



UNILA

Universidade Federal
da Integração
Latino-Americana

**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ E ENERGIA INCORPORADA DA MADEIRA
SERRADA PRODUZIDA NO PARANÁ E DESTINADA À CONSTRUÇÃO CIVIL
SOB PONTO DE VISTA DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA**

EDUARDO PICOLOTTO DOS SANTOS

Foz do Iguaçu
2021



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO
(ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO Em
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ E ENERGIA INCORPORADA DA MADEIRA
SERRADA PRODUZIDA NO PARANÁ E DESTINADA À CONSTRUÇÃO CIVIL SOB
PONTO DE VISTA DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA**

EDUARDO PICOLOTTO DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Katia Regina Garcia Punhagui

Foz do Iguaçu
2021

EDUARDO PICOLOTTO DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ E ENERGIA INCORPORADA DA MADEIRA
SERRADA PRODUZIDA NO PARANÁ E DESTINADA À CONSTRUÇÃO CIVIL SOB
PONTO DE VISTA DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof. Dr^a. Katia Regina Garcia Punhagui
UNILA

Prof. Dr^a. Edna Possan
UNILA

Prof. Dr. Sérgio Fernando Tavares
UFPR

Prof. Dr. Thiago Rodrigues
IBICT

Foz do Iguaçu, 15 de agosto de 2021.

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

S237a

Santos, Eduardo Picolotto dos.

Avaliação das emissões de CO₂ e energia incorporada da madeira serrada produzida no Paraná e destinada à construção civil sob ponto de vista do inventário do ciclo de vida / Eduardo Picolotto dos Santos. - Foz do Iguaçu, 2022.

159 fls.: il.

Universidade Federal da Integração Latino-Americana, ILATIT, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPG ECI).

Orientador: PROF.^a DR.^a Katia Regina Garcia Punhagui.

1. Construção civil. 2. Gases do efeito estufa. 3. Madeira serrada. 4. Ciclo de vida do produto. I. Punhagui, Katia Regina Garcia. II. Título.

CDU 624

Dedico este trabalho à Daniele,
Minha esposa,
Razão da minha caminhada,
Isto é graças a você.

RESUMO

A construção civil é responsável por considerável consumo de recursos naturais, energia, água e conseqüentemente, por impactos ambientais advindos de suas atividades de transformação. Avaliar e detalhar os processos de produção, identificando os aspectos ambientais relacionados ao produto podem colaborar para o desenvolvimento de estratégias de mitigação dos efeitos negativos ao meio ambiente. A realização de um Inventário do Ciclo de Vida é uma alternativa viável, pois quantifica os *inputs* e *outputs* envolvidos no processo, e é utilizado nas etapas posteriores para avaliar os efeitos ambientais do processo produtivo. O objetivo deste trabalho foi desenvolver o Inventário do Ciclo de Vida Simplificado para produção de uma tonelada de madeira serrada aplainada seca, produzida no Paraná e destinada ao setor da construção civil. Para isto, dividiu-se a pesquisa em duas etapas: a) geração de informações e valores referenciais baseadas em levantamento de dados secundários, através de revisão bibliográfica; b) desenvolvimento do Inventário do Ciclo de Vida simplificado da madeira serrada aplainada e seca plantada no estado do Paraná, com foco na avaliação de emissão de CO₂ e avaliação energética do ciclo de vida. Foram utilizados dados de um ano de produção de quatro empresas do setor madeireiro localizadas no estado do Paraná. Os resultados obtidos foram energia incorporada de 8984,44 MJ e 113,87 KgCO₂ por tonelada de madeira serrada aplainada seca, sendo aproximadamente 1% referente à contribuição das operações florestais e 99% referente às operações de serraria para energia incorporada e 0,7% e 99,3% respectivamente, para emissão de CO₂. Em relação aos trabalhos internacionais encontrados, os valores obtidos foram coerentes, entretanto, foi identificado uma relação desigual na proporção de recursos de fontes renováveis em relação aos recursos de fontes fósseis, creditando-se à matriz energética brasileira “mais limpa” e à maior utilização de biomassa para produção de energia pelas empresas analisadas.

Palavras-chave: Construção Civil. Emissão de CO₂. ICV. Inventário do ciclo de vida. Madeira serrada.

ABSTRACT

Civil construction is responsible for the consumption of natural resources, energy, water and, consequently, for the generation of environmental impacts arising from its transformation activities. Assessing and participating in production processes, identifying environmental aspects related to the product can collaborate to the development of mitigation strategies for negative effects on the environment. A Life Cycle Inventory is a viable alternative, as it quantifies the inputs and outputs involved in the process, and is used in later stages to assess the environmental effects of the production process. The objective of this work was to develop a simplified Life Cycle Inventory for the production of one ton of dry planed sawn wood, located in Paraná and destined for the civil construction sector. For this, the research was divided into two stages: a) generation of information and referential values based on secondary data collection, through bibliographic review; b) development of the simplified Life Cycle Inventory for planed and dry sawn wood planted in the state of Paraná, with a focus on CO₂ emission assessment and life cycle energy assessment. Data from one year of production from four companies in the wood sector in the state of Paraná were used. The results obtained were incorporated energy of 8984,44 MJ and 113,87 KgCO₂ per ton of dry planed sawn wood, with approximately 1% referring to the influence of forestry operations and 99% referring to sawmill operations for incorporated energy and 0.7% and 99.3% respectively for CO₂ emissions. Regarding the international studies found, the values obtained were consistent, however, an unequal relationship was identified in the proportion of resources from renewable sources in relation to resources from fossil sources, crediting the “cleaner” Brazilian energy matrix and the greater use of biomass for energy production by the analyzed companies.

Key words: Civil Construction. CO₂ emission. LCI. Life cycle inventory. Lumber.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Metodologia do Trabalho.....	20
Figura 2: Divisão e assuntos dos capítulos presentes neste estudo.....	25
Figura 3: Etapas de produção de madeira serrada seca e aplainada.....	32
Figura 4: Etapas das operações florestais.....	33
Figura 5: Foto ilustrativa de Mudas de Pinus prontas para plantio. Imagem tomada em empresa do Paraná.....	34
Figura 6: Foto ilustrativa de Plantio manual de Pinus. Imagem tomada em empresa do Paraná.....	35
Figura 7: Foto ilustrativa de Harvester utilizada em colheita mecanizada. Imagem tomada em empresa do Paraná.....	37
Figura 8: Etapas das operações de serraria.....	38
Figura 9: Foto ilustrativa de Pátio de toras. Imagem tomada em empresa do Paraná.....	39
Figura 10: Foto ilustrativa de toras organizadas para estufa. Imagem tomada em empresa do Paraná.....	40
Figura 11: Foto ilustrativa do processo de secagem ao ar livre. Imagem tomada em empresa do Paraná.....	41
Figura 12: Foto ilustrativa do processo de secagem em estufa. Imagem tomada em empresa brasileira fornecedora de estufas.....	42
Figura 13 (a) (b): Foto ilustrativa de programação de secagem em estufa. Imagem tomada em empresa do Paraná.....	42
Figura 14: Foto ilustrativa de peças de madeira serrada seca e aplainada prontas para expedição. Imagem tomada em empresa do Paraná.....	43
Figura 15: Foto ilustrativa de peças de madeira serrada seca e aplainada prontas para expedição. Imagem tomada em empresa do Paraná.....	44
Figura 16: Tipos de resíduos das operações florestais.....	45
Figura 17: Porcentagem de fuste e resíduos por trabalho de referência.....	46
Figura 18: Rendimento e resíduos das operações de serraria.....	48
Figura 19: Fluxo do rendimento na produção de madeira serrada aplainada e seca.....	49
Figura 20: Consumo energético (em MJ) nas operações florestais e de serraria.....	50
Figura 21: Modelo de estufa utilizada no processo de secagem da madeira Fonte: Catálogo empresa American Wood Dryers.....	52

Figura 22: Emissões de KgCO ₂ para produção de 1 ton de madeira serrada seca e aplainada.....	53
Figura 23: EE Produção e Transporte da etapa de produção de mudas.	83
Figura 24: CO ₂ Produção e Transporte da etapa de produção de mudas.	83
Figura 25: EE Produção e Transporte etapa manutenção da floresta.....	85
Figura 26: CO ₂ Produção e Transporte etapa manutenção floresta.....	85
Figura 27: EE Processo e Transporte etapa de colheita.	87
Figura 28: CO ₂ Processo e Transporte etapa de colheita.	88
Figura 29: EE e CO ₂ Etapa de transporte de toras.	91
Figura 30: EE Processo e Transporte - Produção de madeira serrada aplainada e seca.....	94
Figura 31: CO ₂ Processo e Transporte - Produção de madeira serrada aplainada e seca.....	94
Figura 32: Descascador	107
Figura 33: Redirecionamento de tábuas por esteiras.....	108
Figura 34: Fardos de madeira prontos para expedição.....	109
Figura 35: Viveiro empresa B.....	110
Figura 36: Operação de plantio empresa B.....	111
Figura 37: Arraste toras com trator.....	112
Figura 38: Carregadeira de toras	113
Figura 39: Grua fixa.....	113
Figura 40: Desdobro primário.....	114
Figura 41: Armazenamento de resíduo	115
Figura 42: Software de controle das estufas	116
Figura 43: Muda plantada empresa C	117
Figura 44: Arraste de toras empresa C	118
Figura 45: Torras armazenadas próximo a via de acesso.....	118
Figura 46: Carregamento de toras nos caminhões	119
Figura 47: Equipamento para preparo de substrato	120
Figura 48: Pátio de Rustificação.....	121
Figura 49: Aplicação manual de herbicidas.....	122
Figura 50: Harvester realizando o corte	123
Figura 51: Arraste utilizando Skidder florestal.....	123
Figura 52: Empilhamento de toras para carregamento	124

Figura 53: Caminhão romeu-e-julieta carregado pronto para transporte..... 124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores de conversão	28
Tabela 2: Dados para cálculo de emissão de CO ₂ na produção de madeira serrada seca e aplainada	30
Tabela 3: Dados para cálculo de emissão de CO ₂ pelo transporte de toras.....	31
Tabela 4: Consumo energético para OF e OS.....	50
Tabela 5: Divisão de subsistemas do processo de produção de madeira serrada.....	66
Tabela 6: Fatores de Combustão Móvel – GHG Protocol – Fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis em fontes móveis.....	70
Tabela 7: Fatores de Combustão Móvel – GHG Protocol – Fatores de emissão por utilização de biocombustíveis fósseis em fontes móveis	70
Tabela 8: Emissões por tipo de veículo – GHG Protocol.....	71
Tabela 9: Fatores de combustão estacionária – GHG Protocol – Fatores de emissão por utilização em fontes estacionárias	72
Tabela 10: Demais fatores de combustão estacionária – GHG Protocol – Fatores de emissão por utilização em fontes estacionárias.....	72
Tabela 11: Combustão móvel – IPCC V2 CH3 – Transporte Rodoviário.....	72
Tabela 12: Combustão móvel – IPCC V2 CH3 – Transporte Fora da Rodovia (máquinas)	73
Tabela 13: Combustão móvel – IPCC V2 CH3 – Transporte Fora da Rodovia (máquinas)	73
Tabela 14: Subsistemas inventariados por empresa participante.....	75
Tabela 15: Identificação dos dados coletados	76
Tabela 16: Informações da etapa de OF das empresas	77
Tabela 17: Informações da etapa de PMS das empresas	79
Tabela 18: Distâncias médias ponderadas dos insumos, recursos energéticos ou matérias-primas de terceiros	79
Tabela 19: Resultados de rendimento das OF	80
Tabela 20: Dados etapa de produção de mudas	82
Tabela 21: Dados da etapa de manutenção da floresta	84
Tabela 22: Dados da etapa de colheita	87
Tabela 23: Emissões de CO ₂ e energia incorporada (EE) necessárias para produção de 1 tonelada de madeira em tora	89

Tabela 24: Dados de transporte de toras.....	90
Tabela 25: Resultados de rendimento na PMS	92
Tabela 26: Dados da etapa de produção de madeira serrada aplainada seca.....	93
Tabela 27: Emissões de CO ₂ e energia incorporada (EE) necessárias para produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada seca (Empresa A e B).....	95
Tabela 28: Emissão de CO ₂ e energia incorporada (EE) necessárias para produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada seca	96
Tabela 29: EE e Emissões de CO ₂ na literatura	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACVE	Avaliação do Ciclo de Vida Energético
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DAP	Declarações Ambientais de Produtos
EE	Energia Embutida
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ILAACH	Instituto Latino-Americano de Arte, Cultura e História
ILACVN	Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza
ILAESP	Instituto Latino-Americano de Economia, Sociedade e Política
ILATIT	Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
OF	Operações Florestais
OS	Operações de Serraria
PBACV	Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida
PMS	Produção de Madeira Serrada
SICV	Sistema de Inventário de Ciclo de Vida
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 MÉTODO.....	18
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
1.5 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO.....	21
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA.....	23
2.1 INTRODUÇÃO	23
2.2 MÉTODO.....	25
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
2.3.1 Dados Qualitativos	32
2.3.2 Dados Quantitativos	44
2.4 CONSIDERAÇÕES.....	53
2.5 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO.....	56
CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ E ENERGIA INCORPORADA DA MADEIRA SERRADA PLANTADA NO ESTADO DO PARANÁ SOB PONTO DE VISTA DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA.....	63
3.1 MÉTODO.....	64
3.1.1 Objetivo	65
3.1.2 Escopo	65
3.1.3 Seleção de empresas.....	75
3.1.4 Coleta de dados	75
3.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
3.2.1 Caracterização das empresas.....	76
3.2.2 Operações florestais (OF)	80
3.2.3 Transporte de toras (TT).....	90
3.2.3.1 Emissão de CO ₂ e energia incorporada	90

3.2.4 Produção de madeira serrada (PMS).....	91
3.3. CONSIDERAÇÕES.....	98
3.4 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO.....	100
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES FINAIS	104
APÊNDICE A	105
1. DADOS QUALITATIVOS.....	105
1.1. Empresa A.....	105
1.2. Empresa B.....	109
1.3. Empresa C	116
1.4. Empresa D	119
APÊNDICE B	125
APÊNDICE C	145

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) são consideradas os principais contribuintes de impacto nas mudanças climáticas, como o aquecimento global que caminha para uma elevação de 1,5°C na temperatura média anual do planeta (IPCC, 2018; HAO et al., 2016; GIESEKAM, TINGLEY, COTTON, 2018; HUANG et al., 2018; TAN et al., 2018). Entre 2017 e 2018, a liberação de CO₂ chegou a 658 Gton no mundo (TONG et al., 2019), sendo o setor da construção civil responsável por 33% a 39% do total dos GEEs emitidos (UN, 2017; HOXHA et al., 2017).

Os materiais de construção são indicados como a parte mais contribuinte para as emissões indiretas de CO₂ no setor da construção civil (CABEZA et al., 2013a, 2013b). Estes respondem por impactos ambientais decorrentes de seus processos produtivos como: a fabricação de cimento e cal que geram dióxido de carbono (CO₂) pela descarbonatação; o alumínio que para ser obtido a partir de bauxita e alumina necessita de elevados níveis de energia elétrica em sua produção, sendo a indústria líder em consumo de energia elétrica do país; aços e ferros fundidos consomem carvão mineral como recurso energético (TAVARES, 2006); madeira nativa que emite CO₂ no processo de extração pela degradação da biomassa florestal (PUNHAGUI, 2014). Os impactos pelos processos produtivos são resultantes das ações de transformação, que por sua vez possuem limites de desempenho devido ao status tecnológico. Assim, para analisar a emissão de CO₂ dos materiais de construção é necessária transparência de informações e entendimento das reais condições e possibilidades de mitigação (HUANG et al., 2018).

Nesse sentido, as mitigações de GEE a partir da plantação de florestas e da utilização de produtos de madeira dependem tanto da taxa de sequestro de carbono quanto das quantidades de emissões de GEE relacionadas às operações florestais e de serraria (ENGLAND et al., 2013). Portanto, para analisar de maneira clara a viabilidade da utilização da madeira de forma a auxiliar na redução das emissões de gases de efeito estufa e energia incorporada no contexto brasileiro, é necessário que haja uma maior quantidade de dados e informações referentes ao próprio contexto.

Ao mesmo tempo que a ausência de conjuntos de dados de Inventários do Ciclo de Vida de produtos nacionais é um obstáculo à tomada de

decisão quanto às estratégias de mitigação de emissões de CO₂, isto torna-se uma das principais motivações para realização de ICVs nacionais. Costuma-se, em estudos de ACV baseados em produtos nacionais, utilizar informações provenientes de conjuntos de dados internacionais, os quais muitas vezes não retratam a realidade do país, podendo não alcançar a qualidade desejada (RODRIGUES, et al., 2016).

A realidade dos sistemas de produtos brasileiros é diferente do apresentado em conjuntos de dados internacionais, principalmente devido às causas ambientais, como clima, solo e causas tecnológicas como maior utilização de carvão vegetal ao invés de carvão mineral na indústria siderúrgica (RODRIGUES, et al., 2016).

A falta de conhecimento do ciclo de vida do produto estudado permite apenas a resolução de problemas parciais, podendo até mesmo originar um erro na tomada de decisão, além da possibilidade de não bem representar a realidade quanto aos impactos ambientais relevantes de um determinado produto (GUINÉE, 2006).

No setor da construção civil, assim como os demais setores, a aplicação da ACV possui limitações, destacando-se a dificuldade de obtenção de informações confiáveis e dados completos para os materiais empregados no setor, em especial para órgãos de pesquisa como universidades. Isso pode ser atribuído ao fato de muitas empresas terem receio de divulgar seus processos devido questões como concorrência, plágio ou até mesmo transmissão de imagem negativa ligada à empresa (COELHO FILHO; SACCARO JUNIOR; LUEDEMANN, 2016).

Tendo isso em vista, em março de 2016 foi lançado o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV Brasil), cujo objetivo é implantar no país um sistema reconhecido em âmbito internacional, capaz de organizar, armazenar e disseminar informações padronizadas sobre inventários do Ciclo de Vida da produção industrial brasileira (IBICT, 2019). Em 2021, o Laboratório de Tecnologia e Desempenho de Sistemas Construtivos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em parceria com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), a Universidade de São Paulo (USP) e apoio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - GIZ lançou¹ o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC) que permitirá gerar um banco de dados sobre o consumo de energia incorporada e a emissão de dióxido de carbono, associados à fabricação dos

¹ Notícia “IPT desenvolve ferramenta para ‘medir’ a sustentabilidade ambiental de produtos de construção em parceria com CBCS e USP”, disponível em: < https://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1677 >

principais materiais de construção utilizados no Brasil (IPT, 2021).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um Inventário do Ciclo de Vida Simplificado para a produção de 1 tonelada seca de madeira serrada e aplainada, produzida no Paraná e destinada ao setor da construção civil.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Contextualizar o estado das informações disponíveis sobre a cadeia produtiva da madeira serrada destinada à construção civil;
- b) Pesquisar e identificar os processos e materiais envolvidos na cadeia produtiva de madeira serrada seca e aplainada no estado do Paraná;
- c) Desenvolver e apresentar um Inventário do Ciclo de Vida simplificado, com enfoque na energia incorporada (EE) e emissões de CO₂, da madeira serrada aplainada e seca, destinada à construção civil.

1.3 MÉTODO

A metodologia de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é quantitativa e qualitativa. Ou seja, a partir de resultados numéricos são avaliadas e comparadas as categorias de impacto com produtos semelhantes. A ACV inicia com a definição do objetivo e escopo, passa pela análise dos inventários, avaliação dos impactos e interpretação final dos dados.

O Inventário do Ciclo de Vida (ICV), por sua vez, é a fase onde busca-se desenvolver uma base de informação sobre o processo produtivo de um produto. De acordo com a ABNT NBR 14040 (2009), o ICV é a segunda fase da ACV, onde é feito um inventário dos dados de entradas e saídas do sistema abordado. Nesta etapa são analisados os processos, quantificadas as entradas e saídas, identificadas as perdas e possíveis melhorias do sistema, ou novos enfoques de pesquisas futuras, por isso é considerada uma etapa multidisciplinar. Dada a grandiosidade da pesquisa

e as diversas variáveis envolvidas, no presente estudo foram consideradas como saídas apenas as emissões de CO₂, ignorando as emissões de outros gases causadores de mudanças climáticas, bem como as emissões à água e ao solo. Sendo assim, o presente estudo trata-se de um ICV é considerado simplificado, com foco na energia incorporada (EE) e emissões de CO₂, da madeira serrada aplainada e seca, destinada à construção civil no Paraná.

Iniciou-se a pesquisa a partir de um levantamento do estado da arte, feito a partir de uma revisão bibliográfica, buscando dados e informações relevantes ao presente estudo.

Na sequência foram definidos o escopo e os objetivos do ICV simplificado deste trabalho conforme prescrito nas normas ABNT NBR 14040 e 14044 (2009).

Posteriormente, foi feita a seleção e contato com as empresas participantes do estudo, e a visita técnica in loco, para a coleta de dados.

Foi então, desenvolvido e aplicado ferramentas de coleta de dados (questionários), junto ao acompanhamento e complementação de informações via telefone ou e-mail.

Por fim, foram realizados os cálculos, interpretação e apresentação dos resultados, desenvolvendo o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) simplificado. Estes por sua vez, em conformidade à ABNT NBR 14040 e consonância com o Guia Qualidata.

O detalhamento do método aplicado para cada parte da pesquisa está descrito no capítulo correspondente. Na Figura 1 estão ilustradas as etapas da metodologia deste trabalho.

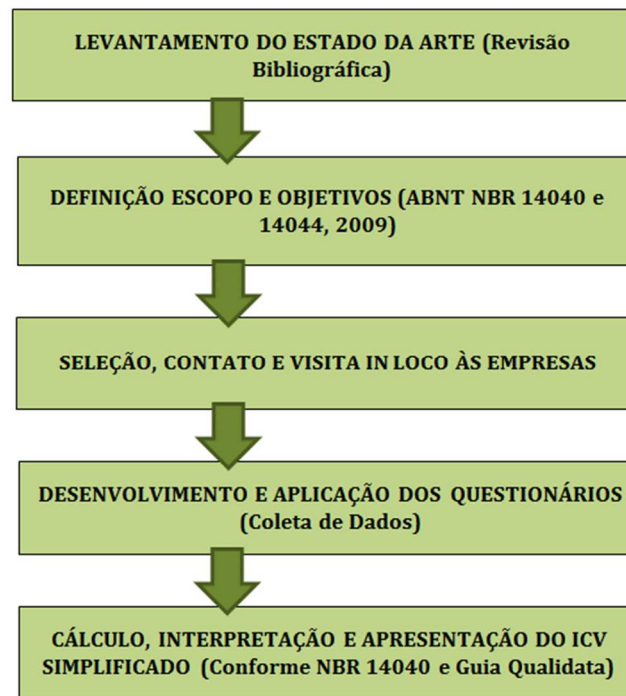


Figura 1: Metodologia do Trabalho.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho foi dividido para melhor explanação da pesquisa:

- Capítulo 1: introdução geral da pesquisa, contextualização do tema, apresentação do conteúdo, objetivos e o método geral da pesquisa empregado;
- Capítulo 2: revisão bibliográfica sobre atual estado das informações sobre inventários da produção de madeira serrada para construção civil;
- Capítulo 3: apresentação dos dados das empresas e do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) simplificado da produção de madeira serrada seca e aplainada produzida no estado do Paraná; e conclusões da pesquisa;
- Capítulo 4: conclusões do trabalho.

1.5 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040 (a): Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida-princípio e estrutura. ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14044 (b): Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida-requisitos e orientações. ABNT, 2009.
- CABEZA, L. F. et al. Affordable Construction towards Sustainable Buildings: Review on Embodied Energy in Building Materials. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 5, n. 2, p. 229–236, jun. 2013a.
- CABEZA, L. F. et al. Low Carbon and Low Embodied Energy Materials in Buildings: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 23, p. 536–542, jul. 2013b.
- COELHO FILHO, Osmar; SACCARO JUNIOR, Nilo Luiz; LUEDEMANN, Gustavo. A avaliação de ciclo de vida como ferramenta para a formulação de políticas públicas no Brasil. 2016.
- ENGLAND, Jacqueline R., et al. Cradle-to-gate inventory of wood production from Australian softwood plantations and native hardwood forests: carbon sequestration and greenhouse gas emissions. *Forest ecology and management*, v. 302, p. 295-307, 2013.
- GIESEKAM, J.; TINGLEY, D. D.; COTTON, I.. Aligning Carbon Targets for Construction with (Inter)National Climate Change Mitigation Commitments. *Energy and Buildings*, v. 165, p. 106–117, abr. 2018.
- GUIA QUALIDATA: requisitos de qualidade de conjuntos de dados para o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – Ibict, Brasília: 2017. 58 p.
- GUINÉE, J. B. Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. Dordrecht: KluwerAcademicPublishers, 2006.
- HAO, Y. et al. The Influence of Climate Change on CO₂ (Carbon Dioxide) Emissions: An Empirical Estimation Based on Chinese Provincial Panel Data. *Journal of Cleaner Production*, v. 131, p. 667–677, set. 2016.
- HOXHA, E. et al. Influence of Construction Material Uncertainties on Residential Building LCA Reliability. *Journal of Cleaner Production*, v. 144, p. 33–47, fev. 2017.
- HUANG, L. et al. Carbon Emission of Global Construction Sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 81, p. 1906–1916, jan. 2018.

- IBICT. Site do projeto de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT). Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. 2019. Disponível em: <<https://acv.ibict.br/>>.
- IPCC. Sumário para os Formuladores de Políticas. Aquecimento Global de 1,5°C. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2018. IPCC. WMO. UNEP. Incheon, República da Coreia, 2018.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Artigo “Construção sustentável - IPT desenvolve ferramenta para ‘medir’ a sustentabilidade ambiental de produtos de construção em parceria com CBCS e USP”. 2021. 2021. Butantã. São Paulo. SP.
- PUNHAGUI, Katia Regina García. Potencial de reducción de las emisiones de CO₂ y de La energía incorporada em La construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de La madera. 2014. Tese de Doutorado. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- RODRIGUES, T. O. Avaliação dos impactos ambientais da produção de bioóleo a partir da serragem no estado do Pará. 2013. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 184p.
- TAN, X. et al. Carbon Emission and Abatement Potential Outlook in China’s Building Sector through 2050. *Energy Policy*, v. 118, p. 429–439, jul. 2018.
- TAVARES, Sérgio Fernando. Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras. 2006. 225 f. (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006.
- TONG, D. et al. Committed Emissions from Existing Energy Infrastructure Jeopardize 1.5 °C Climate Target. *Nature*, v. 572, n. 7769, p. 373–377, ago. 2019.
- UN ENVIRONMENT AND INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector: Global Status Report 2017. Geneva, Bangkok, Nairobi: UNEP, 2017. p. 43.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA

2.1 INTRODUÇÃO

Um dos pilares para a consolidação da ACV em um país é o desenvolvimento de bases de dados consistentes de acordo com a própria realidade. A partir da criação de uma base de dados, cuja densidade e diversidade de informações seja crescente, a ACV passa a avaliar e descrever com maior precisão os diferentes sistemas de produto (COELHO FILHO, SACCARO JUNIOR e LUEDEMANN, 2016). Atualmente, as bases de dados existentes estão disponíveis em softwares de ACV, e podem ser acessadas em sites específicos. Dentre os principais sites para acesso de base de dados tem-se: Ecoinvent, USLCl, Canadian Raw Materials Database (CRMD), German Network on Life Cycle Inventory Data, The European Union's European Reference Life Cycle Data System (ELCD) e The LCA National Project in Japan (SILVA et al., 2016).

No Brasil, a principal base de dados existente é o Banco Nacional de Inventário em Ciclo de Vida, que utiliza o Sistema de Inventário de Ciclo de Vida (SICV Brasil), gerenciado pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), que também compõe o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV) (LANGER et al., 2018).

Da mesma forma, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS, em parceria com o Ministério de Minas e Energia – MME e apoio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – GIZ está desenvolvendo a proposta SIDAC (Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção), que trata de uma plataforma para base de dados de materiais do setor da construção civil com intuito de fornecer as bases para o cálculo de indicadores de desempenho ambiental de produtos e edifícios (CBCS, 2021). O SIDAC permitirá que fabricantes de materiais de construção cadastrem seus produtos e calculem seus indicadores de desempenho ambiental de modo prático, por meio de uma interface web e outros interessados, como projetistas e construtores, poderão utilizar as informações do SIDAC para calcular os indicadores do consumo de energia e emissão de dióxido de carbono embutido em seus projetos (IPT, 2021).

O fato de países em desenvolvimento, como o Brasil, serem

fornecedores de matérias-primas para os países desenvolvidos torna necessária à inclusão, nos bancos de dados mundiais, informações sobre produtos e serviços produzidos em seu território (AZEVEDO CAMPOS, 2012).

Países com sistemas econômicos desenvolvidos que utilizam a ACV em aplicações comerciais e políticas públicas tem exigido cada vez mais a utilização de ACV, ou DAPs (Declarações Ambientais de Produtos) que são baseadas em ACVs, nos produtos importados, originando pressão em empresas competitivas internacionalmente e em países com grandes volumes de exportações, como é o caso do Brasil (COELHO FILHO, SACCARO JUNIOR e LUEDEMANN, 2016; GALINDRO, 2019).

A DAP é um documento verificado e cadastrado que transmite informações transparentes e comparáveis sobre o impacto ambiental de um produto a partir de seu ciclo de vida, sendo que a norma de referência para as declarações ambientais é a ABNT NBR ISSO 14025 (EPD Brasil, 2021). No Brasil, existem atualmente 20 DAPs registradas no International EPD® System, como os cimentos CP II E 40, CP III 40 RS, CP V ARI da Votorantim Cimentos e Argamassa industrializada, também da Votorantim Cimentos (EPD Brasil, 2021).

Em 2018 o Brasil passou a ocupar o 8º lugar entre os principais países produtores de madeira serrada do mundo, tendo produzido 9,1 milhões de m³ só neste ano, 4,2% a mais que em 2017 (IBÁ, 2019). Porém, apesar da aplicação da ACV para a mensuração dos impactos ambientais estar crescendo nos setores florestal e madeireiro mundiais, seu ritmo ainda é lento e descompassado, em relação à aplicação da ACV em outros setores produtivos, tais como energético, agrícola e automotivo (ZANGHELINI et al., 2014; LANGER et al., 2018). Klein et al. (2015), em seu levantamento sobre o estado da arte da ACV na produção florestal, concluíram que apesar da técnica de ACV estar sendo conduzida em diferentes atividades de produção florestal desde o início de 1990, o setor ainda apresenta grandes lacunas no desenvolvimento de estudos consistentes para a construção de bancos de dados e relatórios para a compreensão da ACV.

Assim, o objetivo deste capítulo é identificar e levantar dados de ICV, nacionais e internacionais, de produtos serrados de madeira, realizando uma análise de aspectos ambientais que servirão de embasamento para a discussão dos resultados do ICV simplificado desta dissertação.

2.2 MÉTODO

Para apresentação dos resultados, o método empregado neste capítulo foi dividido em duas seções: qualitativa e quantitativa. A primeira visou identificar e descrever informações sobre o sistema produtivo de madeira serrada para construção civil, como as etapas envolvidas no processo, atividades realizadas, processos elementares² e os tipos de entradas e saídas³ de cada etapa. A segunda abrangeu a identificação de dados numéricos associados ao rendimento e resíduos, consumo energético (gasolina, diesel e eletricidade), consumo de água e emissões de CO₂ para atmosfera (Figura 2).

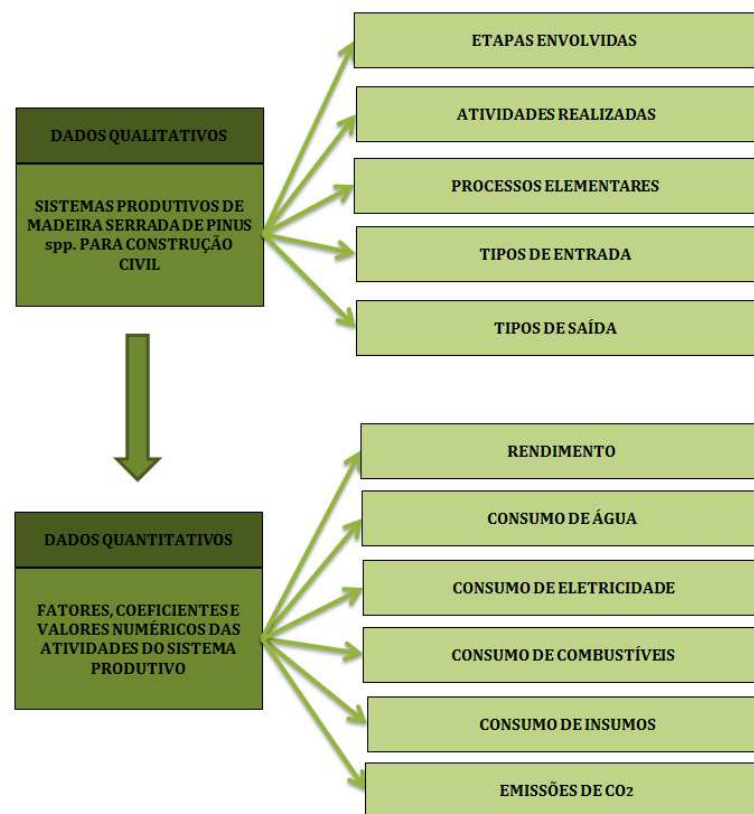


Figura 2: Divisão e assuntos dos capítulos presentes neste estudo.

O presente capítulo utilizou a estrutura *cradle-to-gate* para analisar a cadeia de produção de madeira plantada serrada no Paraná. Para isso, consideraram-se três fases: 1) operações florestais; 2) transporte de toras; e, 3) operações de

² Processo elementar: menor elemento considerado na análise do inventário do ciclo de vida para o qual dados de entrada e saída são quantificados (NBR 14040).

