paraná	45	19,35	65	27,95	390	167,70

Fonte: adaptado de Puentes (2010)

O Ministério do Meio Ambiente (SFB/MMA, 2011) considera que no caso de reflorestamento de recuperação, está em torno de 120 t.ha⁻¹. Segundo o núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (CADERNOS NAE, 2005), considerando diversos tipos de produtividade florestal, no período de 30 anos a média anual pode chegar a 26,8 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Os valores apresentados pelo BRASIL/MMA (2009) e por Puentes (2010) na Tabela 27, podem ser considerados como baixos quando comparados a outros estudos, como de Negri (2008) em florestas de *Eucalyptus* com 7 anos de idade, no interior do Estado de São Paulo, que encontrou 379 t.CO₂.ha⁻¹; assim como de Foelkel (2013) e Machado *et al.* (2015), informam que as empresas líderes conseguem produtividades médias de 40 a 55 m³.ha⁻¹.ano⁻¹.

De acordo com Dondini *et al.* (2015), o estoque total de C dos biomas florestais, em climas temperados é aproximadamente 280 t.C.ha⁻¹, o que equivale ao sequestro de 1.030 t.CO₂ ha⁻¹. Estudos realizados na Grã-Betanha, mostraram que o volume médio de CO₂ no solo é de 778 t.CO₂.ha⁻¹, e o estoque médio de CO₂ na floresta é estimado em 1.051 t.CO₂.ha⁻¹, excluindo-se o estoque de C em áreas profundas de turfa. Os solos florestais armazenam mais C em áreas de

floresta, do que áreas equivalentes de terras com coberturas agrícolas, devido ao constante movimento de máquinas, curtos períodos de descanso e plantas reduzidas quando comparadas com árvores que têm alto potencial de absorção de C; portanto, a produção de culturas de grãos, sequestram baixos volumes de C (PARMAR *et al.*, 2015; ZELM *et al.*, 2015).

Quando o plantio é destinado à produção de celulose e papel, ciclo curto, todo o processo envolvendo a implantação da floresta, corte e transporte da madeira e, posteriormente, o descasque e processamento das toras para obtenção das fibras para a produção de celulose, libera CO₂, em quantidade inferior ao que foi sequestrado (NEGRI, 2008). Na Figura 16 é apresentada, como exemplo, a quantificação dos fluxos de CO₂ na cadeia produtiva do papel, junto com a estrutura do processamento de 1,0 ha de *Eucalyptus* (NEGRI, 2008).

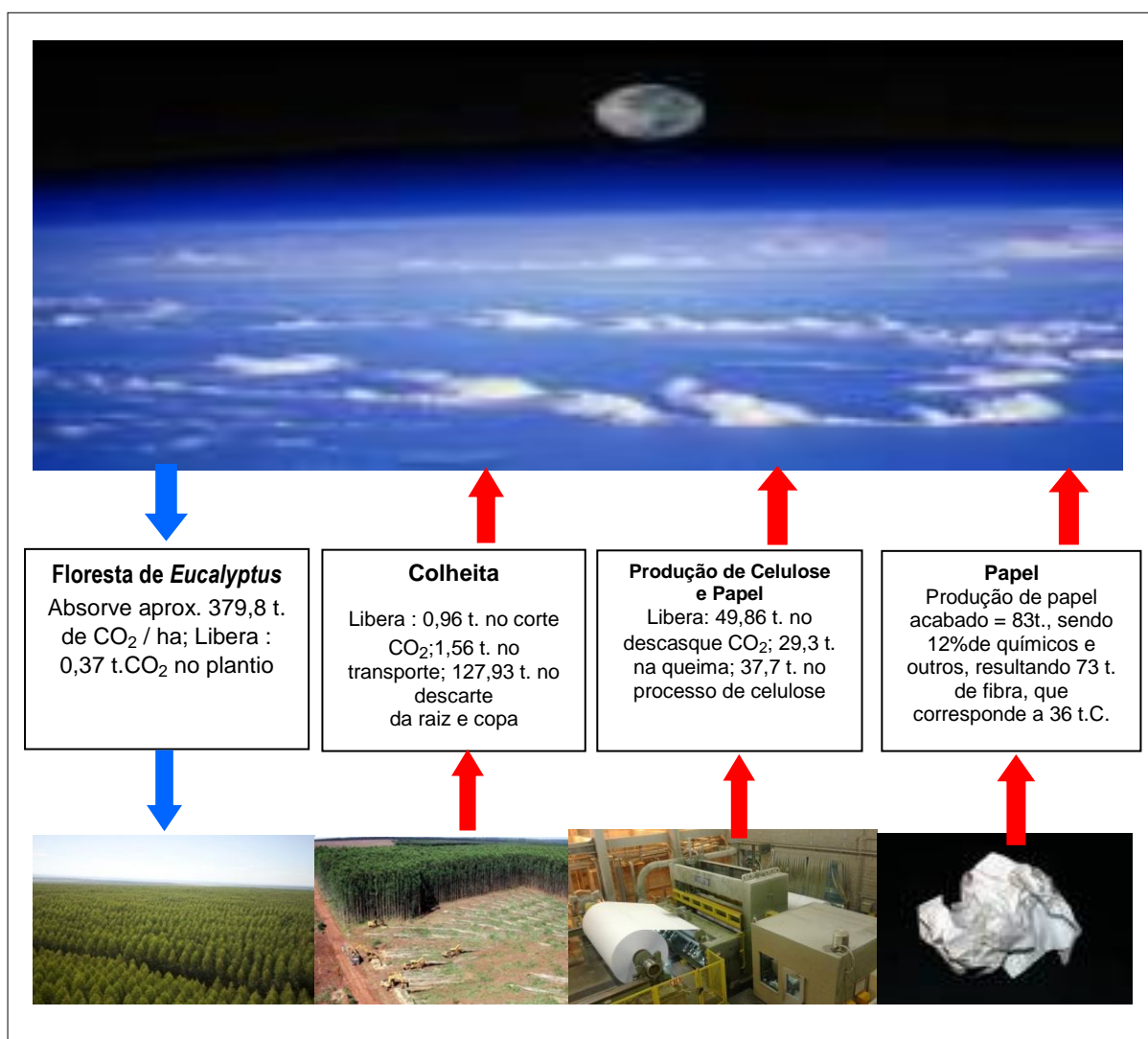


Figura 16 - Quantificação dos Fluxos de CO₂ na Cadeia Produtiva do Papel
Fonte: adaptada de International Paper (2007) e Negri (2008)

A Tabela 28 mostra a estimativa feita por Negri (2008), tomando por base 1,0 ha com 1.100 árvores plantadas, com 7 anos, e média de peso de 426 quilos (incluindo-se: raiz, caule e copa). Considera ainda que cada árvore de *Eucalyptus* possui em média 55% de seu peso em água, de modo que sua massa seca é de 192 quilos, e que 49% é composto de C, então tem-se como resultado 94 Kg.C, em média por árvore. Portanto, 1,0 ha de plantio de *Eucalyptus* absorve/captura 379,8 t.CO₂. Porém na realização de todas as atividades necessárias desde a preparação do solo até a queima das cascas para a geração de energia/vapor para cozimento, ela emite 247,68 t.CO₂; de modo que, em termos líquidos de CO₂ a diferença (captura menos emissões) gera um excedente de 132,12 t.CO₂.ha⁻¹. Assim, a Tabela 28 mostra o volume de CO₂ emitido nas etapas de produção da celulose, considerando os volumes médios consumidos, devido às diferentes topografias que exigem diferentes máquinas para plantio e corte.

Tabela 28 – CO₂ Sequestrado e Emitido durante um ciclo de cultivo de *Eucalyptus*

Processo/Etapa	Quantidade de CO ₂ (t)
Cultivo de 1,0 ha de <i>Eucalyptus</i>, com ciclo de sete anos, foi capturado (sequestrado)	379,80
Emissões/Liberação	247,68
• Máquinas para preparo do solo e plantio,	0,37
• Máquinas de corte e movimentação no campo,	0,96
• Transporte considerando raio médio de 70 Km,	1,56
• Processos para descarte da raiz e copa	127,93
• Descasque (preparação da MP para enviar ao processo)	49,86
• Queima das partes não utilizadas na produção,	29,30
• Processo de Celulose	37,70
Produção de Papel acabado 83 t.ha⁻¹	
• 73,04 t. de fibras, correspondente a 36,00 t.C armazenado, (36 t. x 3,67 fator de conversão =)	132,12

Fonte: Adaptado de Negri (2008)

Com base nos dados apresentados na Tabela 28, destaca-se que por mais que os volumes de CO₂.ha⁻¹, sejam expressivos, ainda assim é viável a produção da celulose e do papel, pois há um excedente no sequestro em mais de 100 t.ha⁻¹ que foi retido e que se manterá nos produtos e subprodutos até o momento em que estes forem usados ou descartados e, se não forem reciclados. E, no

exemplo acima (Tabela 28) também foi considerada uma distância média de 70 km, mas em casos de distâncias maiores deve-se avaliar sua viabilidade.

Segundo Wink *et al.* (2013), com o envelhecimento, as árvores reduzem (ou perdem) sua capacidade de sequestrar/capturar C da atmosfera: "*à medida em que as florestas envelhecem diminui-se a quantidade assimilada de CO₂ nos galhos, nas folhas, nas raízes e na serapilheira*". Desta forma, neste caso não se aplica, a ciclos de cultivo de sete (7) ou quatorze (14) anos, pois são ciclos curtos e, uma vez que, de acordo com Wink *et al.*, (2013) o Gênero *Eucalyptus*, é uma das espécies mais adaptadas às mais diversas condições de clima e solo. Por exemplo, na Austrália, região de origem do *Eucalyptus*, existe diferentes espécies vivas que têm mais de cem anos de idade.

Em relação ao sequestro/captura de C, uma parcela do C que foi capturado pode ser retido no solo; mas, dependendo das condições de sua manutenção, haverá interferência na capacidade de retenção e, uma vez degradado, o reestabelecimento do solo levará alguns anos. Assim, a manutenção do C no solo depende de condições ideais e adequadas; por outro lado, as alterações no solo podem ser perniciosas, contribuindo para que esse C retorne à atmosfera. Além disso, do total CO₂ capturado durante o ciclo produtivo da floresta, uma parcela permanece fixada no produto final, por exemplo, papel produzido (NEGRI, 2008).

Apesar dos reflorestamentos atuarem positivamente no sequestro de C, as plantações em larga escala são improváveis na estabilidade desse C no solo, pois, sua diminuição em florestas plantadas ocorre no primeiro ano afetando principalmente os primeiros 0,40 m. Os possíveis declínios do C do solo são advindos de uma cultura que gera uma deterioração do complexo químico-biológico em função da condição física do solo. Assim, o plantio de espécies florestais em locais nativos diminui o C do solo, que só se reestabelece após 20 a 40 anos. Portanto, a capacidade do solo em reter C depende do conteúdo argilo-mineral, enquanto que sua permanência no solo depende da concentração de proteínas, hemiceluloses, celuloses e lignina presente na madeira, folhas e sementes (WINK *et al.*, 2013).

2.4.3 Estimativa das Emissões de CO₂ Durante o Processo de Transformação de Biomassa em Celulose

No processo de produção de celulose, de acordo com Bellote *et al.* (1998), as fábricas de papel e celulose deparam-se com problemas de ordem ambiental, devido à grande quantidade de resíduos gerados, aproximadamente 48 t de resíduos para cada 100 t de celulose produzida.

No processo industrial Kraft, a biomassa passa pelas seguintes etapas: preparação da matéria-prima, que é composta pelo descascamento, picagem e classificação; cozimento; depuração (ou lavagem alcalina); branqueamento e recuperação do licor; secagem e embalagem, como mostra a Figura 17 (CASTRO, 2009).

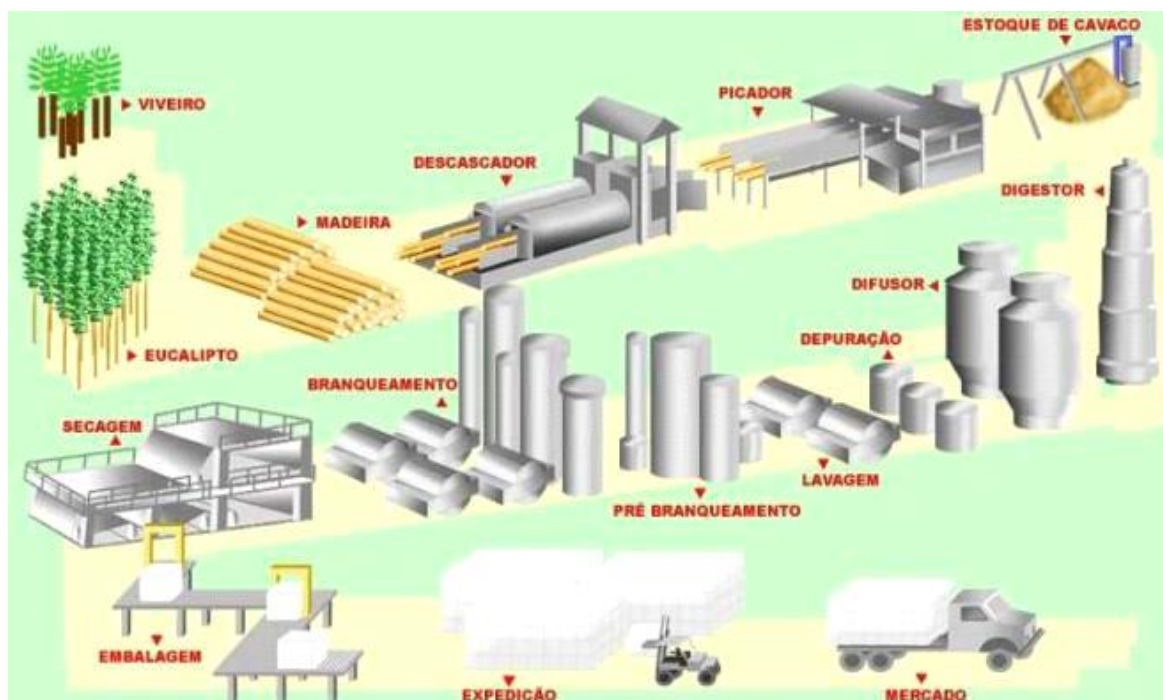


Figura 17 - Ilustração do Processo Kraft

Fonte: Castro (2009)

Por outro lado, Foelkel (2013), apresenta um detalhamento com relação ao rendimento, e perdas, que ocorrem na produção de 1,0 t de celulose, sendo:

- 1,5% de perda na produção e classificação de cavacos, em que sobram 0,985 t secas;

- 53% de rendimento na conversão dos cavacos em celulose Kraft não branqueada, que resultam em 0,522 t secas de celulose sem branquear;
- 97,5% de rendimento na deslignificação com O₂, em que resultam 0,509 t secas;
- 95% de rendimento no branqueamento da celulose, que resultam 0,4835 t secas de celulose; e,
- 0,75% de perda de fibras e de perdas na depuração da celulose, que resultam em 0,48 t secas de celulose branqueada e embalada.

A celulose não é comercializada com base no peso absolutamente seco, mas em umidade de 10%. Logo, 0,48 t absolutamente secas correspondem a 0,53 t. secas ao ar (a 90% de teor de secos e 10% de umidade). Assim, em geral, para se fabricar 1,0 t de celulose, são necessários 1,876 t absolutamente secas de madeira, ou 3,75m³ (FOELKEL, 2013).

De acordo com Castro (2009), as cascas possuem um teor de fibras relativamente pequeno e afetam negativamente as propriedades físicas do produto. No resíduo industrial, as cascas, constituem de 10 a 20% da madeira total processada, mas pode ser utilizada, como combustível para geração de energia e vapor necessário ao próprio processo, reduzindo os seus custos totais. Também, observa-se que 48% dos troncos são aproveitados ao final do processo, em que não foram considerados os galhos, as raízes e as folhas.

Para a extração da celulose, muitos processos são realizados em que são emitidos GEE, e lançados na atmosfera, de modo que deve ser feito o balanço de GEE. Em pesquisas realizadas por Negri (2008), foram considerados desde o transporte por meio rodoviário das toras de madeira, disponibilizadas no campo, até a fábrica. Na empresa em que foi realizado o estudo, a distância média entre a floresta e a fábrica é de 70 km. E, nesta atividade, ocorre a liberação de C, que foi quantificada em 1,56 t.ha⁻¹ para o transporte da madeira. Na fábrica, a matéria-prima recebida passa pelo processo de descasque e seleção. A casca do *Eucalyptus* e as toras de menor diâmetro não são consideradas no processo de fabricação da celulose, sendo aproveitados para a geração de energia e vapor.

Nestes dois processos são liberados aproximadamente 78,5 t.CO₂ calculados sobre 1,0 ha de *Eucalyptus*.

O processo Kraft é um dos mais usados na produção de celulose em todo o mundo. No Brasil, de acordo com Castro (2009), cerca de 81% do processamento de madeira, é realizada pelo processo Kraft ou Sulfato e aproximadamente 12% pelo processo Soda e os restantes por outros processos. Desta forma, a Figura 18, mostra uma representação esquemática do processo Kraft, quanto à utilização dos recursos, ao longo do processo.