³ Entrada: fluxo de produto, material ou energia que ocorre entre processos elementares do sistema de produto em estudo; Saída: fluxo de produto, material ou energia que deixa um processo elementar (NBR 14044).

serraria.

Dados sobre rendimento em operações florestais, operações de serraria, consumo de energia (eletricidade e combustíveis) e emissão de CO₂ foram obtidos na literatura existente, a partir de uma análise bibliométrica. Foram utilizadas as bases de dados Scielo, Portal de Periódicos CAPES e Google Acadêmico, além das plataformas de periódicos como Science Direct, Treeseach, ResearchGate e Wood and ScopusFiber Science. Alguns dados relevantes foram encontrados em sites governamentais, instituições do setor⁴ ou ainda teses e dissertações.

A utilização de literatura internacional visou contextualizar o que vêm sendo abordado em inventários do ciclo de vida da madeira serrada em diversos países do mundo, em consonância com o abordado pela literatura nacional, visando comparar os diferentes cenários de produção. Essa busca foi realizada entre os meses de outubro de 2019 a maio de 2021.

A pesquisa foi realizada utilizando as palavras-chaves: *timber production, LCA, silviculture, forestry operations, lumber, life-cycle inventory, Wood products, cradle-to-gate, emissions e greenhouse gases*, bem como suas traduções: produção de madeira, ACV, silvicultura, operações florestais, madeira serrada, inventário do ciclo de vida, produtos de madeira, berço-à-portão, emissões de gases de efeito estufa. Não foi estabelecido um filtro de busca para o período.

Os resultados foram então filtrados por assuntos referentes à área, e pela espécie de madeira, *Pinus* (spp., *elliottii*, *elliottiengelm*, *taeda*) e Softwood Lumber⁵. Algumas plataformas resultaram em números muito grandes de artigos, sendo assim, a leitura dos títulos foi padronizada até o artigo de número 150 (em média 15 abas com 10 trabalhos em cada).

Em seguida, a seleção dos artigos encontrados se deu a partir da leitura dos títulos e resumos. Foram então selecionados artigos que apresentassem informações relevantes sobre o processo produtivo da madeira serrada. Posteriormente, foram lidos na íntegra e selecionados artigos que apresentassem ao menos um dado numérico dentre as quantificações necessárias.

⁴ Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis; EMBRAPA - Agência Embrapa de Informação Tecnológica; EPD Brasil - Site oficial das Declarações Ambientais de Produto; IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores; IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia; IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

⁵ Softwood lumber são espécies de madeira macia, por exemplo: variações de Abeto (*Abies grandis*), Larício Ocidental (*Larix occidentalis*), Cedro vermelho oriental (*Thuja plicata*), variações de Pinheiros (*Pinus contorta*, *ponderosa*) e Cicuta Ocidental (*Tsugaheterophylla*).

A busca por artigos resultou nos seguintes números: utilizando as bases de pesquisa e as palavras-chave apresentadas na metodologia, o somatório total de artigos encontrados em todas as bases foi 26.101.399.

Ao filtrar pela área geral, esse número caiu para 8.212 artigos. Ao filtrar pelo assunto específico, o número passou a ser de 903 artigos. Ao filtrar pela espécie de árvore, 223 trabalhos. Desses, foram lidos os títulos e resumos, descartando os que não se enquadravam no escopo. Além disso, não passaram pela triagem os artigos que não eram disponibilizados gratuitamente.

Por fim, 142 artigos foram analisados mais profundamente, e dentre eles, selecionados somente os que continham dados ou informações relevantes para esta pesquisa. Sendo assim, foram utilizados 70 artigos para compor os dados qualitativos e quantitativos deste trabalho, vide apêndice C.

Os dados apresentados foram das **espécies**: variações de Pinus (spp.,elliottii, elliottiiengelm e taeda) e Softwood Lumber. A idade de corte variou de 10 a 25 anos, com média de 17,5 anos. Essa faixa etária foi adotada com objetivo de identificar as diversas faixas de idades dos diferentes produtos madeireiros, tendo em vista as empresas a serem analisadas no capítulo três, produzirem produtos a partir de idade de corte semelhante a faixa aqui especificada. A faixa de umidade para madeira seca foi de 15 a 19%.

Quanto à **biomassa e resíduos florestais**, adotou-se o rendimento das operações florestais como sendo a relação entre a massa de resíduos gerada nas atividades de desbaste ou corte raso, identificados como biomassa de acícula, galhos, e cascas, sendo calculado pela mediana dos valores encontrados nos trabalhos de referência. A biomassa abaixo do solo foi desconsiderada.

Para as **operações de serraria** foi adotado como rendimento a relação entre a massa de resíduos gerados durante a serragem da madeira em relação a massa de madeira serrada aplainada e seca, sendo o obtido pela mediana dos valores encontrados nos trabalhos de referência. Destaca-se entre os resíduos analisados, as aparas⁶, destopos⁷, refilos⁸ e serragem⁹.

A **utilização dos produtos de madeira** ainda é ampla na sociedade moderna, seja para fins de curto (celulose, papel, fôrmas para construção, etc) ou longo e médio prazo (estruturas, pisos laminados, painéis de madeira, móveis, etc), especialmente para produção de energia e para aplicações industriais (carvão vegetal, lenha, pellets, etc) (IBÁ, 2019; EMBRAPA, 2020).

Quanto ao **consumo de combustíveis e eletricidade**, considerando as matrizes energéticas disponíveis nas empresas e as fontes de energia mais utilizadas, as entradas energéticas analisadas neste levantamento de dados foram consumo de diesel, gasolina e eletricidade. Nas operações florestais foi considerado o consumo de diesel para abastecimento dos caminhões, máquinas de extração e arraste, enquanto a gasolina para operações de motosserras e veículos leves, utilizados no transporte de gerentes e controladores de atividades e planejamento. Além disso, o valor de diesel para o transporte das toras foi considerado juntamente aos valores de operações florestais, sendo que, como foram obtidos em trabalhos internacionais, apresentaram variações entre si. Na serraria os valores de combustíveis foram considerados para utilização em máquinas de carregamento e corte. Neste capítulo não foram consideradas empilhadeiras movidas à GLP, visto a crescente mudança destes para maquinários movidos à eletricidade, diesel ou gasolina, sendo as elétricas com melhor desempenho (BORBA JUNIOR; OLIVEIRA GOMES e BORK, 2015). Por fim, foram levantados os dados de eletricidade gasta nos demais maquinários das serrarias, como plainas e estufas.

Para a conversão da gasolina e do diesel (L) para energia incorporada (MJ) foram utilizados os fatores de conversão apresentados a seguir, na Tabela 1.

Tabela 1: Fatores de conversão

Poder Calorífico (PCI) Densidade	PCI / Densidade	Coefficiente de conversão Kcal para MJ	MJ/L
Óleo Diesel (puro)			
10.100 Kcal/Kg 0,84 Kg/L	$(10100 \cdot 0,84) =$ 8484 Kcal/L	0,0041868	$8484 \cdot 0,0041868 =$ 35,52 MJ/L
Biodiesel			
9000 Kcal/Kg 0,88 Kg/L	$(9000 \cdot 0,88) =$ 7920 Kcal/L	0,0041868	$7920 \cdot 0,0041868 =$ 33,16 MJ/L
Gasolina (pura)			
10400 Kcal/Kg	$(10400 \cdot 0,742) =$ 7716,8 Kcal/L	0,0041868	$7716,8 \cdot 0,0041868 =$ 32,31 MJ/L

0,742 Kg/L			
------------	--	--	--

Tabela 1: Fatores de conversão (continuação)

Etanol Anidro			
6750 Kcal/Kg	$(6750 * 0,791) =$		$5339,25 * 0,0041868 =$
0,791 Kg/L	5339,25 Kcal/L	0,0041868	22,35 MJ/L

Fonte: Fatores de combustão móvel – GHG Protocol – Fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis em fontes móveis) e BEN 2019.

Nota: Poder calorífico superior (PCS) é dado pela soma da energia liberada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água que se forma numa reação de oxidação. Poder calorífico inferior (PCI) é dado apenas pela energia liberada na forma de calor. Optou-se por escolher o PCI pois o PCS é sempre maior ou igual ao PCI, pois o PCS aproveita a entalpia de condensação da água (BÓÇON, 2016).

Segundo o Histórico de Proporção da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2019) o diesel brasileiro é uma proporção de 0,89 de óleo diesel puro e 0,11 de biodiesel, então:

Óleo Diesel (puro): $35,52 * 0,89 = 31,61$ MJ/L

Biodiesel: $33,16 * 0,11 = 3,65$ MJ/L

Total **Diesel brasileiro**: $31,61 + 3,65 = 35,26$ MJ/L.

A gasolina brasileira é uma proporção de 0,73 de gasolina pura e 0,27 de etanol anidro (Histórico de Proporção - ANP, 2019), então:

Gasolina (pura): $32,31 * 0,73 = 23,59$ MJ/L

Etanol Anidro: $22,35 * 0,27 = 6,03$ MJ/L

Total **Gasolina brasileira**: $23,59 + 6,03 = 29,62$ MJ/L.

Quanto à conversão de eletricidade, utilizou-se o **fator de conversão** de **3,6 MJ/kWh**.

Os fatores de conversão de energia incorporada consideraram 100% de eficiência na combustão dos combustíveis, não sendo considerando o percentual de matéria que não sofre combustão completa, enquanto que para eletricidade não foram considerados o percentual que é perdido na transmissão e distribuição ou da eficiência dos equipamentos.

As **emissões de CO₂** são atreladas a uma grande quantidade de entradas durante o processo produtivo de madeira serrada, desde consumo de insumos como tintas de marcação, embalagens, químicos, lubrificantes e óleos lubrificantes, até o consumo de recursos energéticos como diesel, gasolina e eletricidade.

Na Tabela 2, a seguir, são apresentados os dados de diesel, gasolina e

eletricidade para a produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada e seca, e os fatores de emissão encontrados na literatura. Não foi considerado os valores de emissão de CO₂ da combustão ou degradação de biomassa, tendo em vista que os resíduos de madeira foram considerados como sendo carbono neutro, por acumularem CO₂ durante o crescimento das árvores, liberando-o na combustão ou degradação.

Tabela 2: Dados para cálculo de emissão de CO₂ na produção de madeira serrada seca e aplainada

Consumo de recursos energéticos para produção de 1ton de madeira serrada aplainada e seca		Referências
0,4942 L Diesel		Autor
0,0769 L Gasolina		Autor
10,4668 KWh Eletricidade		Autor
Fator de emissão de CO₂ para diesel	2,671 Kg/L	MMA, 2011
Fator de emissão de CO₂ para gasolina	2,269 Kg/L	MMA, 2011
Fator de emissão de CO₂ para eletricidade	0,09 Kg de CO ₂ /KWh	FAGÁ, et al., 2016

Autor: (MMA, 2011; FAGÁ, et al., 2016).

As emissões totais de CO₂ encontram-se nos resultados deste capítulo.

Para cálculo da emissão de CO₂ devido ao transporte das toras das operações florestais até a serraria, optou-se pela utilização de um modelo que se enquadra-se na categoria Articulado (acima de 33 toneladas) de acordo com a Tabela 18. Especificamente considerou-se a utilização de caminhões da categoria pesados de acordo com o indicado por MMA (2011). Na Tabela 3 são apresentados as especificações e dados adotados.

Tabela 3: Dados para cálculo de emissão de CO₂ pelo transporte de toras

Capacidade de transporte do modelo	48,5 toneladas
Média de consumo de diesel	3,17 Km/L
Fator de emissão de CO₂ para diesel	2,671 Kg/L
Distância média de transporte	100 km
Emissão de CO₂ por tonelada de madeira em tora transportada	1,737 KgCO ₂ /t

Autor: MMA, 2011.

Para fins deste estudo, não foram consideradas emissões de gás carbônico decorrentes da decomposição da madeira serrada ou quaisquer subprodutos gerados durante a cadeia produtiva da mesma. Isso porque, como os objetos de estudo deste trabalho foram florestas plantadas e a madeira é considerada como um material carbono neutro, se utilizada para fins de longa duração (GIL, CABRITA E MARTINS, 2019 apud GIL, 2016) pode considerar-se que a emissão de CO₂ da decomposição é compensada com a absorção do mesmo durante o crescimento da floresta pelo processo de fotossíntese.

Por fim, para calcular a quantidade total de recursos energéticos necessários para a produção de uma tonelada de madeira serrada aplainada seca, foram utilizadas as Equações 1, 2 e 3, apresentadas a seguir, obtidas através da consideração dos valores médios de rendimento de operações florestais, operações de serraria e o consumo de recursos energéticos.

$$C_{diesel} = \left(0,17 * \frac{1}{R_{op. serraria}} \right) + 0,11 (L) \quad \text{eq. 1}$$

$$C_{gasolina} = \left(0,015 * \frac{1}{R_{op. serraria}} \right) + 0,043 (L) \quad \text{eq. 2}$$

$$C_{eletricidade} = \left(1,18 * \frac{1}{R_{op. serraria}} \right) + 7,8 (KWh) \quad \text{eq. 3}$$

Onde:

C: consumo de recursos energéticos (litros ou kWh);

$R_{op. serraria}$: rendimento das operações de serraria;

0,17; 0,015 e 1,18 dizem respeito a quantidade de recurso energético necessário para a produção de 1 tonelada de madeira em tora seca de acordo com a revisão

bibliográfica realizada (valores descritos no item 2.3.2.3);

0,11; 0,043 e 7,8 dizem respeito a quantidade de recurso energético necessário para a produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada seca de acordo com a revisão bibliográfica realizada (valores descritos no item 2.3.2.3).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.3.1 Dados Qualitativos

Para melhor entendimento das diferentes etapas que abrangem o sistema produtivo da madeira serrada, optou-se por separar dois processos, operações florestais e operações de serraria, e dentro desses dois processos em seis e sete processos elementares, conforme a Figura 3. O detalhamento das etapas é apresentado nos itens a seguir. As descrições das etapas apresentadas neste capítulo são fruto das informações coletadas nos artigos e estes artigos são do Brasil (Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e São Paulo) e dos Estados Unidos.

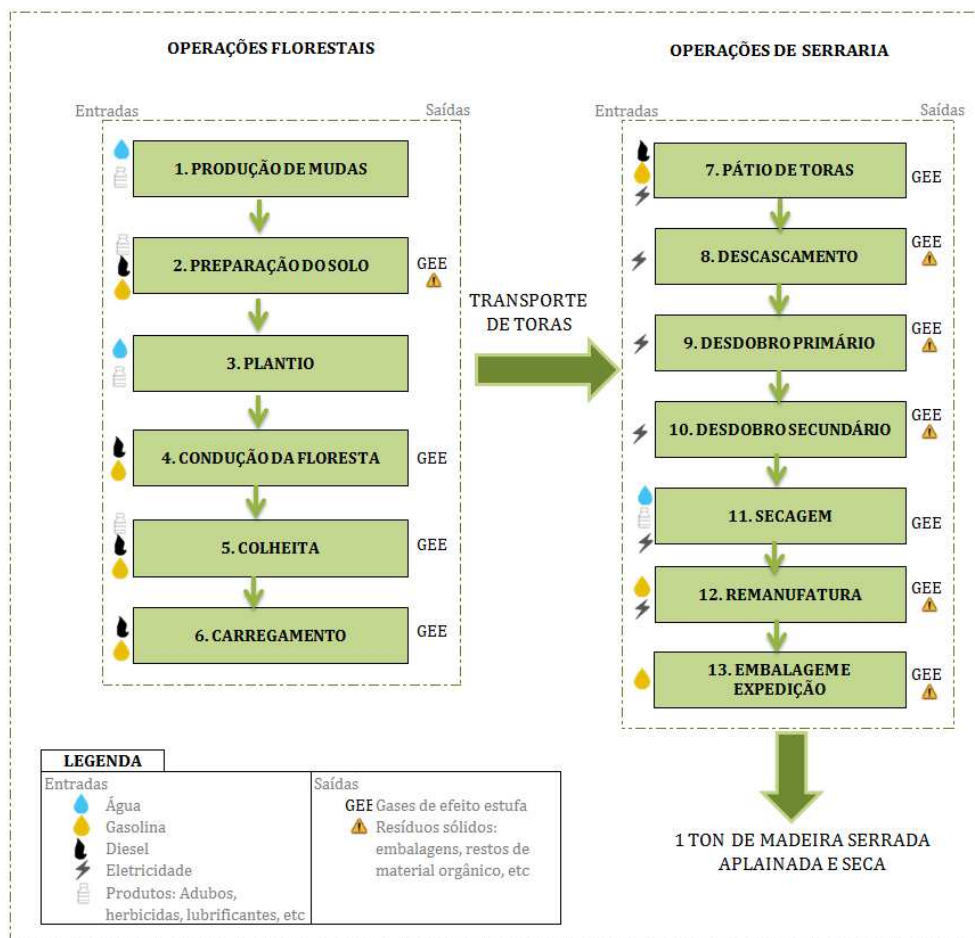


Figura 3: Etapas de produção de madeira serrada seca e aplainada.

2.3.1.1 Operações Florestais

As operações florestais estão subdivididas em: produção de mudas, preparação de solo, plantio, condução da floresta, colheita e carregamento.

Como fronteira do sistema do processo de operações florestais, adotou-se como início a produção de mudas e como término o carregamento de toras nos caminhões, de acordo com a Figura 4.

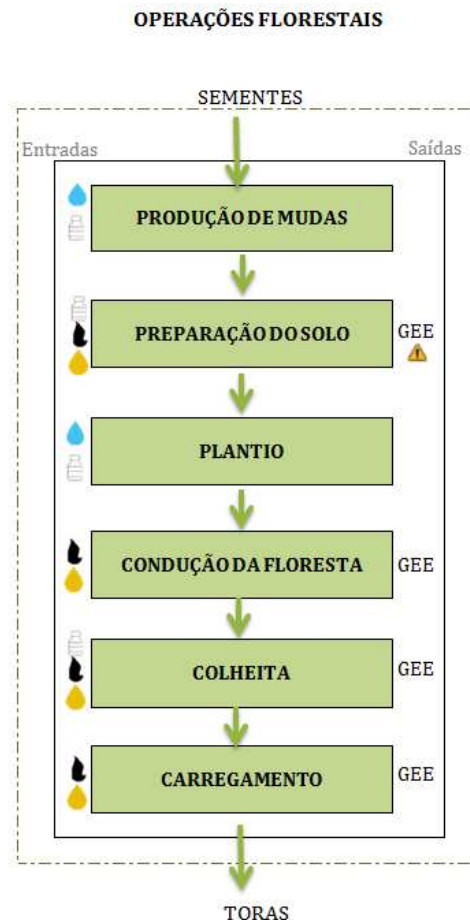


Figura 4: Etapas das operações florestais.

Primeira etapa das operações florestais, a **produção de mudas** costuma ocorrer em sistema de viveiro florestal, atrelado à maior produtividade, com obtenção de povoamentos homogêneos, planejamento operacional e produtivo (CALDEIRA, 1999). A produção de uma muda dura entre 3 e 4 meses, as atividades passam pela coleta de brotos ou sementes, preparo dos recipientes, preparação do substrato, plantio, casa de vegetação, período de rustificação e expedição para o campo (RAMOS, 2006).

Os principais recursos consumidos no cultivo das mudas são: os

recipientes para recebimento das mudas (sacos ou tubetes de polietileno), terra de subsolo (teor de argila entre 20 e 35%), água para irrigação das plantas, os nutrientes para adubação como sulfato de amônio, super fosfato simples e cloreto de potássio, os defensivos para controlar doenças e a propagação insetos, e o substrato que faz a ancoragem das mudas. No Brasil é utilizado predominantemente substratos orgânicos como esterco de curral curtido, húmus de minhoca, cascas de eucalipto e pinus decompostas, bagacilho de cana decomposto, ou ainda misturas incluindo palha de arroz carbonizada, vermiculita e terra de subsolo arenosa. As quantidades consumidas dos recursos variam com as necessidades do povoamento no viveiro (GONÇALVES, 1995; SILVA, 2012). As mudas prontas para o plantio são apresentadas na Figura 5.

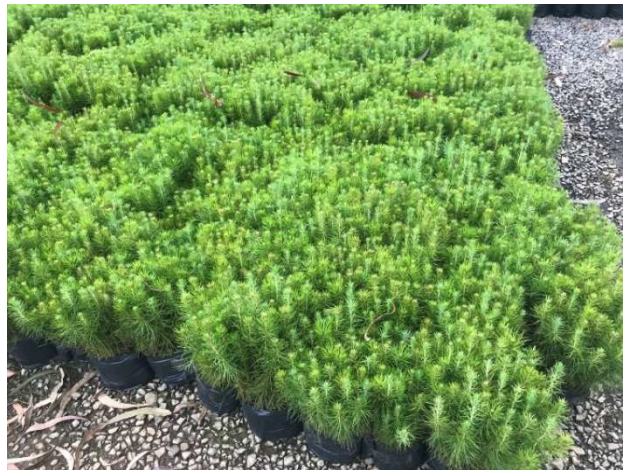


Figura 5: Foto ilustrativa de Mudas de Pinus prontas para plantio. Imagem tomada em empresa do Paraná

Fonte: Acervo do autor.

A etapa de **preparo do solo** é o conjunto de operações usadas para elevar ou manter o nível de produtividade das florestas pela melhoria da condição física, química e biológica do solo (GONÇALVES et al., 2002; SIXEL, 2012). Tais operações podem abranger o combate às formigas, capina química, calagem⁶, subsolagem⁷ e adubação de base.

As operações de preparo do solo requerem o uso de caminhões para

⁶ Calagem: adubação da terra com cal (ou mistura de cal com outras substâncias) com a finalidade de corrigir a acidez do solo.

⁷ Subsolagem: operação realizada com subsoladores (hastes que aprofundam-se no solo – mecanizadas ou não) com a finalidade de romper as camadas compactadas formadas nas camadas inferiores do solo e facilitar a plantação.

o transporte de implementos agrícolas, insumos e agrotóxicos, além de tratores para auxiliar nos trabalhos de campo. Entre as entradas nesta etapa, estão combustíveis, herbicidas, agrotóxicos, calcário e água. Entre as saídas estão um hectare de solo preparado para o plantio, resíduos das embalagens dos produtos utilizados e emissões de GEEs (YUBA, 2001).

A etapa de **plantio** pode ser realizada manual ou mecanicamente. Engloba as operações de plantio e replantio das mudas. O replantio é a substituição das mudas mortas ou danificadas após o plantio, é necessário fazê-lo para garantir máxima produção da floresta (SILVA, 2012).

No plantio manual ocorre a realização do balizamento e alinhamento, abertura de covas, distribuição de mudas e plantio propriamente dito (SILVA, 2012). Na Figura 6 são apresentados trabalhadores fazendo o plantio manual de Pinus.



Figura 6: Foto ilustrativa de Plantio manual de Pinus. Imagem tomada em empresa do Paraná

Fonte: Acervo do autor.

A etapa de **condução da floresta** abrange as atividades de manejo florestal, que incluem os serviços de manutenção de estradas, os tratos culturais com combate às formigas e capina química e os tratos silviculturais de desrama⁸ e desbaste⁹ (SILVA, 2012).

⁸ Desrama: operação de corte dos ramos para obter uma madeira com menos nós, ou seja, mais limpa. Não é necessário caso a madeira seja utilizada como biomassa (ex: celulose, papel, chapas de partículas de madeira aglomerada).

⁹ Desbaste: cortes de árvores, realizados em determinado período do crescimento da plantação, a fim de melhorar o crescimento e a quantidade de madeira efetivamente utilizável.

Na desrama ou poda faz-se a retirada de galhos dos troncos das árvores, operação que visa melhorar a qualidade da madeira pela obtenção de toras desprovidas de nós (AMBIENTE BRASIL, 2012a). A desrama é feita em geral manualmente, com ferramentas como cerrotes, serras e tesourões (RAMOS, 2006).

O desbaste é a operação na qual é feita a retirada de algumas árvores da floresta, com intuito de aumentar a produção de madeira utilizável, com a priorização das árvores mais saudáveis e de maior crescimento. Segundo Shimizu (2008), na decisão quanto à idade, ao tipo e à intensidade do desbaste a ser aplicado, devem-se levar em consideração diversos fatores, especialmente os objetivos da produção e a maximização da rentabilidade econômica. Conforme indicado pela Embrapa (2020), para produção de madeira serrada de Pinus, indica-se a realização do primeiro desbaste com 8 anos, com 12 anos, e corte final com aproximadamente 21 anos.

A **etapa da colheita** de madeira inclui quatro componentes: derrubada; processamento que envolve a remoção de membros e topos não comercializáveis e o corte da árvore em comprimentos de toras comercializáveis e transportáveis; transporte secundário, que é uma etapa de transporte que move árvores ou toras do ponto de derrubada para um ponto de carregamento próximo a uma estrada de transporte; e carregamento (PUETTMANN, ONEIL e BERGMANN, 2013). Segundo Shimizu (2008), a idade da colheita varia conforme o produto pretendido, sendo para celulose e lenha indicado árvores mais jovens, em torno de 05 anos, enquanto que para produtos como madeira serrada, árvores com idade em torno de 15 a 20 anos.

Esta etapa envolve as atividades de corte das árvores e remoção de toras da floresta. O corte em áreas aptas à mecanização, ou seja, pouco declivosas, até 15° (Höfig e Araujo-Junior, 2015), é feito por máquinas *Harvesters*, que processam as árvores em toras e toretes, organizando-os em feixes. O baldeamento¹⁰ da madeira até os caminhões de transporte ou então para locais de armazenamento é feito por equipamentos chamados *Forwarders*. Em seguida, caminhões transportam as toras de madeira bruta até a serraria onde serão beneficiadas (SILVA, 2012). Na Figura 7 é ilustrada uma *Harvester* utilizada na colheita de árvores.

¹⁰Baldeamento: passagem da madeira de um local ao outro.



Figura 7: Foto ilustrativa de Harvester utilizada em colheita mecanizada. Imagem tomada em empresa do Paraná

Fonte: acervo do autor.

O comprimento das toras é determinado, principalmente, em função das condições de transporte. O mais comum são toras com 2,50 m de comprimento. A ausência de práticas de manejo se apresenta nesta etapa sob a forma de defeitos como tortuosidades, diâmetro reduzido, deterioração e presença de nós, o que reduz o rendimento da madeira por tora, além de gerar dificuldades no transporte, o que implica no aumento de custo do produto final (SILVA, 2012).

As entradas desta etapa abrangem combustíveis (diesel e gasolina) e lubrificantes (óleos lubrificantes e graxas para os equipamentos). As saídas abrangem toras de madeira prontas para expedição, em tonelada ou m³, e emissões para atmosfera.

2.3.1.2 Operações de Serraria

As operações de serraria incluem desde o recebimento das toras no pátio até a entrega da madeira serrada verde ou seca no portão da indústria subdividido nas seguintes etapas: recebimento e armazenamento no pátio de toras,

descascamento, desdobro primário, desdobro secundário, secagem, remanufatura¹¹, embalagem e expedição. As descrições das etapas apresentadas neste capítulo são fruto das informações coletadas nos artigos sendo estes do Brasil (Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo), Chile e Estados Unidos.

Como fronteira do sistema do processo de operações de serraria, adotou-se como início o recebimento de toras no pátio de toras e como término o carregamento a embalagem e expedição de madeira serrada seca e aplainada.

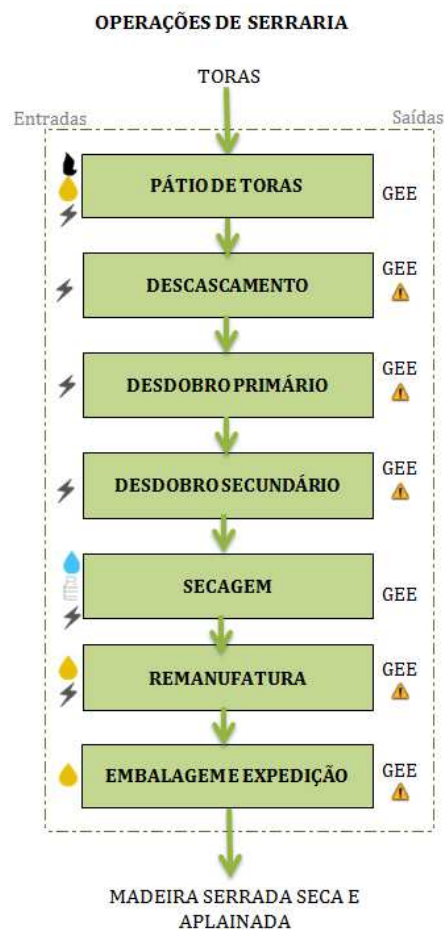


Figura 8: Etapas das operações de serraria.

O **pátio de toras** (Figura 9) é onde ocorre a descarga e armazenamento das toras vindas da etapa de operações florestais e conseqüentemente o carregamento das toras para entrada na serraria. As entradas utilizadas nesse processo incluem gasolina, diesel e eletricidade e a saída é tronco com casca (PUETTMANN, ONEIL e BERGMANN, 2013).

¹¹Remanufatura: avaliação e classificação das peças para encaminhar ao setor e destino.



Figura 9: Foto ilustrativa de Pátio de toras. Imagem tomada em empresa do Paraná

Autor: acervo do autor.

Na etapa de **descascamento** dos troncos são retiradas as cascas dos troncos. O processo consiste no carregamento das toras e postas numa mesa alimentadora que abastece o tambor descascador (IWAKIRI, 2005).

A etapa do **desdobro primário** refere-se ao processo de redução das toras inteiras, através do corte longitudinal, em partes menores que podem ser denominadas pranchas, tábuas ou peças de seção retangular ou quadrada (vigas, vigotas, caibros, sarrafos ou ripas). Este processo de redução é feito através de equipamentos de serra fita ou circular (FAGUNDES, 2003).

Após o processo primário, no **desdobro secundário**, as peças são classificadas de acordo com suas características dimensionais e qualidade. Em seguida é realizado o tabicamento¹² e o gradeamento¹³, com o direcionamento das peças para o pátio de armazenagem de madeira verde e em seguida para as estufas de secagem (PUETTMANN, ONEIL e BERGMANN, 2013). Na Figura 10 são apresentadas as peças sendo dispostas para encaminhar à estufa.

¹²Tabicamento: colocação de peças de madeira cruzadas as peças armazenadas para melhorar a ventilação entre as camadas e evitar fungos.

¹³ Gradeamento: empilhamento das peças com o objetivo de facilitar seu armazenamento e transporte.



Figura 10: Foto ilustrativa de toras organizadas para estufa. Imagem tomada em empresa do Paraná

Autor: acervo do autor.

Se a secagem for ao ar, as pilhas de madeira serrada são colocadas em pátios, deixando-a exposta aos fatores ambientais, permitindo secar naturalmente até que esta atinja a umidade de equilíbrio do ambiente, dependendo da temperatura, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento. Esse processo está ilustrado na Figura 11 a seguir. Neste método, há o inconveniente de demandar mais tempo se comparada a outros métodos, variações nas dimensões e qualidade das peças, além de apresentar um teor de umidade final que apresenta limitações para certos usos da madeira (SUSIN et al., 2014; SANTOS, 2018).



Figura 11: Foto ilustrativa do processo de secagem ao ar livre. Imagem tomada em empresa do Paraná

Autor: acervo do autor.

Já o **processo de secagem** em estufa, considera a circulação do ar promovida por um conjunto de ventiladores reversíveis que impulsionam o ar, e que após ser aquecido ao passar por trocadores de calor, é orientado para atravessar as pilhas de madeira transferindo o calor para a madeira e a umidade das peças para o ambiente, permitindo maior controle das variáveis envolvidas no processo, como temperatura, potencial de secagem e umidade relativa (LOIOLA, 2015). Este processo é ilustrado na Figura 12, a seguir. A circulação do ar é realizada por ventiladores, de modo a garantir a distribuição uniforme das condições de secagem. A energia térmica utilizada no processo pode ser proveniente de usina de biomassa (SILVA, 2012). No geral, a umidade das peças após a secagem em estufa é em média 15% (ELUSTONDO, OLIVEIRA e AVRAMIDIS, 2010). Na Figura 13 (a e b) é possível visualizar um exemplo de programação de secagem em estufa, inclusive a disposição das peças dentro da estufa.



Figura 12: Foto ilustrativa do processo de secagem em estufa. Imagem tomada em empresa brasileira fornecedora de estufas

Autor: Site fornecedor especializado - <https://www.engecasscaldeiras.com.br/secadores-madeira>.

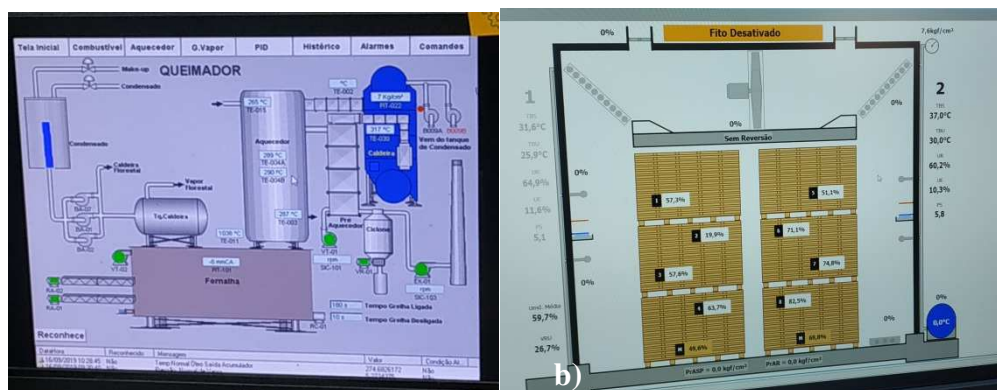


Figura 13 (a) (b): Foto ilustrativa de programação de secagem em estufa. Imagem tomada em empresa do Paraná

Fonte: acervo do autor.

Após a secagem, os fardos de madeira são desgradeados e a madeira serrada é encaminhada para a remanufatura. Na **remanufatura** ocorre nova classificação, visual e dimensional das peças. Então, as tábuas são encaminhadas para um novo destopo e eventualmente aplainamento, se assim especificado na ordem de fabricação. As operações de beneficiamento da madeira, referem-se basicamente aos trabalhos de usinagem da madeira serrada bruta, por seccionamento

das peças, aplainamento, lixamento ou fresamento¹⁴ (FISCHER et al., 2020).

Em seguida, é realizado o enfardamento dos lotes utilizando fita poliéster para cintamento e proteção dos pacotes, capas e pontaletes/calços de madeira, e cantoneiras de papelão. No transporte dos pacotes para os galpões e/ou dos galpões para os caminhões onde ocorre a **expedição** dos produtos, utilizam-se empilhadeiras (SILVA, 2012), como apresentado nas Figuras 14 e 15.



Figura 14: Foto ilustrativa de peças de madeira serrada seca e aplainada prontas para expedição. Imagem tomada em empresa do Paraná.

Autor: acervo do autor.

¹⁴Fresamento: desbaste ou corte de peças por meio de máquina de fresa ou ferramentas multicortantes, que utilizam-se de sucessivos cortes por meio de dentes ou frisos nas peças.



Figura 15: Foto ilustrativa de peças de madeira serrada seca e aplainada prontas para expedição. Imagem tomada em empresa do Paraná.

Fonte: acervo do autor.

No processo da serraria as entradas incluem toras vindas das operações florestais, eletricidade para operar serras e transportadores, e os outros combustíveis são usados em equipamentos de manuseio de madeira, como empilhadeiras. Além disso, têm-se filme plástico, cantos de papelão e cintas de aço usadas para embalar o produto para transporte. Como saída tem-se uma tonelada de madeira serrada seca, resíduos do processo de corte (aparas, destopos, refilos e serragem) e resíduos de embalagens (PUETTMANN, ONEIL e BERGMANN, 2013).

2.3.2 Dados Quantitativos

Os dados obtidos conforme parâmetros apresentados na metodologia deste trabalho foram divididos em quatro tipos, apresentados nos itens a seguir: rendimento e resíduos da produção, consumo de combustíveis e eletricidade, consumo de água e emissões de CO₂.

2.3.2.1 Rendimento e resíduos da produção

Os resíduos considerados pelos trabalhos seguem a definição de todos materiais descartados nas cadeias de produção e consumo que por limitações tecnológicas ou de mercado não apresentam, no momento, valor de uso ou econômicos (NOLASCO, 2014). Ou seja, todos os volumes de árvore que não estão de acordo com os diâmetros comerciais foram considerados resíduos pelos autores. Sendo assim, consideraram-se as acículas (não possuem materiais lenhosos significativos), cascas e galhos como resíduos, e os fustes como materiais lenhosos

comerciais.

A faixa de variação encontrada para o rendimento das operações florestais varia de 58,3 - 84,7% (65,7% mediana). A produção de resíduos representa porcentagens de 15,2 – 41,7% (mediana de 34,4%) (1.Wojciechowski, 2003;2. Balbinot et al., 2003; 3. Bizon, 2005; 4. Balbinot et al., 2008; 5. Giongo et al., 2011; 6. Sixel, 2012; 7. Watzlawick, 2013;8. Schumacher et al., 2013). Os valores de rendimento do processo de operações florestais adotados encontram-se graficamente descritos na Figura 16, de acordo com o tipo de resíduo. A Figura 17 apresenta a porcentagem de resíduos para a porcentagem de fuste dos trabalhos estudados.

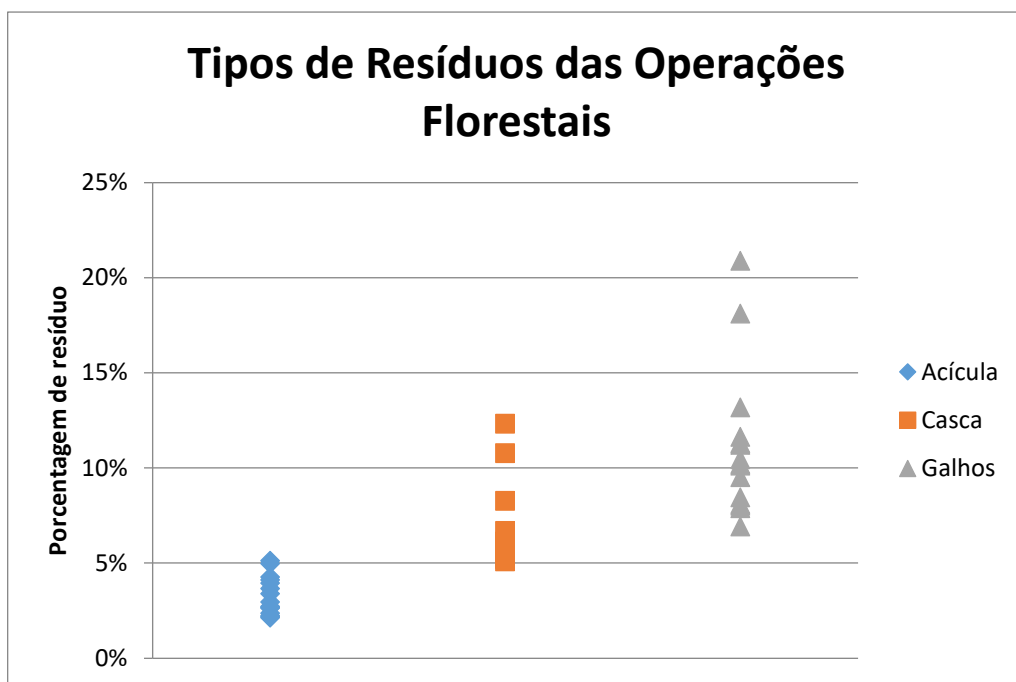


Figura 16: Tipos de resíduos das operações florestais

Fonte: autor baseado nos dados dos trabalhos de referência (Wojciechowski, 2003; Balbinot et al., 2003; Bizon, 2005; Balbinot et al., 2008; Giongo et al., 2011; Sixel, 2012; Watzlawick, 2013; Schumacher et al., 2013).

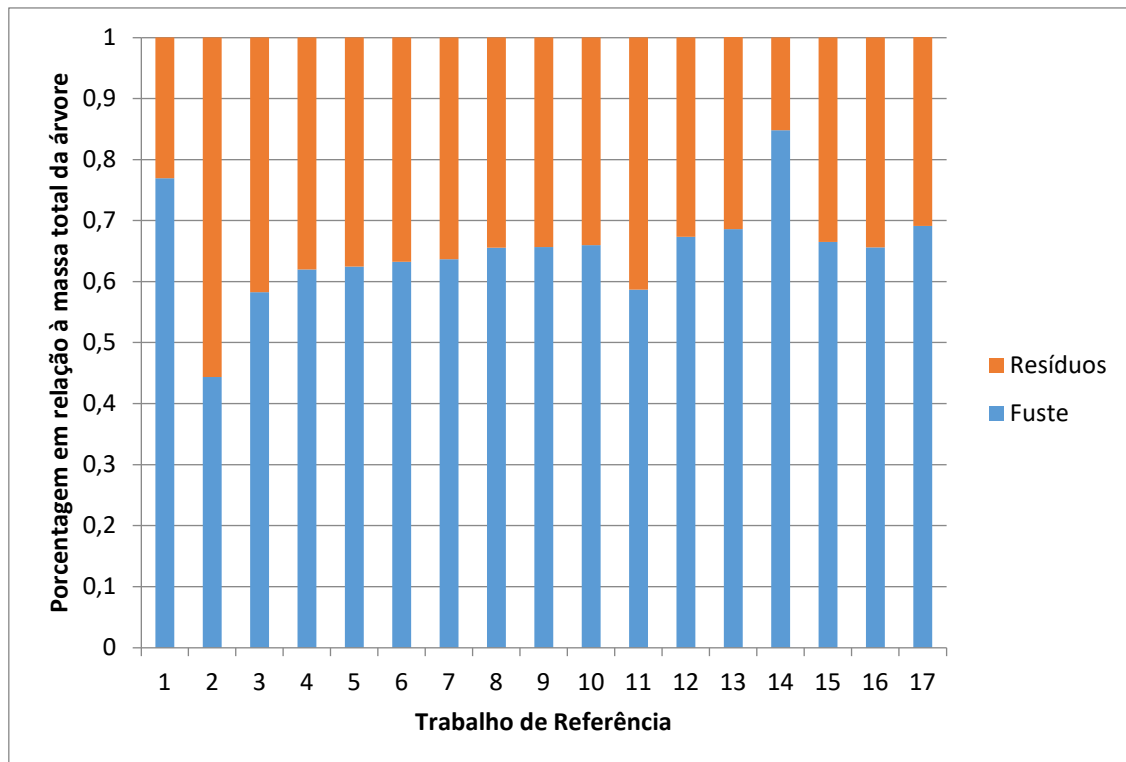


Figura 17: Porcentagem de fuste e resíduos por trabalho de referência

Fonte: autor baseado nos dados dos trabalhos de referência (Wojciechowski, 2003; Balbinot et al., 2003; Bizon, 2005; Balbinot et al., 2008; Giongo et al., 2011; Sixel, 2012; Watzlawick, 2013; Schumacher et al., 2013).

Essas variações de valores de produção de resíduos ocorrem por vários fatores. Dentre os principais estão a espécie da árvore, a idade da extração, o número de desbastes feitos durante o crescimento das florestas, clima e solo, e demais intempéries.

Para árvores com até 19 anos de idade, a média de porcentagem resíduos de *Pinus Taeda* é 44,6%, enquanto para *Pinus Taeda* e *Elliotti* é de 37,0%. Para árvores entre 20 e 30 anos, a média de porcentagens de resíduos é de 35,8% para *Pinus Taeda* e 19,1% para *Pinus Elliotti*. Pode-se perceber portanto que idade e a espécie da árvore, mesmo sendo da mesma família (*Pinaceae* – Pinheiro), influenciam diretamente na quantidade de resíduos. Por exemplo, o valor mínimo de rendimento encontrado, 58,3% foi do trabalho de Bizon (2005) pois o mesmo utilizou unicamente a espécie de *Pinus Taeda*, e variação de 19 a 29 anos. Já o detentor do maior rendimento, 84,7%, foi Giongo et. al (2011) que utilizou unicamente *Pinus Elliottii* aos 23 anos, ou seja, houveram valores de idades menores para alterar no resultado.

Analisando somente a idade, verifica-se que quanto mais jovens são as

florestas no momento da colheita, maior é a quantidade de resíduos, isso porque as árvores possuem dimensões menores, portanto, com menor volumes comerciais. No geral, quanto mais idade a árvore têm maior a quantidade de massa no tronco e copa, o que acaba aumentando o percentual de resíduos devido à copa. Porém, por ser *Pinus*, verifica-se que a copa permanece sem aumento considerável de massa, e, portanto, a quantidade de resíduos cai conforme a idade aumenta, visto que somente a massa de tronco aumenta.

Quanto às espécies, verifica-se que, tanto os valores para 0 à 19 anos de idade quanto para 20 à 30 anos, os valores de resíduos para *Pinus Taeda* são superiores que para *Elliotti* e *Taeda* e *Elliotti* juntos. Segundo a Aguiar, Sousa e Shimizu (2014) de maneira geral, a espécie *Pinus elliottii* apresentar um incremento volumétrico menor do que o *Pinus taeda*, o que contrapõe os resultados obtidos, entretanto, essa diferença pode ser atribuída a diversas características dos plantios analisados nos estudos como técnicas de manejo, técnicas de colheita, entre outros.

Infelizmente não foram encontrados dados referentes aos resíduos para extração de *Pinus Elliotti* entre à idade de 0 e 20 anos, porém, acredita-se que seriam também inferiores, visto que a média do *Elliotti*, mesmo que misturada com *Taeda*, foi menor que somente para *Taeda*.

O rendimento das operações de serraria varia de 22,3 - 78,0% (44,2% mediana). A produção de resíduos representa porcentagens de 22,0% mínimo, 55,8% mediano e 77,6% máximo (1. Vianna Neto, 1984; 2. Fontes, 1994; 3.Brand, 2000; 4. Brand, et al, 2002; 5. Biasi e Rocha, 2003;6. Cardoso Junior, 2008; 7. Dobner Júnior, Higa e Rocha, 2012; 8. Manhiça, Rocha e Timofeiczuk Júnior, 2012; 9. Murara Júnior, Rocha e Trugilho, 2013; 10. Lengowski, Fuck e Bonfatti Júnior, 2017; 11. Lopes, et al., 2018; 12. Serpe, Figueiredo Filho e Arce, 2018).

O rendimento mínimo de 22,3% foi obtido pelo trabalho de Fontes (1994), e pode dever-se ao fato de que, na época da pesquisa, não eram utilizadas ferramentas automatizadas ou eletronicamente programadas para o setor de produção de madeira serrada, como por exemplo softwares de otimização de desdobro, que podem melhorar a porcentagem rendimento das peças. Além disso, a faixa de avaliação de rendimento deste autor foi de toras de 15 a 29,50 cm de diâmetro, já dos autores que obtiveram o valor máximo de rendimento (Dobner Júnior, Higa, e Rocha, 2012) a variação do diâmetro foi de 20 a 57 cm, ou seja, peças com maiores diâmetros tendem a gerar maior quantidade de peças comerciáveis e menor

quantidade de resíduos.

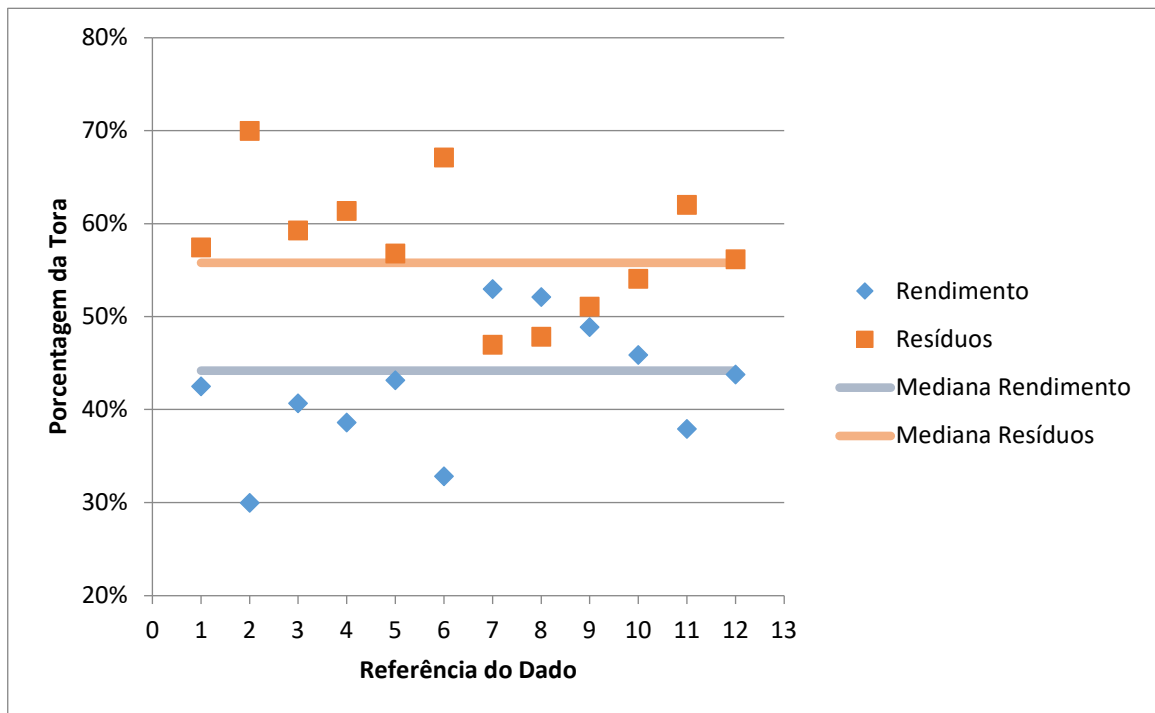


Figura 18: Rendimento e resíduos das operações de serraria

Fonte: autor baseado nos dados dos trabalhos de referência (Vianna Neto, 1984; Fontes, 1994; Brand, 2000; Brand, et al, 2002; Biasi e Rocha, 2003; Cardoso Junior, 2008; Dobner Júnior, Higa e Rocha, 2012; Manhiça, Rocha e Timofeiczuk Júnior, 2012; Murara Júnior, Rocha e Trugilho, 2013; Lengowski, Fuck e Bonfatti Júnior, 2017; Lopes, et al., 2018; Serpe, Figueiredo Filho e Arce, 2018).

As variações de porcentagens de resíduos nas serrarias se dão principalmente pela qualidade das madeiras obtidas, seja pela quantidade de nós, formatos irregulares, esmoados¹⁵, rachaduras, ou outros defeitos que podem surgir durante o crescimento, extração e transporte das toras. Além disso, o modo de processamento da tora influencia diretamente no rendimento e resíduos gerados de uma peça, variando conforme o *modus operandi* de cada empresa ou trabalho em questão.

Para os valores de rendimento, tem-se a geração de 7,68 a 0,23 ton (mediana 1,21 ton) de resíduos florestais, e de 3,48 a 0,28 ton (mediana 1,26 ton) de resíduos de serraria para a produção de uma tonelada de madeira serrada aplainada seca, conforme diagrama apresentado na Figura 19. Os resíduos florestais

¹⁵ Esmoados: o canto arredondado, formado pela curvatura natural do tronco de peça retangular serrada.

considerados foram acículas, cascas, e galhos, tendo como destino a própria floresta. Os resíduos de serraria considerados foram todos as peças e pedaços de tamanhos não comerciais produzidos durante o processamento das peças, como serragem, pó-de-serra, cavaco, costaneiras, lascas, casca, maravalhas, resíduos do refilamento, aparas e/ou destopo. Os destinos dos resíduos de serraria variam de acordo com o tamanho, podendo ser utilizados como adubo orgânico, para resíduos pequenos; para fins energéticos como combustível para pedaços maiores; cama de aviário, como é o caso da maravalha; entre outras finalidades dependendo da região e disponibilidade.

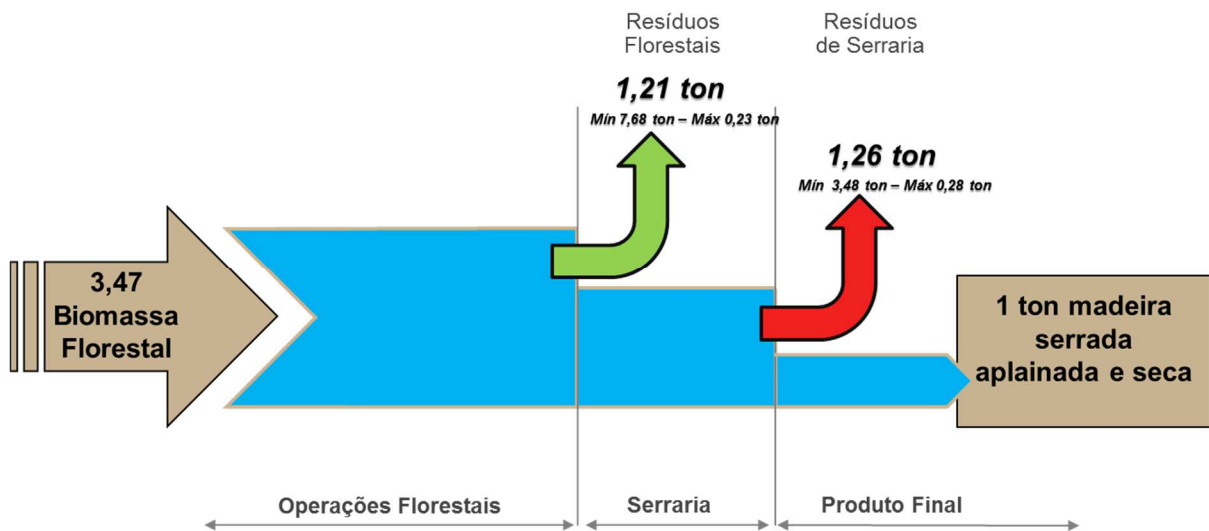


Figura 19: Fluxo do rendimento na produção de madeira serrada aplainada e seca

Fonte: autor baseado nos dados dos trabalhos de referência (Vianna Neto, 1984; Fontes, 1994; Brand, 2000; Brand, et al, 2002; Biasi e Rocha, 2003; Cardoso Junior, 2008; Dobner Júnior, Higa e Rocha, 2012; Manhiça, Rocha e Timofeiczuk Júnior, 2012; Murara Júnior, Rocha e Trugilho, 2013; Lengowski, Fuck e Bonfatti Júnior, 2017; Lopes, et al., 2018; Serpe, Figueiredo Filho e Arce, 2018).

2.3.2.3 Consumo energético

Conforme apresentado na Tabela 2, tem-se uma emissão total de CO₂ de 2,43 Kg/ton de madeira serrada aplainada seca, excluindo a etapa de transporte das toras.

Conforme apresentado na Tabela 3, considerando que 2,26 toneladas de madeira em tora são necessárias para a produção de 1 tonelada de madeira serrada seca e aplainada, é emitido 3,926 KgCO₂/t devido ao transporte.

Quanto às medianas dos valores apresentados pelos trabalhos pesquisados para operações florestais encontram-se a seguir, na Tabela 4. Os valores

foram divididos em quantidade de litros ou quilowatts nas Operações Florestais (OF): para produção de 1 tonelada de madeira em tora seca; e, Operações de Serraria (OS): para a produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada e seca, considerou-se 2,26 toneladas de madeira em tora seca necessárias para produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada e seca conforme fluxograma apresentado na Figura 19. Para a conversão para MJ/t foram utilizados os coeficientes da Tabela 4. Na Figura 20 são apresentados os percentuais de energia utilizados em cada etapa.

Tabela 4: Consumo energético para OF e OS

OF	OS	Total para produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada e seca
Diesel		
0,17 L (5,99 MJ)	0,11 L (3,88 MJ)	0,49 L (17,27 MJ/t)
Gasolina		
0,015 L (0,4443 MJ)	0,043 L (1,2734 MJ)	0,08 L (2,28 MJ/t)
Eletricidade		
1,18 kWh (4,25 MJ)	7,80 kWh (28,08 MJ)	10,47 kWh (37,69 MJ/t)

Fonte: Puettmann et al., 2013; Puettmann, Oneil e Bergman, 2013; Milota e Puettmann, 2017.

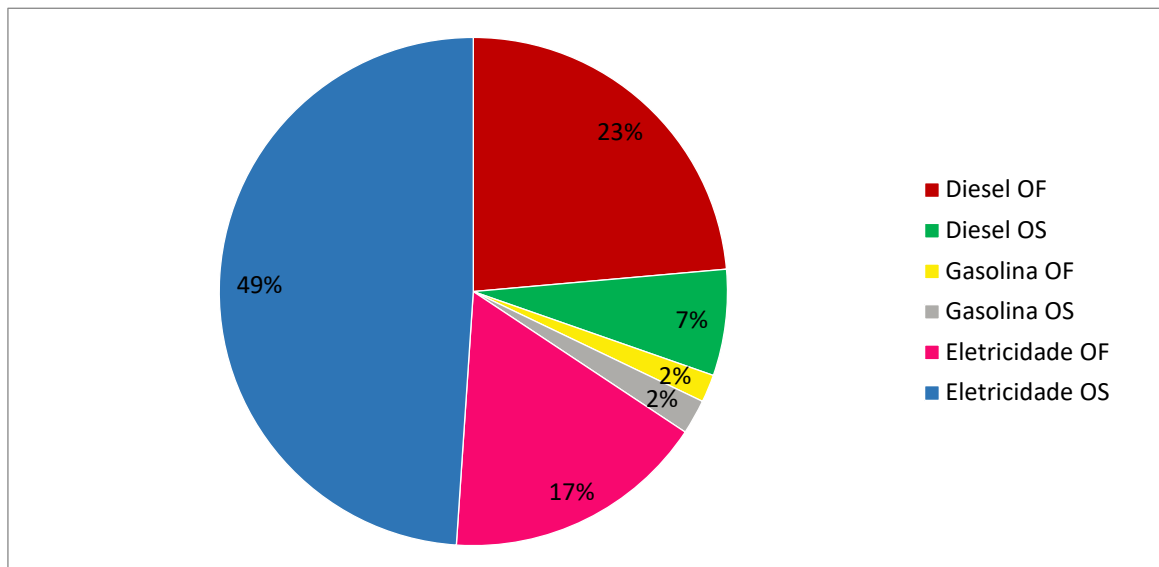


Figura 20: Consumo energético (em MJ) nas operações florestais e de serraria

Fonte: autor baseado nos dados dos trabalhos de referência (Puettmann et al., 2013; Puettmann, Wagner e Johnson, 2010; Milota, West e Hartley, 2007).

De acordo com a Figura 20, 30% do consumo energético é devido à utilização de diesel (23% OF e 7% OS), 4% de gasolina (2% OF e 2% OS) e 66% devido à eletricidade (17% OF e 49% OS).

A quantidade de diesel foi maior nas operações florestais do que nas operações de serraria, principalmente devido ao fato da utilização de máquinas pesadas com motores a diesel, nas etapas de preparo do solo e colheita. Nesse sentido, o consumo de gasolina em operações florestais apresentou valores consideráveis, principalmente pela utilização de motosserra na colheita de áreas com maior declive. Vale ressaltar, que segundo Santos (2014), a topografia e as condições do terreno são fatores limitantes para a mecanização, pois na presença de tocos e solo encharcado o rendimento das máquinas é menor, ocorrendo ainda a danificação do maquinário ocasionado pelos tocos, aumentando o número de manutenções e trocas de peças. Acima de 30° de declividade, é recomendado a utilização de motosserras com uso do sistema de cabos aéreos (EPSTEIN, et al., 2006).

A quantidade de gasolina na serraria, devido à utilização de máquinas para transporte das toras para entrada e saída das estufas e encaminhamento à área de aplainamento, enquanto a eletricidade foi maior devido sua utilização em equipamentos como serras, plainas e estufas. As estufas dos estudos analisados fazem utilização de eletricidade da própria rede juntamente com a utilização de biomassa para produção de vapor na secagem das peças, variando de acordo com o teor de umidade das mesmas.

Os valores de energia total incorporada à produção de madeira serrada seca foram entre 1.219,71 MJ/t e 1.653,03 MJ/t, mediana de 1.444,75 MJ/t (Puettmann et al., 2013; Puettmann, Wagner e Johnson, 2010; Milota, West e Hartley, 2007). Os valores apresentados são referentes às médias de total de energia incorporada, em ambas operações florestais e de serraria.

2.3.2.4 Água

O consumo de água foi dividido em utilização para operações florestais: irrigação de mudas e aplicação de insumos, como herbicidas; e, água para operações de serraria, em sua maior parte utilizada na estufa. Neste caso não foi contabilizada a água da chuva, sendo assim a idade da floresta não interfere nos valores de consumo de água.

Para analisar o consumo de água foram utilizados os dados

apresentados por Milota e Puettmann, 2017; Hubbard et al., 2019; e Puettmann, 2013, obtendo-se um consumo médio de água nas operações florestais de 13,46 l/t de tora seca. Já o consumo médio de água para as operações de serraria foi 26,31 l/t de madeira serrada aplainada e seca, sendo quase o dobro que o consumo das operações florestais. Essa diferença ocorre principalmente, segundo os autores, devido ao uso de água para aspersão nas toras que chegam à serraria, com intuito de evitar defeitos de ressecamento ou manchas, juntamente com as operações de secagem da madeira serrada bruta em estufas. Dependendo das condições dos lotes, a madeira permanece dentro das estufas entre 16 e 60 horas, saindo com teores de umidade menores que 19%, geralmente entre 14 e 16% em relação à massa total. Na Figura 21, tem-se a representação de um modelo de estufa utilizada no processo de secagem da madeira.

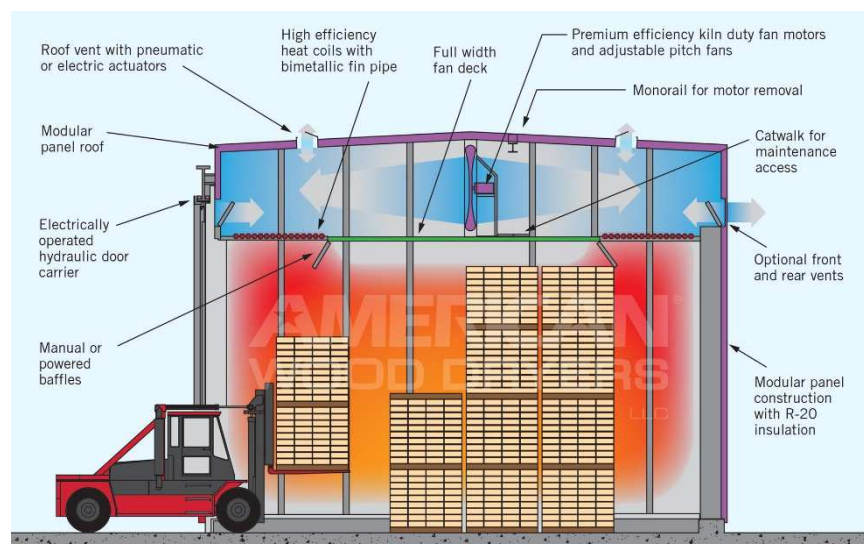


Figura 21: Modelo de estufa utilizada no processo de secagem da madeira

Fonte: Catálogo empresa American Wood Dryers.

2.3.2.6 Emissões de CO₂

As emissões de CO₂ das operações florestais serão apresentadas em kgCO₂ por tonelada de madeira em tora seca, enquanto as operações de serraria em kgCO₂ por tonelada de madeira serrada seca e aplainada. A Figura 22 apresenta os valores máximos, medianos e mínimos, das variações de emissão de CO₂, considerando-se 2,26 toneladas de madeira em tora seca necessárias para produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada e seca conforme fluxograma apresentado

na Figura 19 (Milota, West e Hartley, 2007; Puettmann et al., 2013; Puettmann, Oneil e Bergman, 2013; Milota e Puettmann, 2017).

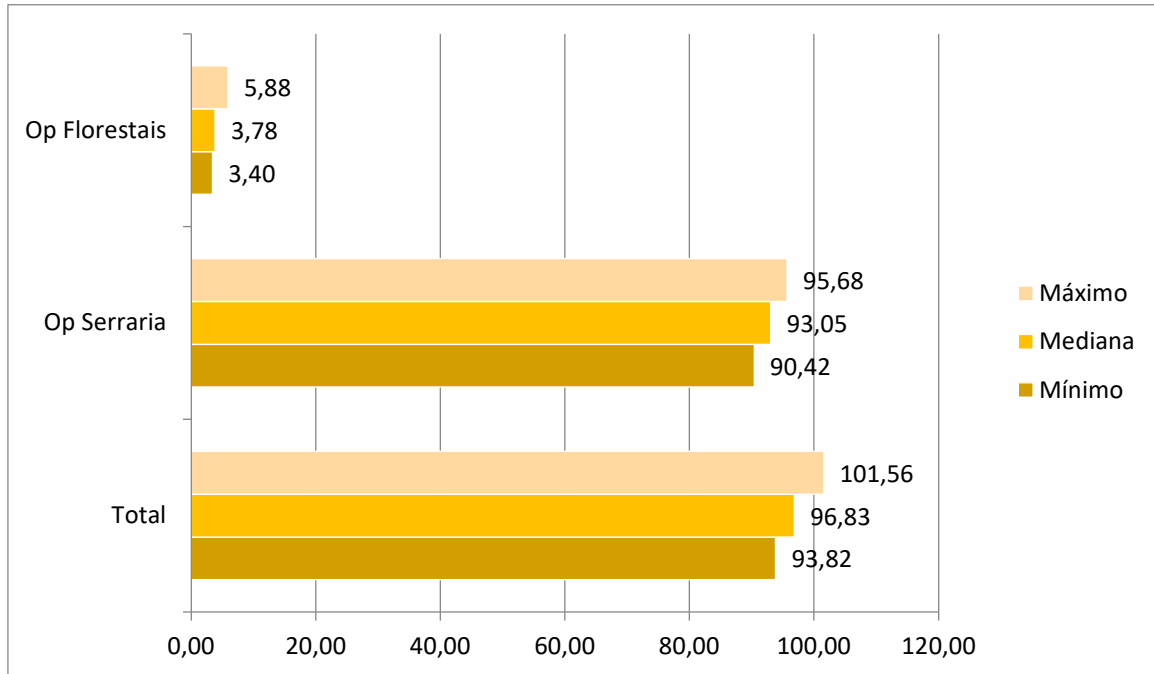


Figura 22: Emissões de KgCO₂ para produção de 1 ton de madeira serrada seca e aplainada
 Fonte: autor baseado nos dados dos trabalhos de referência (Milota, West e Hartley, 2007; Puettmann et al., 2013; Puettmann, Oneil e Bergman, 2013; Milota e Puettmann, 2017).

De acordo com os valores apresentados na Figura 22 têm-se, portanto, que de 3,6 a 5,8% (mediana 3,9) são as emissões devidas às Operações Florestais e de 96,4 a 94,2% (mediana 96,1) devidas às Operações de Serraria. Segundo as referências analisadas, isso se dá pois as fases com maior consumo de energia são: a secagem (quando por estufa), desdobro e corte das toras, seguido pelo aplainamento das peças, todas ocorrendo durante as Operações de Serraria.