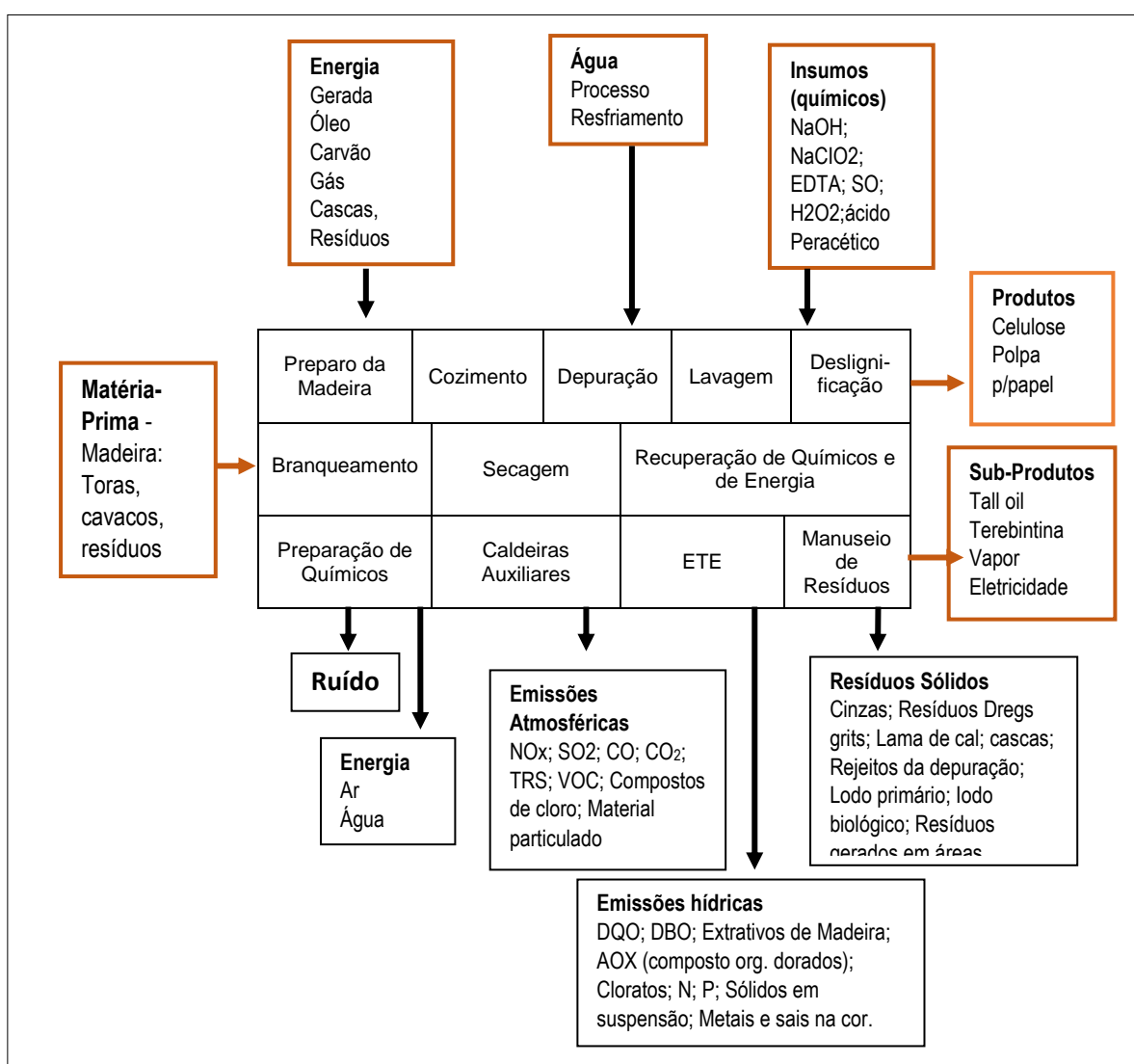


Figura 18 - Representação Esquemática do Processo Kraft

Fonte: PIOTTO (2003); FOELKEL (2007)

O processo industrial da celulose e papel, sempre motivou preocupação com o grande volume de resíduos gerados, os quais se não tratados e dado o adequado

destino, podem causar danos ao meio ambiente; porém, os avanços tecnológicos alcançados, em curto espaço de tempo, nesse segmento, permitiu avanços significativos na produção de celulose *Kraft* branqueada. Assim, mais importante do que o desenvolvimento tecnológico em si, é o novo conceito que está sendo dado para esse desenvolvimento, como fábricas com ciclos mais fechados, eco-eficientes e com mínimo impacto ambiental (CASTRO, 2009).

2.5 Síntese do Referencial Teórico

Os principais fatores para o aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera são o uso dos recursos energéticos de origem fóssil e seus derivados, de modo que o planeta enfrenta sérias dificuldades no curto prazo; e demanda, portanto, que medidas sejam tomadas no sentido de minimizar as emissões de GEE e, além de buscar sua redução, via sequestro de CO₂, o que se dá por meio do plantio de florestas em áreas degradadas ou áreas em processos erosivos, especialmente porque além de reduzir os GEEs, contribuirá com a recuperação dessas áreas. Para tanto, pesquisas são realizadas mostrando que, florestas intactas podem ajudar a amortecer a taxa de aumento do CO₂ atmosférico, reduzindo assim os impactos das mudanças climáticas globais. Mas o estoque de C pode estar comprometido porque as reservas florestais maduras estão vulneráveis a vários fatores, como desmatamento, fragmentação, incêndios e mudanças nos regimes de precipitações (ANDRADE *et al.*, 2011).

Em contrapartida, as florestas, durante o período de crescimento, podem contribuir para a redução do efeito estufa, por meio da absorção de CO₂, que se denomina “captura de C”. Conforme Campos (2001) e Arana e Boin (2013), estima-se que cada hectare de floresta de *Eucalyptus* em crescimento absorve até 100 t.CO₂ por ano. Como as florestas tem múltiplas utilidades, uma das alternativas para a reversão, ou minimização, dos níveis de CO₂ atmosférico é por meio da manutenção das florestas naturais remanescentes e do plantio de novas áreas.

Outra alternativa é sua utilização na geração de energia em substituição às fontes de origem fóssil; pois, mesmo que sua queima para cogeração devolva o C

sequestrado para a atmosfera, ainda assim é uma alternativa vantajosa, porque ao longo de anos, durante o desenvolvimento da floresta, capturou expressivas quantidades de GEE (CREUTZIG *et al.*, 2015), sem contar com os benefícios proporcionados como, a restauração de terras degradadas, controle de erosão e, até mesmo reflexos nos efeitos climáticos regionais, como a melhor retenção de água e o aumento das precipitações (WANG *et al.*, 2001; FAAIJ, 2006; VAN DER HILST *et al.*, 2012; CREUTZIG *et al.*, 2015).

Grande parte do CO₂ capturado é acumulada em seus diversos componentes (folhas, galhos, fuste e raízes), também no solo e na serapilheira, que os estocam e são considerados como “sumidouros” de C (AJANI *et al.*, 2013; SALIBA, 2015). A parcela capturada e armazenada pelas florestas representa em torno de 65% para o fuste do *Eucalyptus* e 63% para o *Pinus* (SILVA, 2002). O teor de C na madeira de *Eucalyptus*, em média é de 50% e para o *Pinus* em média é de 45% (FARIA, 2015).

O crescimento florestal é diferente para as florestas nativas e as florestas plantadas. As nativas crescem em condições normais de competição por espaço ao sol e não contam com solo preparado para tal fim. Por outro lado, as florestas plantadas além de contar com o preparo do solo recebem adubação, que contribui para o seu crescimento, que se dá de modo mais rápido. Por outro lado, as mudas e sementes são, normalmente, geneticamente modificadas, objetivando tanto à adaptação de solo, clima e níveis pluviométricos, quanto à aceleração do crescimento (LIMA, 2014; MATTOS, 2015).

O ganho de massa em plantios florestais, ocorrem com mais intensidade a partir do sexto ano (como pode ser observado na Tabelas 13 e 14), uma vez que nos primeiros anos, está se enraizando, crescendo e estendendo seus galhos para maior absorção de luz. A partir do momento que atingiu sua área de captação de luz para a realização da fotossíntese, os indivíduos passam a armazenar o CO₂ sequestrado, principalmente no seu tronco e galhos, os quais apresentam maior ganho volumétrico.

Observa-se que em termos de incrementos de volumes, é mais intenso nos primeiros dois anos, período em que os indivíduos estão enraizando para dar

sustentação, crescendo para garantir o acesso à luz e estendendo os galhos. A partir do terceiro ano entra em suave declínio, se estabilizando a partir do nono ano, conforme mostrado nas Figuras 14 e 15.

A Figura 15 mostra um crescimento constante e mais intenso para o ICAM até o quarto ano, perdendo intensidade a partir daí até o oitavo ano, quando entra em declínio. O estudo realizado por Rezende e Ferraz (1986), que resultou neste Gráfico, foi com base em dados do *E. grandis*. Outro fator que contribui para maior ganho de massa nos plantios florestais são os tratos culturais, que possibilitam maior eficiência na captura e armazenamento do CO₂. Assim, quando as podas e desbastes são realizados nos momentos adequados, de cada espécie e respectiva variedade, resultará em maior volume de massa.

3. MÉTODO DA PESQUISA

Esta pesquisa é caracterizada como sendo aplicada, exploratória e descritiva, com abordagem metodológica combinada, pelo fato de combinar a abordagem qualitativa e quantitativa. Quanto ao tipo de levantamento de dados a pesquisa é caracterizada como sendo pesquisa bibliográfica e de campo.

Esta pesquisa é aplicada, por compreender o uso de conhecimentos já consolidados, a uma nova realidade em busca de respostas para questões inicialmente propostas; também é pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática focada em solucionar problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais (SEVERINO, 2016).

Assim, a pesquisa é exploratória pelo fato de não se ter, ainda, avaliação do estoque de C em florestas plantadas para fins industriais do Estado do Paraná, com base no seu ciclo de vida. É exploratória, pois têm por finalidade proporcionar maior familiaridade do pesquisador com o problema pesquisado, a fim de torná-lo mais explícito ou de construir hipóteses. Também é exploratória, pois busca por meio da pesquisa bibliográfica, extrair elementos, conceitos e informações que subsidiem tanto a pesquisa quanto as atividades necessárias ao levantamento de dados quantitativos, sobre o objeto de estudo, no Estado do Paraná (GIL, 2010).

A pesquisa é descritiva por buscar informar e produzir subsídios, para a realização de novas pesquisas, para a construção de novas teorias ou o refinamento das já existentes, pois segundo Cervo e Bervian (2007), a pesquisa descritiva observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos (variáveis) e manipula-os. Neste trabalho a pesquisa teve por finalidade a identificação das classes e famílias das florestas plantadas no estado, e a descrição das suas características.

Ainda, destaca-se que, a pesquisa teve por objetivo quantificar o volume de árvores plantadas para fins industriais, correspondente às florestas do Estado do

Paraná, com o recorte das florestas plantadas de *Eucalyptus* e *Pinus*. O levantamento foi feito a partir do Inventário do “Mapeamento dos Plantios Florestais do Estado do Paraná” no ano de 2015 (EISFELD e NASCIMENTO, 2015), com base no ciclo de vida das florestas; sendo que a área total do estado é de 20,16 milhões de ha, dos quais 1,066 milhões de ha são destinados a plantios florestais com fins industriais e destes, 340.315 ha são de *Eucalyptus* e 653.566 ha de *Pinus*. Os dados do inventário foram disponibilizados pelo Instituto de Florestas do Paraná em conjunto com a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Governo do Estado do Paraná, localizada em Curitiba-PR.

Quanto às variáveis analisadas, esta pesquisa também pode ser classificada como quantitativa; pois, de acordo com Campomar (1991), tal abordagem é assim caracterizada, pela realização de medições em populações. Para Richardson *et al.* (1999), caracteriza-se por empregar meios de quantificação, durante a coleta de informações. Além disso, é qualitativa pelo fato de ser necessário estratificar as espécies que são plantadas, discorrendo sobre suas características para fins de cálculos e obtenção do potencial de sequestro e estocagem de C.

Aplicando-se os conceitos de Campomar (1991) e de Richardson *et al.* (1999) à Engenharia da Produção, de acordo com Miguel (2012) esta pesquisa pode ser classificada, quanto à abordagem, como combinada pela complementaridade das concepções metodológicas das abordagens quantitativa e qualitativa, possibilitando melhor entendimento dos problemas da pesquisa que cada uma delas permitiria isoladamente.

Ainda segundo Miguel (2012), algumas das vantagens são: proporcionar vantagens que compensam os pontos fracos de ambas as abordagens; prover evidências mais abrangentes para o estudo de um problema de pesquisa do que cada abordagem isoladamente; ajudar a responder a questões que não podem ser respondidas por uma abordagem separadamente; encorajar o uso de pontos de vista múltiplos ou concepções metodológicas, mais do que uma simples associação típica das concepções dos pesquisadores quantitativos e qualitativos; ser “prática” no sentido de que o pesquisador é livre para usar todos os métodos possíveis para solucionar o problema de pesquisa.

Na Figura 19 – Diagrama do Modelo Proposto, são apresentados os elementos básicos necessários (entradas) para a elaboração do cálculo (Processamento) e obtenção das informações relativas ao volume de C_c durante o ciclo da(s) floresta(s).

ENTRADA	PROCESSAMENTO	SAÍDA
<ul style="list-style-type: none"> • Incremento Médio Anual de Massa • Volume acumulado em cada ano (m^3) • Densidade da madeira (kg. m^3) • Índice de carbono contido na biomassa • Área considerada • Relação mássica caule/biomassa total 	$C_c = \sum_{i=1}^n C_i \quad (7)$ $C_i = \frac{IMAM \times V_i \cdot \rho \cdot C_c}{A_i \cdot R} \quad (8)$	Informações relacionadas ao volume de: <ul style="list-style-type: none"> • Biomassa Acumulada durante o ciclo • Carbono Acumulado durante o ciclo

Figura 19 - Diagrama do Modelo Proposto

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir do referencial teórico, procedeu-se o levantamento de dados através da pesquisa de campo, que se deu por meio de visitas aos órgãos de fiscalização, monitoramento e controle, como a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Bem-Estar Animal – SEMA, de Maringá-PR; o Instituto Ambiental do Paraná – IAP, através da Diretoria de Restauração e Monitoramento Florestal – DIREF e, visitas às unidades de Maringá, Paranaíba, Campo Mourão; a Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná – SEAB-PR.

Como parte dos objetivos e de posse dos dados necessários, extraídos do Mapeamento dos Plantios Florestais do Estado do Paraná (EISFELD e NASCIMENTO, 2015) disponibilizado pela SEAB-PR, foi estimado estoque de C, o volume de emissões e de sequestro pelas florestas de *Eucalyptus* e de *Pinus* do Estado do Paraná. A estimativa do balanço de C nas florestas industriais do Estado do Paraná, foi feita com base nos dados médios de Simões *et al.* (1980) e, Dereczynsky *et al.* (1998). Também, foi determinada a produção média (em $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) da madeira na forma de biomassa viva, em função do crescimento anual da árvore.

Para o *Eucalyptus* foram usados os valores médios: 22 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, que corresponde ao índice de produtividade volumétrica; de 430 kg.m³ que corresponde a densidade média e de 0,48 que corresponde ao índice de Cc na madeira. Para o *Pinus* foram usados os valores médios: 32 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, que corresponde ao índice de produtividade volumétrica; sendo de 377 kg.m³ a densidade média e, 0,45 o índice de Cc na madeira (SIMÕES *et al.*, 1980; REIS *et al.*, 1994; DERECZYNSKY *et al.*, 1998).

O IMAM foi utilizado conforme pesquisas realizadas por Rezende e Ferraz (1986), apresentados na Tabela 24.

Por outro lado, para o cálculo do C_c pelas florestas industriais, foi proposto o modelo de acordo com a expressão:

$$C_c = \sum_{i=1}^n C_i \quad (9)$$

Em que: C_i = Quantidade de C acumulado em cada ano; n = número de anos (idade) da floresta industrial; sendo ainda:

$C_i = \text{IMAM} \times \frac{V_i \cdot \rho \cdot C_c}{A_i \cdot R} \quad (10)$	<p>IMAM = Incremento Médio Anual de Massa V_i = volume acumulado em cada ano (m³) ρ = densidade de madeira (kg.m⁻³) C_c = Índice de carbono contido na biomassa, sendo o <i>Eucalyptus</i> 0,48 e o <i>Pinus</i> 0,45 A_i = Área considerada (ha) R = Relação mássica caule/biomassa total, sendo o <i>Eucalyptus</i> 0,68 e o <i>Pinus</i> 0,686.</p>
--	---

4. RESULTADOS

O Estado do Paraná, por mais que seja visto como um dos celeiros agrícolas do Brasil, também se destaca nos setores pecuário e madeireiro; o que pode ser compreendido quando se analisa sua geografia, com litoral e três planaltos.

A metade sul do Estado é geograficamente acidentada, assim como, também é a região com temperaturas mais baixas, onde há plantio de culturas temporárias, em que só é possível plantar uma vez por ano. Nesta região, desenvolveram-se indústrias, especialmente de base florestal, que produzem celulose e papel, compensados, placas de madeira, madeira serrada e diversos produtos à base de madeira (CGEE, 2010).

Na parcela norte do Estado (outra metade), as temperaturas são, em média, mais altas e é composta por áreas mais planas, portanto, agricultáveis. Nessa parcela, são cultivadas duas safras de grãos por ano, que exigem cuidados especiais, como a necessidade de secagem, em que são consumidos grandes volumes de madeira na forma de fonte de energia (CGEE, 2010).

Especificamente, com relação ao inventário florestal do Estado do Paraná, este foi elaborado para seis Regiões, subdivididas em vinte e dois Núcleos Regionais; em que foi quantificada a extensão territorial do Estado, que totaliza, 20×10^6 ha, cuja distribuição por Região e por Núcleo Regional, é apresentada na Tabela 29 (EISFELD E NASCIMENTO, 2015; MARTENS e COUTINHO, 2017).

Ainda, tendo como referência o estudo realizado no Estado do Paraná, observa-se a concentração dos plantios florestais em algumas de suas regiões e, mais especificamente em determinados núcleos e municípios. Por exemplo, na Região Centro-Oeste, Núcleo Regional de Campo Mourão, a economia tem participação de 74% da agricultura e 25% da pecuária e, apenas 1% de produtos florestais (EISFELD e NASCIMENTO, 2015; DEL QUIQUI *et al.*, 2015).