2.4 CONSIDERAÇÕES

Os valores de rendimento foram 58% a 85% (66% mediana), sendo o mínimo devido a utilização de *Pinus Taeda* e idades inferiores de corte (a partir de 19 anos) e o máximo devido à utilização de *Pinus Elliottii* e idades mais altas (23 anos). Os rendimentos para a fase florestal e 22% a 78% (mediana 44%) para a fase de serraria, sendo o mínimo devido à falta de otimização de toras e utilização de diâmetros menores (de 15 a 29,5 cm), já o máximo utilizou diâmetros maiores (20 a

57 cm) e trata-se de métodos mais atuais e tecnológicos para desdobro das peças. As demais variações entre valores são devidas especialmente às espécies das árvores de cada trabalho, a idade da extração, o número de desbastes feitos durante o crescimento das florestas. Os melhores resultados de rendimento na floresta são devidos principalmente à espécie utilizada (preferência *Pinus Elliottii*) e à idade do corte (acima de 23 anos), e na serraria o melhor rendimento se deu por conta dos diâmetros de corte (diâmetros maiores rendem mais) e da otimização de toras por meio de softwares e ferramentas tecnológicas de corte.

Os valores de resíduos foram 15 - 56% (mediana 34%) fase florestal e 22 - 78% (mediana 56%) para fase de serraria. As faixas de variação devem-se principalmente pelas diferenças de qualidade das peças e pelo modo de processamento de cada caso estudado. Os melhores resultados para fase florestal devem-se a utilização do *Pinus Elliottii* e idades superiores de corte, e para a fase de serraria especialmente a utilização de diâmetros de tora maiores e otimização das toras disponíveis.

A energia incorporada variou de 1219,71 MJ/t a 1653,03 MJ por tonelada de madeira serrada seca e aplainada, com mediana de 1444,75 MJ/t, destes aproximadamente 3,73% diz respeito às operações florestais e 96,27% às operações de serraria. Os valores de combustíveis são mais altos nas operações florestais devido aos maquinários pesados dessas operações (harversters, skidders, caminhões, etc) serem basicamente movido à diesel, bem como nas serrarias, a base energética das máquinas é basicamente elétrica, nos países dos estudos analisados, Brasil, Estados Unidos da América e Chile.

O consumo de água nas operações florestais foi de 5,96 l/t de madeira seca, e na serraria 26,31 l/t de madeira serrada seca e aplainada, não considerando-se a água da chuva. Sendo assim os percentuais são de 33,8% de consumo nas operações florestais e 66,2% nas operações de serraria. Isso se dá, pois nas OF utiliza-se água para produção de mudas e em casos de regiões secas para plantio. Os resultados de consumo de água são maiores quando existe a utilização de água para geração de vapor utilizado nas secagens em estufa, porém, deve-se avaliar o ganho de melhoria do produto quando da utilização deste processo.

E, por fim, as emissões de CO₂ durante as operações florestais foram de 3,4 a 5,9 kgCO₂ por 2,26 tonelada de madeira em tora seca (mediana 3,8 kgCO₂/t). As emissões de CO₂ nas operações de serraria foram de 90,4 a 95,7 kgCO₂ por

tonelada de madeira serrada seca e aplainada (mediana 93,0 kgCO₂/t). Sendo maiores as emissões durante às fases de produção de madeira serrada devido aos processos devido à maiores gastos energéticos, principalmente devido as etapas de secagem, desdobro e aplainamento.

2.5 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040 (a): Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida-princípio e estrutura. ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14044 (b): Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida-requisitos e orientações. ABNT, 2009.
- AGUIAR, Ananda Virginia de; SOUSA, Valderes Aparecida de; SHIMIZU, Jarbas Yukio. Espécies de pínus mais plantadas no Brasil. 2014. Embrapa Florestas. Sistema de Produção, 2º edição. ISSN 1678-8281. 2014.
- AMBIENTE BRASIL. (2012a). Silvicultura do eucalipto (*Eucalyptus*spp). Disponível em:<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/silvicultura/silvicultura_do_eucalipto_%28eucalyptus_spp.%28.html>.
- AZEVEDO CAMPOS, Felipe Henrique. Análise do Ciclo de Vida na Construção Civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto. 2012.
- BALBINOT, Rafaelo, SCHUMACHER Mauro Valdir; WATZLAWICK Luciano Farinha; SANQUETTA, Carlos Roberto. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol. 5, nº 1, Jan/Jun2003
- BALBINOT, Rafaelo; VALÉRIO, Álvaro Felipe; SANQUETTA, Carlos Roberto; CALDEIRA, Marcos Vinicius Winckler; SILVESTRE, Raul. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades no sul do estado do Paraná. Floresta, v. 38, n. 2, 2008. FLORESTA, Curitiba, PR, v.38, n.2, abr./ jun. 2008.
- BIASI, C., ROCHA, M. P. Rendimento em serraria de *Pinus elliotii* Curitiba, 2003. U.F.P.R. - Universidade Federal do Paraná.
- BIZON, José Márcio Cossi. Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes. José Márcio CossiBizon. Piracicaba, 2005. 95p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.
- BÓÇON, Fernando. Máquinas Térmicas I. Ciclos térmicos a vapor. Combustíveis e Combustão. 2016. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. PR.
- BORBA JUNIOR, Durval João de; OLIVEIRA GOMES, Victor Emmanuel de; BORK, Carlos Alberto Schuch. Escolha de uma empilhadeira baseada em critérios sustentáveis. Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-

- 1983-1838, v. 8, n. 2, p. 59-70, 2015.
- BRAND, Martha Andreia. Rendimento do processo produtivo e energético da matéria-prima de uma indústria de base florestal. Curitiba, 2000.
- BRAND, Martha Andreia; MUÑIZ, Graciela Inês Bolzon de; SILVA, Dimas Agostinho da; KLOCK, Umberto. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. 2002. Revista Floresta. v. 32, n. 2, p. 247-259.
- CALDEIRA, Sidney Fernando. Notas de Aulas Teóricas: Práticas Silviculturais. 1999.
- CARDOSO JÚNIOR, Antônio Américo. Inovação tecnológica na obtenção de madeira serrada de pinus com uso de programa otimizador de desdobro. Tese (Doutorado)–Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Researchconference. Asheville: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 2004. 140 p.
- CBCS. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Site oficial de projetos. 2021. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br>>.
- COELHO FILHO, Osmar; SACCARO JUNIOR, Nilo Luiz; LUEDEMANN, Gustavo. A avaliação de ciclo de vida como ferramenta para a formulação de políticas públicas no Brasil. 2016.
- DOBNER JÚNIOR, M.; HIGA, A. R.; ROCHA, M. P. da. Rendimento em Serraria de Toras de Pinus taeda: Sortimentos de Grandes Dimensões. Floresta e Ambiente, v. 19, n. 3, p. 385–392, 2012.
- ELUSTONDO, Diego M.; OLIVEIRA, Luis; AVRAMIDIS, Stavros. New methodology to optimize sorting in wood drying. Maderas. Ciencia y tecnologia, v. 12, n. 2, p. 79-91, 2010.
- EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2020. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Portal do Governo Brasileiro. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/>>
- EPD Brasil. Site oficial das Declarações Ambientais de Produto (ou, Environmental Product Declaration – EPD®). 2021. Fundação Vanzolini. São Paulo. SP. Disponível em: <<https://www.epdbrasil.com.br/>>.
- EPSTEIN, R.; WEINTRAUB, A.; SAPUNAR, P.; NIETO, E.; SESSIONS, J. B.; SESSIONS, J.; BUSTAMANTE, F.; MUSANTE, H. A combinatorial heuristic approach for solving real size machinery location and road design problems in forestry planning. 2006. Operations Research, v.54, n.6, p.1017-1027, 2006.

- FAGÁ, M.W.; DOS SANTOS, E.M.; FOSSA, A.J.; CROSO, T.; CHAGURI, J.J. Eficiência Energética em Edificações – Análise da Energia no Aquecimento de Água: Fatores de Energia Primária e Emissão de CO₂. Relatório atividade 5a – revisão 7. novembro de 2016.
- FAGUNDES, Hilton Albano Vieira. Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado – Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2013. 173p.
- FISCHER, Anna Claudia; SANCHOTENE, Camila Yara dos Santos; AZEVEDO, Nathalia Cardoso de; BERNARDO, Janice; LANGER, Marcelo; SANTOS, Eduardo Picolotto dos; PUNHAGUI, Katia Regina Garcia; SILVA, Dimas Agostinho da; TAVARES, Sérgio Fernando. Processo produtivo dos materiais lenhosos que compõe o sistema construtivo Wood Frame. In: Encontro Brasileiro em Madeira e em Estruturas de Madeira. 17. 2020, Florianópolis. Anais.. Florianópolis: EESC, UFSC, UDESC, 2020.
- FONTES, Paulo José Prudente de Fontes. Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos. 1994. Dissertação para mestre em ciências florestais. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- GALINDRO, Bruno Menezes. Desenvolvimento de sistema de benchmarking para a comunicação de declarações ambientais de produto (DAPs). 2019. Dissertação (Doutorado – Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 264f. 2019.
- GHG PROTOCOL; FGV, F. G. V. Programa Brasileiro GHG Protocol. Ferramenta GHG Protocol 2013. Versão 2013.1. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/index.php?r=site/ContaSecao&id=1>>.
- GHG PROTOCOL;FGV. Programa Brasileiro GHG Protocol. Arquivo em excel. Fatores de conversão. 2012. Disponível em: <<http://www.fgv.br/ces/ghg/>>. Acessoem: 31 out. 2011.
- GIL, Luís; CABRITA, Isabel; MARTINS, Paulo. Abordagem metodológica sobre o carbono sequestrado como indicador de conteúdo ecológico. 2019.
- GIL, Luíz. Sequestro de CO₂ em produtos de cortiça para diferentes aplicações. Ingenium, II série, Nº 155, set/out 2016, p. 76-77.
- GIONGO, Marcos; SILVA, Damiana Beatriz da; KOEHLER, Henrique Soares; MARCHETTI, Marco. Inventário de biomassa em um plantio de Pinus elliottii

- engelm. aos 23 anos de idade. J. Biotec. Biodivers. v.2, N.3: pp. 81-86, Aug. 2011.
- GONÇALVES, José Leonardo de Moraes. Eucalyptus, Pinus e Espécies Típicas da Mata Atlântica. 1995. Documentos Florestais. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 23f. 1995.
- GONÇALVES, M. T. T.; SOUZA, A. J. D.; BARBOSA, J. C.. Geração de resíduos em serrarias de Pinus. In: Encontro Brasileiro em Madeira e em Estruturas de Madeira, 8. 2002, Uberlândia. Anais.. Uberlândia: UFU, 2002.
- Histórico de Proporção ANO BASE 2019 - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>>.
- HÖFIG, Pedro; ARAUJO-JUNIOR, Cezar Francisco. Classes de Declividade do Terreno e Potencial para Mecanização no Estado do Paraná. 2015. Journal Coffee Science, Lavras, MG. v. 10, p. 195-203. 2015.
- HUBBARD, Steven S.; Richard Bergman, Sahoo Kamalakanta, Scoot A. Bowe. lifecycle assessment of hardwood lumber production in the northeast and northcentral United States. September 24, 2019.
- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. Relatório 2019. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2019.pdf>>.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Artigo “Construção sustentável - IPT desenvolve ferramenta para ‘medir’ a sustentabilidade ambiental de produtos de construção em parceria com CBCS e USP”. 2021. 2021. Butantã. São Paulo. SP.
- IWAKIRI, S.; SALDANHA, L. K. O Pinus na indústria de painéis do Brasil. In: Pinus - uma alternativa de mercado. Revista da madeira - especial Pinus, Curitiba p. 136 - 141, 2002.
- KLEIN, D.; WOLF, C.; SCHULZ, C.; WEBWE-BLASCHKE, G. 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. Wood and Other Renewable Resources. 2015.
- LANGER, M.; SILVA, D. A. da; ARCE, J. E.; ROCHA, S. H.. Técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos: Do surgimento à aplicação no setor florestal. 2018. Capítulo 13 do livro: “Los bosques y el future: consolidando un vincula permanente en educación forestal”. Proyecto de Cooperación Internacional SPU – Argentina e CAPES – Brasil. ISBN 978-987-1676-77-4.
- LENGOWSKI, Elaine Cristina; FUCK, Stéfanie Claire; BONFATTI JUNIOR, Eraldo Antonio. Estimativa do ganho em rendimento no desdobro da madeira de Pinus

- spp. utilizando modelagem. III CBCTEM – Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira – Florianópolis – 2017.
- LOIOLA, Pedro Lício. Secagem da madeira de teca (*Tectonagrandis* L. f) sob diferentes condições. 2015.
- LOPES, Eduardo da Silva, et al. Avaliação técnica e econômica do corte de madeira de pinus com cabeçote Harvester em diferentes condições operacionais. *Floresta*, v. 37, n. 3, 2007.
- MANHIÇA, Alberto António; ROCHA, Márcio Pereira da; TIMOFEICZYK JÚNIOR, Romano. Rendimento no desdobro de *Pinus* sp. utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v.42, n.2, p. 409-420, abr./jun. 2012.
- MILOTA, Michael R.; WEST, Cynthia D.; HARTLEY, Ian D. Gate-to-gate life-cycle inventory of softwood lumber production. *Wood and fiber science*, v. 37, p. 47-57, 2007.
- MILOTA, Michael; PUETTMANN, Maureen E.. Life-cycle assessment for the Cradle-to-Gate Production of Softwood Lumber in the Pacific Northwest and Southeast Regions. 2017. *Forest products journal*, vol. 67, n. 5-6, p. 331-342. Doi: 10.13073/FPJ-D-16-00062
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. 2011. Relatório Final. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Departamento de Mudanças Climáticas, Gerência de Qualidade do ar. Brasil. p 114, 2011.
- MURARA JUNIOR, Mauro Itamar; ROCHA, Márcio Pereira da; TRUGILHO, Paulo Fernando. Estimativa do rendimento em madeira serrada de pinus para duas metodologias de desdobro. *Floresta e Ambiente*, v. 20, n. 4, p. 556-563, 2013. 20 (4): 556-563. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.037>. ISSN 1415-0980. ISSN 2179-8087.
- NOLASCO, Adriana Maria et al. Gerenciamento de resíduos na indústria de pisos de madeira. Piracicaba: ANPM, p. 40, 2014.
- PUETTMANN, Maureen E.; WAGNER, Francis G.; JOHNSON, Leonard. Life cycle inventory of softwood lumber from the inland northwest US. *Wood and Fiber Science*, v. 42, p. 52-66, 2010.
- PUETTMANN, Maureen; ONEIL, Elaine; BERGMAN, Richard. Cradle to gate life cycle assessment of softwood lumber production from the Northeast-North

- Central. Consortium for Research on Renewable Industrial Materials. University of Washington. Seattle, WA. April 2013. 33 p., p. 1-33, 2013.
- PUETTMANN, Maureen; ONEIL, Elaine; MILOTA, Mike; JOHNSON, Leonard. Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Softwood Lumber Production from the Pacific Northwest. 2013. 35p.
- RAMOS, M. G.; SERPA, P. N; SANTOS, C.B. dos; FARIAS, J. C. Manual de silvicultura: I – Cultivo e manejo de florestas plantadas. Florianópolis: Epagri, 2006. 55p.
- SANTOS, Larissa Nunes dos. 2014. Avaliação econômica da colheita florestal mecanizada com harvester e forwarder. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2014.
- SANTOS, Gilson Roberto Vasconcelos dos. Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* (Hill exMaiden). 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- SCHUMACHER, Mauro Valdir; WITSCHORECK, Rubi; CALIL, Francine Neves; LOPES, Vicente Guilherme. Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 17 anos de idade em Cambará do Sul – RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 321-332, abr.-jun., 2013. ISSN 0103-9954.
- SERPE, Edson Luis; FIGUEIREDO FILHO, Afonso; ARCE, Julio Eduardo. Rendimento do desdobro de madeira em serraria convencional e diferentes simulações utilizando otimizador computacional. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 3, n. 1, p. 103-108, 2018. DOI: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.58058](https://doi.org/10.5380/biofix.v3i1.58058)
- SHIMIZU, J. Y.; CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE FLORESTAS (BRAZIL) (ed.). *Pínus na silvicultura brasileira*. 1a edição. 1a impressão ed. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2008.
- SILVA, DAL MASONI; BRASIL, P. Diálogos Setoriais; EUROPEIA, União. Análise crítica das principais políticas de gestão, manutenção e uso de bancos de dados internacionais de inventários do ciclo de vida de produto. Instituto Brasileiro de Ciência e Tecnologia. Brasília, 2016.
- SIXEL, Ricardo Michael de Melo. Sustentabilidade da produtividade de madeira de *Pinus taeda* com base no estoque, na exportação e na ciclagem de nutrientes. Piracicaba, 2012. 109 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012.

- SUSIN, Felipe et al. Taxa de secagem e qualidade da madeira serrada de *Hoveniadelphus* submetida a dois métodos de secagem. *Floresta e Ambiente*, v. 21, n. 2, p. 243-250, 2014.
- VIANNA, J. A. A.. Considerações básicas sobre desdobro de *Pinus* spp in: I SEMADER. Seminário sobre processamento e utilização de madeiras de reflorestamento 1984: Curitiba-PR Revista Silvicultura, São Paulo. 9 (34): 15-19. 1984.
- WATZLAWICK, Luciano Farinha et al. Aboveground stock of biomass and organic carbon in stands of *Pinus taeda* L. *Cerne*, v. 19, n. 3, p. 509-515, 2013.
- WOJCIECHOWSKI, J.C. et al. Biomassa em uma floresta de *Pinus elliottii* Engelman aos 19 anos de idade, em Santa Maria, RS. 2003. In: Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul. 2003, Nova Prata, RS. Anais... Santa Maria - RS: Prefeitura Nova Prata/ UFSM, 2003, 9 p.
- YUBA, Andrea Naguissa. Cadeia produtiva de madeira serrada de eucalipto para produção sustentável de habitações. 2001. p. 162.
- ZANGHELINI, Guilherme Marcelo et al. Waste management Life Cycle Assessment: the case of a reciprocating air compressor in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 70, p. 164-174, 2014.

CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ E ENERGIA INCORPORADA DA MADEIRA SERRADA PLANTADA NO ESTADO DO PARANÁ SOB PONTO DE VISTA DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

Ao escolher produtos para empregar no setor da construção civil, deve-se levar em consideração os impactos ambientais para a produção destes, a fim de optar de maneira consciente dentre os disponíveis. Sabe-se que a madeira possui diversas vantagens ambientais, por ser um material de fonte renovável, que absorve carbono para seu crescimento, e que seus processos de obtenção e fabricação envolvem, geralmente, menor utilização de energia e emissão de gases GEE, se comparados aos processos para obtenção de cimento, tijolos cerâmicos, alumínio e aço (BERGMAN et al, 2014).

Porém, afirmar o impacto ambiental de um processo produtivo é tarefa difícil visto a quantidade de fatores envolvidos no sistema. Neste sentido, a utilização da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma alternativa viável, visto que aborda a análise das entradas, saídas e os potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (ISO 14040, 2006). O Inventário do Ciclo de Vida (ICV), por sua vez, é uma etapa importante de uma ACV, pois quantifica os *inputs* e *outputs* envolvidos no processo, e é utilizado nas etapas posteriores para avaliar os efeitos ambientais do processo produtivo. As entradas podem envolver consumo de energia, água e insumos na fabricação de um produto e as saídas, a quantidade de produto analisado e as emissões de gases de efeito estufa liberadas durante o processo produtivo (ABNT, 2009b; FERRO et al., 2018; TUCKER et al., 2009).

Portanto, análises e Inventários de Ciclo de Vida podem auxiliar na quantificação de demanda energética para a produção de determinado produto, bem como às emissões de CO₂ associadas ao ciclo de vida, entre outros. Neste estudo, teve-se como finalidade, contribuir com informações para bases de dados, estudos e pesquisas da área, além de informar profissionais e consumidores do setor da construção civil, os valores de energia incorporada e emissão de CO₂ para produção de madeira serrada plantada, auxiliando no consumo e utilização consciente do produto.

Assim, o objetivo deste capítulo é estimar a energia incorporada e emissões de CO₂, por meio de um ICV simplificado, em termos de indicadores de energia embutida (EE) e emissões de CO₂, descrever qualitativa e quantitativamente

o ciclo de vida da madeira serrada no contexto paranaense, considerando o escopo do berço ao portão, as entradas (insumos, combustíveis, eletricidade, água) e as saídas, (produção de resíduos e emissões de CO₂) para a produção de 1 tonelada de madeira serrada seca e aplainada.

Ressalta-se que esta pesquisa faz parte de projeto de pesquisa aprovado na Chamada MCTIC/CNPq n° 40/2018 – intitulado “Construção do Inventário do Ciclo de Vida do Sistema Construtivo Wood Frame”, e o objetivo do projeto guiou a coleta de dados e a obtenção dos resultados desta pesquisa.

3.1 MÉTODO

A ACV é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto, mediante a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes a um sistema de produto e a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas (ISO 14040, 2006). Na execução do inventário do ciclo de vida (ICV), dados qualitativos e quantitativos são coletados para cada processo elementar, e podem ser medidos, calculados ou estimados (ABNT, 2009b). Os principais tipos de dados envolvidos nas coletas são: entradas de energia, matéria-prima, entradas auxiliares, saídas de produtos, coprodutos, resíduos e liberações para a atmosfera, água, solo, entre outros (ABNT, 2009a).

Nesse âmbito, é perceptível a quantidade de informações necessárias a coleta de dados para realização de procedimentos de cálculos necessários a geração dos resultados de um inventário do ciclo de vida completo em relação à unidade funcional de um determinado produto.

A ACVE e ACVCO₂ são estruturas simplificadas de uma ACV, pois demandam menos informações, reduzindo custos e tempo para sua execução (TAVARES, 2006). Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) trata do inventário de dados de consumo de recursos energéticos ao longo do ciclo de vida de um produto e na avaliação de berço ao portão, é chamada de energia embutida ou energia incorporada (TAVARES, 2006). Para este estudo calculou-se as estimativas de emissões de CO₂ a partir da multiplicação das quantidades de materiais utilizados por fatores de emissões de CO₂ relacionados à composição química dos recursos energéticos identificados e avaliados em referências, sendo estas fontes descritas juntamente à utilização dos dados.

3.1.1 Objetivo

O objetivo desta pesquisa é obter a estimativa de energia incorporada e emissões de CO₂ de 1 tonelada seca de madeira serrada aplainada produzida no estado do Paraná, sob ponto de vista do inventário do ciclo de vida.

3.1.2 Escopo

Entre as atividades envolvidas na definição do escopo estão a descrição do sistema de produto, as funções do produto, a indicação das fronteiras do estudo (limites do sistema, fronteira tecnológica e geográfica), a unidade funcional, as entradas e saídas avaliadas, os procedimentos de alocação e valores assumidos para cálculo.

O sistema de produto estudado foi a produção de madeira serrada aplainada seca de *Pinus spp.* no estado do Paraná destinada ao setor da construção civil.

A **abrangência** definida foi do berço ao portão, ou seja, da produção de mudas ao portão de saída da serraria. Em se tratando de um ICV simplificado, as **entradas e saídas** avaliadas quantificaram os recursos energéticos e insumos empregados nos processos produtivos e a respectiva emissão de CO₂ associada a utilização destes recursos.

A **fronteira geográfica** definida foi regional, devido as empresas analisadas exercerem todas suas atividades de produção no estado do Paraná. O nível de **maturidade tecnológica** é atual, tanto as operações de serraria como as operações florestais das empresas contemplam processos difundidos e automatizados, de acordo com as tecnologias atuais disponíveis no mercado, com exceção de áreas de operação com grandes declividades no plantio florestal, onde ainda são empregadas tecnologias menos modernas, como a utilização de motosserra em detrimento da utilização de harvesters.

Não foram considerados neste estudo a manufatura de materiais auxiliares, manutenção de equipamentos, a construção/fabricação de infraestrutura e equipamentos para o processo analisado, emissões atreladas ao uso de inseticidas, fertilizantes e produtos químicos em geral e transporte de pessoal.

Unidade funcional é uma tonelada seca de madeira serrada aplainada.

O **levantamento de dados** quantitativos e qualitativos de processos

produtivos foi realizado em 4 empresas do setor florestal (descrição das empresas no Apêndice A) que compõem a cadeia paranaense de produção de madeira serrada. Para isso, em semelhança ao descrito na Figura 2, a produção foi subdividida em três subsistemas, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Divisão de subsistemas do processo de produção de madeira serrada

Subsistemas	Etapas	Unidade de medida	Entradas analisadas	Saídas analisadas
Operações florestais (OF)	<ul style="list-style-type: none"> - Produção de mudas; - Preparo do solo; - Plantio; - Condução da floresta; - Colheita; - Carregamento. 	- 1 tonelada (t) de madeira em tora seca.	<ul style="list-style-type: none"> - Matéria-prima (material lenhoso); - Insumos (sementes, substrato, adubos, fertilizantes, adjuvantes, formicidas); - Eletricidade; - Combustíveis; - Lubrificantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Emissões de CO₂; - Energia incorporada;
Transporte (TT)	- Transporte de toras das operações florestais (OF) até a porta da serraria (PMS).	- tkm.	- Consumo de diesel.	<ul style="list-style-type: none"> - Emissões de CO₂; - Energia incorporada.
Produção de madeira serrada (PMS)	<ul style="list-style-type: none"> - Pátio de toras; - Descascamento; - Desdobro primário; - Desdobro secundário; - Secagem; - Remanufatura; - Embalagem; - Expedição. 	-1 tonelada (t) de madeira serrada aplainada seca.	<ul style="list-style-type: none"> - Matéria-prima (material lenhoso); - Eletricidade; - Combustíveis; - Lubrificantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Emissões de CO₂; - Energia incorporada.

Para transformação dos resultados de cada subsistema avaliado em função da unidade funcional de uma tonelada de madeira serrada aplainada seca, os valores foram harmonizados para a unidade funcional de cada subsistema, utilizando após, fatores de conversão, como a densidade para obtenção em função da unidade funcional final. Ainda assim, para cada um dos fluxos elementares analisados, foram identificadas diferentes unidades de medida com objetivo de preservar as unidades declaradas pelas empresas, mantendo também os resultados isolados por subsistema, possibilitando a análise das etapas separadamente,

garantindo maior precisão aos resultados. Utilizou-se por fim de cinco divisões para obtenção dos resultados: produção de mudas, manutenção da floresta (preparo do solo, plantio e condução da floresta), colheita, transporte de toras e produção de madeira serrada.

Os principais produtos analisados são madeira em tora e madeira serrada aplainada seca. A ISO 14040 (2009a) preconiza que em um estudo de ACV deve-se evitar ao máximo processos de alocação, já que isto envolve a geração de incertezas na qualidade de dados, porém no mesmo local de fabricação, as empresas produzem outros produtos, como painéis, cercas e forros. Tendo isso em vista, realizou-se o **procedimento de alocação**, que é a repartição dos fluxos de entrada ou saída de um processo ou sistema de produto em estudo e outros sistemas de produto (ISO 14040:2006). Optou-se por subdividir as entradas e saídas do sistema estabelecendo relações físicas entre a madeira serrada e os outros produtos fabricados pelas empresas. Apesar da produção de produtos depender de características como diâmetro, comprimento, presença de defeitos e idade das toras, utilizou-se a massa dos produtos florestais como critério de alocação. Para isso, foi utilizado o procedimento cut-off que considera que para cada produto deve-se atribuir apenas os impactos ambientais causados diretamente por esse produto (EKVALL e TILLMAN, 1997).

Entre os **pressupostos de cálculo**, inicialmente não foram contabilizadas as embalagens de insumos utilizados na produção, juntamente com as emissões atreladas ao uso de insumos como substrato, fertilizantes, adubos, adjuvantes, formicidas e herbicidas. Optou-se por não considerar neste estudo, o processo de obtenção de sementes ou o transporte do mesmo para à etapa de produção de mudas. As emissões de CO₂ consideradas foram da queima direta de combustíveis atreladas tanto ao processo quanto ao transporte de produtos e insumos e da utilização de energia elétrica, considerando-se 100% de eficiência na queima direta dos combustíveis e na utilização de eletricidade.

Para o cálculo do consumo de diesel associado ao transporte de insumos, recursos energéticos e matérias primas fez-se uso da equação 4.

$$C_{diesel} = (D_{média} * f_{comb.}) (L) \quad \text{eq. 4}$$

Onde:

C_{diesel} : consumo de diesel (litros);

$D_{média}$: distância média de transporte informada pelas empresas na Tabela 18;

$f_{comb.}$: fator de consumo de combustível especificado na Tabela 8, de acordo com os tipos de veículos indicados pelas empresas.

Para o cálculo específico do consumo de diesel do transporte de toras das operações florestais para as operações de serraria, utilizou-se a equação 5.

$$C_{diesel} = \left(D_{média} * f_{comb.} * \frac{C_{und.func.}}{C_{max.caminhão}} \right) (L) \quad \text{eq. 5}$$

Onde:

C_{diesel} : consumo de diesel (litros);

$D_{média}$: distância média de transporte informada pelas empresas na Tabela 18;

$f_{comb.}$: fator de consumo de combustível especificado na Tabela 8, de acordo com os tipos de veículos indicados pelas empresas, especialmente do tipo Articulado acima de 33 toneladas;

$C_{und.func.}$: carga de toras necessária para produção de uma unidade funcional, de acordo com o rendimento de cada empresa;

$C_{max.caminhão}$: carga máxima do caminhão.

Destaca-se que para transporte de madeira, considerou-se o caminhão como indo cheio e voltando vazio (duas vezes à distância), enquanto que para os insumos considerou-se somente uma vez à distância.

Em relação as emissões de CO₂, não foram contabilizadas as emissões associadas à degradação de biomassa florestal proveniente de etapas de manutenção da floresta, como podas e roçadas. Destaca-se que na utilização de biomassa como recurso energético considerou-se a mesma como carbono neutro, não contribuindo para a emissão de dióxido de carbono. Não foram consideradas as emissões de mudança do uso do solo para consolidação da floresta.

Na análise de energia incorporada, não se avaliou a energia solar necessária para o crescimento da floresta. No estudo foram obtidos valores referentes à utilização de águas subterrâneas (de poços) e águas superficiais (mananciais), não havendo sido contabilizado ou estimado diretamente às águas pluviais (chuva) para o crescimento da floresta.

Vale ressaltar que os dados de operações florestais são referentes ao ano de 2019, ou seja, se refere às florestas que estão em idade de corte no ano de 2019, mas que foram plantadas anos anteriores, de acordo com o processo produtivo descrito para cada empresa. Da mesma maneira, como exemplo, os dados florestais de plantio são referentes às árvores que serão colhidas em anos futuros ao da análise.

Sabe-se que a densidade de madeira, ainda que dentro da mesma espécie, varia demasiadamente, especialmente devido a fatores como idade e local do corte da peça. Esses valores, para *Pinus elliotti* e *Pinus taeda* com idade de 10 a 24 anos, obtidos a partir da normativa NBR 7190 (1997), variam de 240 a 520 Kg/m³ (média 397,53 e mediana 400 Kg/m³) (ALMEIDA et al., 2014; AMPESSAN et al., 2015; BALLONI, 2009; FERREIRA et al., 2009; MACIEL, FERREIRA e SOUZA, 2020; e, MELCHIORETTO e ELEOTÉRIO, 2003). Sendo assim, para a conversão dos dados de produtos madeireiros informados em volume para massa, utilizou-se como valor a densidade aparente a 15% de umidade de 480 Kg/m³.

Com intuito de facilitar a trabalhabilidade da grande quantidade de dados informados pelas empresas, optou-se por utilizar subunidades funcionais em relação às unidades descritas na Tabela 5 e a unidade funcional da pesquisa de uma tonelada de madeira serrada aplainada seca. Adotou-se para operações florestais 3 subunidades de acordo com as etapas analisadas, sendo elas: 1 muda pronta para o plantio (etapa de produção de mudas), 1 hectare de solo preparado, plantado e conduzido (etapas de preparo de solo, plantio e condução da floresta) e 1 tonelada de madeira em tora seca (colheita).

Para conversão das subunidades funcionais para unidade funcional da pesquisa foi utilizado o seguinte procedimento:

- Com base na quantidade de mudas plantadas e no percentual de perda e replantio informados pelas empresas, identificou-se com base nos espaçamentos de plantio utilizados a quantidade de mudas prontas para o plantio necessárias para produção de 1 hectare de solo preparado, plantado e conduzido;
- Havendo sido informado o rendimento em operações florestais, com base no espaçamento de plantio e na quantidade de madeira em tora produzida, calculou-se a quantidade de hectare de solo preparo, plantado e conduzido para obtenção de 1 tonelada de madeira em tora seca, e por consequência,

com base no item anterior, a quantidade de mudas prontas para o plantio para obtenção de 1 tonelada de madeira em tora seca;

- Por fim, com base no rendimento de serraria informado e quantidade de coprodutos e resíduos das operações de serraria, calculou-se a quantidade de madeira em tora seca necessária para a produção da unidade funcional da pesquisa, de uma tonelada de madeira serrada aplainada seca. Destaca-se nesse ponto, a utilização dos procedimentos de alocação por massa.

Para informações necessárias, que não houverem sido informadas pelas empresas na coleta de dados, foi avaliado e utilizado valores médios e acordo com informações da literatura, dados primários de outras empresas com processos semelhantes ou fornecidos por especialistas. Ao serem descritos ou informados, tais dados tiveram a origem identificada.

Para estimar as emissões de CO₂ e a energia incorporada a partir dos dados de consumo de recursos energéticos, foram utilizados fatores de conversão conforme Tabelas 6 a 13, a seguir.

Tabela 6: Fatores de Combustão Móvel – GHG Protocol – Fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis em fontes móveis

Item	Combustível	Und	Poder Calorífico Inferior (Kcal/Kg)	Densidade (Kg/unidade)	Referência	Fatores de emissão (Kg GEE/und.)	
						CO ₂	Referência
1	Óleo diesel (puro)	Litros	10.100,00	0,840	BEN, 2018	2,603	MMA (2014)
2	Gasolina automotiva (pura)	Litros	10.400,00	0,742	BEN, 2018	2,212	MMA (2014)
3	Gás Liquefeito do Petróleo (GLP)	Kg	11.100,00	-	BEN, 2018	2,932	IPCC (2006)
4	Lubrificante	Litros	10.120,00	0,875	BEN, 2018	2,718	IPCC (2006)

Tabela 6: Fatores de Combustão Móvel – GHG Protocol – Fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis em fontes móveis (continuação)

5	Óleo combustível	Litros	9.590,00	1,000	BEN, 2018	3,106	(extrapolado)
---	------------------	--------	----------	-------	-----------	-------	---------------

Tabela 7: Fatores de Combustão Móvel – GHG Protocol – Fatores de emissão por utilização

de biocombustíveis fósseis em fontes móveis

Item	Combustível	Und	Poder Calorífico Inferior (Kcal/Kg)	Densidade (Kg/unidade)	Referência	Fatores de emissão (Kg GEE/und.)	
						CO ₂	Referência
1	Etanol hidratado	Litros	6.300,00	0,809	BEN, 2018	1,457	MMA (2014)
2	Biodiesel (B100)	Litros	9.000,00	0,880	BEN, 2018	2,431	MMA (2014)
3	Etanolanidro	Litros	6.750,00	0,791	BEN, 2018	1,526	MMA (2014)

Tabela 8: Emissões por tipo de veículo – GHG Protocol

Item	Tipo de caminhão	Fator de emissão DEFRA (Kg CO ₂ /t.km)	Fator de consumo (litro/t.km)	Óleo diesel	Biodiesel
				Fator de emissão (Kg CO ₂ /t.km)	Fator de emissão (Kg CO ₂ /t.km)
1	Rígido (3,5 a 7,5 toneladas)	0,524	0,199	0,518	0,484
2	Rígido (7,5 a 17 toneladas)	0,451	0,16	0,416	0,389
3	Rígido (acima 17 toneladas)	0,184	0,07	0,182	0,170
4	Rígido (média)	0,215	0,082	0,213	0,199
5	Articulado (3,5 a 33 toneladas)	0,136	0,082	0,213	0,199
6	Articulado (acima 33 toneladas)	0,081	0,031	0,081	0,075
7	Articulado (média)	0,083	0,032	0,083	0,078
8	Caminhão (média)	0,11	0,042	0,109	0,102

Tabela 9: Fatores de combustão estacionária – GHG Protocol – Fatores de emissão por utilização em fontes estacionárias

Fonte combustível	Poder Calorífico Inferior		Densidade	Referências
	Und	(GJ/t)	(Kg/unidade)	
Gasolina (motor à gasolina) – industrial	Litros	43,5	0,740	BEN 2019
Gasolina (motor à gasolina) – residencial	Litros	43,5	0,740	BEN 2019
Diesel – industrial	Litros	42,3	0,840	BEN 2019
Diesel – residencial	Litros	42,3	0,840	BEN 2019
GLP – industrial	Toneladas	46,5	1,00	BEN 2019
GLP - residencial	Toneladas	46,5	1,00	
Lubrificantes - industrial	Litros	42,4	0,880	BEN 2019
Lubrificantes - residencial	Litros	42,4	0,880	BEN 2019
Biomassa de madeira – industrial	Toneladas	18,1	1,00	MCTIC 2016

Tabela 10: Demais fatores de combustão estacionária – GHG Protocol – Fatores de emissão por utilização em fontes estacionárias

Fonte combustível	Fatores de emissão (kg GEE/TJ)		Fatores de emissão – convertidos (Kg CO ₂ /Und)	
	CO ₂	Referências	CO ₂	Referências
Gasolina (motor à gasolina) – industrial	69.300	MCTIC (2016)	2,231 litros	GHG - Ferramenta
Gasolina (motor à gasolina) – residencial	69.300	MCTIC (2016)	2,231 litros	GHG – Ferramenta
Diesel – industrial	74.067	MCTIC (2016)	2,632 litros	GHG – Ferramenta
Diesel – residencial	74.067	MCTIC (2016)	2,632 litros	GHG – Ferramenta
GLP – industrial	63.067	MCTIC (2016)	2,933 toneladas	GHG – Ferramenta
GLP – residencial	63.067	MCTIC (2016)	2,933 toneladas	GHG – Ferramenta
Lubrificantes – industrial	73.333	MCTIC (2016)	2,736 litros	GHG – Ferramenta
Lubrificantes - residencial	73.333	MCTIC (2016)	2,736 litros	GHG – Ferramenta
Biomassa de madeira – industrial	100.467	MCTIC (2016)	1818,45 toneladas	GHG – Ferramenta

Tabela 11: Combustão móvel – IPCC V2 CH3 – Transporte Rodoviário

Item	Fonte Combustível	Fatores de emissão (Kg GEE/TJ)	Fatores de emissão (Kg GEE/und.)	Unidade	Referência
		CO ₂	CO ₂		
1	Diesel	74.100	2,632	L	IPCC V2 CH3 Tabela 3.2.1 e 3.2.3
2	Gasolina	69.300	2,239	L	IPCC V2 CH3 Tabela 3.2.1 e 3.2.2
3	GLP	63.100	2,932	Kg	IPCC V2 CH3 Tabela 3.2.1 e 3.2.4
4	Lubrificantes	73.300	2,718	L	IPCC V2 CH3 Tabela 3.2.1 – igual ao óleo diesel, assim como

					GHG
--	--	--	--	--	-----

Tabela 12: Combustão móvel – IPCC V2 CH3 – Transporte Fora da Rodovia (máquinas)

Item	Fonte Combustível	Fatores de emissão (kg GEE/TJ)	Fatores de emissão (kg GEE/und.)	Unidade	Referência
		CO ₂	CO ₂		
1	Diesel	74.100	2,632	L	IPCC V2 CH3 p36 Tabela 3.3.1
2	Gasolina – motor 2 tempos	69.300	2,239	L	
3	Gasolina – motor 4 tempos	63.100	2,932	L	

Tabela 13: Combustão móvel – IPCC V2 CH3 – Transporte Fora da Rodovia (máquinas)

Item	Fonte Combustível	Fatores de emissão (Kg GEE/TJ)	Fatores de emissão (Kg GEE/und.)	Und	Referência
		CO ₂	CO ₂		
1	Diesel – industrial	74.100,00	2,632	L	IPCC V2 CH2 Tabela 2.3
2	Diesel - residencial	74.100,00	2,394	L	IPCC V2 CH2 Tabela 2.5
3	Gasolina (motos à gasolina) – industrial	69.300,00	2,239	L	IPCC V2 CH2 Tabela 2.3
4	Gasolina (motor à gasolina) - residencial	69.300,00	2,239	L	IPCC V2 CH2 Tabela 2.5
5	GLP – industrial	63.100,00	2,932	Kg	IPCC V2 CH2 Tabela 2.3
6	GLP – residencial	63.100,00	2,932	Kg	IPCC V2 CH2 Tabela 2.5
7	Lubrificantes – industrial	73.300,00	2,718	L	IPCC V2 CH2 Tabela 2.3
8	Lubrificantes – residencial	73.300,00	2,718	L	IPCC V2 CH2 Tabela 2.5
9	Biomassa de madeira – industrial	11.200,00	2,067	Ton	IPCC V2 CH2 Tabela 2.3

Em resumo, utilizou-se os seguintes fatores para cálculo dos valores de energia incorporada e emissão de dióxido de carbono:

- Eletricidade brasileira com proporção de 48,4% de fontes não renováveis e 51,6% de fontes renováveis, 3,6 MJ/KWh de energia incorporada para eletricidade brasileira (BEN, 2020);
- Diesel brasileiro, conforme Tabela 1, proporção de 89% de diesel puro e 11% de biodiesel (ANP, 2020);
- Fator de emissão de 2,603 KgCO₂/L para diesel puro, 2,431 KgCO₂/L para biodiesel (MMA, 2014), 35,26 MJ/L de energia incorporada para diesel brasileiro (Ferramenta GHG Protocol);
- Gasolina brasileira, conforme Tabela 1, proporção de 73% de

- gasolina pura e 27% de etanol anidro (Ferramenta GHG Protocol);
- e) Fator de emissão de 2,212 KgCO₂/L para gasolina pura, 1,526 KgCO₂/L para etanol anidro (MMA, 2014), 29,62 MJ/L de energia incorporada para gasolina brasileira (Ferramenta GHG Protocol).
 - f) Fator de emissão de 112 KgCO₂/GJ para biomassa (IPCC, 2006) e 6,07 MJ/Kg de energia incorporada (Punhagui, 2014).
 - g) Fator de emissão de 2,718 KgCO₂/L ou Kg de lubrificantes, 42,37 MJ/L ou Kg de energia incorporada (IPCC, 2006).

Limitações foram identificadas nas etapas de transporte, tendo em vista que os meios de transporte e as distâncias percorridas assumidas nesta pesquisa foram adotadas com base em estimativas realizadas pelas empresas, sendo que modificando tais informações, os consumos e emissões de CO₂ associados ao consumo de combustíveis também seria alterado.

Optou-se por não realizar a quantificação relacionada aos tratamentos com conservantes químicos. Ocorreu dificuldade no acesso de algumas informações primárias das empresas participantes, principalmente a empresa C, pois à mesma iniciou-se suas atividades recentemente no estado, tendo assumido empreendimentos florestais de outras empresas, dificultando a geração de informações primárias. Teve-se como barreira também, algumas atividades das empresas serem realizadas por empresas terceirizadas, das quais não obteve-se dados primários para o desenvolvimento do estudo.

Para que os resultados do ICV sejam confiáveis, está sendo adotado durante a execução do estudo, **requisitos quanto a qualidade dos dados**. Os dados inventariados são autodeclarados pelas empresas, ou seja, foram em grande maioria coletados em fontes primárias, em empresas produtoras de madeira serrada aplainada seca e madeira em toras, no estado do Paraná. Dados de empresas externas produtoras de insumos relevantes aplicados a produção, foram obtidos através de dados secundários, informações fornecidas pelas empresas do próprio estudo.

Os dados do estudo não foram auditados por terceiros.

Os dados de entrada relacionados ao estudo, foram calculados com base nas fontes primárias, mediante resultado da aplicação de questionários (Apêndice B). As saídas classificadas como emissões de CO₂, energia incorporada e geração de resíduos são uma mescla de dados primários calculados e dados

secundários obtidos através de revisão bibliográfica.

Ao princípio, as informações referentes aos dados secundários, como a cadeia produtiva de certos insumos e emissões ao ar, água e solo, foram retiradas da literatura pertinente a partir de 2001, contudo, priorizando dados próximos à cobertura temporal adotada na coletada dos dados primários.

3.1.3 Seleção de empresas

O contato com as empresas se deu através da intermediação de associação florestal paranaense parceira e do contato direto com interlocutores, no início do ano 2019. As empresas a serem escolhidas deviam produzir matérias-primas para a indústria da madeira (toras) ou produzir produtos de madeira bruta ou acabada para a construção. Todas as fases da produção não foram adotadas como uma obrigatoriedade, nem possuir os processos de produção localizados em um só local, porém todas com suas atividades devem ser localizadas no Estado do Paraná.

A seleção de empresas para compor a amostra se baseou no perfil e na disponibilidade das mesmas na participação da pesquisa. As parcerias envolveram o fornecimento de dados quantitativos e qualitativos dos processos, além do acesso às áreas produtivas, e prevê sigilo da identidade das participantes. As atividades de seleção resultaram na adesão de quatro empresas com características conforme Tabela 14. A descrição detalhada das atividades realizadas pelas empresas encontra-se no Apêndice A.

Tabela 14: Subsistemas inventariados por empresa participante

Empresa	Subsistemas inventariados	Produtos analisados
A	Operações Florestais (OF) e Produção de Madeira Serrada (PMS)	Madeira em tora de Pinus spp., Madeira serrada aplainada seca de Pinus spp.
B	Operações Florestais (OF) e Produção de Madeira Serrada (PMS)	Madeira em tora de Pinus spp., Madeira serrada aplainada seca de Pinus spp.
C	Operações Florestais (OF)	Madeira em tora de Pinus spp.
D	Operações Florestais (OF)	Madeira em tora de Pinus spp.

3.1.4 Coleta de dados

Estabelecidas as parcerias com as empresas, foi realizado uma visita técnica às operações de cada empresa, em setembro de 2019. Todas as visitas

abrangeram a grande maioria dos processos, tanto em operações florestais (produção de mudas, preparo do solo, plantio, condução da floresta e colheita) quanto em serraria (pátio de toras, descascamento, desdobros primários e secundários, secagem em estufa e em pátio, embalagem e expedição). Conhecendo detalhadamente o processo produtivo, foram desenvolvidos fluxogramas das etapas e descrição da produção que serviu de base para elaboração dos questionários para obtenção dos dados quantitativos.

Os questionários (Apêndice B) foram atribuídos às empresas de acordo com suas atividades e as informações complementares foram adquiridas por e-mail e telefone. O processo de coleta de dados foi intermitente, de junho de 2019 até março de 2021. Os questionários evoluíram de acordo com as necessidades do processo de análise ou o tipo de empresa e disponibilidade de dados.

As empresas B, C e D forneceram dados de janeiro de 2019 à dezembro de 2019, enquanto a empresa A de junho de 2018 a maio de 2019, todas abrangendo um ano de produção.

Em relação aos dados coletados, foram solicitados e separados conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15: Identificação dos dados coletados

Etapa	Dados coletados	
Operações Florestais	Entradas	Sementes, herbicidas, formicidas, fertilizantes, substratos, eletricidade, diesel, gasolina, água superficial e água subterrânea
	Saídas	Resíduos florestais e madeira em tora
Operações de serraria	Entradas	Madeira em toras, lubrificantes, eletricidade, diesel, gasolina, gás GLP, água de concessionária e água subterrânea
	Saídas	Resíduos de processamento e madeira serrada aplainada seca

Nota: Dados de herbicidas, formicidas e fertilizantes foram coletados junto às empresas com intuito de fornecer informações ao Projeto CNPq do qual essa pesquisa faz parte, no entanto, não foram alvo de discussões na presente pesquisa.

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.2.1 Caracterização das empresas

O resumo das informações de cada empresa que enviou dados sobre as operações florestais encontra-se na Tabela 16. Destaca-se que apesar de diversos

equipamentos serem utilizados por todas as empresas, o nível de utilização é maior ou menor dependendo das condições específicas de operação de cada caso. A descrição detalhada das operações encontra-se no Apêndice A.

Tabela 16: Informações da etapa de OF das empresas

Informação	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D
Espécie	<i>Pinus taeda e elliotti</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda</i>
Produção de mudas	Viveiro próprio	Viveiro próprio	Sem viveiro, mudas adquiridas de terceiros	Viveiro próprio
Preparo do solo	Aplicação de herbicida e formicida	Arranjo de resíduos, herbicida e formicida	Aplicação de herbicida e formicida	Enleiramento, aplicação de herbicida e formicida
Plantio	Manual	Manual	Manual	Manual
Condução da floresta	Realizam roçadas e controle de pragas	Realizam roçadas, controle de pragas e podas	Realizam roçadas, controle de pragas e capina	Realizam roçadas, controle de pragas e capina
Colheita	Mecanizada	Mecanizada	Manual	Mecanizada
Podas	Não	Sim, três vezes, com 1,5, 3 e 4 anos após o plantio.	Não	Não
Roçadas	Sim, uma vez por ano, até o terceiro ano após o plantio	Sim, duas vezes por ano, até o quarto ano após o plantio	Sim, a cada 4 meses, até o terceiro ano após o plantio	Sim, uma vez por ano, até o terceiro ano após o plantio
Desbastes	Não	Sim, 1° com 12 anos, 2° com 16 anos	Não	Sim, possuem três sistemas de manejo ¹⁶
Idades de corte	Corte raso com 17 anos	Corte raso com 25 anos	Corte raso com 14 anos	9 à 20 anos

Em relação ao porte das empresas destaca-se:

a) Empresa A: empresa brasileira com mais de 60 anos de história, especializada em painéis MDP, MDF, HDF e serrados de Pinus e Teca. Possui em torno de 7,5 mil colaboradores diretos e indiretos e atualmente, possui em torno de 65 mil hectares de Pinus plantados no estado do Paraná e em Santa Catarina. Devido ao

¹⁶ 1° sistema – 9 à 11 anos, 14 à 15 anos, 18 à 20 anos; 2° sistema – 11 à 15 anos, 19 à 20 anos e 3° sistema - corte raso de 15 à 17 anos.

seu porte, a empresa aplica alto nível de mecanização em suas atividades, como por exemplo a utilização de programas computacionais para realização de diagramas de corte de toras;

b) Empresa B: empresa brasileira com mais de 40 anos de história, especializada em serrados de Pinus. A empresa não forneceu com precisão a quantidade de colaboradores e sua área de plantio. Devido ao seu porte, a empresa aplica bom nível de mecanização em suas atividades, desde operações florestais com utilização de harvesters na colheita e processo otimizado de serraria;

c) Empresa C: atuante à 15 anos no mercado brasileiro, inicialmente especializada em madeiras nativas, em 2013 iniciou suas atividades de manejo de florestas plantadas no Paraná. Neste estado, atua no fornecimento de madeira em tora para serraria, laminação, painéis, celulose e energia, conta com aproximadamente 200 colaboradores diretos, possui em torno de 7 mil hectares de Pinus estabelecidos e em diversas áreas em fase de implementação. Devido à topografia da região de suas atividades, conta com mecanização parcial, principalmente nas atividades de arraste, processamento e carregamento;

d) Empresa D: empresa brasileira com mais de 40 anos de história, especializada no manejo de florestas plantadas no Paraná. Atua no fornecimento de madeira em tora para serraria, laminação, painéis, celulose e energia, conta com aproximadamente 200 colaboradores diretos, possui em torno de Possui em torno de 19 mil hectares de Pinus plantados no estado do Paraná em Santa Catarina. Devido ao seu porte, a empresa aplica alto nível e mecanização em suas atividades, com grande percentual de suas áreas colhidas e processadas com utilização de harvesters, por exemplo.

Apesar de cada empresa possuir processos e produtos com características diferentes, adotou-se a unidade funcional de 1 tonelada de madeira serrada aplainada seca. Isso deve-se ao fato da utilização da massa como critério de alocação e da possibilidade de a partir das informações coletadas, como rendimento das operações florestais, calcular a quantidade de toras necessárias para obtenção da unidade funcional. Sendo assim, mesmo as empresas C e D, que não atuam em toda a cadeia da unidade funcional, serviram como fonte de dados primários para realização da pesquisa.

O resumo das informações da PMS informada pelas empresas “A” e “B” encontram-se na Tabela 17.

Tabela 17: Informações da etapa de PMS das empresas

Informação	Empresa A	Empresa B
Espécie	<i>Pinus taeda</i> e <i>elliotti</i>	<i>Pinus taeda</i>
Pátio de toras	Sim, movimentação com guias	Sim, movimentação com tratores e guias
Descascamento	Sim, através de facas circulares	Sim, facas circulares
Diagrama de corte	Leitura por scanner	Decisão do operador
Desdobro primário	Sim	Sim
Desdobro secundário	Sim	Sim
Secagem	Sim, em estufa	Sim, pátio e estufa
Usina termoelétrica	Sim, geração de eletricidade e vapor	Sim, geração de eletricidade e vapor
Coprodutos	Painel HDF, MDF e MDP	Fencing cerca e forro
Resíduos	Cavaco úmido e seco, serragem, casca e maravalha	Casca, serragem e cavaco

Tendo sido foco de análise, optou-se por resumir na Tabela 18, as distâncias médias ponderadas dos fornecedores de insumos, recursos energéticos ou matérias-primas, informados pelas empresas. Destaca-se que o cálculo do consumo de diesel para o transporte dos insumos foi realizado com base no tipo de veículo descrito pelas empresas e de acordo com o item “pressupostos de cálculo” descrito anteriormente.

Tabela 18: Distâncias médias ponderadas dos insumos, recursos energéticos ou matérias-primas de terceiros

Item	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D
Operações Florestais (km)				
Substrato	280	163	-	239
Adubo	109	-	-	-
Fungicida	51,3	114	-	-
Lona plástica preta (polietileno)	121	114	-	27,5
Herbicida	51,30	65	80	290
Formicida	755	65	600	290
Fertilizante	-	114	-	275,3
Mudas	-	-	150 ^a	-
Lubrificantes	161	65	-	293,3
Graxas	118	137	-	284,6
Líquido de arrefecimento	119	-	-	284,6
Diesel	150	65	30	27,5
Gasolina	43,2	65	-	27,5
Produção de madeira serrada				
Toras de pinus – origem própria	88,5	65	40 ^b	27,5 ^b

Tabela 18: Distâncias médias ponderadas dos insumos, recursos energéticos ou matérias-primas de terceiros (continuação)

Toras de pinus – origem de terceiros	135	-	-	-
Lubrificante	52,5	4,4	-	-
Biomassa comprada	135	-	-	-
Diesel	8,4	4,4	-	-
GLP	9	4,4	-	-

Nota a: A empresa C realiza a compra de mudas por meio de terceiros, por isso, foi à única com distância informada para o item mudas.

Nota b: As empresas C e D não possuem operações próprias de serraria, porém, informaram as distâncias médias ponderadas de destino de suas toras.

3.2.2 Operações florestais (OF)

Os resultados de operações florestais foram separados em rendimento e emissão de CO₂ e energia incorporada. Com intuito de facilitar a análise optou-se pela utilização de 3 etapas principais de análise, etapa de produção de mudas, etapa de manutenção da floresta (preparo de solo, plantio e condução da floresta) e colheita, com os dados relacionados às suas respectivas unidades funcionais, 1 muda pronto para o plantio, 1 hectare de solo preparo, plantado e conduzido e 1 tonelada de madeira em tora seca.

3.2.2.1 Rendimento

Os rendimentos em operações florestais foram identificados na Tabela 19 e os resultados tratam da média anual informada pelas empresas participantes.

Tabela 19: Resultados de rendimento das OF

Empresa	Rendimento informado (%)	Quantidade de resíduo gerado para 1 Ton de madeira em tora (Kg)
Empresa A	94,7	52,6
Empresa B	95,0	50,2
Empresa C	80,0	200,0
Empresa D	93,7	63,3
Mediana	94,2	57,9

Nota: O rendimento informado trata dos resíduos da colheita, não abrangendo resíduos gerados durante as etapas de manutenção da floresta, como resíduos de podas e roçadas.

Em operações florestais obteve-se valores de 80,0 a 95,0% (mediana 94,2%), ou seja, para uma tonelada de madeira em tora tem-se a geração de 50,2 a 200,0 Kg (mediana 57,9 Kg) de resíduos florestais. Atribui-se à diferença no valor de rendimento informado pela empresa C em relação às demais à utilização em grande parte de colheita manual, através de operadores com utilização de motosserra, devido

à grande declividade (entre 30 e 40°) dos terrenos de cultivo, enquanto às demais fazem utilização de equipamentos como harvesters e skidders, cujo limitante de declividade, segundo as próprias empresas, gira em torno de 28° de declividade.

Orlandini (2021) através de uma meta-análise com 16 estudos sobre rendimento em operações florestais para espécie *Pinus spp.*, identificou valores de rendimento de 66,7% (mínimo), 73,1% (mediano) e 87,9% (máximo). Os valores de rendimento indicados pelas empresas, estão acima dos valores apresentados por Orlandini (2021) e no Capítulo 2 deste trabalho, (44,3% a 84,8%, mediana 66,1%), o que se atribuiu ao fato da contabilização por parte das empresas, somente dos resíduos gerados na etapa da colheita, ignorando os resíduos durante o crescimento da floresta. Porém, cita-se a dificuldade declarada pelas empresas, em quantificar valores de rendimento para as operações florestais. Para obtenção dos valores, a empresa D realizou procedimentos, onde foram coletados folhas, copa, galhos e tronco para serem pesados separadamente para determinar a proporção individual das árvores amostradas em porcentagem.

Apesar das discrepâncias entre os valores informados e os valores referenciais, optou-se por preservar os rendimentos informados por se tratarem de dados primários, porém, esse fato pode ser um indicativo que a quantidade de resíduos e por consequência, a quantidade de CO₂ atrelado as operações florestais foram subestimados.

3.2.2.2 Emissão de CO₂ e energia incorporada

Com intuito de apresentar as estimativas de EE e emissões de CO₂ identificando sua origem, optou-se por separar os valores em fontes fósseis e fontes renováveis, apresentados nas Tabelas 20, 21 e 22, a seguir. Em seguida a cada Tabela citada, são apresentados gráficos com os valores de EE e emissão de CO₂, para ilustrar a diferença de valores entre as empresas analisadas.

As emissões consideradas de fontes fósseis foram as oriundas da utilização de petróleo, carvão mineral e gás natural, enquanto as emissões de origens renováveis foram as provenientes da parcela de biocombustíveis incorporada no diesel e na gasolina, a utilização do etanol, a biomassa para produção de eletricidade, além da parcela de energia renovável utilizada na eletricidade brasileira. De acordo com o Governo Brasileiro, em 2020 a matriz elétrica brasileira foi 83% oriunda de fontes renováveis, sendo 63,8% por parte das hidrelétricas, 9,3% de origem eólica,

8,9% de biomassa e biogás, e, 1,4% de energia solar (Governo do Brasil, 2020).

A empresa C realiza a aquisição direta de mudas prontas para o plantio, não realizando a etapa de produção de mudas, sendo assim, a mesma não foi inserida na Tabela 20.

Tabela 20: Dados etapa de produção de mudas

Tipo de dado	Item	Empresa A	Empresa B	Empresa D	Unidade
		Quantidade			
Entradas	Mudas prontas para a germinação	1,58	1,03	1,20	Und / muda
	Substrato	$4,26 \times 10^{-2}$	0,23	$1,56 \times 10^{-2}$	Kg / muda
	Fertilizante	-	$5,89 \times 10^{-5}$	$2,50 \times 10^{-4}$	
	Adubo	$3,94 \times 10^{-3}$	-	-	
	Fungicida	$3,49 \times 10^{-6}$ (L)	$2,21 \times 10^{-5}$	-	
	Serragem ⁱ	-	-	$1,56 \times 10^{-2}$	
	Acícula de pinus triturada	-	-	$7,80 \times 10^{-4}$	
	Lona plástica preta (polietileno)	$2,29 \times 10^{-4}$	$1,91 \times 10^{-4}$	$7,18 \times 10^{-5}$	
	Água subterrânea	0,74	-	-	L / muda
	Água superficial	2,97	1,34	3,13	
	Eletricidade	$5,06 \times 10^{-3}$	$8,34 \times 10^{-3}$	$9,84 \times 10^{-3}$	Kwh / muda
Saídas	Mudas descartadas	0,58	$3,09 \times 10^{-2}$	0,2	Und / muda
	Lona plástica preta (polietileno)	$2,29 \times 10^{-4}$	$5,74 \times 10^{-6}$	$7,18 \times 10^{-5}$	Kg / muda
	Substrato	$1,56 \times 10^{-2}$	$6,89 \times 10^{-3}$	$2,60 \times 10^{-3}$	
	Fertilizante	-	-	$4,16 \times 10^{-5}$	
	Serragem	-	-	$2,60 \times 10^{-3}$	
	Acícula de pinus triturada	-	-	$1,30 \times 10^{-4}$	
EE Processo	EE _{fóssil}	$8,82 \times 10^{-3}$	$1,45 \times 10^{-2}$	$1,71 \times 10^{-2}$	MJ / muda
	EE _{ren}	$9,40 \times 10^{-3}$	$1,55 \times 10^{-2}$	$1,83 \times 10^{-2}$	
	EE _{total}	$1,82 \times 10^{-2}$	$3,00 \times 10^{-2}$	$3,54 \times 10^{-2}$	
EE Transporte	EE _{fóssil}	$7,87 \times 10^{-2}$	$2,38 \times 10^{-1}$	$2,70 \times 10^{-2}$	
	EE _{ren}	$8,15 \times 10^{-3}$	0,1	$2,81 \times 10^{-3}$	
	EE _{total}	$8,69 \times 10^{-2}$	$3,38 \times 10^{-1}$	$2,99 \times 10^{-2}$	
CO ₂ Processo	ECO ₂ fóssil	$2,57 \times 10^{-4}$	$4,23 \times 10^{-4}$	$4,99 \times 10^{-4}$	KgCO ₂ / muda
	ECO ₂ ren	$2,74 \times 10^{-4}$	$4,51 \times 10^{-4}$	$5,32 \times 10^{-4}$	
	ECO ₂ total	$5,30 \times 10^{-4}$	$8,74 \times 10^{-4}$	$4,99 \times 10^{-4}$	
CO ₂ Transporte	ECO ₂ fóssil	$5,77 \times 10^{-3}$	$1,75 \times 10^{-2}$	$1,98 \times 10^{-3}$	
	ECO ₂ ren	$5,98 \times 10^{-4}$	$7,33 \times 10^{-3}$	$2,06 \times 10^{-4}$	
	ECO ₂ total	$6,37 \times 10^{-3}$	$2,48 \times 10^{-2}$	$2,19 \times 10^{-3}$	

Nota: De acordo com a empresa D, a utilização de acícula de Pinus triturada, em porcentagem adequada, traz benefícios no fornecimento de nutrientes a muda. Segundo Ceccagno (2016) a acícula de Pinus sp. possui potencial para uso como substrato e/ou condicionador de substratos, apresentando pH ácido e condutividade elétrica média à baixa.

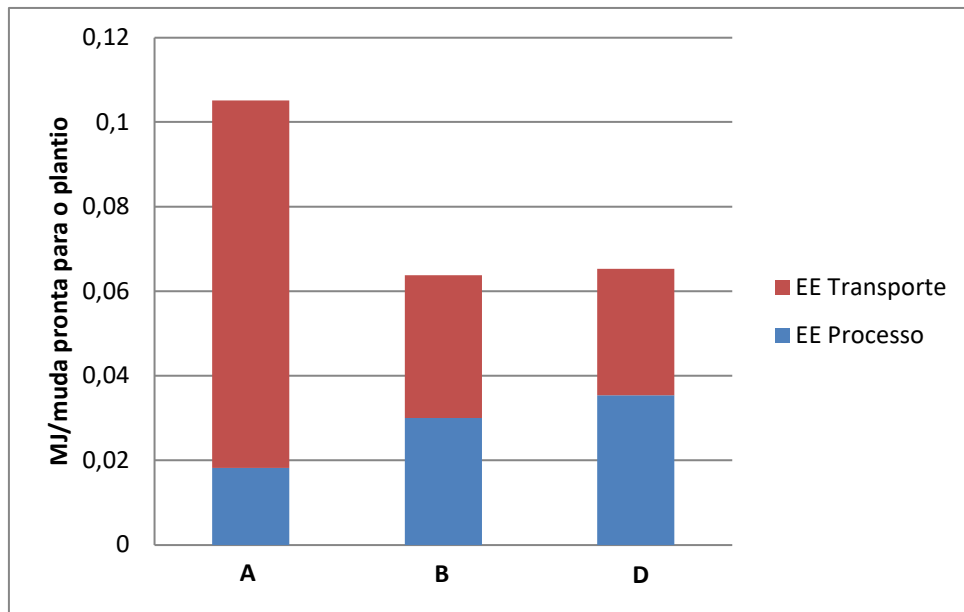


Figura 23: EE Produção e Transporte da etapa de produção de mudas.

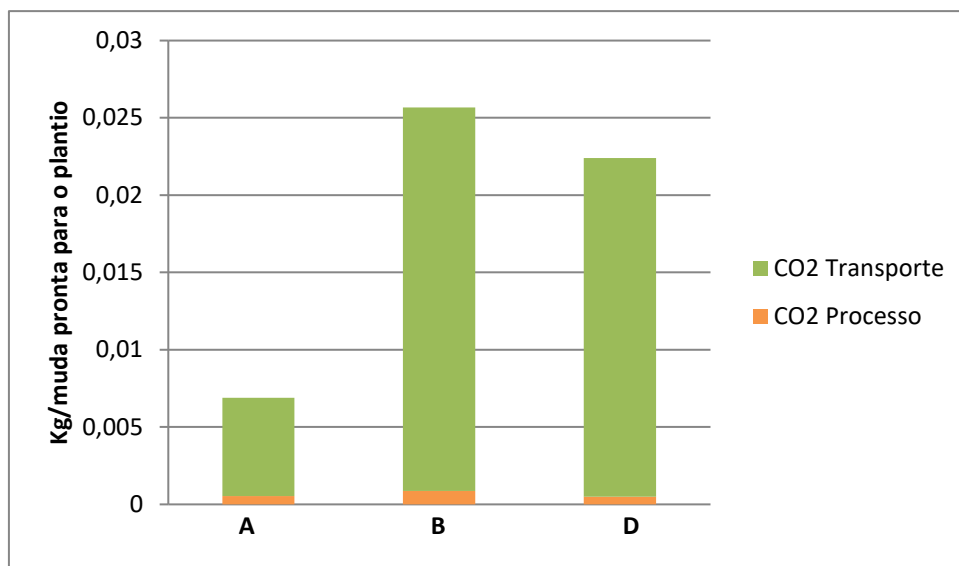


Figura 24: CO₂ Produção e Transporte da etapa de produção de mudas.

Com base na Tabela 20, tem-se que, para a produção de uma unidade de muda pronta para o plantio, o intervalo de valores de energia incorporada é de $6,52 \times 10^{-2}$ à $3,68 \times 10^{-1}$ MJ/und. Tem-se para EE, 71,36% de origens fósseis e 28,64% de origens renováveis, 15,53% associado ao processo e 84,47% associado aos transportes.

Para a produção de uma unidade de muda pronta para o plantio, o intervalo de emissão de CO₂ é de $3,22 \times 10^{-3}$ à $2,57 \times 10^{-2}$ KgCO₂. Para emissão de CO₂ tem-se 73,83% de origens fósseis e 26,17% de origens renováveis. Destaca-se ainda

que 6,81% diz respeito às emissões associadas ao processo e 93,19% às emissões associadas ao transporte de insumos.