Tabela 29 – Área do Estado do Paraná e de Área Plantada por Região e por Núcleo Regional

Região	Núcleo	Área (milhões de ha)	Área Plantada (milhões de ha)	%
Centro-Oeste	Campo Mourão	1,17	0,011	1,02
	Curitiba	1,68	0,199	18,70
Centro-Sul	Guarapuava	1,42	0,074	6,99
	Irati	0,61	0,058	5,46
	Laranjeiras do Sul	0,65	0,024	2,25
	Pato Branco	0,94	0,050	4,65
	Ponta Grossa	2,45	0,393	36,88
	União da Vitória	0,74	0,091	8,53
Litoral	Paranaguá	0,64	0,003	0,25
Noroeste	Cianorte	0,44	0,006	0,60
	Paranavaí	1,04	0,014	1,35
	Umuarama	1,05	0,010	0,92
Norte	Apucarana	0,32	0,006	0,53
	Cornélio Procópio	0,75	0,018	1,69
	Ivaiporã	1,11	0,023	2,15
	Jacarezinho	0,83	0,028	2,59
	Londrina	0,73	0,006	0,60
	Maringá	0,67	0,006	0,57
Oeste	Cascavel	1,29	0,020	1,86
	Dois Vizinhos	0,20	0,003	0,29
	Francisco Beltrão	0,58	0,013	1,24
	Toledo	0,85	0,009	0,87
Total		20,16	1,066	100,00

Fonte: Adaptado de Eisefeld e Nascimento (2015)

A Região Noroeste, tal como a Região Centro-Oeste, as atividades florestais representam apenas 1% de sua economia; nas quais suas principais atividades são a agricultura (50%) e pecuária (49%). Na Região Norte, a atividade florestal é mais expressiva que nas anteriores, mas representa apenas 3% da economia,

tendo como principais atividades a agricultura (60%) e pecuária (37%). A Região Oeste tem como principais atividades a pecuária (60%) e a agricultura (38%), e 2% de florestas, cuja finalidade principal é sua utilização na secagem de grãos. O Núcleo de Paranaguá, na Região Litoral, tem atividade florestal que representa apenas 9% de sua economia. (EISFELD E NASCIMENTO, 2015; COUTINHO *et al.*, 2017).

Na Região Centro-Sul, concentra-se grande parte da produção florestal do Estado, com participação de 14% em sua economia, com destaque para uso em serraria, laminação, fabricação papel e celulose e uso como insumo energético (BALBINOT *et al.*, 2008; EISFELD E NASCIMENTO, 2015).

No sudoeste do Estado, Núcleo Regional Centro-Sul, em pesquisa realizada por Reiner *et al.* (2011), na área experimental da UTFPR, no município de Pato Branco-PR, utilizaram da espécie *Eucalyptus dunnii*, por ser a mais cultivada na região, portanto, moderadamente resistente a geadas e, com produção de madeira apta para o consumo industrial em serraria, laminadora e energia. A região noroeste do Paraná é uma área que demanda muitos produtos florestais, tanto para fins energéticos como para madeira cerrada e que apresenta condições climáticas favoráveis e possui grande potencial para expansão da eucaliptocultura (ORO *et al.*, 2012).

Nos Núcleos Regionais das Regiões Norte, Noroeste, Centro-Oeste e partes da Região Oeste, apresentam baixo volume de plantios florestais em pequenos povoadamentos, que são cultivados o *Eucalyptus* com finalidades de geração de energia basicamente para a secagem de grãos. O *Pinus* cultivado nessas regiões é destinado, basicamente, à indústria de base florestal instaladas nessas regiões, em suas diversas finalidades (EISFELD E NASCIMENTO, 2015; DEL QUIQUI *et al.*, 2015).

Na Figura 20, Mapa de Plantios Florestais no Paraná, observa-se a concentração dos plantios na Região centro-sul e, em pequenas quantidades nas demais regiões.

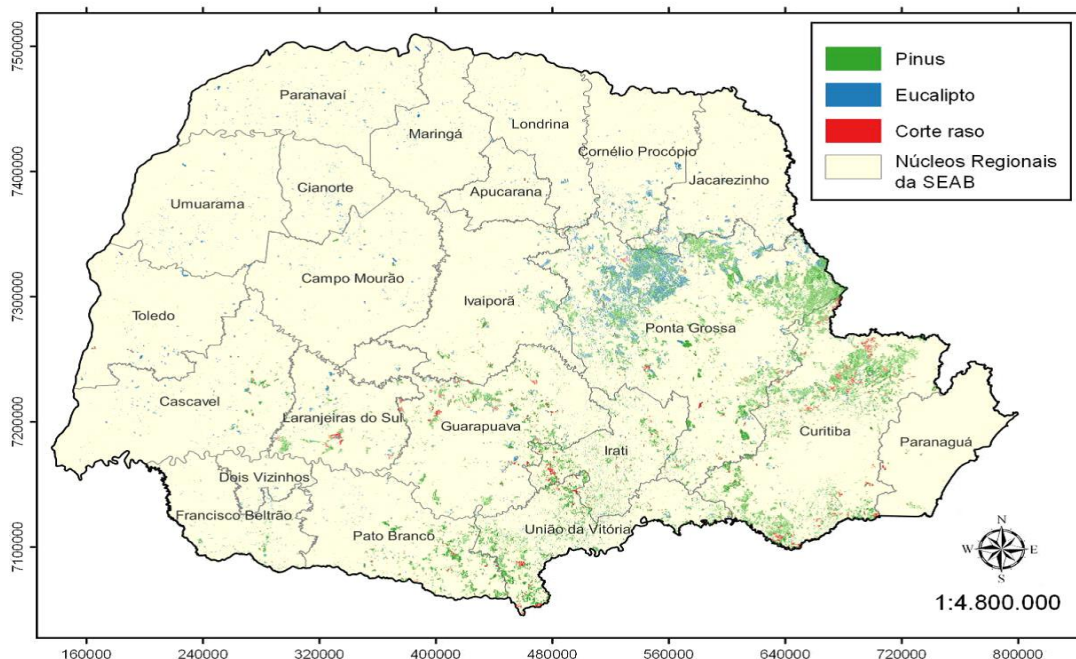


Figura 20 - Mapa dos Plantios Florestais no Paraná

Fonte: Eisfeld e Nascimento. Mapeamento Florestal do Paraná.

No Estado do Paraná, da área total de cultivo florestal, há predominância do gênero *Pinus* 61,3%, enquanto que o *Eucalyptus* é de 31,9%. Mesmo sendo encontradas em todo o Estado, as florestas concentram-se predominantemente no centro-sul do Estado, mostrado na Figura 20, mapa dos plantios florestais do Paraná e, quantificado na Tabela 29, em que 83,46% das florestas plantadas estão na Região Centro-Sul onde se localizam grandes empresas florestais, abrangendo as inúmeras indústrias que compõem o setor florestal paranaense, sendo que os principais segmentos são: painéis, celulose, papel, serrarias, movelarias, energia, dentre outros (EISFELD E NASCIMENTO, 2015; COUTINHO *et al.*, 2017).

A distribuição da área plantada, de acordo com o gênero, conforme demonstrado na Figura 20 – Mapa dos Plantios Florestais no Paraná, as florestas de *Pinus* também estão concentradas nas Regiões Centro e Sul, onde também se concentram grandes empresas florestais, com destaque para as indústrias moveleiras, industrialização e beneficiamento da madeira, indústrias de painéis e, de papel e celulose; tendo, esta última, elevado consumo da madeira como matéria-prima no seu processo produtivo (SANQUETTA *et al.*, 2003; EISFELD E NASCIMENTO, 2015).

4.1 Estimativa do Balanço de C das Florestas Industriais do Paraná – *Eucalyptus*

Del Quiqui *et al.* (2001), realizaram um experimento, na região de Campo Mourão, com as espécies: *E. Nitens*; *E. pellita*; *E. paniculata*; *E. “campiju”*; *E. grandis*; *E. robusta*; *E. carnaldulensis*; *E. citriodora*; e, *E. maculata*, cujos dados estão apresentados na Tabela 30. E, ao final do período de 7 anos, a espécie *E. nitens*, não sobreviveu e, dos resultados apresentados pelas espécies sobreviventes, as que mais se destacaram na região foram: *E. grandis*, com maior altura, diâmetro e volume; seguido do *E. cambiju*. Enquanto que os que apresentaram menor desempenho (volume) foram: *E. paniculata*, seguido por *E. carnaldulensis* e, *E. paniculata*. Os demais apresentaram produtividades próximas entre si, porém distintas do primeiro grupo.

Tabela 30 – Médias das espécies/procedências de *Eucalyptus*, aos 7 anos de idade, em Campo Mourão, Estado do Paraná

Espécie/Procedência	DAP (cm)	H (m)	Vol(m ³ /ha/ano)	Sobrev (%)
<i>E. grandis</i> , Mogi Guaçu	17,94	21,81	58,97	84
<i>E. “cambiju”</i> APS Cambiju	15,52	17,68	44,78	84
<i>E.camaldulensis</i> ,12.186/ Colombo-PR	15,29	16,56	40,21	96
<i>E. robusta</i> , IPEF Ex 0488	15,83	16,67	39,78	84
<i>E. maculata</i> 11.249	15,40	17,44	38,18	84
<i>E. robusta</i> , 10.883	16,60	17,52	37,13	75
<i>E. citriodora</i> , Acesita APS	14,57	17,72	36,94	83
<i>E.pellita</i> 10.966	15,16	15,88	32,94	80
<i>E.camaldulensis</i> ,10.266 / Brasilândia-MG	14,03	13,69	28,81	75
<i>E. paniculata</i> , Florasa	14,29	15,86	24,16	71
<i>E.paniculata</i> , Rio Claro	12,59	14,74	23,74	86
Média geral	15,20	16,87	36,86	82

Fonte: Adaptado de Del Quiqui *et al.* (2001)

Pesquisas feitas por Oro *et al.* (2012), em que realizaram ensaio com oito espécies: *E. dunnii*, *E. urophylla*, *E. robusta*, *E. resinífera*, *E. citriodora*, *E. camaldulensis*, *E. grandis* e, *E. urophylla* x *E. grandis* (ou híbrido *Urograndis*), na região de Umuarama, resultaram na produtividade média das espécies, para

plantios com 4 anos, como mostrado na Tabela 31. Os dados mostraram que as espécies que mais se destacaram nessa região foram o *E. grandis*, *E. urophylla* e, *E. urograndis*; os quais apresentaram os melhores resultados no ciclo curto, o que indica maior adaptabilidade e aclimatação.

Tabela 31 – Valores de altura total, diâmetro a altura do peito (DAP) e volume total com casca (VTcc), Região de Umuarama

Espécies	Altura (m)	DAP (m)	VTcc (m³/ha)
<i>E. camaldulensis</i>	14,5	0,132	141,4
<i>E. citriodora</i>	13,0	0,115	88,6
<i>E. dunnii</i>	13,6	0,136	99,8
<i>E. Grandis</i>	20,2	0,172	278,1
<i>E. resinífera</i>	11,5	0,117	66,5
<i>E. robusta</i>	15,2	0,129	147,0
<i>E. urophylla</i>	16,0	0,148	239,4
<i>E. urophylla x E. grandis</i>	18,3	0,166	231,3

Fonte: Adaptado de ORO *et al.* (2012)

Onde: DAP = Diâmetro à Altura do Peito; VTcc = Volume Total com casca

Estudos feitos por Reiner *et al.* (2011), em que avaliaram os impactos do espaçamento nos resultados de um cultivo, chegaram à conclusão que em diferentes espaçamentos ao final de um ciclo curto, obtém-se respostas distintas; sendo que no caso estudado o maior espaçamento apresentou maior ganho individual de biomassa, portanto, acumulou maior volume de C, por indivíduo. Porém, em termos de volume por área os menores espaçamentos apresentaram resultados melhores em função do número de indivíduos por área; sendo que, os resultados obtidos para os espaçamentos estudados foram: 1,5x1,5m, 143,69 m³/ha; 2x2m, 104,5 m³/ha; 3x2m, 83,96 m³/ha; 3x3m, 68,55 m³/ha

Ainda, conforme Reiner *et al.* (2011), nos dois primeiros anos de cultivo, os resultados são similares, em função da pequena competição por luz, água e nutrientes, portanto, não sofreram influência do tratamento dado ou do espaçamento entre os indivíduos. Porém, a partir do terceiro ano observaram que houve diferença significativa para altura e DAP. O tratamento 3x3m foi o que apresentou maior DAP, e o tratamento 1,5x1,5m que obteve menor diâmetro. A principal diferença entre os tratamentos e espaçamentos se deu na variável volume por hectare (m³.ha⁻¹) e o maior valor encontrado foi de 143,69 m³.ha⁻¹ de

madeira no espaçamento 1,5mx1,5m, que se justifica pelo número de indivíduos por ha (REINER *et al.*, 2011).

A Tabela 32 estratifica o estado por Região e por Núcleo Regional, mostra a área total de plantio do *Eucalyptus*; e, que é resultado do trabalho realizado no Estado do Paraná, no Inventário Nacional de Florestas plantadas, com área total de 1.066.479 hectares, o que representa aproximadamente 5,4% de toda a área do estado (EISFELD E NASCIMENTO, 2015; COUTINHO *et al.*, 2017).

Tabela 32 – Área Plantada de *Eucalyptus* no Paraná por Região e por Núcleo Regional

Região	Núcleo	Área (mil de ha)	
		<i>Eucalyptus</i>	% *
Campo Mourão	Campo Mourão	9.339	0,88
	Curitiba	16.597	1,56
Centro-Sul	Guarapuava	14.037	1,32
	Irati	9.925	0,93
	Laranjeiras do Sul	8.229	0,77
	Pato Branco	6.913	0,65
	Ponta Grossa	143.849	13,49
	União da Vitória	11.137	1,07
Litoral	Paranaguá	65	0,01
Noroeste	Cianorte	6.310	0,59
	Paranavaí	13.690	1,28
	Umuarama	9.670	0,91
Norte	Apucarana	4.912	0,46
	Cornélio Procópio	13.880	1,30
	Ivaiporã	9.849	0,92
	Jacarezinho	19.714	1,85
	Londrina	6.062	0,57
	Maringá	5.968	0,56
Oeste	Cascavel	12.199	1,14
	Dois Vizinhos	2.683	0,25
	Francisco Beltrão	6.698	0,63
	Toledo	8.591	0,81
Área Total Plantada em <i>Eucalyptus</i>		340.315	31,91

Fonte: Adaptado de Eisfeld e Nascimento (2015)

* Percentual com relação à área total plantada no PR que é de 1.066.479

Com base nos dados levantados no Mapeamento dos Plantios Florestais do Paraná (EISFELD e NASCIMENTO, 2015) que traz a informação do volume de plantios florestais no Estado do Paraná que é de 340.315 hectares distribuídos em todo o estado, porém a maior concentração na Região Centro-Sul (210.687 ha), na qual também estão concentradas as principais indústrias moveleiras e, as informações históricas, já consolidadas que, além de apresentarem as principais

espécies a serem cultivadas (Tabela 19) de acordo com a finalidade (Tabela 20) a que se destina o plantio nacional e sua origem (florestas nativas ou plantadas).

Ainda, de acordo com as informações prestadas pelo Inventário de Florestas Plantadas do Estado do Paraná (EISFELD e NASCIMENTO, 2015), e a Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento, do que foi produzido no Paraná em 2015, em torno de 52,25% teve como destino serrarias e laminadoras para a transformação em madeira serrada, placas e compensados; 30,21% foi utilizada na produção de energia; e, 17,54% foi para a produção de celulose e papel; assim, levando-se em conta os percentuais fornecidos pela SEAB, tem-se que, 102.809 ha., foi destinado à geração de energia, nas suas diversas formas (secagem de grãos, co-geração de calor) e, em torno de 237.506 ha., foram destinados à indústria de base florestal (papel e celulose, compensados, painéis, móveis, madeira serrada, embalagens); e, mais especificamente, deste total, 177.815 ha., foram para serrarias e laminadoras e, 59.691 para a produção de papel e celulose.

4.1.1 Estimativa do C Acumulado com Base no Volume de Biomassa Viva

A estimativa do C acumulado, com relação ao volume de biomassa viva para uma área de 1,0 ha de *Eucalyptus* em um ano corresponde a:

$$Biomassa\ Acumulada = \frac{1.100\ arvores[(192Kg.0,48).3,67]}{1000} \quad (11)$$

$$Biomassa\ Acumulada = 372,05\ t.\ CO_2.\ ha^{-1}.\ ano^{-1}$$

$$Carbono\ Acumulado = 101,38\ t.\ C.\ ha^{-1}.\ ano^{-1}$$

Com base nos dados do inventário florestal do Paraná, considerando o uso da madeira nas suas principais aplicações, que são: geração de energia, celulose e papel e, serrarias e laminadoras; as Tabelas 33, 34 e 35 apresentam, respectivamente, os fluxos de CO₂, do volume de madeira aplicadas nessas atividades, quanto ao preparo do solo, plantio, movimentação no campo e transporte, bem como seus processos de transformação.

Tabela 33 – Sequestro e Emissões de CO₂ pelas Florestas Industriais do Paraná, em função do uso da madeira – Celulose e Papel

Emissões e Sequestro de C pelas florestas de <i>Eucalyptus</i> do Paraná			
Processo/Etapa	CO₂ (t⁻¹.ano⁻¹)	Área de <i>Eucalyptus</i> no Paraná	Totais (em t.)
1. Cultivo de 1 ha de <i>Eucalyptus</i>, foi capturado (sequestrado)	372,05		22.208.037
2. Emissões no preparo do solo, plantio e transp.			255.477
· Máquinas para preparo do solo e plantio,	0,32	59.691	19.101
· Máquinas de corte e movimentação no campo,	0,96		57.303
· Transporte considerando 70 Km,	1,56		93.118
· Outras emissões	1,44		85.955
3. Emissões no processo de produção de celulose			14.481.037
· Processos para descarte	127,0		7.580.757
· Descasque (preparação da MP para enviar ao processo)	49,8		2.972.612
· Queima das partes não utilizadas na produção,	28,7	59.691	1.713.132
· Processo de Celulose	37,1		2.214.536
Produção de Papel acabado 83 t.ha⁻¹.			
· 9,96 t. (= 12% (papel acabado) de Produtos químicos e outros)			
4. Retenção: · 73,04 t. de Fibras, correspondente a 36,106 t. de C armazenado, que corresponde à	125,17	59.691	7.471.523
5. Sequestro Total (= 1)			22.208.037
6. (-) Emissões Totais (= 2 + 3)			14.736.514
7. CO₂ Estocado (= 5 – 6)			7.471.523

Fonte: Elaborado pelo autor e adaptado de Negri (2008)

Tabela 34 - Sequestro e Emissões de CO₂ pelas Florestas Industriais do Paraná, em função do uso da madeira – Energia

Processo/Etapa	CO ₂ (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Área de <i>Eucalyptus</i> no Paraná	Totais (em t.)
1. Cultivo de 1 ha de <i>Eucalyptus</i>, foi capturado (sequestrado)	372,05	102.809	38.250.088
2. Emissões no preparo do solo, plantio e transp.			291.978
· Máquinas para preparo do solo e plantio,	0,32		32.899
· Máquinas de corte e movimentação no campo,	0,96	102.809	98.697
· Transporte considerando 70 Km,	1,56		160.382
3. Emissões líquidas na geração de energia			37.952.914
3.1 Emissões na Geração de Energia	369,16	102.809	37.952.914
3.2 Retenções no processo de geração de Energia (cinzas)	0,05		5.197
4. sequestro Total (= 1)			38.250.088
5. (-) Emissões Totais (= 2 + 3.1)			38.244.891
6. CO₂ Estocado			5.197

Fonte: Elaborado pelo autor e adaptado de Negri (2008)

Tabela 35 – Sequestro e Emissões de CO₂ pelas Florestas Industriais do PR, em função do uso da madeira – Serrarias e Laminadoras

Processo/Etapa	CO ₂ (t ⁻¹ .ano ⁻¹)	Área de <i>Eucalyptus</i> no Paraná	Totais (em t.)
1. Cultivo de 1 ha de <i>Eucalyptus</i>, foi capturado (sequestrado)	372,05	177.815	66.156.071
2. Emissões no preparo do solo, plantio e transp.			504.995
· Máquinas para preparo do solo e plantio,	0,32		56.901
· Máquinas de corte e movimentação no campo,	0,96	177.815	170.702
· Transporte considerando 70 Km,	1,56		277.391
3. Retenções em serrarias e laminadoras	369,21		65.651.076
4. Sequestro Total (= 1)			66.156.071
5. (-) Emissões Totais (= 2)			504.995
6. CO₂ Estocado (= 4 – 5)			65.651.076

Fonte: Elaborado pelo autor e adaptado de Negri (2008)

Portanto, com base nos dados referentes ao consumo da biomassa florestal no Estado do Paraná e, considerando que as cinzas representam apenas 0,8% da biomassa (EMBRAPA FLORESTAS, 2016) e contém 1,68% de C na sua composição (OSAKI e DAROLT, 1991), o resumo das emissões e captura/sequestro de C pelas florestas plantadas de *Eucalyptus* no Estado do Paraná são mostradas na Tabela 36.

Assim, o volume total capturado, que é de $126,6 \times 10^6$ t.CO₂ ao longo dos 7 anos de cultivo, mostram que em torno de 58% fica retido (armazenado) em produtos de base florestal, tais como: celulose, papel, madeira serrada, laminados etc.; enquanto que cerca de 42% é devolvido para a atmosfera por emissões nos processos do cultivo, transporte, produção da celulose e queima na geração de energia.

Tabela 36 – Resumo da captura, emissões e estoque de CO₂ e C

	Geração de Energia	Serrarias e Laminadoras	Papel e Celulose	Totais CO₂	Totais C
Captura Total (t.CO ₂)	38.250.088	66.156.071	22.208.037	126.614.196	34.499.781
Emissões Totais (t.CO ₂)	38.244.891	504.995	14.736.514	53.486.400	14.573.951
Estocado (em t)	5.197	65.651.076	7.471.523	73.127.796	19.925.830

Fonte: elaborado pelo autor

Mesmo que o percentual que retorna à atmosfera seja expressivo (42%), é essencial investir no plantio de novas áreas e na manutenção das já existentes; pois quando comparados com a cultura da cana-de-açúcar que, no Estado de São Paulo, com ciclo de 6 anos, segundo Bordonal (2012), o C acumulado no solo nesse período é entre 880 e 1.100 kg.CO_{2eq}.ha⁻¹.ano⁻¹; ou, com a cultura do café, no Estado do Paraná, com ciclo de 5 anos, que acumulou cerca de 200 t.C.ha⁻¹; de acordo com Coltri (2012) uma área de café com 5 anos, em Rondônia, que apresentou em torno de 11,2 t.C.ha⁻¹; e, uma área de seringueira com 34 anos, na Bahia, apresentou, em média, 84,7 t.C.ha⁻¹; contra 372,05 t.CO_{2eq}.ha⁻¹.ano⁻¹ nos plantios florestais de *Eucalyptus*.

Com base nesses dados, se forem mantidas as proporções de destinação para uso nas principais atividades, papel, celulose, madeira e laminados, o percentual

retido continuará em torno de 58%; ou seja, a cada ciclo de 7 anos; cada ha de floresta plantada retira em média 214,88 t.CO₂.ha⁻¹ (=73.127.796 t.CO₂ retido/340.315 ha de plantio de *Eucalyptus* no Paraná). Mas, torna-se ainda mais importante, quando avaliado os benefícios assessórios motivados pelo plantio florestal, com fins industriais ou não, que são: qualidade do ar na área e no entorno, geração de emprego e renda, recuperação de áreas degradadas, preservação de florestas naturais, prevenção de erosões etc.

Portanto, o balanço de C das culturas de *Pinus* e *Eucalyptus* no Estado do Paraná é positivo, pois além de sequestrar e reter expressivos volumes de C, por períodos estendidos, conforme a destinação da madeira, adicionalmente proporciona outros benefícios ao longo do processo dessas culturas, como descritos no parágrafo anterior.

4.1.2 Estimativa de C acumulado com base no IMAM

Considerando os dados referentes ao *Eucalyptus*, na Tabela 37 é apresentada a estimativa de C acumulado com base no IMAM (REZENDE e FERRAZ, 1986; DERECZYNSKI et al., 1998) e a aplicação o modelo proposto:

$$C_i = IMAM \cdot \frac{V_i \cdot \rho \cdot C_c}{A_i \cdot R_i} \quad (12)$$

Onde:

IMAM = Incremento Médio Anual de Massa

V_i = volume acumulado em cada ano (22 m³.ha⁻¹.ano⁻¹)

ρ = densidade de madeira (0,430 t.m⁻³)

C_c = Índice de C contido na biomassa (*Eucalyptus*= 0,48)

A_i = Área considerada (1 ha)

R_i = Relação mássica caule/biomassa (*Eucalyptus*=0,68)

$$C_i = \frac{22 \frac{m^3}{ha \cdot ano} \cdot 0,430 \frac{t}{m^3} \cdot 0,48C}{1ha \cdot 0,68} = 6,678 t. C. ano^{-1} \quad (13)$$

Considerando que o C total acumulado é calculado pela expressão:

$$C_{acumulado} = \sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^{n=7} C_i \quad (14)$$

Então, para calcular o C total acumulado no período de 7 anos, usa-se a expressão:

$$C_{\text{acumulado}} = C_7 = C_1 + 1,51 C_1 + 1,29 C_2 + 1,16 C_3 + 1,09 C_4 + 1,06 C_5 + 1,05 C_6 \quad (15)$$

Portanto, a Tabela 37 mostra o C acumulado, com base no IMAM, para o período de 7 anos, que apresentou o total de 96,97 t.C.ha⁻¹. Quando calculado pelo IMAM e, aplicando-se o fator de conversão (3,67), o volume de CO₂ armazenado nessa área foi de 355,88 t.CO₂.ha⁻¹, no período de 7 anos. Para efeito de comparação, observa-se que o valor de C encontrado está próximo ao valor encontrado por Negri (2008), assim como ao de Arana e Boin (2013), com variação em torno de 4%, conforme mostra a Tabela 38.

Tabela 37 – Cálculo da Estimativa de C acumulado, com base no IMAM

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7
IMAM		1,51	1,29	1,16	1,09	1,06	1,05
C _i	6,678	10,037	13,003	15,084	16,441	17,428	18,299
C _{acumulado}	6,678	16,715	29,718	44,802	61,243	78,671	96,970

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 38 – Comparação do estoque de Cc em diferentes momentos

Autor (ano)	C _c (t.)	Diferença %
Negri (2008)	103,50	6,73
Arana e Boin (2013)	100,00	3,12
Martens (2018)	96,97	---

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.3 Estimativa de C Acumulado e de CO₂ Capturado para os Principais Produtos da Madeira de *Eucalyptus*

A Tabela 39 apresenta os resultados dos cálculos de C acumulado e de CO₂ capturado para os principais produtos da madeira de *Eucalyptus*. Considerando-se que cada hectare produz 9,46 t.ano⁻¹ (DERECZYNSKI *et al.*, 1998), multiplicado pelo tempo de um ciclo (7 anos) tem-se 66,22 t., que multiplicado pela área destinada a cada aplicação de consumo/uso, obtém o volume de biomassa em cada uma.

Tabela 39 – Cálculo de C e de CO₂ capturado para os principais produtos do *Eucalyptus*, em função do uso da madeira

Aplicação	Área (1)	%	Volume de Biomassa (t.) (2) = (1) x 66,22	t.C (3) = (2) x 0,48	CO ₂ (4) = (3) x 3,67
Energia	102.809	30,21	6.808.012	3.267.846	11.992.994
Laminados e Serraria	177.815	52,25	11.774.909	5.651.956	20.742.680
Celulose e Papel	59.691	17,54	3.952.738	1.897.314	6.963.143
Total	340.315	100,00	22.535.659	10.817.116	39.698.817

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com os valores mostrados na Tabela 39, os maiores valores de C e CO₂, das florestas de *Eucalyptus* do Estado do Paraná foram para as atividades de laminação e serraria, que são as que estendem o ciclo de C, em função de que a madeira aplicada em produtos como, madeira serrada, móveis, laminados, entre outros, preservarão o C estocado por mais alguns anos, até perderem o seu valor de utilidade, quando retornarão para a atmosfera em razão de sua queima ou deterioração, se descartados na natureza.

O segundo maior volume (de C e CO₂), foi destinado à geração de energia; portanto, grande parte desse volume retornará, de imediato, para a atmosfera uma vez que seu processo requer a queima da biomassa, provocando a liberação do C; mas uma pequena parte continuará estocada nas cinzas; portanto, se as cinzas representam 0,8% da biomassa (EMBRAPA FLORESTAS, 2016), então tem-se 54.464,1 t. de cinzas (=6.808.012 x 0,8%); porém o C nela estocado é apenas 1,68% (OSAKI e DAROLT, 1991); resultando, portanto, na retenção de 915 t.C.; assim, este volume pode voltar à natureza ou ser dado destino mais conveniente.

No processo de celulose e papel, no qual é aplicada a menor parcela da biomassa das florestas industriais do Paraná, sabe-se que parcela significativa do C, permanecerá retida estendendo seu ciclo, nos produtos gerados. Por outro lado, deve-se ter a consciência de que durante o seu processo são aplicados diversos produtos químicos que são danosos ao meio ambiente. Portanto, do ponto de vista da estocagem de C e da mitigação de GEE, visando minimizar o efeito estufa, melhor seria destinar a biomassa ora consumida, tanto na geração

de energia, quanto na produção de celulose e papel, para outras finalidades menos poluentes e que mantenham o C estocado por período maior, estendendo o seu ciclo. Ou, no mínimo, que seja incentivado tal procedimento.

A Figura 19 mostra, por meio de analogia, a indústria da madeira, com as entradas e saídas do processo de produção da celulose a partir da madeira de *Eucalyptus*, (FOELKEL, 2013). Considerou-se a produção de 1,0 ha, que corresponde a 116,65 t.CO₂ (=9,46 t.ha⁻¹.ano⁻¹ x 7 anos x 0,48 teor de C x 3,67 fator de conversão), baseando-se nas informações apresentadas.

A Figura 21 apresenta um exemplo prático no processamento de 1,0 ha de biomassa na produção de celulose e papel. Portanto, sabendo-se que 1,0 ha absorve 372,05 t.CO₂ e, que na produção de celulose e papel usam apenas o tronco, o qual representa 68% do volume de CO₂, então em 1,0 ha tem 253 t.CO₂ em troncos, que vão alimentar a indústria. Ao final do processo, considerando as perdas e emissões normais, ainda restam em torno de 173 t.CO₂, que será estocado nos produtos: óleos e essências e, polpa e celulose para a fabricação do papel.

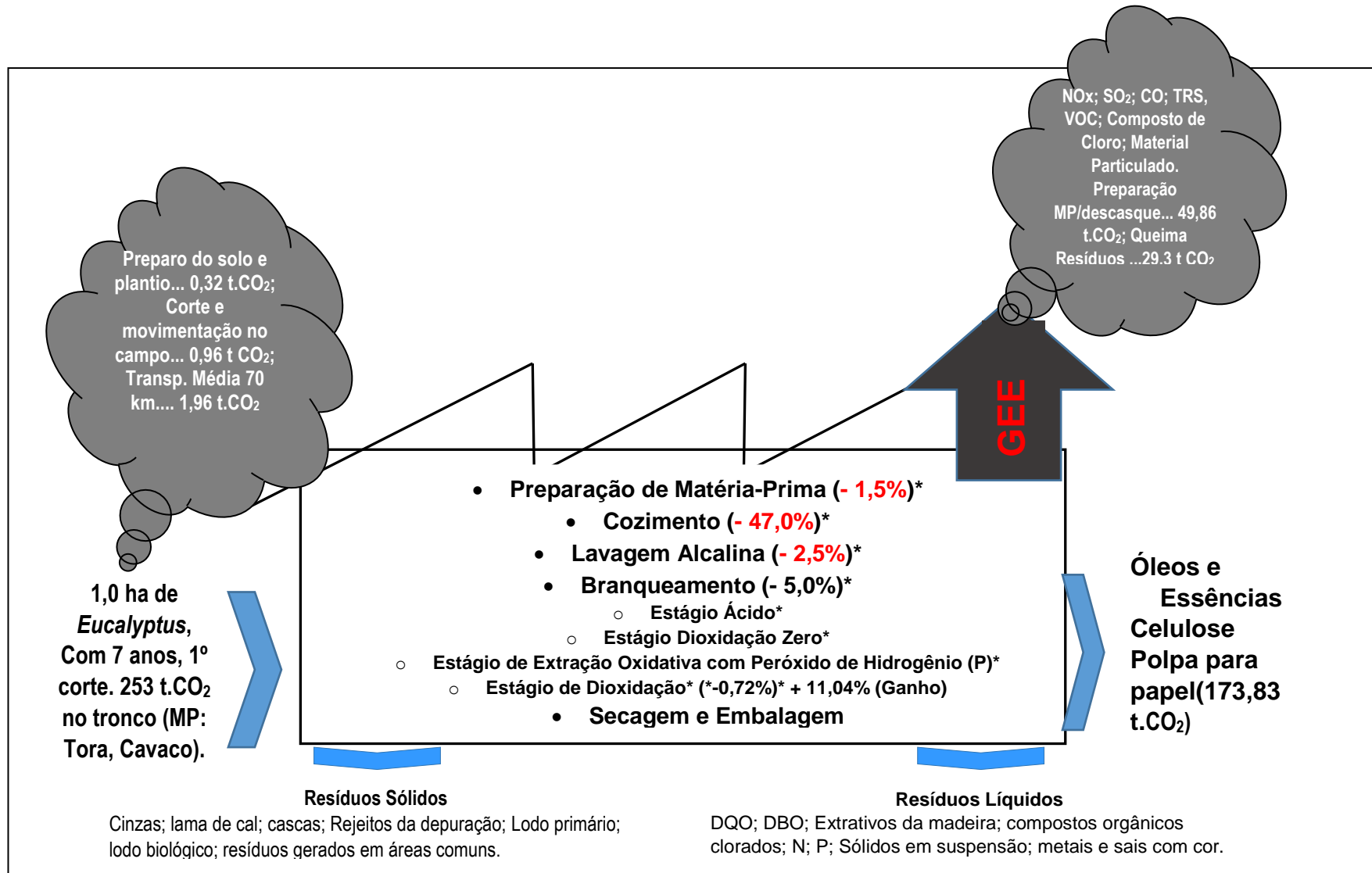


Figura 21 - Estrutura do Processamento de Biomassa Florestal - *Eucalyptus*

Fonte: Elaborado pelo Autor, com base nos dados apresentados por Foelkel (2013).

* os valores entre parênteses, são os percentuais (%) de perdas/quebras em cada operação do processo.

4.2 Estimativa do Balanço de C das Florestas Industriais do Paraná – *Pinus*

As espécies mais plantadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil são, principalmente, o *P. elliottii* e o *P. taeda*, por serem espécies com melhor produção de madeira para processamento e, por melhor adaptação ao clima, pluviosidade e geografia da região. O *P. taeda*, no Brasil, é a espécie com maior área plantada, atingindo cerca de um milhão de hectares, no planalto central da região Sul; sua destinação é prioritária para a produção de celulose, papel, madeira serrada, chapas e madeira reconstituída (EMBRAPA_FLORESTAS, 2014; EISFELD e NASCIMENTO, 2015).

O Estado do Paraná possui 61,3% da área coberta por florestas plantadas, com o cultivo de *Pinus*, em que a Tabela 40 apresenta a distribuição da Área Plantada do Paraná por Região, por Núcleo Regional e Gênero. A Região Centro-Sul (Curitiba, Guarapuava, Irati, Laranjeiras do Sul, Pato Branco, Ponta Grossa, União da Vitória) destaca-se por ser a maior região produtora deste gênero, com 613.535 ha, o que representa 93,87% da área de cultivo no Estado. A Região Centro-Sul do Estado do Paraná lidera a produção florestal, mesmo que, como as demais Regiões, apenas pequena parcela (14%) do Valor Bruto da Produção (VBP) é proveniente do comércio de produtos florestais. E, o setor florestal da Região responde por 78% da renda gerada pela venda de toras para serraria e laminação e, 99% da venda para papel e celulose; e responde ainda por 51% da produção de lenha (EMBRAPA/FLORESTAS, 2014; EISFELD E NASCIMENTO, 2015).

Considerando que a produção de *Pinus* no Estado do Paraná, conforme apresentado por Eisfeld e Nascimento (2015), em que pequena parcela destina-se às indústrias de celulose e papel e, a maior parte, é destinada às indústrias de madeira serrada, moveleira e de laminação. Desta forma, destaca-se que a madeira de *Pinus* produzida no estado, tem ciclo de vida maior em função da destinação dada; conseqüentemente grande parte do C sequestrado durante o seu crescimento e armazenado no seu tronco permanecerá estocado por longo período, enquanto que dos demais compartimentos, parte retorna imediatamente para a atmosfera em função de sua queima (galhos, raiz), liberando também

minerais que são nutrientes para o solo; e, outra parte irá compor a serapilheira, que adicionando ao solo transforma-se em nutrientes ao solo, liberando lentamente o C para a atmosfera.