Os resultados para produção de uma unidade de muda pronta para o plantio, indicaram valores de EE de processo relativamente próximos de uma empresa à outra, devido à semelhança tecnológica no preparo das mudas, que consiste basicamente na utilização de energia elétrica em refrigeradores, mesas vibratórias e bombas para irrigação.

Para EE de transporte, o valor calculado para a empresa B foi por volta de 4 vezes superior ao da empresa A e 11 vezes superior ao da empresa D, tendo em vista que a empresa B possui menores distâncias de transporte em relação as demais. Porém, o consumo de substrato por parte da empresa B é superior ao das demais, indicando uma maior necessidade de viagens, resultando em uma maior quilometragem. Nesse âmbito, destaca-se que o valor de substrato indicado como informação primária pela empresa apresenta-se visivelmente elevado, indicando um valor possivelmente superestimado.

Os valores de CO₂ emitidos para produção de uma muda pronta para o plantio encontram-se condizentes com os recursos energéticos relatados, marcado pelo equilíbrio entre fontes renováveis e fósseis no processo devido à utilização de eletricidade brasileira de matriz mista e pela predominância de fontes fósseis no transporte, devido à queima de diesel pelos veículos.

Tabela 21: Dados da etapa de manutenção da floresta

Tipo de dado	Item	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Unidade
		Quantidade				
Entradas	Mudas prontas para o plantio	1600	1600	1111	1311	Und / hectare
	Formicida A	1,90	2,00	1,61	1,26	Kg / hectare
	Formicida B	0,84	-	-	-	
	Herbicida	6,12	2,20	4,04	2,50	
	Herbicida 2	-	-	1,87	1,58x10 ⁻²	L / hectare
	Herbicida 3	-	-	5,06x10 ⁻³	-	hectare
	Hidroplan	-	1,31	-	-	Kg / hectare
	Adjuvante	-	-	-	1,88x10 ⁻¹	L / hectare
	Diesel	357,64	70,64	-	-	hectare
	Gasolina	25,52	9,42	-	-	
	Água superficial	-	-	4,05	260,09	m ³ / hectare
	Mudas replantadas	484	50	56	112	Und / hectare

Tabela 21: Dados da etapa de manutenção da floresta (continuação)

EE Processo	EE _{fóssil}	11857,97	2436,78	-	-	MJ / hectare
	EE _{ren}	1601,47	351,33	-	-	
	EE _{total}	13459,44	2788,10	-	-	
EE Transporte	EE _{fóssil}	430,94	42,30	9,45	8,54	MJ / hectare
	EE _{ren}	42,74	8,60	$9,81 \times 10^{-1}$	$8,86 \times 10^{-1}$	
	EE _{total}	473,69	50,90	10,44	9,42	
CO₂ Processo	ECO ₂ fóssil	869,74	178,85	-	-	KgCO ₂ / hectare
	ECO ₂ ren	106,15	22,77	-	-	
	ECO ₂ total	975,88	201,62	-	-	
CO₂ Transporte	ECO ₂ fóssil	31,58	3,10	$6,93 \times 10^{-1}$	$6,26 \times 10^{-1}$	KgCO ₂ / hectare
	ECO ₂ rev	3,13	0,63	$7,19 \times 10^{-2}$	$6,50 \times 10^{-2}$	
	ECO ₂ total	34,71	3,73	$7,65 \times 10^{-1}$	$6,91 \times 10^{-1}$	

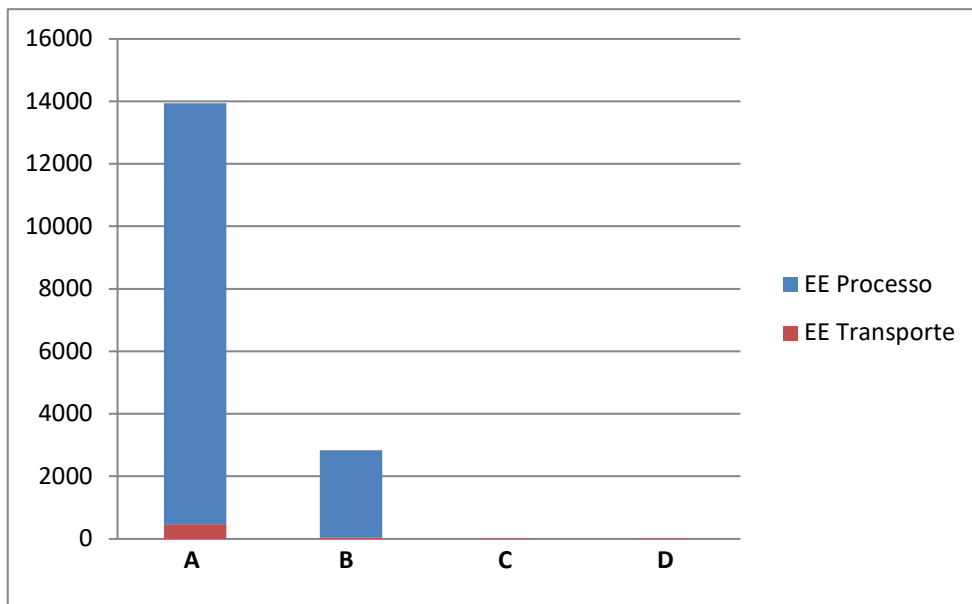
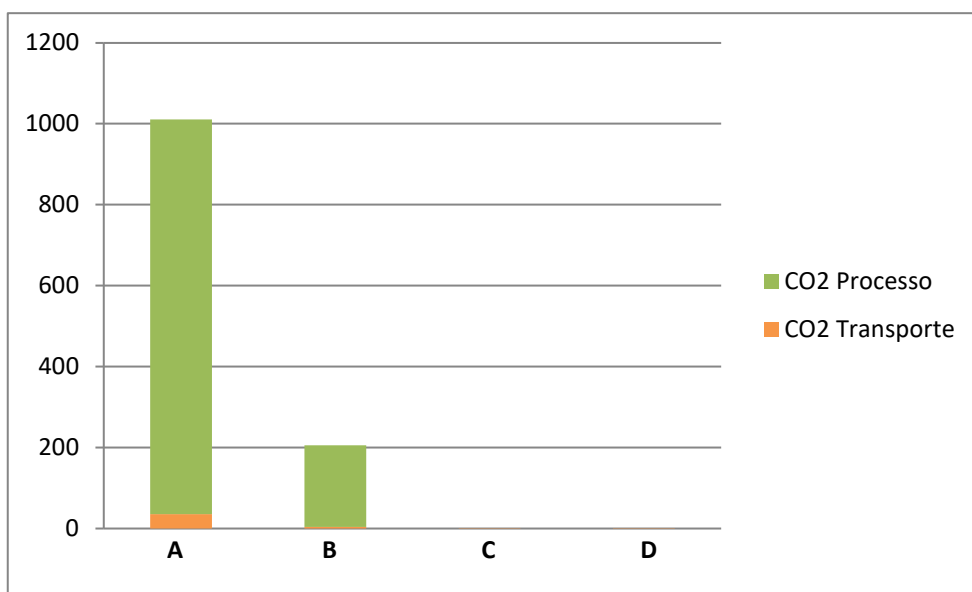


Figura 25: EE Produção e Transporte etapa manutenção da floresta.

Figura 26: CO₂ Produção e Transporte etapa manutenção floresta.

Com base na Tabela 21, considerando às 4 empresas tem-se que para a manutenção de um hectare por ano, em relação à energia incorporada, o intervalo é de 9,42 à 13933,13 MJ/hectare.ano. Contudo, a empresa C não soube informar o consumo de recursos energéticos nos processos de manutenção da floresta e a empresa D utiliza serviços de terceirizados para realização das atividades, sendo assim, a utilização dos valores de energia incorporada para as duas empresas abrange apenas os valores relativos ao transporte de insumos.

Considerando a empresa A e B, que realizam todas as atividades, o intervalo é de 2788,10 à 13459144MJ/hectare.ano, 88,05% obtido através de origens fósseis e 11,95% através de origens renováveis, 96,87% associado ao processo e 3,13% associado ao transporte.

O mesmo ocorre em relação à emissão de CO₂, considerando às 4 empresas tem-se para a manutenção de um hectare por ano, emissão de $6,91 \times 10^{-1}$ à 1010,59 KgCO₂. Considerando as empresas A e B, o intervalo é de 205,35 à 1010,59 KgCO₂. Para emissão de CO₂ tem-se 89,09% obtido através de origens fósseis e 10,91% através de origens renováveis. Destaca-se ainda que 96,84% diz respeito às emissões associadas ao processo e 3,16% às emissões associadas ao transporte. Nesse âmbito, a emissão de CO₂ de origem renovável foi representativa nas empresas descritas, devido as próprias características da matriz energética e dos combustíveis brasileiros, especificamente a incorporação de cerca de 11% de biodiesel no diesel brasileiro, 27% de etanol na gasolina brasileira e a significativa parcela de fontes renováveis como hidrelétricas na eletricidade brasileira.

Os resultados para manutenção de um hectare por ano, indicam que para tanto para EE processo quanto EE Transporte, a empresa A apresentou resultados maiores que a empresa B. O maior consumo de diesel e gasolina estão de acordo com a descrição das atividades da empresa, que indicam maior emprego de mecanização nas atividades florestais da empresa A.

Em acordo com a energia incorporada, as emissões de CO₂ da empresa A foi aproximadamente 5 vezes maior para processo e 9 vezes maior para transporte que a empresa B. Além de maior mecanização, esse fato deve-se a maior quantidade de herbicida e formicida aplicado pela empresa A por hectare e à sua maior distância de transporte de insumos. Em relação a empresa C e D, ambas apresentaram valores de EE e ECO₂ condizentes com a quantidade de herbicidas e

formicidas transportados de acordo com as distâncias de transporte descritas na Tabela 22.

Tabela 22: Dados da etapa de colheita

Tipo de dado	Item	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Unidade
		Quantidade				
Entradas	Hectares prontos para a colheita	$1,76 \times 10^{-3}$	$1,11 \times 10^{-3}$	$7,49 \times 10^{-3}$	$3,01 \times 10^{-3}$	Hectare / ton seca
	Lubrificante	$5,98 \times 10^{-2}$	$7,98 \times 10^{-3}$	-	0,10	L / ton seca
	Graxa	$2,48 \times 10^{-3}$	-	-	$3,80 \times 10^{-3}$	Kg / ton seca
	Líquido de arrefecimento	$1,28 \times 10^{-3}$	-	-	$6,00 \times 10^{-5}$	L / ton seca
	Diesel	$9,07 \times 10^{-1}$	1,53	2,27	1,44	
	Gasolina	$1,53 \times 10^{-2}$	-	-	0,17	
Saídas	Resíduos florestais	$5,26 \times 10^{-2}$	50,24	200,00	63,30	Kg / ton seca
EE Processo	EE _{fóssil}	31,70	48,59	71,68	53,54	MJ / ton seca
	EE _{ren}	3,66	5,96	8,86	5,75	
	EE _{total}	35,36	54,55	80,54	59,28	
EE Transporte	EE _{fóssil}	1,10	$6,31 \times 10^{-1}$	$5,15 \times 10^{-1}$	$5,63 \times 10^{-1}$	MJ / ton seca
	EE _{ren}	0,11	$6,55 \times 10^{-2}$	$3,95 \times 10^{-2}$	$5,83 \times 10^{-2}$	
	EE _{total}	1,21	$6,97 \times 10^{-1}$	0,55	$6,21 \times 10^{-1}$	
CO ₂ Processo	ECO ₂ fóssil	2,30	3,56	5,25	3,89	KgCO ₂ / ton seca
	ECO ₂ ren	$2,66 \times 10^{-1}$	$4,08 \times 10^{-1}$	$6,06 \times 10^{-1}$	$4,54 \times 10^{-1}$	
	ECO ₂ total	2,56	3,97	5,86	4,34	
CO ₂ Transporte	ECO ₂ fóssil	$8,08 \times 10^{-2}$	$4,63 \times 10^{-2}$	$3,78 \times 10^{-2}$	$4,07 \times 10^{-2}$	KgCO ₂ / ton seca
	ECO ₂ ren	$8,07 \times 10^{-3}$	$4,80 \times 10^{-3}$	$2,90 \times 10^{-3}$	$4,11 \times 10^{-3}$	
	ECO ₂ total	$8,89 \times 10^{-2}$	$5,11 \times 10^{-2}$	$4,07 \times 10^{-2}$	$4,48 \times 10^{-2}$	

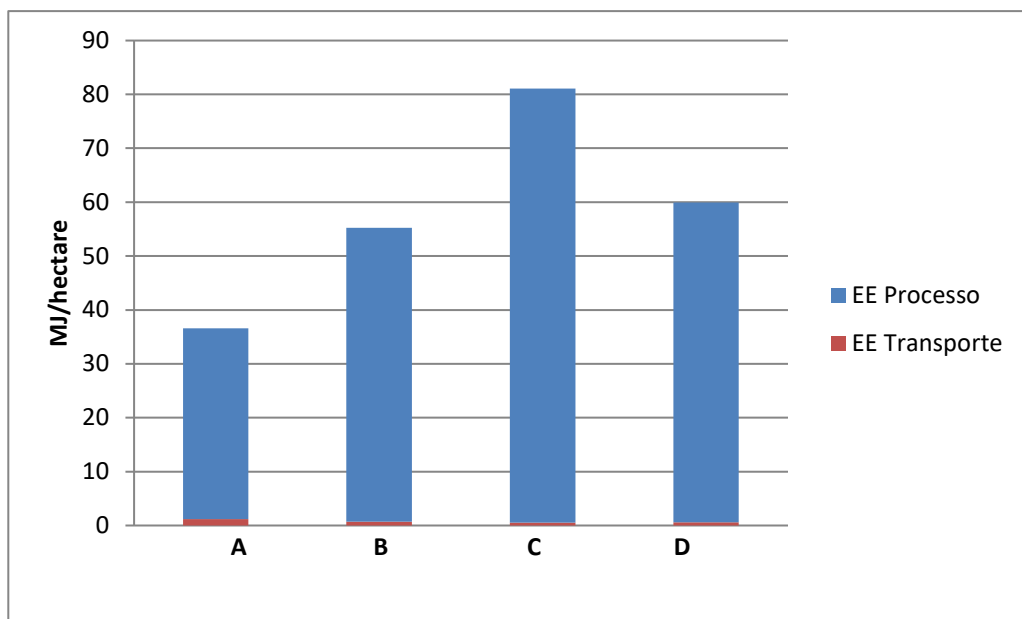


Figura 27: EE Processo e Transporte etapa de colheita.

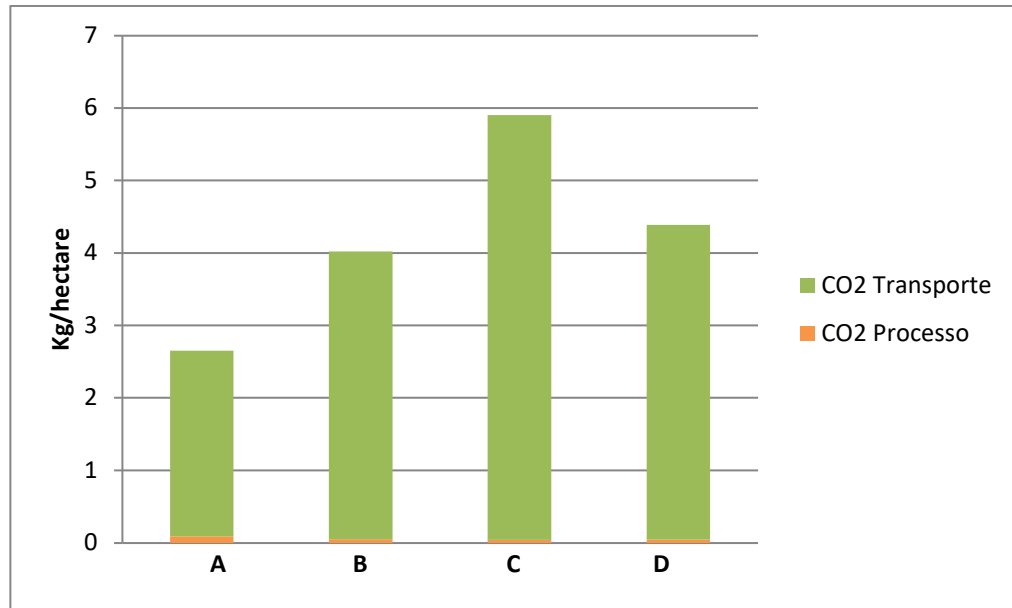


Figura 28: CO₂ Processo e Transporte etapa de colheita.

Com base na Tabela 22, tem-se que a energia incorporada, para a colheita de uma tonelada de madeira em tora, o intervalo é de 36,57 à 81,09 MJ/ton seca. Tem-se para EE, 89,48% obtido através de origens fósseis e 10,52% através de origens renováveis, 98,67% associado ao processo e 1,33% associado ao transporte.

Através dos cálculos identificou-se que a empresa C apresenta o maior valor de EE de processo, mesmo com a empresa D apresentando maiores consumos de lubrificantes, graxas, líquido de arrefecimento e gasolina. Isto indica que o consumo de diesel, maior na empresa C, possui grande importância na determinação de maior ou menor consumo energético de uma determinada empresa. Em síntese, percebe-se a massiva predominância da energia incorporada do processo em relação a energia incorporada dos transportes, sendo isto esperado, tendo em vista o uso de insumos somente para manutenção do funcionamento dos maquinários.

Em relação a colheita de uma tonelada de madeira em tora, o intervalo de emissão de CO₂ é de 2,65 à 5,90 KgCO₂. Para emissão de CO₂ tem-se 89,68% obtido através de origens fósseis e 10,32% através de origens renováveis. Destaca-se ainda que 98,68% diz respeito às emissões associadas ao processo e 1,32% às emissões associadas ao transporte.

Da mesma forma que energia incorporada, a empresa C apresentou a maior emissão de CO₂, relacionado diretamente ao seu maior consumo de diesel no processo, enquanto a empresa A apresentou a maior emissão de CO₂, relacionada diretamente ao maior consumo de combustíveis no transporte dos insumos.

Com base nas Tabelas acima, para produzir uma tonelada de madeira em tora seca, cada empresa faz utilização dos seguintes valores:

Tabela 23: Emissões de CO₂ e energia incorporada (EE) necessárias para produção de 1 tonelada de madeira em tora

Item	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Unidade
	Quantidade				
Mudas prontas para o plantio	2,82	1,78	8,32	3,95	Und / ton tora seca
Hectares de solo preparado, plantado e conduzido	1,76x10 ⁻³	1,11x10 ⁻³	7,49x10 ⁻³	3,01x10 ⁻³	Ha / ton tora seca
EE _{fóssil}	54,69 (89,06%)	52,43 (88,77%)	72,20 (89,03%)	54,28 (90,33%)	MJ / ton tora seca
EE _{ren}	6,71 (10,94%)	6,63 (11,23%)	8,90 (10,97%)	5,81 (9,67%)	
EE _{total}	61,40 (100%)	59,07 (100%)	81,09 (100%)	60,09 (100%)	
ECO ₂ fóssil	3,98 (89,47%)	3,84 (89,46%)	5,29 (89,67%)	3,94 (89,53%)	KgCO ₂ / ton tora seca
ECO ₂ ren	0,470 (10,53%)	0,45 (10,54%)	0,61 (10,33%)	0,46 (10,47%)	
ECO ₂ total	4,45 (100%)	4,29 (100%)	5,90 (100%)	4,40 (100%)	

Vale destacar que a empresa C não possui a etapa de produção de mudas, sendo assim, não informou nenhum dado para esta etapa. Ocorreu a tentativa de contato com o fornecedor de mudas para a empresa em questão, porém, não foi obtido sucesso. Além disso, a empresa não soube informar o consumo de recursos energéticos na etapa de manutenção da floresta, que resultou na falta de valor de processo para a empresa nesta etapa. A empresa D terceiriza a etapa de manutenção da floresta, sendo assim, ocorreu falta de alguns valores de processo para a empresa nesta etapa em questão.

Com base no exposto, optou-se por utilizar os dados das empresas A, B e D, para obtenção dos valores totais de emissão e energia incorporada para produção de uma tonelada de madeira em tora, devido à falta no fornecimento dos dados primários pela empresa C. Os dados da empresa C foram utilizados como dados auxiliares e adicionais para obtenção dos valores nas etapas em que a mesma apresentou suas informações.

Contudo, destaca-se que devido ao maior consumo de diesel na etapa de colheita, a empresa C apresentou valores de emissão de CO₂ e energia

incorporada maiores que as demais empresas. Atribui-se esse fato ao menor rendimento de operações florestais em relação as demais empresas, ou seja, a empresa consome maior quantidade de recursos para produzir 1 tonelada de madeira em tora.

Para a produção 1 tonelada de madeira em tora, o intervalo de energia incorporada foi de 59,07 à 61,40 MJ (88,77% à 90,33% de origem fóssil, 11,23% à 9,67% de origem renovável) e o intervalo de emissão de CO₂ foi de 4,29 à 4,45 KgCO₂ (89,46% à 89,53% de origem fóssil, 10,54% à 10,47% de origem renovável).

3.2.3 Transporte de toras (TT)

3.2.3.1 Emissão de CO₂ e energia incorporada

Em conformidade com o método descrito em pressupostos de cálculo e as distâncias médias de transporte informadas pelas empresas (Tabela 8), foi calculado o consumo de diesel, energia incorporada e emissão de CO₂ por tonelada de madeira em tora transportada (Tabela 24).

Tabela 24: Dados de transporte de toras

Tipo de dado	Item	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Unidade
		Quantidade				
Entradas	Diesel	0,82	0,39	0,18	0,23	L / t
EE Transporte	EE _{fóssil}	25,87	12,45	5,75	7,29	MJ / t
	EE _{ren}	3,20	1,44	0,66	0,84	
	EE _{total}	29,06	13,89	6,41	8,13	
CO ₂ Transporte	ECO ₂ _{fóssil}	1,90	9,13x10 ⁻¹	4,21x10 ⁻¹	5,34x10 ⁻¹	KgCO ₂ / t
	ECO ₂ _{ren}	0,22	1,05x10 ⁻¹	4,86x10 ⁻²	6,17x10 ⁻²	
	ECO ₂ _{total}	2,11	1,02	4,70x10 ⁻¹	5,96x10 ⁻¹	

Nota: Optou-se por identificar as unidades por tonelada de madeira em tora transportada, de modo que os valores inseridos foram multiplicados pela distância das operações florestais até as operações de serraria ou clientes, indicados por cada empresa.

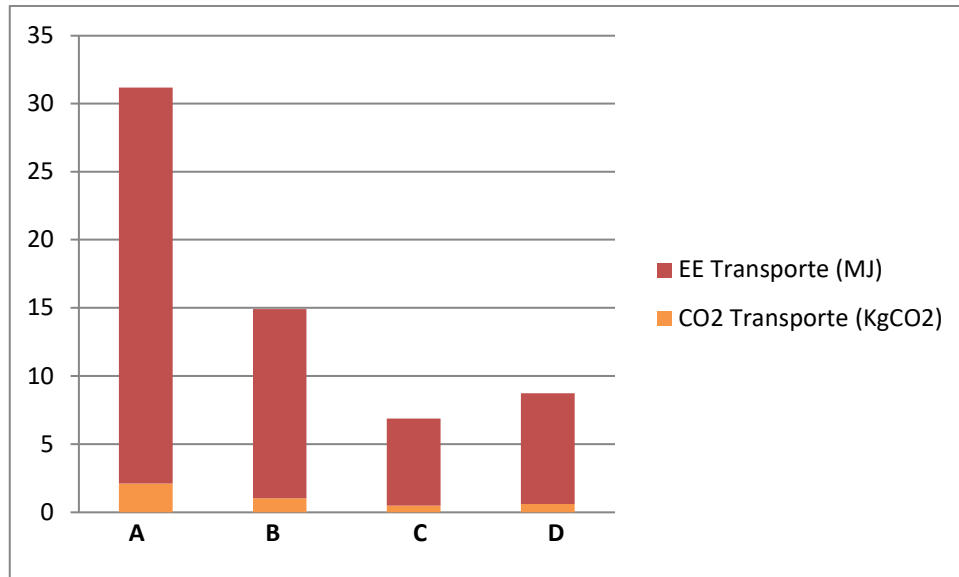


Figura 29: EE e CO₂ Etapa de transporte de toras.

No transporte de toras, todos os modelos indicados pelas empresas, como descrito em metodologia, se enquadraram na classe de veículo Articulado acima de 33 toneladas (Tabela 8), sendo assim, a emissão de CO₂ e energia incorporada originadas do consumo de diesel dependeram diretamente da distância de transporte indicado pelas empresas e da quantidade de viagens necessárias para o transporte da produção.

Para a etapa de transporte de toras, o intervalo de energia incorporada foi de 6,41 à 29,06 MJ/t e o intervalo de emissão de CO₂ de 0,47 à 2,11 KgCO₂/t. Como descrito anteriormente, destaca-se que o diesel brasileiro possui em sua composição um percentual de biodiesel, o que resulta em emissões de CO₂ e energia incorporada também de origens renováveis.

Através dos resultados percebe-se que os valores de energia incorporada e emissão de CO₂ para a empresa A foram em torno de 2 vezes superior que a empresa B e 4 vezes superior que a empresa C e D, devido sua distância de transporte de toras de origem própria até a serraria ser superior às demais, além de contar com uma notável contribuição de aquisição de toras de terceiros, cuja distância conforme Tabela 18, é superior a 2 vezes a distância de transporte da empresa B.

3.2.4 Produção de madeira serrada (PMS)

3.2.4.1 Rendimento

Os rendimentos em operações de serraria são apresentados na

Tabela 25 e os resultados tratam da média anual informada pelas empresas participantes.

Tabela 25: Resultados de rendimento na PMS

Empresa	Rendimento informado (%)	Quantidade de resíduo gerado para 1 ton de madeira serrada aplainada seca (Ton)
Empresa A	49,1	0,509
Empresa B	45,9	0,541
Média geral	47,5	0,525

Em operações de serraria obteve-se valores de 45,9% a 49,1% (mediana 47,5%), ou seja, para uma tonelada de madeira serrada aplainada seca tem-se a geração de 0,541 Ton a 0,509Ton (mediana 0,525 Ton) de resíduos de serraria.

Os valores de rendimento indicados pelas empresas, estão próximos da mediana dos valores identificados no Capítulo 2 (22,37% a 78%, mediana 44,2%), ao que se atribuiu ao fato dos rendimentos em operações de madeira serem relativamente baixos, devido à inerente perda de matéria prima na transportaçã de seções circulares de troncos em seções retangulares de produtos com dimensões padronizadas.

Os rendimentos ligeiramente superiores à mediana obtida por revisão de literatura deve-se a utilização de técnicas mecanizadas de corte, como por exemplo a utilização de scanner para definição de diagramas de corte, empregado pela empresa A. Em concordância, Orlandini (2021) em um levantamento bibliográfico com 4 estudos, constatou que a utilização de softwares de otimização de diagramas de corte, resultaram em um aumento de rendimento mínimo, mediano e máximo de 2,3%, 7,0% e 19,1%.

3.2.4.2 Emissão de CO₂ e energia incorporada

Com intuito de apresentar as estimativas de EE e emissões de CO₂ identificando sua origem, optou-se por separar os valores em fontes fósseis e fontes biogênicas, apresentado na Tabela 26, a seguir. Em seguida a cada Tabela citada, são apresentados gráficos com os valores de EE e emissão de CO₂, para ilustrar a diferença de valores entre as empresas analisadas.

Tabela 26: Dados da etapa de produção de madeira serrada aplainada seca

Tipo de dado	Item	Empresa A	Empresa B	Unidade
		Quantidade		
Entradas	Madeira em tora – origem própria	2,04	4,5	Ton seca / ton mad. ser. apl. seca
	Madeira em tora – origem terceiros	$7,04 \times 10^{-1}$	-	
	Água concessionária - tratada	2,17	$2,20 \times 10^{-2}$	m ³ / ton mad. ser. apl. seca
	Água concessionária - industrial	$9,83 \times 10^{-1}$	-	
	Água subterrânea	$2,35 \times 10^{-1}$	$4,03 \times 10^{-1}$	
	Biomassa	2,07	0,25	Ton / ton mad. ser. apl. seca
	Eletricidade	193,09	154,16	KWh / ton mad. ser. apl. seca
	Diesel	1,4	10,73	L / ton mad. ser. apl. seca
	GLP	2,27	$7,47 \times 10^{-3}$	Kg / ton mad. ser. apl. seca
	Gasolina	-	$8,51 \times 10^{-3}$	L / ton mad. ser. apl. seca
	Graxa Rocol	-	$8,58 \times 10^{-3}$	Kg / ton mad. ser. apl. seca
	Lubrificantes	$1,59 \times 10^{-1}$	-	L / ton mad. ser. apl. seca
Saídas	Cascas	$1,81 \times 10^{-1}$	$2,20 \times 10^{-2}$	Ton seca / ton mad. ser. apl. seca
	Cavaco	1,21	$6,55 \times 10^{-1}$	
	Serragem	$1,34 \times 10^{-1}$	$1,92 \times 10^{-1}$	
	Cavaco (para biomassa)	$4,30 \times 10^{-2}$	$6,68 \times 10^{-1}$	
	Biomassa (vendida)	-	$1,92 \times 10^{-1}$	
	Maravalha	$9,34 \times 10^{-3}$	-	Ton / ton mad. ser. apl. seca
EE Processo	EE _{fóssil}	495,81	608,73	MJ / ton mad. ser. apl. seca
	EE _{bio}	12940,53	1846,26	
	EE _{total}	13436,34	2454,99	
EE Transporte	EE _{fóssil}	1278,24	102,61	
	EE _{bio}	258,77	11,81	
	EE _{total}	1537	114,42	
CO ₂ Processo	ECO ₂ fóssil	20,95	32,73	KgCO ₂ / ton mad. ser. apl. seca
	ECO ₂ bio	10,81	11,41	
	ECO ₂ total	31,76	44,14	
CO ₂ Transporte	ECO ₂ fóssil	93,67	7,52	
	ECO ₂ bio	18,97	$8,66 \times 10^{-1}$	
	ECO ₂ total	112,64	8,39	

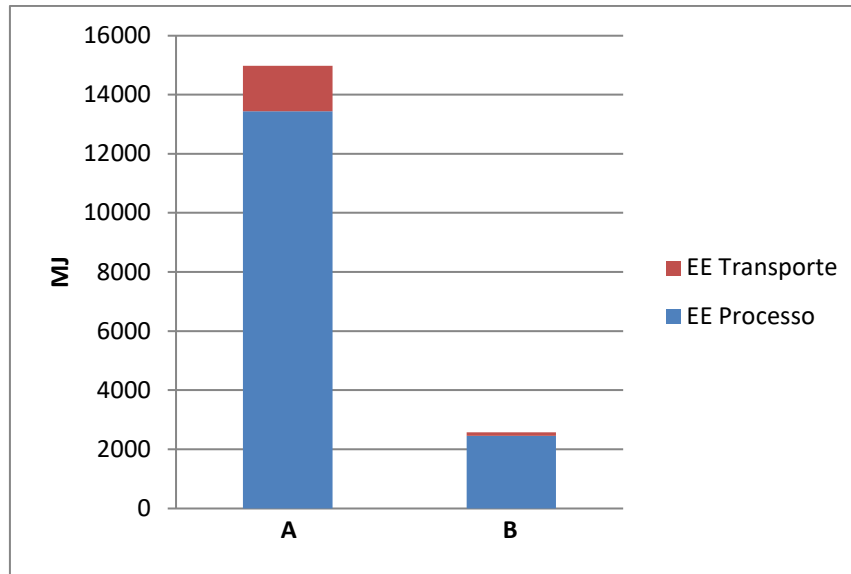


Figura 30: EE Processo e Transporte - Produção de madeira serrada aplainada e seca.

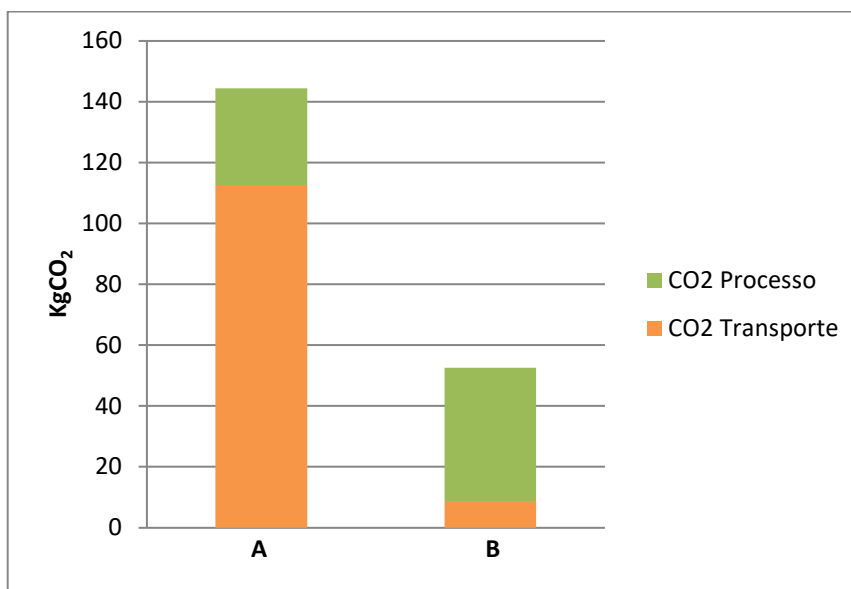


Figura 31: CO₂ Processo e Transporte - Produção de madeira serrada aplainada e seca.