Tabela 40 – Área Plantada de *Pinus* no Paraná por Região e por Núcleo Regional

Região	Núcleo	Área (mil de ha)	
		<i>Pinus</i>	% *
Campo Mourão	Campo Mourão	1.401	0,13
	Curitiba	159.648	14,97
	Guarapuava	50.870	4,77
	Irati	39.751	3,73
Centro-Sul	Laranjeiras do Sul	12.241	1,15
	Pato Branco	39.732	3,73
	Ponta Grossa	239.448	22,45
	União da Vitória	71.844	6,74
Litoral	Paranaguá	2.065	0,19
	Cianorte	8	0,00
Noroeste	Paranavaí	238	0,02
	Umuarama	116	0,01
Norte	Apucarana	207	0,02
	Cornélio Procópio	3.645	0,34
	Ivaiporã	11.723	1,10
	Jacarezinho	6.563	0,62
	Londrina	276	0,03
	Maringá	9	0,00
Oeste	Cascavel	6.880	0,65
	Dois Vizinhos	395	0,04
	Francisco Beltrão	6.425	0,60
	Toledo	79	0,01
Área Total Plantada em <i>Pinus</i>		653.566	61,28

Fonte: adaptado de Eisfeld e Nascimento (2015)

* Percentual com relação à área total plantada no Paraná que é de 1.066.479

Considerando que, a área total plantada de *Pinus* no Estado do Paraná, é destinada também à produção de resina, cuja extração é realizada durante o processo de formação da cultura, madeira à indústria e, os galhos grossos à

queima (doméstica ou produção de energia), descartando-se apenas as partes não industrializáveis (folhas e galhos finos) que são deixadas no campo; A participação de biomassa de cada compartimento em relação à biomassa total, no Paraná, é de: 2,9%, 16,3%, 12,2%, 68,6%, respectivamente para folhas, galhos, casca e fuste; e, teor médio de CO₂ de 49,94% (LIMA *et al.*, 2016).

Na Região Centro-Sul do Paraná, em plantios de *Pinus*, com idade superior a 15 anos, que é a idade ideal para fins de produção de madeira serrada, laminação e móveis, tem 228,41 t de biomassa acumulada em seus diversos componentes, em torno de: 156,69 t.ha⁻¹ para o caule; 11,72 t.ha⁻¹ para as folhas; 30,15 t.ha⁻¹ para galhos vivos; 29,95 t.ha⁻¹ para as raízes. Por outro lado, o C_{total} acumulado atingiu 102,70 t.C.ha⁻¹; sendo, 71,13 t.C.ha⁻¹ para o caule; 5,23 t.C.ha⁻¹ para as folhas; 13,08 t.C.ha⁻¹ para os galhos vivos; 13,26 t.C.ha⁻¹ para as raízes (BALBINOT *et al.*, 2008).

Outro dado encontrado por Balbinot *et al.* (2008), em seus estudos foi que do total de C armazenado, mais de 70% estava concentrado no caule. Porém, não menos marcante é a participação das raízes na fixação de C, pois em plantios mais jovens (menos de 5 anos) foram encontrados em torno de 35% de C; para plantações entre 5-15 anos, 21%; e, nas plantações com idade superior a 15 anos, foi encontrado em torno de 13%.

4.2.1 Estimativa de C Acumulado com Base no Volume de Biomassa Viva

A Tabela 13 mostra a estimativa do C acumulado, em povoamentos de *Pinus taeda* e valores médios, considerando 1.450 árv.ha⁻¹ e, 408,51 Kg.C.arv⁻¹ como valores médios de biomassa individual de *Pinus* spp., em relação ao volume de biomassa viva para uma área de 1,0 ha de *Pinus* com 12 anos corresponde a:

$$Biomassa\ Acumulada = \frac{1.450\ arvores[(408,519Kg.0,45).3,67]}{1000} \quad (16)$$

$$Biomassa\ Acumulada = 978,27\ t.\ CO_2.\ ha^{-1}.\ ano^{-1}$$

$$Carbono\ Acumulado = 266,56\ t.\ C.\ ha^{-1}.\ ano^{-1}$$

Com base nos dados do inventário florestal do Paraná, considerando o uso da madeira nas suas principais aplicações, que é em serrarias e laminadoras; a Tabela 41 apresenta os fluxos de CO₂, do volume de madeira aplicada nessa atividade, quanto ao preparo do solo, plantio, movimentação no campo e transporte, bem como seus processos de transformação. Considerando que no Estado do Paraná, do volume total, em média, de cada componente representa, 2,56% é de folhas; 14,41%, galhos; 10,79%, casca; 60,66%, caule; 11,58%, raízes.

Tabela 41 – Sequestro e Emissões de C pelas Florestas Industriais do Paraná, em função do uso da madeira - *Pinus*

Emissões e Sequestro de C pelas florestas de <i>Pinus</i> do Paraná - Serraria			
Processo/Etapa	Volume em t.CO₂	Área de <i>Pinus</i> no Paraná	Totais (em t.)
1. Cultivo de 1 ha de <i>Pinus</i>, com ciclo de sete (12) anos, foi capturado (sequestrado)	978,27	653.566	639.364.011
2. (-) Emissões no preparo do solo, plantio e transp.			- 1.856.127
· Máquinas para preparo do solo e plantio,	0,32	653.566	209.141
· Máquinas de corte e movimentação no campo,	0,96		627.423
· Transporte considerando 70 Km,	1,56		1.019.563
3. CO₂ Acumulado			316.287.985
3.1 Madeira	592,14	653.566	387.001.644
3.2 (-) Queima das partes não utilizadas na produção	246,52		- 161.119.731
3.3 Descarte (folhas + raízes)	138,33		90.406.071
4. Sequestro de CO₂ no Período			639.364.011
5. (-) Emissões Totais de CO₂ (2 + 3.2)			- 162.975.858
6. CO₂ Estocado (= 4 – 5)			476.388.153
7. C Estocado no período (= 6 / 3,67)			129.806.036

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2 Estimativa do C Acumulado com Base no IMAM

Considerando os dados referentes ao *Pinus*, neste tópico são apresentados as estimativas de C acumulado com base no IMAM (REZENDE e FERRAZ, 1986; DEREZYNSKI et al., 1998) e dados volumétricos para o *Pinus* (ALMEIDA et al.,

2014; GREAVES *et al.*, 2015; MEDERSKI *et al.*, 2015), aplicando-os ao modelo proposto:

$$C_i = IMAM \cdot \frac{V_i \cdot \rho \cdot C_c}{A_i \cdot R_i} \quad (17)$$

Em que:

IMAM = Incremento Médio Anual de Massa

V_i = volume acumulado em cada ano ($32 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$)

ρ = densidade de madeira ($0,377 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$)

C_c = Índice de C contido na biomassa (*Pinus*= 0,45)

A_i = Área considerada (1 ha)

R_i = Relação mássica caule/biomassa (*Pinus*=0,68)

$$C_i = \frac{32 \frac{\text{m}^3}{\text{ha} \cdot \text{ano}} \cdot 0,377 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \cdot 0,45 C}{1 \text{ ha} \cdot 0,68} = 7,914 \text{ t} \cdot \text{C} \cdot \text{ano}^{-1} \quad (18)$$

Assim, a estimativa do $C_{\text{acumulado}}$ pela madeira de *Pinus* é apresentada na Tabela 42 com base nos valores do IMAM, que em treze anos o estoque estimado foi de $255,277 \text{ t} \cdot \text{C} \cdot \text{ha}^{-1}$. Quando aplicado o fator de conversão (3,67), a quantidade de CO_2 capturado/armazenado nessa área foi de $935,867 \text{ t} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Tabela 42 – Cálculo da Estimativa de C acumulado (*Pinus*), com base no IMAM

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7
IMAM	1,00	1,51	1,29	1,16	1,09	1,06	1,05
C_i	7,914	11,950	15,416	17,882	19,492	20,661	21,694
$C_{\text{acumulado}}$	7,914	19,864	35,280	53,162	72,654	93,315	115,009
	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	
IMAM	1,04	1,022	1,016	1,011	1,002	1,003	
C_i	22,562	23,058	23,427	23,685	23,732	23,803	
$C_{\text{acumulado}}$	137,571	160,629	184,056	207,741	231,473	255,277	

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.3 Estimativa de C Acumulado com Base nos Principais Produtos da Madeira de *Pinus*

As emissões durante o preparo do solo, plantio e corte do *Pinus*, são similares às emissões para os mesmos processos do *Eucalyptus*, pois seus processos e máquinas usadas são as mesmas, conforme mostra a Tabela 43.

Tabela 43 – Sequestro e Emissões de C pelas Florestas Industriais do Paraná – aos 13 anos, com base no IMAM e em função do uso da madeira - *Pinus*

Emissões e Sequestro de C pelas florestas de <i>Pinus</i> do Paraná			
Processo/Etapa	Volume em t.CO₂	Área de <i>Pinus</i> no Paraná	Totais (em t.)
1. Cultivo de 1,0 ha de <i>Pinus</i>, com ciclo de sete (13) anos, foi capturado (sequestrado)	936,867	653.566	612.304.150
2. (-) Emissões no preparo do solo, plantio e transp.			- 1.856.127
· Máquinas para preparo do solo e plantio,	0,32	653.566	209.141
· Máquinas de corte e movimentação no campo,	0,96		627.423
· Transporte considerando 70 Km,	1,56		1.019.563
3. CO₂ Acumulado			302.866.294
3.1 Madeira	567,02	653.566	370.487.133
3.2 (-) Queima das partes não utilizadas na produção (Galhos + Cascas = 25,20% (14,41% + 10,79%))	236,09		-154.300.646
3.3 Descarte (folhas + raízes = 14,14 (2,56%+11,58%))	132,47		86.579.807
4. Sequestro de C no Período			612.304.150
5. (-) Emissões Totais (2 + 3.2)			-156.156.773
6. CO₂ Estocado			456.147.377
7. C Estocado (= 6 / 3,67)			124.290.838

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 Estimativa do C Acumulado Total (*Eucalyptus* e *Pinus*) no Estado do Paraná

Portanto, a Tabela 44 mostra a estimativa da quantidade de CO₂ para as florestas plantadas de *Eucalyptus* e *Pinus* no Estado do Paraná, com ênfase no ciclo de vida dos produtos resultantes do seu uso e consumo, considerando um ciclo de 7 anos para o *Eucalyptus*, e de 13 anos para o *Pinus*.

Tabela 44 – Resumo do sequestro e emissões de CO₂ por espécie florestal – um ciclo

Ação \ Espécie	<i>Eucalyptus</i> (7 anos)	<i>Pinus</i> (IMAM = 13 anos)	Totais de CO ₂
Sequestros Totais	126.614.196	639.364.011	765.978.207
(-) Emissões Totais	- 53.486.400	- 162.975.858	- 216.462.258
CO₂ Estocado por ciclo	73.127.796	476.388.153	549.515.949
C Estocado por ciclo	19.925.830	129.806.036	149.731.866

Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, com base nos dados da Tabela 36, observa-se que a cada ciclo do *Eucalyptus* (7 anos) e da Tabela 41 para o *Pinus* (13 anos) somados, tem-se um alto volume CO₂ líquido estocado **549,5x10⁶ t.** nas florestas plantadas do Paraná; o que permite indicar que investir ou manter as reservas de florestas plantadas no estado é vantajosa, pois 71,63% do que foi sequestrado e armazenado, permanecerá estocado por período considerável. No presente trabalho foi considerado apenas um ciclo de cada uma das espécies. Então, para efeito de comparação, a Tabela 45 apresenta os valores considerando dois ciclos para o *Eucalyptus* e um para o *Pinus*, aproximando-se o período de sequestro do CO₂ de ambos, em função de a colheita do *Eucalyptus* ser, praticamente, com a metade do tempo do *Pinus*.

Tabela 45 – Resumo das retenções e emissões de CO₂ por espécie florestal – 2 ciclos *Eucalyptus* e 1 ciclo *Pinus*

Ação \ Espécie	<i>Eucalyptus</i> (2 ciclos de 7 anos)	<i>Pinus</i> (1 ciclo > 13 anos)	Totais de CO ₂
Sequestros Totais	253.228.392	639.364.011	892.592.403
(-) Retenções Totais	- 106.972.800	- 162.975.858	-269.948.658
CO₂ Estocado	146.255.592	476.388.153	622.643.745
C Estocado	39.851.660	129.806.036	169.657.696

Fonte: Elaborado pelos autores

Comparando os dados da Tabela 44 com os da Tabela 45, observa-se pequena redução no volume CO₂ estocado (de 71,74%, para 69,76%) do total capturado, quando considerado dois ciclos para o *Eucalyptus*, mesmo que em valores absolutos houve um crescimento de 13,31%; o que se dá em função, principalmente, do uso do *Eucalyptus* – em celulose e papel e, geração de energia, que contribui para maior volume de emissões de GEE; enquanto que o *Pinus* é usado principalmente em atividades que conservam o CO₂ estocado. Mesmo assim, é viável incentivar investimentos na produção florestal, pelo fato de que quase metade do que é sequestrado, permanecerá estocado por longo tempo, estendendo a vida útil dos produtos florestais.

5 CONCLUSÃO

Após realizar a revisão da literatura relacionada às questões ambientais, sistema de produção florestal e destinação da madeira produzida pelas florestas plantadas, procedeu-se a análise de modelos para estimar tanto as emissões ao longo do seu ciclo – do preparo do solo à colheita - quanto o C estocado em florestas industriais, com base no uso da ferramenta ACV aplicada aos produtos de base florestal. Observou-se que as florestas industriais têm ciclo de vida muito variável, pois além de seu processo variar conforme sua finalidade, a destinação contribui para estender ou encurtar o ciclo de vida da madeira. Portanto, quando a madeira oriunda desses plantios florestais, forem destinadas a:

(1) produção de energia ou carvão vegetal para consumo em siderúrgicas – o que é bastante comum no Brasil, para onde é destinado mais de 15% da produção das florestas plantadas - sua vida será relativamente curta e nesses casos grande parte do C acumulado ao longo dos anos de cultivo, retornarão para a atmosfera durante o processo de produção de energia, quando se dá a queima; porém quando utilizada na produção do aço, parte do C liberado com a queima, fixa no produto permanecendo estocada ao longo da vida desse material.

(2) se destinado para a produção de celulose e papel, como no caso exemplificado, em torno de 33,6% do CO₂ sequestrado pelo *Eucalyptus*, será mantido no material produzido (celulose e papel), os quais permanecerão armazenados em livros e documentos, quando destinados a esse fim, por período que pode variar de 5 a 30 anos; mas há casos em que permanecem por períodos maiores;

(3) quando destinados às indústrias de painéis de madeira, pisos laminados, móveis ou madeira serrada; para construção civil, na estrutura de residências, na construção de casas ou ainda quando utilizadas para produção de portas entalhadas, parcela superior a 90% do C ficará estocado nos produtos; para esses casos a variabilidade da vida útil será ainda maior, podendo chegar a dezenas de anos ou até passar de século, em função de sua utilidade;

(4) a produção florestal pode ser destinada para fins não madeireiros, que compreendem as indústrias química, farmacêutica, automobilística, siderúrgica, alimentícia entre outras, na produção de diversos produtos, tais como: borracha, gomas, ceras, fibras tanantes, produtos aromáticos, medicinais e corantes; e, na indústria moveleira, onde a madeira passa pelo processo de usinagem, que permite melhoria expressiva nos processos de produção, na qualidade da madeira e facilitam o planejamento do sistema produtivo.

O objetivo geral desta pesquisa foi “propor um modelo para estimar o C armazenado em florestas plantadas para fins industriais e energéticos, por meio da abordagem da avaliação do ciclo de vida”. Portanto, o modelo proposto visa encontrar o volume de C acumulado por determinada área florestal e em dado período; para tanto, é realizada a soma do volume de C acumulado a cada ano, sendo que para o 1º ano o valor é calculado por meio da seguinte fórmula:

$$C_i = IMAM \cdot \frac{V_i \cdot \rho \cdot C_c}{A_i \cdot R_i}, \quad (19)$$

Em que se multiplica o volume acumulado em cada ano (m^3) pela densidade da madeira ($kg \cdot m^3$) pelo índice de C contido na biomassa e, o resultado desta operação, divide-se pelo resultado de área vezes relação mássica caule/biomassa total. A partir do 2º ano, o volume de C acumulado no ano é obtido pela multiplicação do C acumulado no 1º ano pelo índice do IMAM do 2º ano; para o 3º ano, multiplica-se o C acumulado do 2º ano pelo IMAM do 3º ano e, assim sucessivamente até o limite que se pretende encontrar. Considerando que o C total acumulado é calculado pela expressão:

$$C_{acumulado} = \sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^{n=7} C_i \quad (20)$$

Então, a expressão para calcular o C total acumulado no período de 7 anos, é da seguinte forma:

$$C_{acumulado} = C_7 = C_1 + 1,51 C_1 + 1,29 C_2 + 1,16 C_3 + 1,09 C_4 + 1,06 C_5 + 1,05 C_6 \quad (21)$$

Portanto, o principal diferencial é a aplicação do IMAM, que são índices já consolidados, pois desta forma não será necessário refazer as medições anualmente com aplicação da metodologia usual, o que evita o abate de indivíduos em crescimento com o fim de atender a exigências metodológicas. Por outro lado, sua aplicação permite a obtenção de informações importantes, principalmente quando comparadas a processos que usam imagens por satélites, uma vez que estas estimam os volumes de biomassa a partir de áreas de cobertura de copas, enquanto que o modelo proposto se utiliza de indicadores resultantes de pesquisas baseadas em medição rigorosa. Outro benefício é a redução de processos e de custos.

Foi possível identificar o volume de biomassa acumulada e o volume de CO₂ capturado pelas florestas de *Eucalyptus* plantadas para fins industriais no Estado do Paraná, com ciclo de 7 anos, em que um hectare de floresta acumula em torno de 379t.CO₂. E, o total de florestas plantadas de *Eucalyptus* no Estado sequestra, no mesmo período, em torno de 126,6x10⁶t.CO₂, enquanto que as emissões relativas ao preparo da área de plantio do Estado do Paraná é de 108,9x10³t.CO₂.

Em relação ao volume de CO₂ emitido nos processos industriais, também variam de acordo com o processo e, portanto, de acordo com a finalidade ou com o produto que está sendo elaborado. Assim, considerando a aplicação da madeira produzida no estado, na produção de energia, carvão vegetal, madeira serrada, celulose e papel, suas emissões foram o equivalente a 53,5x10⁶t.CO₂; portanto, permanecendo estocado o volume de 73,1x10⁶t.CO₂, correspondendo a 17,9x10⁶t.C, na forma de madeira serrada, celulose e papel, estendendo-se assim o ciclo de vida do C.

O Estado do Paraná é um dos principais produtores de *Pinus* do país; portanto, a participação deste gênero é bem expressiva em relação à produção florestal total do estado. Considerando que a principal destinação da madeira de *Pinus* é a produção de madeira e móveis e, que seu ciclo é de no mínimo 13 anos, nesse período os 653.566 ha de plantios, sequestram em torno de 639,4x10⁶t.CO₂; no processo de preparo do solo e plantio, suas emissões são em torno de 1,86x10³t.CO₂, mas quando se leva em conta todo o processo, o total de suas

emissões somam cerca de $163 \times 10^6 \text{t.CO}_2$, permanecendo estocado $476,4 \times 10^6 \text{t.CO}_2$, o que corresponde a cerca de $129,8 \times 10^6 \text{t.CO}_2$; portanto, em torno de 74% do C sequestrado pelas florestas de *Pinus*, permanece estocado nos produtos gerados.

O balanço dos GEE com foco no CO_2 das florestas industriais, de *Pinus* e *Eucalyptus* do Estado do Paraná; considerando-se o uso da madeira de *Pinus* e de *Eucalyptus* em função da destinação média para cada segmento e atividade de consumo no Estado e um ciclo de produção (de 13 e 7 anos respectivamente), o volume sequestrado é de cerca de $766 \times 10^6 \text{t.CO}_2$; as emissões ao longo dos processos é em torno de $216,5 \times 10^6 \text{t.CO}_2$; permanecendo estocado um volume em torno de $549,5 \times 10^6 \text{t.CO}_2$, o que representa cerca de $149,7 \times 10^6 \text{t.C}$ estocado.

Porém, se for considerado 2 ciclos de produção de 7 anos, para o *Eucalyptus* e um ciclo de 13 anos para o *Pinus*, mantendo-se a destinação da madeira nas mesmas proporções, os volumes são os seguintes: o total sequestrado de $892,6 \times 10^6 \text{t.CO}_2$; as emissões durante os processos é de $270 \times 10^6 \text{t.CO}_2$; permanecendo estocado cerca de $622,6 \times 10^6 \text{t.CO}_2$, o que representa $169,7 \times 10^6 \text{t.C}$ retido em estoque, cujo ciclo será estendido.

Com base nos volumes apresentados, pode-se afirmar que investir em florestamento e reflorestamento é uma alternativa ambiental e comercial. Pois, mesmo que para fins comerciais, é talvez uma das melhores alternativas para amenizar os efeitos das altas concentrações de GEE, tanto em razão de sequestrar o CO_2 da atmosfera e armazenar o C, quanto pela variedade de aplicação inclusive como fonte energética menos poluente.

Como tomar decisões exige informações e conhecimentos prévios, o modelo proposto permite a identificação do volume estimado de C sequestrado e estocado até determinada idade, tendo se como referência o IMAM; permitindo assim, conhecer previamente os volumes de C para cada área que se pretende plantar ou comercializar, por exemplo, os CC, ou ainda comercializar antecipadamente um determinado volume de madeira, com entrega futura; uma vez que o comércio da biomassa florestal, a cada dia mais, absorve os moldes de outras *commodities*, nos mercados nacional e internacional.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

A partir da realização deste trabalho observou-se a necessidade de maior integração entre os diversos organismos de controle e fiscalização da agrossilvicultura, pois no início encontramos dificuldades para a obtenção de informações, relativamente básicas e, principalmente em níveis regionais. Também observamos um lapso de tempo muito longo entre o momento dos levantamentos realizados no Estado e a disponibilização das informações resultantes, assim como informações mais precisas sobre os volumes de madeiras destinadas a cada segmento, do setor madeireiro e indústrias de base florestal. Desta forma, sugere-se algumas pesquisas que, se desenvolvidas, contribuirão tanto para o avanço do segmento madeireiro do Estado do Paraná, como sua aplicação em outros estados, quanto para melhor planejamento, elaboração de políticas de incentivo e linhas de crédito visando apoiar este setor, as quais são:

- ✓ Levantamentos, em nível regional, das reais áreas de florestas plantadas e a finalidade a que se destinam;
- ✓ Sobre volumes efetivamente consumidos pelos consumidores de madeira de base florestal, em cada segmento da cadeia produtiva;
- ✓ Estudo sobre os meios de integração das informações de nível regional (núcleos) com o banco de dados dos órgãos de controle em nível estadual;
- ✓ Pesquisa sobre os processos produtivos, quantificação das perdas nos processos e destino dos resíduos;
- ✓ Estudos sobre os impactos da monocultura de florestas plantadas com fins industriais sobre o bioma (ou a fauna) local;
- ✓ Estudo sobre as (principais) espécies de *Pinus* e *Eucalyptus* plantadas em cada região (núcleo) dos estados produtores, idades de desbastes e cortes e, sua produtividade;
- ✓ Volume de CO₂ e C acumulado, a cada ano e final, para cada espécie cultivada, em função do período de cultivo;

- ✓ Estudo sobre os espaçamentos entre os indivíduos e respectivas produtividades, identificando as espécies que apresentam maiores produtividades em cada região (núcleo) do estado;
- ✓ Avaliar como se comportou a cobertura florestal até 2015 e como está a taxa de crescimento das florestas plantadas em relação ao Plano Nacional sobre Mudanças Climáticas – PNMC;
- ✓ Verificar quantos e quais países conseguiram reduzir suas emissões, conforme acordo firmado no Protocolo de Kyoto; e,
- ✓ Estudo sobre o impacto da manutenção das florestas existentes/naturais resultante de sua exclusão no contexto dos benefícios do MDL, para a comercialização de CC.

REFERÊNCIAS

- ABRAF. **Anuário Estatístico ABRAF 2012 ano base 2011**. Brasília: ABRAF, 2012.
- ABRAF. **Anuário Estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013.
- AJANI, J.I; KEITH, H; BLAKERS, M; MACKEY, B.G; KING, H.P. **Comprehensive Carbon Stock and Flow Accounting: A national framework to support climate change mitigation policy**. *Ecological Economics*, 89, 61-72, 2013.
- AKHTARI, S; SOWLATI, T; DAY, K. **Economic Feasibility of Utilizing Forest Biomass in District Energy Systems – A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 117-127, 2014.
- ALMEIDA, D.H.; MOLINA, J.C.; ALMEIDA, T.H.; CALIL JUNIOR, C.; ALVES, A.C.L. **Determinação do Teor de Umidade e Densidade Básica para Espécies de *Pinus* e Eucalipto**. *Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas*, 4, 1, 2014.
- ANDRADE, T.; VARGAS, M.; RODRIGUES, D.F.; GUIRALDELI, I.; NOZAWA, M.L. **Mudanças Climáticas e Ciências Sociais: uma introdução**. *AUGMDOMUS*, 3, 1-9, 2011.
- ANJOS, R.A.M. **Estudo da Qualidade da Madeira Serrada de Três Espécies de Eucalipto**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – UFPR, Curitiba, 2013.
- ARANA, A.R.A; BOIN, M.N. **Reflorestamento com Eucalipto, fonte alternativa de renda sustentável no Pontal do Paranapanema**. *Mercator*, Fortaleza, 12,155-170, 2013.
- AROEIRA, L. **Créditos de Carbono no Brasil**. 2017. Disponível no endereço eletrônico: <http://planetaorganico.com.br/site/index.php/creditosdecarbononobrasil/>. E acesso em: 15/05/2017.
- BALBINOT, R.; VALÉRIO, À. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W.; SILVESTRE, R. **Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp em diferentes idades no sul do Estado do Paraná**. Curitiba, *Floresta*, 38, 2, 317-324, 2008.
- BASSANELLI, H.R.; BATISTA, G.T.; LOOS, R.A. **Emissões de Carbono em Função da Implantação de Eucalipto em Áreas Ocupadas com Pastagem**. The 4th International Congress on University-Industry Cooperation – Taubaté, SP – Brazil – 2012.
- BELLARBY, J; TIRADO, R; LEIP, A; WEISS, F; LESSCHENS, J.P; SMITH, P. **Livestock Greenhouse Gás Emissions and Mitigation Potential in Europe**. *Global Change Biology*, 19, 3-18, 2013.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A.; ANDRADE, G.C. **Resíduos da indústria da celulose em plantios florestais**. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, 37, 99–106, 1998.

BÖLLA, K.D.S.; MILIOLI, G; REICHOW, J.R.C. **Perspectivas da Complexa Relação entre Saúde e Ambiente**. *INTERthesis-UFSC*, Florianópolis, 10, 310-333, 2013.

BORDONAL, R. O. **Balço de gases de efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar sob diferentes cenários de manejo, considerando-se mitigações**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP, Jaboticabal, 2012.

BOUCHARD, S.; LANDRY, M.; GAGNON, Y. Methodology for the large scale assessment of the technical power potential of forest biomass: Application to the province of New Brunswick, Canada. *Biomass and bioenergy*, 54, 1-17, 2013.

BRAND, M. A.; STÄHELIN, T. S. F.; FERREIRA, J. C.; NEVES, M. D. **Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades**. *Árvore*, Viçosa, 38, 2, 353-360, 2014.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012**. Brasília, 2012.

BRASIL. Câmara dos Deputados/Centro de Documentação e Informação. **Normas Gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal**. Brasília: Câmara Federal, 2012.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT. **Protocolo de Quioto**. Brasília, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra do Cerrado**: Projeto Terra Class Cerrado. Brasília: MMA/SBF, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA)/Comissão Nacional de Meio Ambiente. **Lei nº 11.284, de 02 de Março de 2006 - Gestão de Florestas Públicas para a produção sustentável**. Brasília: MMA/SBF, 2006. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2004-2006/2006/Lei/L11284.htm

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA)/Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF). **Estudo Nacional do Setor Florestal Brasileiro**. Brasília: MMA/SBF, 2011.

BRIANEZI, D; JACOVINE, L. A. G; SOARES, C. P. B; GONÇAVES, W; ROCHA, S. J. S. S. **Balço das Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Campus da Universidade Federal de Viçosa**. *Floresta e Ambiente*, 21, 2, 182-191, 2014.

BRIGADÃO, C. **Dicionário de ecologia**. Rio de Janeiro: Toop Books; 1992.

BUENO, L. O. **Mudanças Climáticas no Contexto das Ciências e da Divulgação Científica**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – IPEN, USP, São Paulo, 2010.

CADERNOS NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Biocombustíveis**. 2 (jan. 2005). - Brasília: Núcleo de Assuntos

Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, 2005.

CALVIN, K. V.; BEACH, R.; GURGEL, A.; LABRIET, M.; RODRIGUEZ, A. M. L. G. **Agriculture, Forestry, and Other Land-use emissions in Latin America.** *Energy Economics*, 56, 615-624, 2016.

CAMBERO, C.; SOWLATI, T. **Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives – A review of literature.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 62–73, 2014.

CAMPOMAR, M. C. **Do uso de "estudo de caso" em pesquisas para dissertações e teses em administração.** *Revista de Administração*, 26, 3, 95-97, 1991.

CAMPOS, E. F. **Emissão de CO₂ da madeira serrada da Amazônia: o caso da exploração convencional.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – USP, São Paulo, 2012.

CAMPOS, P. C. **A Conservação das florestas no Brasil, mudanças do clima e o mecanismo de desenvolvimento limpo no Protocolo de Quioto.** Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

CASTRO, H. F. **Processos Químicos Industriais II.** Papel e Celulose. USP/EEL: Lorena, 2009.

CERVO, A. L.; SILVA, R.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica.** 6 ed. São Paulo: Pearson, 2007.

CGEE. **Manual de capacitação sobre Mudança Climática e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).** Ed. rev. e atual. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba, 2005.

CINTAS, O., BERNDIS, G., COWIE, A. L., EGNELL, G., HOLMSTRÖM, H., ÅNGREN, G. I. **The Climate Effect of Increased Forest Bioenergy use in Sweden: evaluation at different spatial and temporal scales.** *WIREs Energy Environ*, 5, 351–369, 2016.

CISMC – Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC.** Brasília: Governo Federal, 2008.

CO2.EART. **CO₂ foi lançado.** 2017. Disponível em: <https://www.co2.earth/> - Acessado em 14/09.2017 às 08:23 hs.

COLTRI, P. P.; LAZARIM, C.; DIAS, R.; ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H. S. **Estoque de carbono em sistemas cafeeiros a pleno sol e cultivado com macadâmia no sul de Minas Gerais, Brasil.** *Anais...* In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7, 2011, Araxá. *Anais...* Brasília, DF: Embrapa Café, 2011.

CONSUFOR. **Composição da Área de Florestas Plantada no Brasil**. Curitiba-Pr, Fevereiro, 2014. http://revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1395143448_0482050e1cf_760a2df1a803d32e84143_355102058.pdf. Acesso 01/03/2017.

COOK, R. L.; BINKLEY, D.; STAPE, J. L. ***Eucalyptus* plantation effects on soil carbon after 29 years and three rotations in Brazil**. *Forest Ecology and Management*, 359, 92-98, 2016.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JUNIOR, G. B. **Integração labouira-pecuária e interação labouira-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo**. Brasília, Cadernos de Ciência & Tecnologia, 32, 1, 2, 15-53, 2015.

COSIC, B.; STANIC, Z.; DUIC, N. **Geographic distribution of economic potential of agricultural and forest biomass residual for energy use: Case study Croatia**. *Energy* 36, 2017-2028, 2011.

COUTINHO, V. M.; CORTE, A. P. D.; SANQUETA, C. R.; HENTZ, A. M. K.; EISFELD, R. L.; NASCIMENTO, F. A. F. **Mapeamento das áreas plantadas com *Eucalyptus* spp. no Estado do Paraná**. *Biofix Scientific Journal*, 2,1, 32-43, 2017.

CRESSEY, D. **Cancelled project spurs debate over geoenengineering patents: SPICE research consortium decides not to field-test its technology to reflect the Sun's rays**. *Nature*, 485, 399-429, 2012.

CREUTZIG, F.; RAVINDRANATH, N. H.; BERNDDES, G.; BOLWIG, S.; BRIGHT, R.; CHERUBINI, F.; CHUM, H.; CORBERA, E.; DELUCCHI, M.; FAAIJ, A.; FARGIONE, J.; HABERL, H.; HEATH, G.; LUCON, O.; PLEVIN, R.; POPP, A.; ROBLEDO-ABAD, C.; ROSE, S.; SMITH, P.; STROMMAN, A.; SUH, S.; MASERA, O. **Bioenergy and climate change mitigation: an assessment**. *GCB Bioenergy*, 7, 916–944, 2015.

CUBBAGE, F.; DONAH, P. M.; SAWINSKI JR, J.; RUBILAR, R.; DONOSO, P.; FERREIRA, A.; HOEFLICH, V.; OLMOS, V. M.; FERREIRA, G.; BALMELLI, G.; SIRY, J.; BÁEZ, M. N.; ALVAREZ, J. **Timber investment returns for selected plantations and native forests in South America and the Southern United States**. *New Forests*, 33, 237-255, 2007.

DALE, V. H; LANGHOLTZ, M. H; WESH, B. M; EATON, L. M. **Environmental and Socioeconomic Indicators for Bioenergy Sustainability as Applied to *Eucalyptus***. *International Journal of Forestry Research*, 2013, 1-11, 2013.

DALLAGNOL, F. S.; MOGNON, F.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P. **Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos**. *Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, 18, 410-416, 2011.

DAVID, H. C.; PÉLLICO NETO, S.; ARCE, J. E.; DALLA CORTE, A. P.; MARINHESKI FILHO, A.; ARAÚJO, E. J. G. **Efeito da qualidade do sítio e do desbaste na produção de *Pinus***. *Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, 24, 1-11, 2017.

DE LA TORRE, W. G.. **Florestas plantadas fazem do meio ambiente deserto verde. Você concorda?** Painel Florestal. 2013.
<http://www.painelflorestal.com.br/noticias/silvicultura/florestasplantadasfazemdomedioambientesdesertoverdevoceconcorda>

DeCICCO, J. M. **The Liquid Carbon Challenge: evolving views on transportation fuels and climate.** *WIREs Energy Environ*, 4, 98-114, 2015.

DEL QUIQUI, E. M.; DELELI, M. W.; MACIEL, J. P. R.; HORA, R. C.; POSSENTI, J. C. **Desenvolvimento de Oito Espécies de *Eucalyptus* na Região Noroeste do Paraná aos 7 anos de idade.** *Journal of Agronomic Sciences*, 4, 60-70, 2015.

DEL QUIQUI, E. M.; MARTINS, S. S.; SHIMIZU, J. V. **Avaliação de Espécies e Procedências de *Eucalyptus* para o Noroeste do Estado do Paraná.** *Acta Scientiarum*, 23, 1173-1177, 2001.

DENARDIN, R. B. N.; MATTIAS, J. L.; WILDNER, L. P.; NESI, C. N.; SORDI, A.; KOLLING, D. F.; BUSNELLO, F. J.; CERUTTI, T. **Estoque de carbono no solo sob diferentes Formações Florestais, Chapecó – SC.** *Ciência Florestal*, 24, 59-69, 2014.

DERECZYNSKI, C. P.; SILVA, M. G. A. J.; CRUZ, F. T. L. **Avaliação econômica do sequestro de CO₂ a partir do plantio de florestas industriais.** 1998.
<http://www.cbmet.com/cbm-files/13-163e97d0ad4920c2471a46c25246b548.pdf>

DONDINI, M.; JONES, E.; RICHARDS, M.; POGSON, M.; ROWE, R. L.; KEITH, A. M.; PERKS, M. P.; MCNAMARA, N. P.; SMITH, J. U.; SMITH, P. **Evaluation of the ECOSSE model for simulating soil carbon under short rotation forestry energy crops in Britain.** *GCB Bioenergy*, 7, 527-540, 2015.

ECCLESTON, C. H. **Can Geo-engineering reverse climate change?** *Environmental Quality Management*, 19, 2, 21-28, 2009.