Para a produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada seca, considerando apenas as operações de serraria, a empresa A utiliza 14973,34 MJ/ton (89,74% originada em processo e 10,26% originada em transportes), enquanto a empresa B utiliza 2569,41 MJ/ton (95,55% originada em processo e 4,45% originada em transportes). Em relação a emissão de CO₂ a empresa A emite 144,4 KgCO₂ (21,99% originada em processo e 78,01% originada em transporte), enquanto a empresa B emite 52,53 KgCO₂ (84,03% originada em processo e 15,97% originada em transporte).

Nota-se que em relação à energia incorporada, a empresa A utiliza aproximadamente 5,8 vezes o valor utilizado pela empresa B. Isso é atribuído principalmente à maior quantidade de biomassa consumida pela empresa para produzir energia necessária aos seus processos. Constatou-se também que o percentual de transporte relativo à energia incorporada para a empresa A é superior ao da empresa B, sendo isto atribuído ao transporte de biomassa comprada, a qual compõe em torno de 36,31% de toda a biomassa utilizada pela empresa A e possui uma distância de transporte conforme descrito na Tabela 18, de 135 km.

No que concerne a emissão de CO₂, a empresa A emite aproximadamente 2,7 vezes mais que a empresa B. Contudo, a emissão da empresa A relativa ao processo foi inferior à empresa B devido aos maiores consumos de recursos fósseis (gasolina e diesel) e pelo estudo ter adotado a queima de biomassa como sendo zero, por se tratar de biomassa originada de florestas plantadas, considerando-se que a quantidade CO₂ liberada durante a queima da biomassa foi absorvida durante o crescimento da árvore, sendo assim neutro. Todavia, a emissão de CO₂ da empresa A foi superior por como citado, grande parte da biomassa utilizada ser de origem de terceiros, necessitando de transporte até o processo.

Com base nos dados obtidos em operações florestais, na etapa de transporte e operações de serraria, para produzir uma tonelada de madeira serrada aplainada seca, as empresas A e B fazem utilização dos seguintes valores:

Tabela 27: Emissões de CO₂ e energia incorporada (EE) necessárias para produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada seca (Empresa A e B)

Item	Empresa A	Empresa B	Unidade
	Quantidade		
EE _{fóssil}	1911,48	959,74	MJ / ton madeira serrada aplainada seca
EE _{ren}	13216,20	1889,36	
EE _{total}	15127,68	2849,09	
ECO ₂ fóssil	124,65	58,45	KgCO ₂ / ton madeira serrada aplainada seca
ECO ₂ ren	30,96	14,42	
ECO ₂ total	155,61	72,87	

Considerando as empresas A e B, que realizam todas as etapas analisadas, tem-se para a **produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada seca** uma variação de 242,87 à 667,11 KgCO₂ e 2849,09 à 15127,68 MJ de energia incorporada.

Apesar das grandes variações entre as empresas, optou-se por calcular um valor mediano com fins de representação, considerando à opção de incluir a etapa de operações florestais da empresa D para obtenção dos valores de EE e ECO₂. Assim sendo, como resultado dessa análise, tem-se para obtenção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada seca o descrito na Tabela 28.

Tabela 28: Emissão de CO₂ e energia incorporada (EE) necessárias para produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada seca

Item	Total estudo	Unidade
	Quantidade	
EE _{fóssil}	1432,63	MJ / t madeira serrada aplainada seca
EE _{ren}	7551,81	
EE _{total}	8984,44	
ECO ₂ fóssil	91,23	KgCO ₂ / t madeira serrada aplainada seca
ECO ₂ ren	22,64	
ECO ₂ total	113,87	

Considerando as empresas A, B e D tem-se para **a produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada seca** consumo 8984,44 MJ/t (84,05% de origem fóssil e 15,95% de origem renovável) e emissão de 113,87 KgCO₂/t (80,12% de origem fóssil e 19,88%).

A fase de produção de madeira serrada (PMS) foi a que mais contribuiu para o consumo de energia incorporada e a emissão de CO₂, representando aproximadamente 99% em ambas as categorias. Isso deve-se principalmente a quantidade de processos envolvidos e seus respectivos consumos energéticos. Nesse sentido, é válido ressaltar a representatividade da utilização de biomassa nos valores de energia incorporada, a qual representou em torno de 97% para a empresa A e 82% para a empresa B em todo o consumo energético das operações de serraria.

Por meio de revisão de literatura, foram identificados estudos que apontam os valores de emissão de CO₂ e energia incorporada para produção de madeira serrada aplainada seca, sendo tais informações descritas na Tabela 29.

Tabela 29: EE e Emissões de CO₂ na literatura

EE (MJ/Und)	ECO ₂ (KgCO ₂ /Und)	Referência
3705,00 a 3492,00 MJ/m ³	92 KgCO ₂ -fóssil/m ³ e 160 KgCO ₂ - bio/m ³	Puettmann e Wilson (2005) ^{a,b}

Tabela 29: EE e Emissões de CO₂ na literatura (continuação)

3363,30 a 3954,52 MJ/m ³	47 a 72 KgCO ₂ -fóssil/m ³ e 186 a 307 KgCO ₂ -bio/m ³	Milota, West e Hartley (2005)
3085 MJ/m ³	65,1 KgCO ₂ -fóssil/m ³ e 187 KgCO ₂ -bio/m ³	Bergman e Bowe (2010)
761 MJ/m ³ 1460 MJ/m ³ 914 MJ/m ³	-	Murphy, Devlin and McDonnel (2015)
2911 MJ/m ³	72 KgCO ₂ -fóssil/m ³ e 116 KgCO ₂ - bio/m ³	Puettmann, Wagner e Johnson (2010) ^c

Nota a: Madeira da região do Pacífico Noroeste dos Estados Unidos da América com densidade de 413 Kg/m³;

Nota b: Madeira da região Sudeste dos Estados Unidos da América, com densidade de 510 Kg/m³;

Nota c: Madeira da região Sudeste do Oceano Índico com densidade de 436 Kg/m³.

Percebe-se pelos estudos obtidos, que a emissão de CO₂ teve as parcelas fósseis e biogênicas mais próximas do que para as empresas estudadas, o que pode ser atribuído a matriz energética brasileira possuir maior incorporação de fontes renováveis do que a matriz americana, por exemplo, principalmente devido a utilização de biomassa, da porcentagem de etanol e biodiesel na gasolina e diesel, além das fontes menor poluentes em emissão de CO₂ para energia elétrica brasileira.

Transformando os valores obtidos por Puettmann e Wilson (2005); Milota, West e Hartley (2005); Bergman e Bowe (2010) Puettmann, Wagner e Johnson (2010) para MJ/ton e KgCO₂/t com as respectivas densidades indicadas em cada estudo, percebeu que os resultados de EE obtidos neste estudo são semelhantes aos referenciais.

Em relação às emissões de CO₂, os estudos citados acima também apresentaram faixas de variações aproximadas em relação ao presente estudo, contudo, as proporções entre recursos fósseis e recursos renováveis diferem, pois dependem dos recursos energéticos empregados e da eficiência de conversão da madeira nas diferentes etapas. Tais diferenças podem em parte, ser atribuídas a matriz energética brasileira “mais limpa”, à incorporação de biodiesel ao diesel brasileiro e a utilização de biomassa considerada como carbono neutro.

Punhagui (2014), em seu estudo com 19 empresas analisadas, obteve no portão da indústria valores de consumo de energia incorporada de 729 à 14944 MJ/t (mediana de 7868 MJ/t) e emissão de CO₂ de 32 à 559 KgCO₂/t (mediana de 92 KgCO₂/t). Esses valores são um indicativo de que os valores obtidos neste estudo estão de acordo com o esperado.

Destaca-se que os estudos analisados apresentam variações metodológicas entre si e entre o presente estudo, tais como unidades funcionais declaradas, limites de sistema e níveis de detalhamento. Cita-se que entre os estudos da Tabela 29, tem-se estudos que abrangem as etapas de produção de mudas e manutenção da floresta, enquanto outros partem de etapas posteriores, como a colheita. Porém, optou-se por utilizar os mesmos para fins de comparação de informações devido às grandes variações que podem estar envolvidas no desenvolvimento de estudo de ICV, mesmo possuindo um mesmo objeto de estudo.

Em termos gerais, acredita-se que os resultados obtidos no presente estudo são coerentes com as técnicas de ICV e com a realidade de produção de madeira serrada aplainada seca de *Pinus spp.* destinado à construção civil.

3.3. CONSIDERAÇÕES

O rendimento das operações florestais das 4 empresas avaliadas foram 80,0 a 95,0% (mediana 94,2%). Se comparado aos dados da revisão de literatura do Capítulo 2, os rendimentos apresentados pelas empresas são superiores. Acredita-se que isso se deva ao fato de que foram considerados somente dos resíduos gerados na etapa da colheita, ignorando os resíduos durante o crescimento da floresta.

O rendimento nas operações de serraria variou de 45,9% a 49,1% (mediana 47,5%). Os valores de rendimento indicados pelas empresas, estão próximos da mediana dos valores identificados no Capítulo 2 (22,37% a 78%, mediana 44,2%), sendo devido às altas quantidades de perdas de matéria prima na transportação de seções circulares de troncos em seções retangulares de produtos com dimensões padronizadas.

Quanto à energia incorporada, para produzir 1 tonelada de madeira em tora, os intervalos encontrados foram 59,07 à 61,40 MJ e são emitidos 4,29 à 4,45 KgCO₂. Na etapa de transporte das toras, a energia incorporada encontrada foi de 6,41 à 29,06 MJ/t e o intervalo de emissão de CO₂ de 0,47 à 2,11 KgCO₂/t. Nas operações de serraria, a empresa A utilizou 14973,34 MJ/ton e emitiu 144,4 KgCO₂ e

a empresa B utilizou 2569,41 MJ/ton e emitiu 52,53 KgCO₂. Por fim, para a produção de 1 tonelada de madeira serrada aplainada e seca produzida no Paraná é necessário o consumo de 8944,44 MJ/t de energia incorporada.

3.4 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO

- ALMEIDA, DH de et al. Determinação do teor de umidade e densidade básica pra espécies de Pinus e Eucalipto. Revista Científica Eletrônica da FAIT, São Paulo, 2014.
- AMPESSAN, Camilla GM et al. DENSIDADE DA MADEIRA DE Pinus taeda L. PARA A PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA KRAFT. 2015. II COGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA. Belo Horizonte, MG.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – 2020. Rio de Janeiro: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil), 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040 (a): Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida-princípio e estrutura. ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14044 (b): Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida-requisitos e orientações. ABNT, 2009.
- BALLONI, C. J. V. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DA MADEIRA DE Pinus elliottii, 2009. 33p. (Trabalho de conclusão de curso) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA, 2009.
- BERGMAN, R. D.; BOWE, S. A. Environmental impact of manufacturing softwood lumber in northeastern and north central United States. Wood and Fiber Science, v. 42, p. 67–78, 2010.
- BERGMAN, Richard et al. The carbono impacts of wood products. Forest Products Journal, USA, v. 64, n.7, p.320-332, out. 2014.
- CECCAGNO, Henrique. Caracterização de acículas de Pinus como condicionador de substrato e seu potencial para produção de porta-enxertos cítricos. 2016. Dissertação (Mestrado - Fitotecnia com ênfase em Horticultura). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2016. 94p.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019. Rio de Janeiro: EPE, 2020.

- FERREIRA, Juliana Ceccato et al. Variação da massa específica básica da madeira de *Pinus taeda* em função das diferentes idades e posições longitudinais no tronco. In: Embrapa Florestas-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 8., 2009, Colombo. Anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2009.
- FERRO, Fabiane Salles; SILVA, Diogo Aparecido Lopes; ICIMOTO, Felipe Hideyoshi; LAHR, Francisco Antonio Rocco; GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara. Environmental Life Cycle Assessment of industrial pine roundwood production in Brazilian forests..F. S. Ferro et al. / Science of the Total Environment 640-641. 2018 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.262>
- Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira. Site do Governo do Brasil, 2020. Disponível em: < <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>>. Acesso em: 05, maio de 2020.
- GHG PROTOCOL;FGV, F. G. V. Programa Brasileiro GHG Protocol. Ferramenta GHG Protocol 2013. Versão 2013.1. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/index.php?r=site/CapaSecao&id=1>>.
- GHG PROTOCOL;FGV. Programa Brasileiro GHG Protocol. Arquivo em excel. Fatores de conversão. 2012. Disponível em: <<http://www.fgv.br/ces/ghg/>>. Acesso em: 31 out. 2011.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Carbonmetrics, 2014. Disponível em: <http://www.carbonmetrics.com/ipcc-emission-factors-tool>.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 2 – Mineral Industry Emissions. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3. Industrial Processes and Product Use. 1. ed. Japan: IGES – Institute for Global Environmental Strategies, 2006. V. 3.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Bracknell: JT Houghton, LG Meira Filho, B Lim, K Treanton, I Mamaty, Y Bonduki, 1997. v. Workbook. Module I. Energy.
- IPCC, 2006 – Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use – Chapter 4: Forest Land. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.
- MACIEL, Gabriel de Oliveira Pontes; FERREIRA, Bruno Santos; SOUZA, Gabriel

- Camila. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA JUVENIL E ADULTA DO *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. 2020.
- MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório de Referência. Emissões de Gases de Efeito Estufa por Fontes Móveis, no Setor Energético. Brasília: MCT, 2006a.
- MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia. Programa Nacional de Mudanças Climáticas. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Fatores de Emissão. Arquivos de Fatores de Emissão. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora>.
- MCTIC, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Fator médio – Inventários corporativos. 2013. Governo Federal. Disponível em: https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html.
- MELCHIORETTO, D; ELEOTÉRIO, D. J. CARACTERIZAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E COMPARAÇÃO DA MADEIRA DE *Pinus patula*, *P. elliottii* E *P. taeda* ATRAVÉS DE SUAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS, 2003.
- MILOTA, M. R.; WEST, C. D.; HARTLEY, I. D. Gate-to-gate life-cycle inventory of softwood lumber production. *Wood and Fiber Science*, v. 37, p. 47–57, 2005. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-32644486263&origin=inward&txGid=a9c32a815de51774162d9a71369d858b>.
- MMA; IBAMA; ANP; ANTT; CETESB; FEAM; FEPAM; INEA; PETROBRAS; ANFAVEA; ABRACICLO; CNT; IEMA. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Relatório final, ano-base 2013. 2014.
- MME – Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia – Empresa de Pesquisa Energética, 2013b.
- MURPHY, F.; DEVLIN, G.; MCDONNELL. Greenhouse gas and energy based life cycle analysis of products from the Irish wood processing industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 92, p. 134-141. Elsevier Science Ltd. 2015.
- ORLANDINI, Luana Caroline. Estratégias para redução das emissões de CO₂ e o aumento de estoque de carbono do setor da construção por meio do uso da madeira. Dissertação (Mestrado – Engenharia Civil). Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu, PR. 2021.

- PUETTMANN, M. E.; WILSON, J. B. Life Cycle analysis of wood products: cradle-to-gate LCI of residential wood building materials. *Wood and Fiber Science*, v. 37, p. 18-29. Society of Wood Science and Technology. 2005.
- PUNHAGUI, Katia Regina García. Potencial de reducción de las emisiones de CO₂ y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera. 2014. Tese de Doutorado. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- TAVARES, S. F. Metodologia de Análise de Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras. 2006. 225 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- TILLMAN, A. M. Open-Loop Recycling: Criteria for Allocation Procedures. *International Journal of Life Cycle Assessment* v.2, n. 3, p. 155-162, 1997.
- TUCKER, S. N.; A. Tharumarajah, B. May, J. England, K. Paul, M. Hall, P. Mitchell, R. Rouwette, S. Seo and M. Syme. Life Cycle Inventory of Australian Forestry and Wood Products. 2009. ISBN: 978-1-920883-90-4.

CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES FINAIS

Neste estudo, o objetivo geral foi desenvolver um Inventário do Ciclo de Vida Simplificado para produção de 1 tonelada seca de madeira serrada aplainada, produzida no Paraná e destinada ao setor da construção civil. Pôde-se perceber, ao analisar separadamente os processos produtivos da cadeia de madeira serrada aplainada, que tanto no rendimento, na energia incorporada e nas emissões, os valores são diretamente influenciados pelos processos e pela realidade da cadeia produtiva das empresas.

Mesmo para empresas atuantes em uma mesma região geográfica e com grandes semelhanças tecnológicas, os valores de energia incorporada e os valores de emissão de CO₂ são heterogêneos. Conclui-se que a eficiência dos processos de obtenção das toras em operações florestais e obtenção de madeira serrada em operações de serraria desempenham papel principal na análise de EE e CO₂.

Existe ainda, uma lacuna de informações relacionadas de energia incorporada e emissão de CO₂, associados à construção civil. Apesar de pertinente, estudos como este muitas vezes tornam-se de difícil execução e análise. A presente pesquisa buscou contribuir com a necessidade de geração de informações ao respeito dos materiais de construção utilizados nos diferentes sistemas construtivos brasileiros, mas permanece sendo uma oportunidade para futuras pesquisas.

Sugere-se ainda, que pesquisas futuras possam superar as limitações encontradas neste trabalho, especialmente quanto à falta de comparabilidade entre empresas. Sendo assim, são recomendados alguns tópicos para pesquisas:

- Análise similar com maior número de empresas ou em diferentes regiões, a fim de avaliar as diferenças e/ou semelhanças entre resultados de energia e emissões;
- Dar continuação às etapas, aumentando a abrangência da ACV, como por exemplo, do berço ao portão da fábrica ou do berço ao uso final;
- Analisar mais profundamente os possíveis usos e vida útil da madeira serrada aplainada seca, correlacionando as emissões de sua produção com seu tempo de vida útil e fim de vida.

APÊNDICE A

1. DADOS QUALITATIVOS

1.1. Empresa A

1.1.1. Operações Florestais (OF)

A empresa A emprega a estratégia do cultivo mínimo no manejo de suas florestas. Este subsistema abrange uma fronteira da produção de mudas ao carregamento das toras nos caminhões.

As sementes são obtidas por produção própria e compra de terceiros, sendo que a germinação das mesmas ocorre em tubetes de plástico preenchidos com substrato. Este substrato consiste em uma mistura de casca de Pinus, vermiculita, adubo e fungicida, sendo preparado em uma betoneira e disposto nos tubetes, que são submetidos à compactação em uma mesa vibratória para receber a semente. Os tubetes semeados seguem para a casa de germinação, onde ficam dispostos em mesa, recebendo irrigação mecânica por um aspersor em ambiente com temperatura controlada, semelhante a uma estufa. Na sequência, as mudas germinadas seguem para o pátio de rustificação, onde ficam dispostas em mesas protegidas por um sombriteantigranizo, também recebendo irrigação mecânica por um aspersor. Após este período, as mudas estão prontas para o plantio e são retiradas dos tubetes, que são lavados para reutilização. As mudas são dispostas em uma lona, em um processo denominado rocambolagem e, então, são transportadas ao campo para o plantio.

Anteriormente ao plantio, se dá a etapa de preparação do solo, envolvendo a aplicação de herbicida e formicida. O plantio de mudas é realizado na empresa A de forma manual, através da abertura e inserção no solo. Até 3 meses após o plantio, pode ocorrer o replantio, em caso de mudas que não se desenvolveram.

Após o plantio, procede-se à fase de condução da florestal que, em razão da estratégia de cultivo mínimo adotada pela empresa A, envolve apenas as atividades de roçada e combate a pragas. As roçadas ocorrem principalmente até o terceiro ano após o plantio, de forma manual e/ou semimecanizada, e com frequência aproximada de 1 roçada/ano. O controle de pragas envolve principalmente o combate às formigas com isca formicida, e de vespa da madeira através de inoculação com gel nematoide.

A etapa de colheita da madeira envolve as atividades de corte das

árvores e remoção de toras da floresta. O corte é quase totalmente feito por máquinas *Harvesters*, que processam as árvores em toras e toretes, organizando-as em feixes. O baldeamento da madeira até os caminhões de transporte ou então para locais de armazenamento é feito por equipamentos chamados *Forwarders*. Os caminhões utilizados no transporte são tipicamente romeu-e-julieta de 7 ou 9 eixos, e transportam as toras de madeira bruta até a serraria onde serão beneficiadas.

1.1.2. Produção de madeira serrada (PMS)

A empresa A produz madeira serrada de *Pinus spp.*, principalmente *taeda* e *elliotti*, e processa toras de madeira de florestas próprias ou adquiridas de terceiros. A PMS inclui todas as atividades realizadas na serraria, desde o recebimento das toras no pátio de toras até a entrega da madeira serrada e seca no portão da indústria.

A PMS inicia-se com o recebimento dos caminhões no pátio de toras. Uma grua móvel executa o descarregamento das toras e auxilia na organização do estoque para que a matéria-prima seja utilizada no sistema FIFO – *first-in-first-out*. Em seguida a grua móvel abastece cavaletes de uma grua fixa, que transfere as toras para a mesa de carregamento da linha de produção. Nesta empresa, as toras passam pela leitura de um *scanner* que define a otimização para o desdobro da tora de acordo com um plano de corte previamente definido.

Em seguida, ocorre o processo de descascamento em que as toras passam pelo descascador que retira o câmbio por meio de facas que executam movimentos circulares (Figura 32). A biomassa proveniente do descascamento é direcionada para uma usina termoeletrica que produz eletricidade e vapor. O vapor é posteriormente aproveitado nas estufas para o processo de secagem da madeira.

A etapa de desdobro define o aproveitamento da tora e as características das peças resultantes, e é dividido em duas etapas: desdobro primário e secundário. O desdobro primário inicia-se pelo corte da tora em serras circulares, e posteriormente por serras fitas que realizam o corte lateral da tora, resultando em bloco central e tábuas laterais.



Figura 32: Descascador

Fonte: Acervo do autor.

O desdobro secundário do bloco central e das tábuas laterais ocorre em processos paralelos e simultâneos. O desdobro secundário das tábuas laterais inicia-se com nova leitura por scanner para a otimização do corte longitudinal (refilagem/resserra), executado por serras circulares. Após a refilagem e resserra, as tábuas passam pelo processo de destopo – que se refere ao corte das peças no comprimento que, na sequência, são classificadas.

O desdobro secundário do bloco central – oriundo do desdobro primário – também se inicia com a leitura por um *scanner*, e em seguida é direcionado para serras circulares múltiplas que dividem o bloco em tábuas laterais e medula central. As tábuas refiladas e a medula central são direcionadas para a resserra, sendo que o bloco de medula central é encaminhado para corte por uma serra fita vertical. As tábuas e os blocos excedentes são direcionados para a classificação. O redirecionamento das tábuas é feito a partir de esteiras, como apresentado na Figura 33.



Figura 33: Redirecionamento de tábuas por esteiras

Fonte: Acervo do autor.

Após a classificação das tábuas, as peças são direcionadas para os boxes que as separam de acordo com suas características dimensionais e de qualidade. Dos boxes, após serem tabicadas e dispostas em grades, as tábuas são direcionadas para o pátio de armazenamento de madeira verde ou para as estufas de secagem.

O início do processo de secagem em estufas envolve a umidificação do ar. A secagem da madeira disposta nas estufas ocorre por meio da circulação do vapor quente proveniente das caldeiras. A circulação do ar no interior das estufas é realizada por ventiladores, de modo a garantir a distribuição uniforme das condições de secagem. A energia térmica utilizada no processo é proveniente da usina de biomassa oriunda do descascamento das toras na indústria e da compra de biomassa de terceiros.

Após a secagem, os fardos de madeira são desgradeados e a madeira serrada é encaminhada para a remanufatura. Na remanufatura ocorre nova classificação – visual e dimensional – das peças. Então, as tábuas são encaminhadas para um novo destopo e eventualmente aplainamento, se assim especificado na ordem de fabricação. Após esses processos a madeira serrada segue para os boxes através de esteiras, onde são separadas pela sua classificação de comprimento e qualidade. Finalmente, é realizada a organização e cintamento da madeira em fardos que podem ser encaminhados para a expedição, como apresentado na Figura 34.



Figura 34: Fardos de madeira prontos para expedição

Fonte: Acervo do autor.

1.2. Empresa B

1.2.1. Operações Florestais (OF)

A empresa B não emprega a estratégia de cultivo mínimo no manejo de suas florestas, as áreas da empresa são administradas com técnicas de manejo de maior controle.

As sementes são adquiridas pela compra com terceiros, sua germinação ocorre em tubetes de plástico com 125 cm³ utilizando substrato composto por adubo, fertilizante e serragem. A mistura do substrato ocorre com o auxílio de uma betoneira e a compactação dos tubetes com o auxílio de uma mesa vibratória.

Após a semeadura, os tubetes seguem para casa de germinação, onde ficam dispostos em mesas e recebem irrigação mecânica. Em seguida, as mudas germinadas seguem para o pátio de rustificação até ficarem prontas para o plantio, conforme Figura 35. A água utilizada é superficial, sendo o abastecimento através do bombeamento de água de córregos próximos. As mudas produzidas pela empresa são levadas ao campo no formato de rocamboles.



Figura 35: Viveiro empresa B

Fonte: Acervo do autor.

A empresa B não realiza nenhum tratamento com os resíduos florestais, os mesmos permanecem na floresta após a colheita. Assim, na etapa de preparo do solo a empresa realiza o arrançamento dos resíduos, seguido da aplicação de herbicidas e combate às formigas utilizando iscas formicidas.

O plantio é realizado de forma manual, com aplicação da técnica de cultivo mínimo, sendo a abertura de cova e o plantio realizado manualmente, conforme Figura 36. Destaca-se a utilização de gel de hidratação para a muda, o qual segundo a empresa promove a hidratação da muda durante um período de até 40 dias sem ocorrência de chuvas.



Figura 36: Operação de plantio empresa B

Fonte: Acervo do autor.

Após o plantio, segue-se à fase de condução da floresta, a empresa B realiza operações de roçada que acontecem até 4 anos de floresta, 2 vezes ao ano, sendo uma de origem manual e uma de origem química e operações de poda, que ocorrem em três ocasiões, a primeira até 1,5 anos de floresta, a segunda com até 3 anos de floresta e a terceira com aproximadamente 4 anos de floresta. Além disso, a empresa também realiza o combate de formigas com isca formicida.

A colheita da madeira é realizada através de duas operações de desbaste, a primeira com aproximadamente 12 anos de floresta, a segunda de 16 a 18 anos e o corte raso com 25 anos de floresta. A colheita é feita em maior parte utilizando máquinas Harvesters, que processam as árvores em toras e toretes, organizando-os em feixes. Em áreas com grande declividade, a colheita é realizada com a utilização de motosserras. O arraste e baldeamento das toras é feito com a utilização de tratores, conforme Figura 37.



Figura 37: Arraste toras com trator

Fonte: Acervo do autor.

Após empilhadas junto as vias de acesso, as toras são carregadas e transportadas até os consumidores, utilizando geralmente caminhões do tipo romeu-e-julieta de 7 ou 9 eixos.

1.2.2. Produção de madeira serrada (PMS)

Ao chegarem na serraria as peças são desdobradas e processadas conforme o uso. Na empresa B, durante o processamento da madeira, existem dutos de exaustão acoplados as máquinas para coleta de resíduos que são encaminhados para a caldeira, evitando desperdícios. Os resíduos da serraria são casca, serragem e cavaco.

A empresa B conta com duas unidades de serraria, uma localizada na floresta e a outra localizada em zona urbana. Os processos são semelhantes, porém aqui será tratado da unidade localizada em zona urbana, por possuir uma maior quantidade de processos e operações.

A produção inicia com o pátio de toras, onde ocorre o armazenamento das toras vindas das operações florestais. O abastecimento da linha de produção ocorre de duas formas, a primeira utiliza uma carregadeira para transportar toras de menor diâmetro até a entrada do processo, Figura 38, a segunda utiliza uma carregadeira que transporta as toras de maior diâmetro até uma grua fixa que insere as toras na linha de produção, Figura 39.



Figura 38: Carregadeira de toras

Fonte: Acervo do autor.



Figura 39: Grua fixa

Fonte: Acervo do autor.

Em seguida, ocorre o processo de descascamento em que as toras passam pelo descascador que retira o câmbio por meio de facas que executam movimentos circulares. A biomassa proveniente do descascamento é direcionada para uma usina termoelétrica que produz eletricidade e aquece um óleo térmico que posteriormente é utilizado para geração de vapor. O vapor é posteriormente aproveitado nas estufas para o processo de secagem da madeira. Já o abastecimento

da fábrica é feito com o uso de água de poço artesiano.

A etapa de desdobro define o aproveitamento da tora e as características das peças resultantes, e é dividido em duas etapas: desdobro primário e secundário. O desdobro primário inicia-se pelo corte da tora em serras circulares, e posteriormente por serras fitas que realizam o corte lateral da tora, resultando em bloco central e tábuas laterais, conforme Figura 40.



Figura 40: Desdobro primário

Fonte: Acervo do autor.

O desdobro secundário do bloco central e das peças laterais ocorre em processo paralelos. O desdobro secundário das tábuas ocorre por meio do corte longitudinal (refilagem/resserra), executado por serras circulares. Após a refilagem e resserra, as tábuas passam pelo processo de destopo – que se refere ao corte das peças no comprimento que, na sequência, são separadas para formar os lotes gradeados. Destaca-se que o controle de quais peças serão formadas dá-se pela percepção dos operadores.

Parte dos resíduos do processo de produção como serragem e resíduos das costaneiras com presença de casca, são destinados através de esteiras e roscas para uma área de armazenamento, conforme Figura 41 para em seguida serem comercializados. O armazenamento e gradeamento é feito de forma manual e com a utilização de esteiras.



Figura 41: Armazenamento de resíduo

Fonte: Acervo do autor.

Após a separação e tabicamento das tábuas, as peças são direcionadas para áreas distintas que as separam de acordo com suas características dimensionais e de qualidade. Dessas áreas, as tábuas são direcionadas para o pátio de armazenamento, e em seguida para as estufas de secagem.

O início do processo de secagem em estufas envolve a umidificação do ar. A secagem da madeira disposta nas estufas ocorre por meio da circulação do vapor quente proveniente das caldeiras. A circulação do ar no interior das estufas é realizada por ventiladores, de modo a garantir a distribuição uniforme das condições de secagem. As estufas operam de 70 a 80°C. As peças são colocadas e retiradas da estufa com empilhadeiras, e após a secagem a umidade da madeira fica entre 8 e 12%. A energia térmica utilizada no processo é proveniente da usina de biomassa oriunda dos resíduos madeireiros da própria indústria. O controle das estufas é feito por softwares como o mostrado na Figura 42.



Figura 42: Software de controle das estufas

Fonte: Acervo do autor.

Após a secagem, os fardos de madeira são desgradeados e a madeira serrada é encaminhada para a remanufatura. Na remanufatura ocorre nova classificação – visual e dimensional – das peças. Então, as tábuas são encaminhadas para a operação de aplainamento, se assim especificado na ordem de fabricação. Após esses processos a madeira serrada segue para os boxes através de esteiras, onde são separadas pela sua classificação de comprimento e qualidade. Finalmente, é realizada a organização e cintamento da madeira em fardos que podem ser encaminhados para a expedição.

1.3. Empresa C

A empresa C é responsável pela estratégia do cultivo mínimo no manejo de suas florestas no Paraná, englobando apenas operações florestais. Em julho de 2013 a empresa C começou a administrar o empreendimento em uma área próxima à região metropolitana de Curitiba. A área total do empreendimento da empresa foco deste estudo é de aproximadamente 26 mil hectares, os quais destes, 7,5 mil hectares já estavam plantados no momento da compra pela empresa participante do estudo.

1.3.1. Operações Florestais

O sistema de manejo adotado tem como destinos finais para as toras a produção de madeira sólida (serraria e laminação) e madeira de processo (painéis, celulose e energia).

Devido a topografia acidentada da região, as únicas atividades mecanizadas atualmente são: abertura e manutenção de estradas, arraste, processamento e carregamento, estas três últimas relacionadas especificamente à operação de colheita, o restante das atividades é 100% manual.

A empresa C não possui viveiro no empreendimento analisado neste estudo, sendo as mudas obtidas pela compra com terceiros, com aproximadamente 20 cm de altura, semelhante à Figura 43.



Figura 43: Muda plantada empresa C

Fonte: Acervo do autor.

Na etapa de preparo do solo, a empresa C realiza as atividades de enleiramento, combate à formiga utilizando iscas formicidas e roçada pré-plantio.

O plantio é realizado de forma manual, sendo realizado em conjunto com as atividades de balizamento e coroamento. A atividade de replantio ocorre em áreas com mais de 5% de taxa de perda de mudas.

Após o plantio, segue-se à fase de condução da floresta que, em razão da estratégia de cultivo mínimo adotada atualmente pela empresa C, envolve o controle da matocompetição por meio da aplicação manual e mecanizada de herbicida, capina manual e roçada manual, somado ao combate de formigas com isca

formicida.

A etapa de colheita da madeira envolve as atividades de corte das árvores e remoção de toras da floresta. A empresa não realiza desbastes, somente a operação de corte raso. O corte das árvores é em maior parte realizado com a utilização de motosserras, seguido do arraste com a utilização de tratores e cabo de aço, conforme a Figura 44.



Figura 44: Arraste de toras empresa C

Fonte: Acervo do autor.

Em seguida, as árvores são cortadas em toras de menor comprimento e desgalhadas utilizando máquinas Harvesters. Após isso é realizado o empilhamento das toras junto a via de acesso, semelhante ao da Figura 45.



Figura 45: Torras armazenadas próximo a via de acesso

Fonte: Acervo do autor.

Após empilhadas junto as vias de acesso, as toras são carregadas e transportadas até os consumidores, utilizando geralmente caminhões do tipo romeu-e-julieta de 7 ou 9 eixos, como a Figura 46.



Figura 46: Carregamento de toras nos caminhões

Fonte: Acervo do autor.

1.4. Empresa D

1.4.1 Operações Florestais (OF)

A empresa D, também atua somente em operações florestais, e emprega atualmente a estratégia de cultivo mínimo no manejo de suas florestas. Porém, diversas áreas da empresa foram administradas com técnicas de manejo de maior controle, com a realização de podas em três diferentes idades.