EISFELD, R. L.; NASCIMENTO, F. A. F. **Mapeamento dos Plantios Florestais do Estado do Paraná – *Pinus* e *Eucalyptus*.** Curitiba: Instituto de Florestas do Paraná, 2015.

EMBRAPA FLORESTAS. **Plantações Florestais: Geração de benefícios com baixo impacto ambiental.** Embrapa Florestas: Dezembro, 2015.

EMBRAPA FLORESTAS. **Plantações Florestais: Geração de benefícios com baixo impacto ambiental.** Embrapa Florestas: Maio, 2016.

FAAIJ, A. **Modern biomass conversion technologies.** *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11, 343–375, 2006.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. **Global Forest Resources Assessment 2005.** Main Report, 2006.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. **Bosques y energía: Cuestiones Claves.** Main Report, 2008.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. **Evaluación de los recursos forestales mundiales.** Main Report, 2010.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. **Global Forest Resources Assessment 2015**. Main Report, 2016

FAO - United Nations Food and Agriculture Programme. **State of the World's Forests**. Main Report, 2007.

FARIA, R. S. **Biomassa e estoque de carbono de plantas intactas e de brotações de eucalipto em espaçamento amplo**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.

FENG, C; GAO, X; WU, J; TANG, Y; HE, J; QI, Y. **Greenhouse gas emissions investigation for towns in China: a case study of Xiaolan**. *Journal of Cleaner Production*, 103, 130-139, 2015.

FERREIRA, V.; KORICHEVA, J.; POZO, J.; GRAÇA, M. A. S. **A meta-analysis on the effects of changes in the composition of native forests on litter decomposition in streams**. *Forest, Ecology and Management*, 364, 27-38, 2016.

FOELKEL, C. **Aspectos práticos conceituais sobre a fabricação de celulose de mercado do tipo Kraft branqueada a partir da madeira de eucalipto**. *Eucalyptus Online Book & Newsletter*. Cap. 31. 2013.

FOELKEL, C. **Resíduos sólidos industriais da produção de celulose Kraft de Eucalipto** – parte 1: Resíduos orgânicos fibrosos. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/> acessado em: 15/05/2018.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRÖM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. **Solutions for a cultivated planet**. *Nature*, 478, 337–342, 2011.

FRANCO, J.L.A. **A Primeira Conferência Brasileira de Proteção à Natureza e a Questão da Identidade Nacional**. Belo Horizonte: UFMG, *Varia História*, 26, 77-96, 2002.

FREITAS, F. L. M.; ENGLUND, O.; SPAROVEK, G.; BERNDDES, G.; GUIDOTTI, V.; PINTO, L. F. G.; MÖRTBERG, U. **Who owns the Brazilian carbon?** *Global Change Biology*, 24, 2129–2142, 2018. wileyonlinelibrary.com/journal/gcb

FREITAS, L. J. G. G. **A Evolução Histórica do Brasil na Agenda Internacional das Mudanças Climáticas**. Dissertação (Mestrado em Relações Internacionais) – UNB, Brasília, 2012.

FROMBO, F.; MINCIARDI, R.; ROBBA, M.; ROSSO, F.; SACILE, R. **Planning woody biomass logistics for energy production: A strategic decision model**. *Biomass and Bioenergy*, 33, 372-383, 2009.

GALDOS, M.; CAVALETT, O.; SEABRA, J. E. A.; NOGUEIRA, L. A. H.; BONOMI, A. **Trends in global warming and human health impacts related to Brazilian sugarcane ethanol production considering black carbon emissions**. *Applied Energy*, 104, 576–582, 2013.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. A. **Estoque de Carbono na Biomassa de Plantações de Eucalipto na**

Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. *Revista Árvore*, 35, 895-905, 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GLATZLE, A. **Questioning key conclusions of FAO publications ‘Livestock’s Long Shadow’ (2006) appearing again in ‘Tackling Climate Change Through Livestock’ (2013).** *Research, Policy and Practice*, 4, 1-6, 2014.

GLIKSON, A. **Cenozoic mean greenhouse gases and temperature changes with reference to the Anthropocene.** *Global Change Biology*, 22, 3843-3858, 2016.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil.** *Estudos Avançados*, 21, 59, 7-20, 2007.

GOMES, R. R. M. **Uso de dinâmica de sistemas para simulação de remoções de gases do efeito estufa em floresta de eucalipto.** Tese (Doutorado em Engenharia da Produção) – UFMG, Belo Horizonte, 2014.

GONÇALVES, J. L. M.; ÁLVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. **Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations.** *Forest Ecology and Management*, 301, 6-27, 2013.

GOUELLO, C.; SOARES FILHO, B.; NASSAR, A. **Estudo de Baixo Carbono para o Brasil – Relatório de Síntese Técnica.** Washington: Banco Mundial, 2010.

GRAHAM, R. L.; TURNER, M. G.; DALE, V. H. **How increasing CO₂ and climate change affect forests.** *BioScience*, 40, 8, 575-587, 1990.

GREAVES, E. D.; MARIN, Y.; VISAEZ, F.; HERNÁNDEZ E. J. V. **Forestry plantations of *Pinus caribaea* in Venezuela as a solar energy collector.** *Interciencia*, 40, 457-464, 2015.

GREENBLATT, J.B. **Modeling California policy impacts on greenhouse gas emissions.** *Energy Policy*, 78, 158-172, 2015.

GREGSON, N.; CRANG, M.; LAWS, J.; FLEETWOOD, T.; HOLMES, H. **Moving up the waste hierarchy: Car boot sales, reuse exchange and the challenges of consumer culture to waste prevention.** *Resources, Conservation and Recycling*, 77, 97-107, 2013.

GUINÉE, J. B.; HIPPEL, G.; HEIJUNGS, R.; **Developing an LCA guide for decision support.** *Environmental Management and Health*, 12, 3, 301-311, 2001.

GUO, L. B., GIFFORD, R. M. **Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis.** *Global Change Biology*, 8, 345–360, 2002.

HAI-QING, H.; YUAN-CHUN, L.; YAN, J. **Estimation of the carbon storage of forest vegetation and carbon emission from forest fires in Heilongjiang Province, China.** *Journal of Forestry Research*, 18, 17-22, 2007.

HAMEL, E. H. **Desafios do desenvolvimento sustentável e os recursos naturais.** *Revista Brasileira de Direito*, 12, 1, 1-11, 2016.

HARIPRIYA, G. S. **Carbon budget of the Indian forest ecosystem.** *Climatic Change*, 56, 291-319, 2003.

HIGUCHI, F.G. **Dinâmica de volume e biomassa da floresta de terra firme do Amazonas.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – UFPR, Curitiba, 2015.

HOFFMANN, R.; BERGER, R. **Determinação da idade ótima de corte de povoamentos de *Eucalyptus*.** *IPEF*, 7, 49-69, 1973.

HORIO, M.; SHIGETO, S.; LI, R.; SHIMATANI, Y.; HIDAKA, M. **Potential of the renewable energy exodus (a mass rural remigration) for massive GHG in Japan.** *Applied Energy*, 160, 623-632, 2015.

IBÁ. **Dados e estatísticas.** <http://iba.org/pt/dados-e-estatisticas>, acesso: 29/03/2017.

IBÁ. **Indústria Brasileira de Árvores – Anuário Ibá_2014.** IBÁ, 2014. www.iba.org

IBÁ. **Relatório IBÁ 2015.** www.iba.org

INTERNATIONAL PAPER DO BRASIL LTDA. **Manual fomento florestal.** São Paulo: International Paper, 2007.

IPCC – International Panel on Climate Change. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.** Kamiyamaguchi Hayama-JP, Institute for Global Environmental Strategies-IGES, 2003.

JOBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. **The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation.** *Ecological Applications*, 10, 423–436, 2000.

JOLY, C. A. **Biodiversidade e Mudanças Climáticas: Contexto Evolutivo, Histórico e Político.** *Ambiente & Sociedade*. Campinas, X, 1, 2007.

JOYCE, L. A.; BENTRUP, G.; CHENG, A. S.; KOLB, P.; SCHOENEBERGER, M.; DERNER, J. **Native and agricultural forests at risk to a changing climate in the Northern Plains.** *Climatic Change*, 146, 59-74, 2018.

KEITH, H.; LINDENMAYER, D.; MACINTOSH, A.; MACKEY, B. **Under what circumstances do wood products from native forests benefit climate change mitigation?** *Journal PloS ONE*, 10, 10, 2015.

LAL, R. **Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security.** *American Institute of Biological Sciences*, 60, 708-721, 2010.

LAL, R.; **Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security.** *Science*, 304, 5677, 1623-1627, 2004.

LAU, L. C.; LEE, K. T.; MOHAMED, A. R. **Global warming mitigation and renewable energy policy development from the Kyoto Protocol to the**

Copenhagen Accord – A comment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 5280–5284, 2012.

LAURENT, A-B.; GABOURY, S.; WELLS, J-R.; BONFILS, S.; BOUCHER, J-F.; SYLVIE, B.; D'AMOURS, S.; VILLENEUVE, C. **Cradle-to-gate life-cycle assessment of a glued-laminated wood product from Quebec's boreal forest.** *Forest Products Journal*, 63, 5/6, 190-198, 2013.

LE, L. T.; IERLAND, E. C. V.; ZHU, X.; WESSELER, J. **Energy and greenhouse as balances of cassava-based ethanol.** *Biomass and bioenergy*, 51, 125-135, 2013.

LIMA, M. C. D.; BARRETO, P. A. B.; SANQUETTA, C. R.; NOVAES, A. B.; MELO, L. C. **Quantificação de biomassa e carbono de *Pinus caribaea* var *hondurensis* no Sudoeste da Bahia.** IV Seeflor-BA. Vitória da Conquista, 02 a 04 Mar/2016.

LIMA, R. **Crescimento, biomassa e carbono de *Pinus taeda* L. em função do espaço vital.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – UFPR, Curitiba, 2014.

LIMA, R.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; INOUE, M. T.; PACHECO, J. M. **Volume de madeira de *Pinus taeda* L. em diferentes espaços vitais de crescimento.** *Inst. Florestal*, 27, 2, 167-175, 2015.

LIU, J. C.; TEMME, A. A.; CORNWELL, W. K.; VAN LOGTESTIJN, R. S. P.; AERTS, R. **Does plant size affect growth responses to water availability at glacial, modern and future CO₂ concentrations?** *Ecological Research*, 31, 213-227, 2016.

LOEFFLER, D.; ANDERSON, N. **Emissions Tradeoffs Associated with Cofiring Forest Biomass with Coal: A case study in Colorado, USA.** *Applied Energy*, 113, 67–77, 2014.

LUNDKVIST, K.; LARSSON, K.; SAMUELSSON, C. **Optimisation of a centralised recycling system for steel plant by-products, a logistics perspective.** *Resources, Conservation and Recycling*, 77, 29-36, 2013.

MACHADO, R. R.; CONCEIÇÃO, S. V.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; WOLFF, E. **Evaluation of forest growth and carbon stock in forestry projects by system dynamics.** *Journal of Cleaner Production*, 96, 520-530, 2015.

MAIER, C. A.; ALBAUGH, T. J.; COOK, R. I.; HALL, K.; MCLNNIS, D.; JOHNSEN, K. H.; JOHNSON, J.; RUBILAR, R. A.; VOSE, J. M. **Comparative water use in short-rotation *Eucalyptus benthamii* and *Pinus taeda* trees in the Southern United States.** *Forest Ecology and Management*, 397, 126–138, 2017.

MANGOYANA, R. B.; SMITH, T. F. **Decentralised bioenergy systems: A review of opportunities and Threats.** *Energy Policy*, 39, 1286-1295, 2011.

MANRIQUE, S.; FRANCO, J.; NÚÑEZ, V.; SEGHEZZO, L. **Potential of native forests for the mitigation of greenhouse gases in Salta, Argentina.** *Biomass and Bioenergy*, 35, 2184-2193, 2011.

MARTENS, E.; COUTINHO, A. R. **Estimativa do balanço de carbono de florestas industriais no Estado do Paraná.** In: VII Congresso Brasileira de

Engenharia de Produção (ConBrepro), 2017, Ponta Grossa, Anais eletrônicos, Ponta Grossa: AprePro disponível em: <http://www.aprepro.org.br/conbrepro/2017/anais.php?ordem01=autor&ordem02=titulo> acesso em: 19/12/2017.

MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F.; VICTORIA, R. L. **Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia.** In: *Anais do Seminário de Emissão x Sequestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil.* RJ, CVRD, 1994.

MARTINI, A. J. **O Plantador de Eucaliptos:** a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade. Dissertação (Mestrado em História Social) – USP, São Paulo, 2004.

MATTINEN, M. K.; TAINIO, P.; SALO, M.; JALAS, M.; NISSINEN, A.; HEISKANEN, E. **How building users can contribute to greenhouse-gas emission reductions in Finland:** comparative study of standard technical measures, user modifications and behavioural measures. *Energy Efficiency*, 9, 301–320, 2016.

MATTOS, E. M. **Caracterização da sazonalidade do crescimento do lenho, da copa e da eficiência do uso da luz em clones do gênero *Eucalyptus*.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – USP/ESALQ, Piracicaba, 2015

MAZZOCHIN, M. S. **Indústria Madeireira Mundial e Brasileira: O Caso Paranaense.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – UNIOESTE. Francisco Beltrão, 2010.

MEDERSKI, P. S.; BEMBENEK, M.; KARASZEWSKI, Z.; GIEFING, D. F.; SULIMA-OLEJNICZAK, E.; ROSIŃSKA, M.; LACKA, A. **Density and mechanical properties of scots pine (*pinus sylvestris* L.) wood from a seedling seed orchard.** *Drewno*, 58, 195, 2015.

MEINSHAUSEN, M.; SMITH, S. J.; CALVIN, K.; DANIEL, J. S.; KAINUMA, M. L. T.; LAMARQUE, J. F.; MATSUMOTO, K.; MONTZKA, S. A.; RAPER, S. C. B.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; VAM VUUREN, D. P. P. **The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300.** *Climatic Change*, 109, 213-241, 2011.

MELLO, A. A.; SANQUETTA, C. R.; EISFELD, R. L.; NAKAJIMA, N. Y. **Quantidade de carbono remanescente e retirado em povoamentos de *Pinus taeda* no Sul do Paraná.** *Ciências Agrárias e Ambientais*, 8, 2, 123-130, 2010.

MEYNARD, C. N.; SOTO-GAMBOA, M.; HEADY III, P. A.; FRICK, W. F. **Bats of the Chilean temperate rainforest: patterns of landscape use in a mosaic of native forests, *eucalyptus* plantations and grasslands within a South American biodiversity hotspot.** *Biodivers Conserv*, 23, 1949-1963, 2014.

MIGUEL, P. A. C. (org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

- MIRANDA, I. S., ABSY, M. L. **Fisionomia das savanas de Roraima, Brasil.** Manaus, *Acta Amazônica*, 30, 3, 423-440, 2000.
- MONTEIRO, C. E. P.; LEITE, J. R. M.; MELO, M. E. **Rio + 20** [Recurso eletrônico]: temas da Rio + 20: desafios e perspectivas. Florianópolis: Fundação Boiteux, 2012.
- MOREIRA, J. M. M. A. P. **Potencial e participação das florestas na matriz energética.** *Pesquisa Florestal Brasileira*, 31, 68, 363-372, 2011.
- MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; OLIVEIRA, E. B. **Importância e desempenho das florestas plantadas no contexto do agronegócio brasileiro.** *Floresta*, 47, 85-94, 2017.
- MOTTA, D.; SILVA, W. F.; DINIZ, E. N. **Rentabilidade na plantação do eucalipto.** VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (VII SEGeT): Resende-RJ, 2010.
- MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – UFV, Viçosa, 2005.
- MURPHY, F.; DEVLIN, G.; McDONNELL, K. **Forest biomass supply chains in Ireland: A life cycle assessment of GH emissions and primary energy balances.** *Applied Energy*, 116, 1-18, 2014.
- NATURE. **Carbon cycle.** 2006. Disponível em: <<http://www.nature.com>>.
- NEGRI, E. L. **Balanço de carbono na produção de papel e celulose – Estudo de uma empresa da região sudeste.** Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – UNIMEP, Santa Bárbara D'Oeste, 2008.
- NZILA, J. D.; BOUILLET, J. P.; LACLAU, J. P.; RANGER, J. **The effects of slash management on nutrient cycling and tree growth in *Eucalyptus* plantations in the Congo.** *Forest Ecology and Management*, 171, 209-221, 2002.
- OELTJEN, J. C.; FISCHER, L. K. **Allocation of rights to water: Preferences, priorities and the role of the market.** *Nebraska Law Review*, 57, 2, 245-282, 1978.
- OLIVEIRA JR, E. D.; SEIXAS, F. **Análise energética de dois sistemas mecanizados na colheita do eucalipto.** *Scientia Florestalis*, 70, 49-57, 2006.
- OLIVEIRA NETO, S. N.; VALE, A. B.; NACIF, A. P.; VILAR, M. B.; ASSIS, J. B. **Sistema agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta.** Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 2010.
- OLIVEIRA, M. F. **Critérios para o manejo sustentável de duas espécies madeireiras das florestas tropicais do Mato Grosso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – UFPR, Curitiba, 2014.
- ORELLANA, B. B. M. A. N. **Quantificação da biomassa e potencial energético de *Tachigali vulgaris* em áreas plantadas no Estado do Amapá.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – UNB, Brasília, 2015.
- ORO, T. H.; QUIQUI, E. M. D.; ORO, P. **Desempenho inicial de espécies de *Eucalyptus* no Noroeste do Paraná.** *Cultivando o Saber*, 5, 2, 140-148, 2012.

OSAKI, F.; DAROLT, M. R. **Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na Região Metropolitana de Curitiba.** Curitiba, Scientia Agrária, 11, 1-2, 197-205, 1991.

PACHECO, J. M.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; MACHADO, S. A.; LIMA, R. **Efeito da densidade inicial no crescimento de *Pinus taeda* L. na região Centro Sul do Paraná.** Piracicaba. Scientia Florestalis, 43, 106, 353-365, 2015.

PAIXÃO, F. A. **Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de alternativas de uso de um povoamento de eucalipto.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – UFV, Viçosa, 2004.

PALIWAL, U.; SHARMA, M.; BURKHART, J. F. **Monthly and spatially resolved black carbon emission inventory of India: uncertainty analysis.** *Atmospheric, Chemistry and Physics*, 16, 12457-12476, 2016.

PANDEY, C. B.; SINGH, G. B.; SINGH, S. K.; SINGH, R. K. **Soil nitrogen and microbial biomass carbon dynamics in native forests and derived agricultural land uses in a humid tropical climate of India.** *Plant Soil*, 333, 453-467, 2010.

PARMAR, K.; KEITH, A. M.; ROWE, R. L.; SOHI, S. P.; MOECKEL, C.; PEREIRA, M. G.; McNAMARA, N. P. **Bioenergy driven land use change impacts on soil greenhouse gas regulation under Short Rotation Forestry.** *Biomass and Bioenergy*, 82, 40-48, 2015.

PAULESKI, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). UFSM, Santa Maria, 2010.

PEDROSA, T. D.; MASCARENHAS, A. R. P.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M. **Estimativa da biomassa em um plantio de *Eucalyptus grandis* na Região Centro-Oeste.** *Scientia Plena*, 9, 1-7, 2013.

PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; FONSECA, S. **Estoque de carbono e nitrogênio em argissolo submetido ao monocultivo de *Eucalyptus urograndis* e em rotação com *Acácia mangium*.** *Ciência Florestal*, 24, 935-946, 2014.

PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; FONSECA, S.; DAMBROZ, C. S. **Estoque de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em argissolo sob eucalipto e pastagem.** *Ciência Florestal*, 21, 2, 261-273, 2011.

PÉLLICO NETTO, S.; KAUANO, E. E.; CORAIOLA, M.; WEBER, S. H.; ERDELYI, S. **Estimativa do potencial de neutralização de dióxido de carbono no programa vivat neutracarbono em Tijucas do Sul, Agudos do Sul e São José dos Pinhais, PR.** Curitiba, Ciências Agrárias e Ambientais, 6, 2, 293-306, 2008.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na indústria de celulose e papel – Estudo de caso.** Tese (Doutorado em Engenharia) - USP, São Paulo, 2003.

PUENTES, R. S. E. S. **Expansão das florestas plantadas com fins energéticos no Brasil e sua influência nas emissões dos gases de efeito**

estufa – GEE: análise de dois cenários futuros. Dissertação (Mestrado em Planejamento Estratégico) – UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

RATUCHNE, L. C.; KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHAMNE, P. A. **Estado da arte na quantificação de biomassa em raízes de formações florestais.** *Floresta e Ambiente*, 23, 3, 450-462, 2016.

REESON, A.; RUDD, L.; ZHU, Z. **Management flexibility, price uncertainty and the adoption of carbon forestry.** *Land Use Policy*, 46, 267-272, 2015.

REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; SZABO, M. S. **O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na Região Sudoeste do Paraná.** *Synergismus Scientifica*, 06, 1, 1-7, 2011.

REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; VALENTE, O. F.; FERNANDES, H. A. C. **Sequestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.** In: Seminário Emissão x Sequestro de CO₂, 1994, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Cia Vale do Rio Doce, 155-195, 1994.

REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE/MINISTÉRIO DA TERRA, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO RURAL. **Estratégia nacional para redução de emissões, de emissões e degradação florestal, conservação de florestas e aumento de reservas de carbono através de florestas (REDD+) 2016-2030.** Maputo, DINAF, 2016.

REZAIE, B.; ROSEN, M. A. **District heating and cooling Review of technology and potential enhancements.** *Applied Energy*, 93, 2-10, 2012.

REZENDE, A. J.; DALMÁCIO, F. Z.; RIBEIRO, M. S.; ROSAS, M. R. **A potencialidade dos créditos de carbono na geração de lucro econômico sustentável da atividade de reflorestamento brasileiro: Um Estudo de Caso no Estado do Mato Grosso do Sul.** 30º EnANPAD – 2006, Salvador, 1-17, 2006.

REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. **Incrementos anuais de volume, massa e idade ideal de corte para *Eucalyptus grandis*.** *IPEF*, 32, 43-48, 1986.

RIBEIRO, L. L. B. **Análise do resultado financeiro da produção de eucalipto das cidades do território do Alto Rio Pardo – MG.** Dissertação (Mestrado em Administração) – Fundação Pedro Leopoldo. Pedro Leopoldo, 2013.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; SOUZA, A. L.; NARDELLI, A. M. B. **Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no Município de Viçosa, Minas Gerais.** *Árvore*, 33, 5, 917-926, 2009.

RICHARDS, C.; LYONS, K. **The new corporate enclosures: Plantation forestry, carbon markets and the limits of financialised solutions to the climate crisis.** *Land Use Policy*, 56, 209-216, 2016.

RICHARDSON, R. J.; PERES, J. A. S.; WANDERLEY, J. C. V.; CORREIA, L. M.; PERES, M. H. M. **Pesquisa social: métodos e técnicas.** 3 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

RODRIGUES, R. R. **Riscos de eventos meteorológicos extremos diante das mudanças climáticas.** In: Rio + 20 [Recurso eletrônico]: temas da Rio + 20: desafios e perspectivas. (LEITE, et. al.– Organizadores). Florianópolis: Fundação Boiteux, 2012.

RORIZ, G. F. S. **O sequestro florestal de carbono em áreas (RE) florestadas como atividade agrária para um novo conceito de produtividade do imóvel agrário.** Dissertação (Mestrado em Direito Agrário) – UFG, Goiânia, 2010.

ROTTERS, D. F. **Carbono e nitrogênio em cultivo de *Pinus* em cambissolo húmico no Planalto Catarinense.** Dissertação (Mestrado em Ciências Agroveterinárias) – UDESC, Lages, 2016.

ROYNE, F.; PEÑALOZA, D.; SANDIN, G.; BERLIN, J.; SVANSTRÖM, M. **Climate impact assessment in life cycle assessments of forest products: implications of method choice for results and decision-making.** *Journal of Cleaner Production*, 116, 90-99, 2016.

SAITO, C. H. **Educação ambiental PROBIO.** Brasília: Departamento de Ecologia da UnB/MMA, 2006.

SALIBA, S. E. **Estimativa da emissão de gases de efeito estufa e sequestro de carbono em um sistema de produção agrícola.** Dissertação (Mestrado Profissional em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – UFSCar, São Carlos, 2015.

SANQUETTA, C. R. **Métodos de determinação de biomassa florestal.** In: Sanquetta C. R., Watzlawick L.F., Balbinot R, editors. *As florestas e o carbono.* Curitiba: UFPR; 2002.

SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A; CORTE, A.P.D; SIMON, A.; MOCHIUTTI, S. **Estoque de biomassa e carbono em povoamentos de *Acácia* negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul.** *Scientia Forestalis*, 42, 103, 361-370, 2014.

SANQUETTA, C. R.; MORA, A. L.; BORSATO, R.; VIDAL, M. A. S.; PEIXOTO, A. M. M.; CHIARANDA, R. **Efeito do espaçamento de plantio em reflorestamentos de *Pinus taeda* L. em Jaguariaíva- PR.** *Acadêmica*, 1, 1, 55-61, 2003.

SANQUETTA, C. R.; REZENDE, A. V.; GAIADA, R.; ZAMPIER, A. C.; ARCE, J. E. **Produção de madeira para celulose em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes densidades de plantio e regimes de desbaste.** *Cerne*, 10, 154-166, 2004.

SANQUETTA, C. R.; WATZALAWICK, L. F.; SCHUMACHER, M. V.; MELLO, A. A. **Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de *araucária angustifolia* e *Pinus taeda* no sul do Estado do Paraná, Brasil.** *Ciências Agrárias e Ambientais*, 1, 33-40, 2003.

SARAIVA, A. B.; VALLE, R. A. B; BOSQUE JR, A. E. S.; BERGLIN, N. **Provision of pulpwood and short rotation *Eucalyptus* in Bahia, Brazil – Environmental impacts based on lifecycle assessment methodology.** *Biomass and Bioenergy*, 105, 41-50, 2017.

SASEENDRAN, S. A.; SINGH, K. K.; RATHORE, L. S.; SINGH, S. V.; SINHA, S. K. **Effects of climate change on rice production in the tropical humid climate of Kerala, India.** *Climatic Change*, 44, 4, 495-514, 2000.

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. **O papel das florestas plantadas para atendimento das demandas futuras da sociedade.** XIII Congresso Florestal Mundial – FAO, Buenos Aires, 18 a 23 de Outubro de 2009.

SCHIKOWSKI, A. B.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. **Modelagem do crescimento e de biomassa individual de *Pinus*.** Pesquisa Florestal Brasileiras, Colombo, 33, 75, 269-278, 2013.

SCHISTEK, H. **Caatinga: um bioma exclusivamente brasileiro... e o mais frágil.** EDIÇÃO 389. SÃO LEOPOLDO: ABRIL/2012. <http://www.ihuonline.unisinos.br/media/pdf/IHUOnlineEdicao389.pdf> - Acesso em: 05/10/2017, às 22:20hs.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. **Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades Rurais em Vera Cruz, RS.** *Ciência Florestal*, 21 (1), 17-22, 2011.

SEARLE, S. Y.; MALINS, C. J. **Will energy crop yields meet expectations?** *Biomass and Bioenergy*, 65, 3-12, 2014.

SEEG BRASIL. **Mudança de uso da terra (1970-2013).** Observatório do Clima, 2014. <http://seeg.eco.br/mudanca-de-uso-da-terra/>

SEGHEZZO, L.; VOLANTE, J. N.; PARUELO, J. M.; SOMMA, D. J.; BULIUBASICH, E. C.; RODRÍGUEZ, H. E.; GAGNON, S.; HUFTY, M. **Native forests and agriculture in Salta (Argentina).** *Journal of Environment & Development*, 20, 3, 251-277, 2011.

SETTE JUNIOR, C.; NAKAJIMA, N.; GEROMINI, M. **Captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. na Região de Rio Negrinho, SC.** *Floresta*, 36, 2006.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico.** 24 ed. São Paulo: Cortez, 2016.

SFB – SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB/MMA). **Florestas do Brasil em resumo – 2010:** dados de 2005-2010. Brasília: SFB, 2010.

SFB – SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB/MMA). **Florestas do Brasil em resumo – 2013:** dados de 2007-2012. Brasília: SFB, 2013.

SFB – SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB/MMA). **Florestas do Brasil em resumo – 2010:** dados de 2005-2010. Brasília: SFB, 2016.

SHARMA, N.; NAIRWAL, S.; JAIN, S.; JAIN, S. **Emerging Biorefinery Technologies for Indian Forest Industry to Reduce GHG Emissions.** *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121, 105-109, 2015.

SHEN, X.; KOMMALAPATI, R. R.; HUQUE, Z. **The Comparative Life Cycle Assessment of Power Generation from Lignocellulosic Biomass.** *Sustainability*, 7, 12974-12987, 2015.

SIKKEMA, R.; JUNGINGER, M.; McFARLANE, P.; FAAIJ, A. **The GHG contribution of the cascaded use of harvested wood products in comparison with the use of wood for energy** – A case study on available forest resources in Canada. *Environmental Science & Policy*, 31, 96-108, 2013.

SILVA, C. A.; KLAUBERG, C.; CARVALHO, S. P. C.; PICCOLO, M. C.; RODRIGUEZ, L. C. E. **Estoque de carbono na biomassa aérea florestal em plantações comerciais de *Eucalyptus* spp.** *Scientia Forestalis*, 43, 135-146, 2015.

SILVA, D. F.; TAVARES-NETO, J; RÊGO, R. F. **Lesões oculares em trabalhadores da pesca comercial: revisão da literatura.** *Rev. Bras. Saúde Ocupacional*, 41, 1-11, 2016.

SILVA, R. F. **Projeção do estoque de carbono e análise da geração de créditos de carbono em povoamentos de eucalipto.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – UFV, Viçosa, 2007.

SILVA, R. F.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. **Projeção do estoque de carbono e análise da geração de créditos em povoamentos de eucalipto.** *Revista Árvore*, 32, 979-992, 2008.

SILVEIRA, P. **Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de floresta Ombrófila Densa.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – UFPR, Curitiba, 2008.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. **O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais.** *Floresta*, 38, 1, 2008.

SIMÕES, J. W.; COELHO, A. S. R.; MELLO, H. A.; COUTO, H. T. Z. **Crescimento e produção de madeira de eucalipto.** *IPEF*, 20, 77-97, 1980.

SMITH, P.; GREGORY, P. J.; VAN VUUREN D.; OBERSTEINER, M.; HAVLÍK, P.; ROUNSEVELL, M.; STEHFEST, E.; BELLARBY, J. **Competition for land.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences*, 365, 2941–2957, 2010.

SNIF – Sistema Nacional de Informações Florestais. **Estatísticas florestais – 2016. Sistema nacional de informações florestais.** <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/estatisticas-florestais>. (consultado em 25/08/2018).

SNIF – Sistema Nacional de Informações Florestais. **Estoque das florestas. 2016.** <http://www.florestal.gov.br/snif/recursosflorestais/estoquedasflorestas?print=1&tmpl=component>. Acesso: 20/10/2016.

SNIF – Sistema Nacional de Informações Florestais. **Exportação dos produtos florestais madeireiros (PFM) do Brasil – 2016.** Sistema Nacional de Informações Florestais. 2017. http://www.florestal.gov.br/snif/producaoflorestal/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&catid=14&id=246. (atualizado em 05/06/2017).

SONNEMANN, G.; CASTELLS, F.; SCHUHMACHER, M. **Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes.** *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9, 3, 206-207, 2004.

SONNEMANN, G.; GEMECHU, E. D.; SALA, S.; SCHAU, E. M.; ALLACKER, K.; PANT, R.; ADIBI, N.; VALDIVIA, S. **Life cycle thinking and the use of LCA in policies around the world.** 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/Sonnemannetal.LifeCycleThinkingandLCAinPolicy.pdf>. Acesso em: 07/06/2018 às 14:35.

SOUZA, M. L. F.; TAVARES, L. B. B. **A incompatibilidade entre a capacidade na natureza e o paradigma materialista da sociedade atual.** *Estudos Ambientais (online)*, 15, 2, 58-67, 2013.

STAHL, M.; BERGHEL, J.; WILLIAMS, H. **Energy efficiency, greenhouse gas emissions and durability when using additives in the wood fuel pellet chain.** *Fuel Processing Technology*, 152, 350-355, 2016.

STEHFEST, E.; BOUWMAN, L.; VUUREN, D. P.; ELZEN, M. G. J.; EICKHOUT, B.; KABAT, P. **Climate benefits of changing diet.** *Climatic Change*, 95, 83–102, 2009.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; HAAN, C DE. **Livestock's long shadow: The Livestock, Environment and Development Initiative (LEAD).** Rome: FAO, 2006. <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>.

STOCKMANN, U.; ADAMS, M. A.; CRAWFORD, J. W.; FIELD, D. J.; HENAKAARCHCHI, N.; JENKINS, M.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; COURCELLES, V. R.; SINGH, K.; WHEELER, I.; ABBOTT, L.; ANGERS, D. A.; BALDOCK, J.; BIRD, M.; BROOKES, P. C.; CHENU, C.; JASTROW, J. D.; LAL, R.; LEHMANN, J.; O'DONNELL, A. G.; PARTON, W. J.; WHITEHEAD, D.; ZIMMERMANN, M. **The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon.** *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 164, 80-99, 2013.

THAKKAR, J.; KUMAR, A.; GHATORA, S.; CANTER, C. **Energy balance and greenhouse gas emissions from the production and sequestration of charcoal from agricultural residues.** *Renewable Energy*, 94, 558-567, 2016.

THAKUR, A.; CANTER, C. E.; KUMAR, A. **Life-cycle energy and emission analysis of power generation from forest biomass.** *Applied Energy*, 128, 246-253, 2014.

TORRES, C. M. M. E. **Estocagem de carbono e inventário de gases de efeito estufa em sistemas agroflorestais, em Viçosa, MG.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – UFV, Viçosa, 2015.

TSUKAMOTO FILHO, A. A. **Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na Região do Cerrado de Minas Gerais.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – UFV, Viçosa, 2003.

VAN DER HILST, F.; LESSCHEN, J.; VAN DAM, J.; RIKSEN, M.; VERWEIJ, P.; SANDERS, J.; FAAIJ, A. **Spatial variation of environmental impacts of**

regional biomass chains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2053–2069, 2012.

VINE, E. L.; SATHAYE, J. A.; MAKUNDI, W. R. **Forestry projects for climate change mitigation: an overview of guidelines and issues for monitoring, evaluation, reporting, verification, and certification.** *Environmental, Science & Policy*, 3, 99-113, 2000.

VITAL, M. H. **Florestas independentes no Brasil.** BNDES Setorial, RJ, 29, 77-130, 2009.

WANG, X.; FENG, Z.; OUYANG, Z. **The impact of human disturbance on vegetative carbon storage in forest ecosystems in China.** *Forest Ecology and Management*, 148, 117-123, 2001.

WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite Ikonos II.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – UFPR, Curitiba, 2003.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M. Z.; JORGENSEN, J.; ALTING, L. **Environmental tools in product development.** In: SYMPOSIUM ON ELECTRONICS THE ENVIRONMENT. 1994, San Francisco. Proceedings of IEEE International Symposium on Electronics and the environment. Lyngby, s/n, 100-105, 1994.

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

WOJCIECHOWSKI J. C.; SCHUMACHER, M. V.; PIRES, C. A. F.; MADRUGA, P. R. A.; KILCA, R. V.; BRUN, E. J.; SILVA, C. R. S.; VACCARO, S.; RONDON NETO, R. M.; **Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual.** *Revista Ciência Florestal*, 19, 383-391, 2009.

XIMENES, F. A.; GEORGE, B. H.; COWIE, A.; KELLY, G. **Greenhouse gas balance of native forests in New South Wales, Australia.** *Forests*, 3, 653-683, 2012.

ZELM, R. V.; MUCHADA, P. A. N.; VELDE, M. V.; KINDERMANN, G.; OBERSTEINER, M.; HUIJBREGTS, M. A. J. **Impacts of biogenic CO₂ emissions on human health and terrestrial ecosystems: the case of increase wood extraction for bioenergy production on a global scale.** *GCB Bioenergy*, 7, 608-617, 2015.

ZHANG, F.; JOHNSON D.M.; WANG, J. **Life-cycle energy and GHG emissions of forest biomass harvest and transport for biofuel production in Michigan.** *Energies*, 8, 3258-3271, 2015.