As sementes são obtidas pela compra com terceiros, sua germinação ocorre em tubetes de plástico com 100 cm³ utilizando substrato composto por acícula de Pinus triturada, serragem, adubo e fertilizante. A mistura do substrato ocorre com o auxílio de uma betoneira e a compactação dos tubetes com o auxílio de uma mesa vibratória, conforme Figura 47.



Figura 47: Equipamento para preparo de substrato

Fonte: Acervo do autor.

Após a semeadura, os tubetes seguem para casa de germinação, onde ficam dispostos em mesas e recebem irrigação mecânica por meio de aspersores de 3 a 4 vezes ao dia. A fertilização das mudas também ocorre por meio dos aspersores através da técnica de fertirrigação. Em seguida, as mudas germinadas seguem para o pátio de rustificação até ficarem prontas para o plantio (Figura 48). As mudas produzidas pela empresa são levadas ao campo no formato de rocamboles. A empresa também utiliza de compra de mudas de terceiros para atender a demanda da etapa do plantio. A água utilizada é subterrânea, com abastecimento através de poços artesianos.



Figura 48: Pátio de Rustificação

Fonte: Acervo do autor.

Preliminarmente ao plantio, ocorre a etapa de preparo do solo, onde o tratamento depende da situação do talhão. Em talhões com alto volume de material lenhoso a empresa realiza enleiramento¹⁷ seguido de queima controlada. Em talhão com baixo volume de material lenhoso ocorre a aplicação de herbicida e/ou roçada, seguido do plantio direto. Já em áreas novas de plantio, realizam o procedimento de subsolagem e aplicação da herbicida na área total.

O plantio é realizado de forma manual, com aplicação da técnica de cultivo mínimo, tendo a pá chilena como principal ferramenta para abertura das covas e plantio das mudas. Até 3 meses após o plantio, pode ocorrer o replantio das mudas que não se desenvolverem.

Após o plantio, segue-se à fase de condução da floresta que, em razão da estratégia de cultivo mínimo adotada atualmente pela empresa D, envolve o controle da matocompetição por meio da aplicação manual e mecanizada de herbicida, capina manual e roçada manual, somado ao combate de formigas com isca formicida. Um exemplo de aplicação manual de herbicidas é apresentado na Figura 49.

¹⁷Enleiramento: consiste em amontoar ou empilhar os resíduos lenhosos na superfície do solo após a derrubada, em filas contínuas, espaçadas umas das outras de 30 a 100 metros, dependendo da declividade do terreno; densidade do material derrubado; e do tipo de equipamento utilizado.



Figura 49: Aplicação manual de herbicidas

Fonte: Acervo do autor.

Destaca-se que as atividades de preparo do solo, plantio e condução da floresta pela empresa D são realizadas por terceiros.

A empresa possui 3 sistemas de manejo no que diz respeito a atividade de colheita. O primeiro deles é realizado dois desbastes e o corte raso, entre 9 a 11 anos, entre 14 e 15 anos e o corte raso entre 18 e 20 anos. O segundo é realizado um desbaste, entre 11 e 15 anos, e o corte raso entre 19 e 20 anos. O terceiro é realizado somente o corte raso entre 15 e 17 anos.

A etapa de colheita da madeira envolve as atividades de corte das árvores e remoção de toras da floresta. O corte em áreas com declividade abaixo de 30° é feito por máquinas *Harvesters* (Figura 50), que processam as árvores em toras e toretes, organizando-os em feixes. Em áreas com declividade maior que 30° a colheita é realizado com utilização de motosserras. O arraste e baldeamento da madeira é feito através de equipamentos chamados *Forwarders* e *Skidder* (Figura 51).



Figura 50: Harvester realizando o corte

Fonte: Acervo do autor.



Figura 51: Arraste utilizando Skidder florestal.

Fonte: Acervo do autor.

Após empilhadas junto as vias de acesso, as toras são carregadas e transportadas até os consumidores, utilizando geralmente caminhões do tipo romeu-e-julieta de 7 ou 9 eixos, conforme Figura 52 e 53.



Figura 52: Empilhamento de toras para carregamento

Fonte: Acervo do autor.



Figura 53: Caminhão romeu-e-julieta carregado pronto para transporte



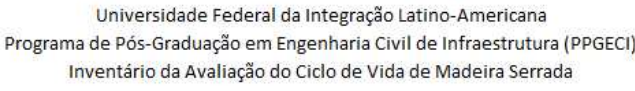

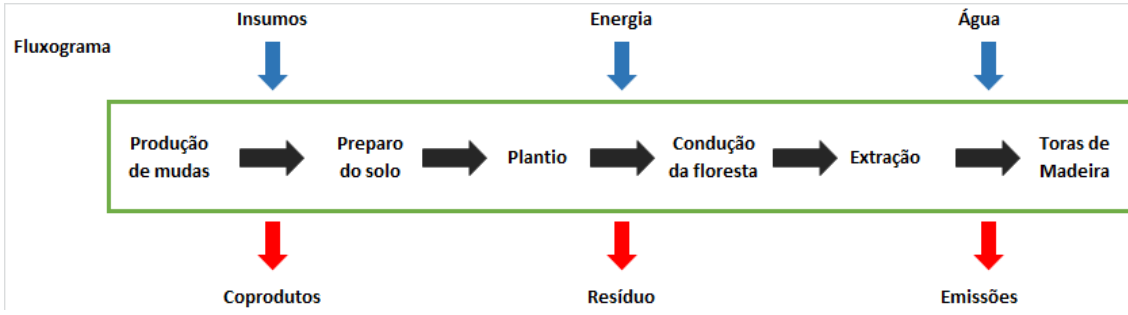
Fonte: Acervo do autor.

APÊNDICE B

Questionário Operações Florestais

O questionário de operações florestais foi encaminhado às empresas colaboradas contendo um cabeçalho de acordo com a Figura A, sendo separado nas seguintes etapas: dados gerais da empresa, dados anuais gerais da empresa, produção de mudas, preparo do solo, plantio, condução da floresta, extração e transporte.

Figura A: Informações Gerais.

   	
<p>Título: Inventário da Avaliação do Ciclo de Vida de Madeira Serrada</p> <p>Assunto: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil</p> <p>Orientadora: Professora Dra. Katia Regina Garcia Punhagui</p> <p>Contato: Eduardo Picolotto dos Santos</p> <p>Email: ep.santos.2019@aluno.unila.edu.br</p> <p>Telefone: (44) 9.9884-8864</p>	
<p>Este trabalho é parte integrante da dissertação de mestrado de Eduardo Picolotto dos Santos, desenvolvido em colaboração entre a Universidade Federal da Integração Latino-Americana e a Universidade Federal do Paraná, e tem como objetivo a realização do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) de Madeira Serrada. Uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica normatizada para a avaliação de processos produtivos ou sistemas de produto, podendo atuar como um método de análise de aspectos ambientais destes durante todo o seu ciclo de vida. O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é uma das fases da ACV e avalia as entradas (matéria, energia, insumos) e saídas (produtos, resíduos, emissões, efluentes) de processos de um sistema de produto. Este projeto coletará dados da sua empresa para o desenvolvimento de um ICV do processo produtivo de madeira serrada no Brasil. O diagrama a seguir mostra um fluxograma simplificado dos processos de operações florestais.</p>	
 <p>O fluxograma mostra o processo produtivo de madeira serrada. No topo, há três entradas: Insumos, Energia e Água, cada uma com uma seta azul apontando para baixo. Abaixo, há uma caixa verde contendo uma sequência de etapas ligadas por setas horizontais: Produção de mudas → Preparo do solo → Plantio → Condução da floresta → Extração → Toras de Madeira. Abaixo da caixa, há três saídas: Coprodutos, Resíduo e Emissões, cada uma com uma seta vermelha apontando para baixo.</p>	
<p>Para realização do estudo necessitam-se dados referentes ao processo produtivo de um ano. O questionário foi desenvolvido para as operações da empresa, porém se houver algum item não</p>	

pertinente ou faltante é possível fazer adequações. Pede-se que sejam informadas eventuais particularidades não previstas neste documento.

Na sequência, estão as planilhas para resposta e observações através de comentários que podem auxiliar no preenchimento. Em caso de dúvidas, pode-se entrar em contato com o responsável pelo email ep.santos.2019@aluno.unila.edu.br ou pelo número (44) 9.9884-8864.

Os dados gerais das empresas foram coletados segundo as Figuras B e X, enquanto os dados anuais segundo as Figuras X, X e X. As células de mês:ano foram colocadas representativamente. Nos gráficos reais as mesmas eram replicadas conforme a quantidade de meses que a empresa passou as informações.

Figura B:

Dados da empresa		
Item	Dado:	Resposta empresa:
1	Razão social ou CNPJ:	
2	Nome da empresa:	
3	Direção:	
4	Dados pessoa de contato:	
5	Número total de colaboradores por setor:	
6	Número de unidades da empresa:	
7	Área de atuação da empresa:	
8	Certificação:	

Figura C:

Localização da Floresta							
Item	Nome da fazenda	Localização	Área (ha)	Área plantada (ha)	Distância do consumidor (Km)	Declividade média (% ou °)	Tipo de extração
1							
2							
3							
4							

Figura D:

Produção total									
Unidade Empresa	Característica Produto (Tora)				Quantidade e Unidade	Densidade	Rendimento Árvore	Regime de Manejo	Destino dos produtos (Toras)
	Espécie	Idade	Diâmetro	Comprimento	mês:ano				

Figura E:

Entradas totais					
Item	Recurso energético ou combustível			Quantidade e Unidade	
				mês:ano	mês:ano
1	Energia elétrica				
2	Diesel				
3	Etanol				
4	Gasolina				
5	GLP				
6	Biomassa				
7	Insira Outro				
Item	Consumo de água			Quantidade e Unidade	
				mês:ano	mês:ano
1	Águas superficiais				
2	Águas concessionária				
3	Insira Outro				
Item	Função	Jornada	Rendimento por pessoa (quando couber)	Número de pessoas na função	
				mês:ano	mês:ano
1					
2					
3					
4					
5	Insira Outra				

Figura F:

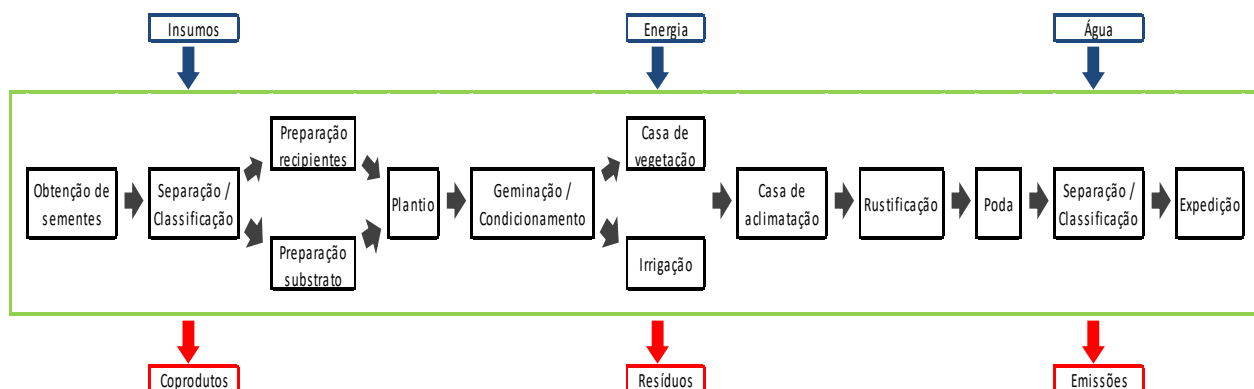


Figura G:

Atividades presentes		
Item	Atividade	Presença
1	Obtenção de sementes	
2	Separação/Classificação	
3	Preparação dos recipientes	
4	Preparação do substrato	
5	Plantio	
6	Geminção/Condicionamento	
7	Casa de vegetação	
8	Casa de aclimação (sombra)	
9	Irrigação	
10	Local de rustificação (sol pleno)	
11	Poda	
12	Separação/Classificação	
13	Transporte para o campo	
14	Insira outro	

Figura H:

Questionário - Produção de Mudás		
Item	Questão	Resposta
1	Qual a origem das sementes?	
2	Quais as características das sementes?	
3	Qual a porcentagem de sementes perdidas?	
4	Qual a composição do substrato utilizado?	
5	Qual o tipo de recipiente utilizado para muda?	
6	Qual a origem das mudas?	
7	Quais as características das mudas?	
8	Qual a porcentagem de mudas perdidas?	
9	Possui repicagem/raleamento?	

Figura H (continuação):

10	Presença e qual o período casa de vegetação?	
11	Presença e período casa de aclimação (sombra)?	
12	Qual o período de rustificação (sol pleno)?	
13	Tempo necessário para produção de mudas?	
14	Como ocorre o fornecimento de água para as mudas?	
15	Qual a capacidade de produção de mudas?	
16	Insira outra.	

Figura I:

Entradas - Produção de Mudás			
Item	Recurso energético ou combustível	Atividade de origem	Quantidade e Unidade
			mês:ano
1	Energia elétrica		
2	Diesel		
3	Etanol		
4	Gasolina		
5	GLP		
6	Biomassa		
7	Insira Outro		
Item	Insumos	Atividade de origem	Quantidade e Unidade
			mês:ano
1			
2			
3			
4			
Item	Consumo de água	Atividade de origem	Quantidade e Unidade
			mês:ano
1	Águas superficiais		
2	Águas concessionária		
3	Insira outra		
Saídas - Produção de Mudás			
Item	Resíduo sólido/coproduto	Atividade de origem	Quantidade e Unidade
			mês:ano
1			
2			
3			
4			

Figura J:

Máquinas e Equipamentos - Produção de Mudas								
Item	Máquina/ Equipamento	Atividade de origem	Quantidade e Unidade	Distância média percorrida por mês	Consumo eletricidade	Consumo de combustível		Rendimento
			mês:ano			Tipo	Fator de consumo	
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Figura K:

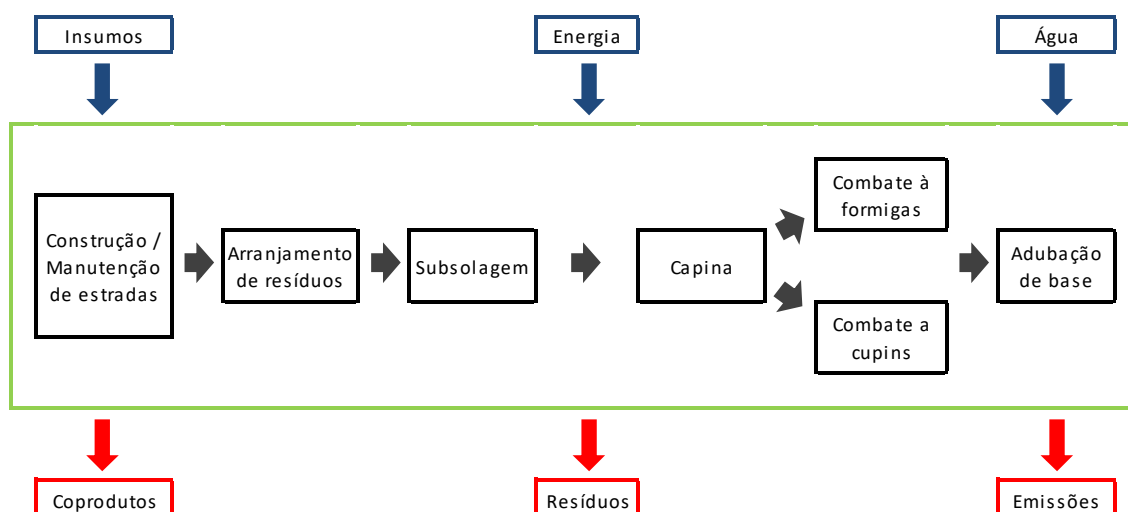


Figura L:

Atividades presentes		
Item	Atividade	Presença
1	Construção/Manutenção de estradas	
2	Combate à formigas	
3	Combate à cupins	
4	Capina	
5	Arranjo de resíduos	
6	Calagem	
7	Subsolagem	
8	Adubação de base	
9	Transporte	
10	Insira outras	

Figura M:

Questionário - Preparo do solo		
Item	Questão	Resposta
1	Qual a preparação do solo para talhão com alto volume de material lenhoso?	
2	Qual a preparação do solo para talhão com baixo volume de material lenhoso?	
3	Qual a preparação do solo em áreas novas de pastagem?	
4	Qual a porcentagem de terras com baixo e alto volume de material lenhoso?	
5	Se realizado, qual o procedimento para controle de formigas?	
6	Insira outra	

Repete as Figuras H e I.

Figura N:

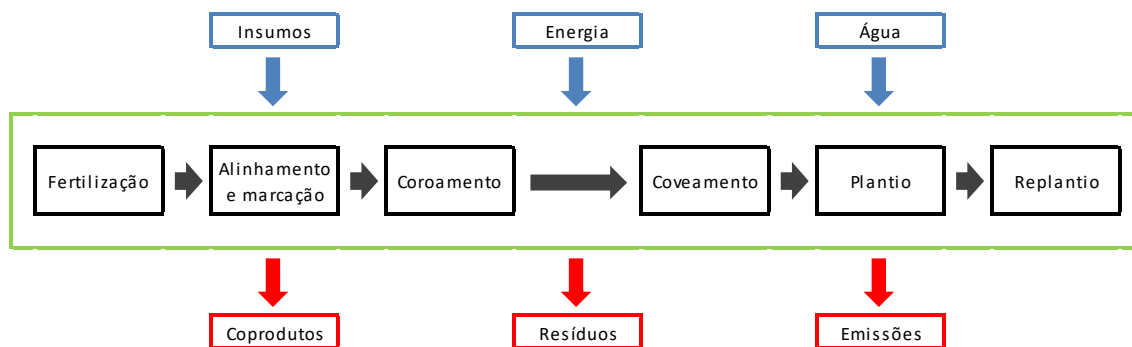


Figura O:

Questionário - Plantio		
Item	Questão	Resposta
1	Qual a quantidade de mudas plantadas?	
2	Quais os espaçamentos utilizados no plantio?	
3	Qual a % de aproveitamento de mudas plantadas?	
4	Ocorre replântio? (sim, não e quantidade)	
5	Qual a porcentagem final de aproveitamento?	
6	O plantio é mecanizado, semi mecanizado ou manual?	
7	Quantos sistemas de manejo e quais suas identificações?	
8	Insira outra	

Repete as Figuras H e I.

Figura P:

Atividades presentes		
Item	Atividade	Presença
1	Fertilização complementar	
2	Adubação de manutenção	
3	Combate à formigas	
4	Capina e roçada	
5	Desrama	
6	Limpeza do material lenhoso	
7	Insira outros	

Figura Q:

Questionário - Condução da Floresta		
Item	Questão	Resposta
1	Qual o período de realização de desrama?	
2	Qual o número de desramas realizadas?	
3	Quais os problemas que afetam o aproveitamento das mudas plantadas?	
4	Qual a porcentagem de perda devido pragas (macaco, formigas, etc)?	
5	Qual o procedimento para controle de formigas?	
6	Quando e como ocorre as roçadas?	
7	Quantas podas e com que idade de floresta são realizadas?	
8	Quais as características da 1ª poda?	
9	Quais as características da 2ª poda?	
10	Quais as características da 3ª poda?	
11	Qual é o rendimento na 1ª poda?	
12	Qual é o rendimento na 2ª poda?	
13	Qual é o rendimento na 3ª poda?	
14	Insira outra	

Repete as Figuras H e I.

Figura R:

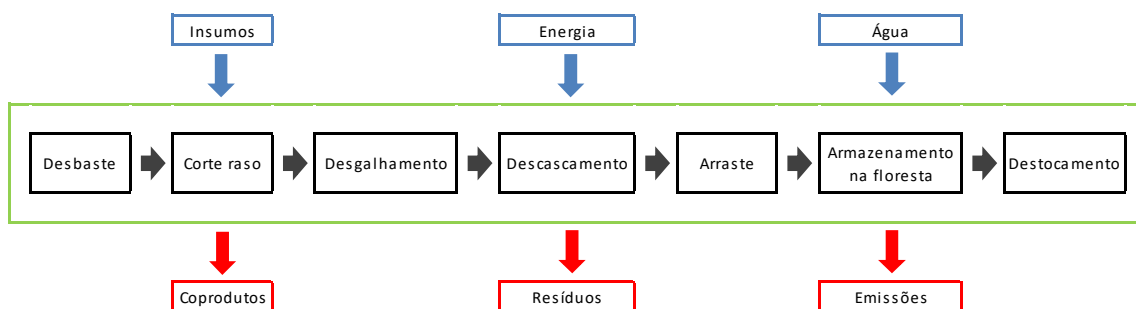


Figura S:

Atividades presentes		
Item	Atividade	Presença
1	Desbaste	
2	Corte raso	
3	Desgalhamento	
4	Descascamento	
5	Arraste	
6	Armazenamento na floresta	
7	Destocamento	
8	Insira outros	

Figura T:

Questionário - Extração		
Item	Questão	Resposta
1	Quantas toneladas de tronco são extraídas da floresta?	
2	Qual a porcentagem da árvore convertida em resíduo?	
3	Qual o tipo de resíduo gerado?	
4	Qual o destino dos resíduos?	
5	Qual a altura de toco de desbaste e corte raso?	
6	Se tiver, quais as características do primeiro sistema de manejo na extração?	
7	Se tiver, quais as características do segundo sistema de manejo na extração?	
8	Se tiver, quais as características do terceiro sistema de manejo na extração?	
9	Qual o período de realização de desbaste?	
10	Qual a porcentagem de corte em cada desbaste?	
11	Insira outra	

Repete as Figuras H e I.

Figura U:

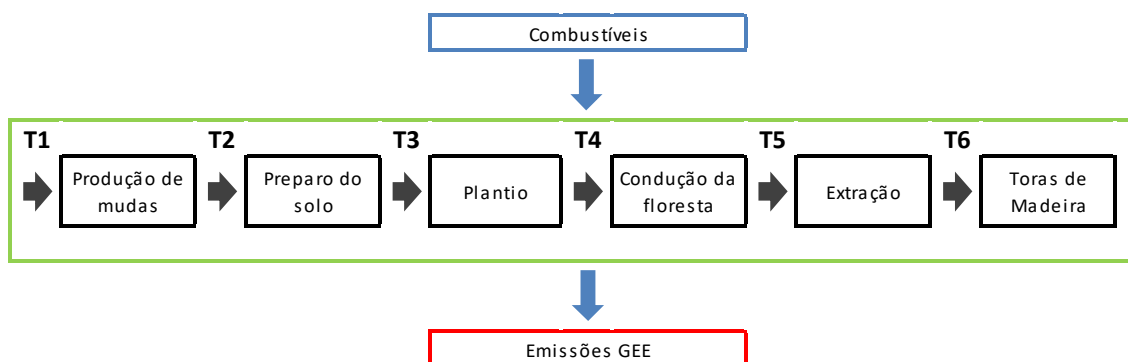


Figura V:

Etapa de Transporte		
Item	Atividade	Presença
1	Carregamento	
2	Transporte	
3	Descarga	
T1	Transporte para produção de mudas	
T2	Transporte para preparo do solo	
T3	Transporte para plantio	
T4	Transporte para condução da floresta	
T5	Transporte para extração	
T6	Transporte de toras	
4		

Figura X:


Questionário - Condução da Floresta		
Item	Questão	Resposta
1		
2		
3	Insira outra	

Repete a Figura I.

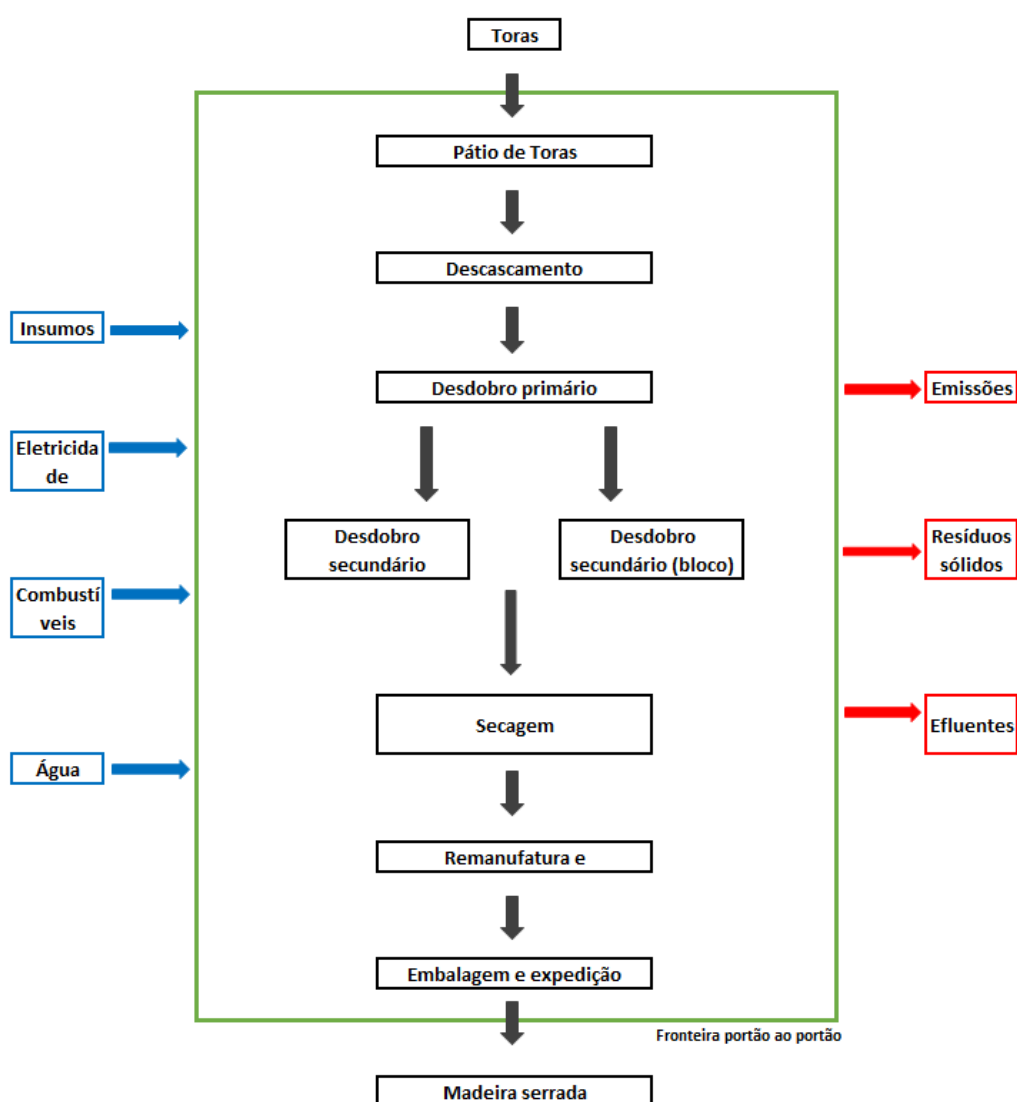
Questionário Operações de Serraria

O questionário de operações de serraria foi encaminhado às empresas colaboradas contendo um cabeçalho de acordo com a Figura W.

Figura W: Informações Gerais.

 <p>UNILA Universidade Federal da Integração Latino-Americana</p>	<p>Universidade Federal da Integração Latino-Americana Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura (PPGECI) Inventário da Avaliação do Ciclo de Vida de Madeira Serrada</p>	<p>MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL</p>
<p>Título: Inventário da Avaliação do Ciclo de Vida de Madeira Serrada Assunto: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil Orientadora: Professora Dra. Katia Regina Garcia Punhagui Contato: Eduardo Picolotto dos Santos Email: ep.santos.2019@aluno.unila.edu.br Telefone: (44) 9.9884-8864</p>		

Este trabalho é parte integrante da dissertação de mestrado de Eduardo Picolotto dos Santos, desenvolvido em colaboração entre a Universidade Federal da Integração Latino-Americana e a Universidade Federal do Paraná, e tem como objetivo a realização do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) de Madeira Serrada. Uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica normatizada para a avaliação de processos produtivos ou sistemas de produto, podendo atuar como um método de análise de aspectos ambientais dos produtos durante todo o seu ciclo de vida. O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é uma das fases da ACV e avalia as entradas (matéria, energia, insumos) e saídas (produtos, resíduos, emissões, efluentes) de processos de um sistema de produto. Este projeto coletará dados da sua empresa para o desenvolvimento de um ICV do processo produtivo de madeira serrada no Brasil. O diagrama a seguir mostra um fluxograma simplificado dos processos de serraria.



Para realização do estudo necessitam-se dados referentes ao processo produtivo de um ano. O questionário foi desenvolvido para as operações da empresa, porém se houver algum item não pertinente ou faltante é possível fazer adequações. Pede-se que sejam informadas eventuais particularidades não previstas neste documento. Na sequência, estão as planilhas para resposta e

observações através de comentários que podem auxiliar no preenchimento. Em caso de dúvidas, pode-se entrar em contato com o responsável pelo email ep.santos.2019@aluno.unila.edu.br ou pelo número (44) 9.9884-8864.

Repete a Figura B.

Figura Y:

ENTRADAS			
Consumo total anual de toras	Quantidade	Unidade de medida	Observações
Toras de Pinus			
Toras provenientes de fazendas da própria Águia(Pinus)			
Toras provenientes de outros fornecedores(Pinus)			
Consumo total anual de outros insumos	Quantidade	Unidade de medida	Observações
Lubrificantes			
Graxa			
Insira outro			
Consumo total anual de água	Quantidade	Unidade de medida	Observações
Água concessionária - tratada (utilizada no processo industrial, não sendo para consumo humano)			
Água concessionária - industrial			
Água subterrânea (de poço)			
Água superficial (mananciais)			
Consumo total anual de recursos energéticos	Quantidade	Unidade de medida	Observações
Eletricidade			
Diesel			
Etanol			
Gasolina			
Querosene			
GLP			
Biomassa própria			
Biomassa comprada			
Vapor			
Insira outro			
SAÍDAS			
Produção total anual de materiais lenhosos	Quantidade	Unidade de medida	Observações
Madeira serrada bruta			
Madeira serrada aplainada			
Fencing cerca			

Figura Y (continuação):

Insira outro			
Geração total anual de co-produtos	Quantidade	Unidade de medida	Observações
Tabiques			
Calços			
Insira outro			
Geração total anual de resíduos de madeira	Quantidade	Unidade de medida	Observações
Cascas			
Cavaco			
Serragem			
Insira outro			
Geração total anual de recursos energéticos	Quantidade	Unidade de medida	Observações
Eletricidade gerada a partir da queima de biomassa			
Resíduos de outros insumos utilizados no processo	Quantidade	Unidade de medida	Observações
Resíduos de lubrificantes			
Resíduos de graxas			
Insira outro			
Efluentes	Quantidade	Unidade de medida	Observações
Insira outro			
Insira outro			

Figura Z:

Dados anuais de consumo de matéria prima		
Especificação	Toras de <i>Pinus Elliotti</i>	Toras de <i>Pinus Taeda</i>
Características das matérias-primas		
Fornecedor		
Local de Origem		
Distância Média até a Serraria (km)		
% em relação ao total de produção da empresa		
Quantidade (mês:ano)		
Total para a cobertura temporal		
Unidade de medida		
Observações		
Total de entrada de madeira de Pinus na Serraria		

Figura A1:

Dados anuais de consumo de outros insumos			
Especificação	Lubrificantes	Graxa	Insira Outro
Características do insumo			
Fornecedor			
Local de Origem			
Quantidade (mês:ano)			
Total para a cobertura temporal			
Unidade de medida			
Observações			
Dados anuais de consumo de água			
Especificação	Quantidade (mês:ano)	Total para a cobertura temporal	Unidade de Medida
Água concessionária – tratada (utilizada no processo industrial, não sendo para consumo humano)			
Água concessionária – industrial			
Água subterrânea (de poço)			
Água superficial (mananciais)			
Insira outro			

Figura B1:

Dados anuais de consumo de recursos energéticos				
Especificação	Fornecedor	Local de origem	Distância média até a serraria (km)	Unidade de Medida
Eletricidade				
Diesel				
Etanol				
Gasolina				
Querosene				
GLP				
Biomassa própria	Recurso próprio			
Biomassa comprada				
Vapor				
Insira outro				

Figura C1:

Questionário	
Pergunta	Resposta da empresa
Qual é o principal meio de transporte das toras para a serraria?	
Qual o fator de consumo médio de combustível para este	
Os veículos que transportam toras de madeira de fazendas próprias da empresa voltam vazios ao	

local de origem?	
Os veículos que transportam toras de madeira oriundas de terceiros voltam vazios ao local de origem?	

Figura D1:

Dados anuais de produtos, coprodutos, resíduos e efluentes						
Saídas de matéria	Especificação	Características	Destinação	Densidade média da madeira (kg/m ³)	% em relação ao total de produção da empresa	Quantidade (mês:ano) – unidade de medida
Produtos	Madeira serrada bruta					
	Madeira serrada aplainada					
	Fencing cerca					
	Insira outro					
Co-produto	Tabiques					
	Calços					
	Insira outro					
Resíduos	Cascas					
	Cavaco					
	Serragem					
	Insira outro					
Resíduo de outros insumos utilizados no processo	Lubrificantes					
	Graxa					
	Insira outro					
Efluentes	Insira outro					
	Insira outro					

Figura E1:

Dados maquinário de manutenção							
Processos	Lista de equipamentos						
	Máquinas/ Equipamentos	Características – quantos equipamentos?	Quantos equipamentos?	Potência nominal	Tempo estimado de operação por dia	Combustível	Insumos necessários
Pátio de toras							
Descasca							

mento							
Serraria – Desdobro primário							

Figura E1 (continuação):

Serraria – Desdobro secundário (costaneir as)							
Armazena mento e gradeamet o							
Secagem							
Desgradea mento							
Remanufa tura e aplainame nto							
Embalage m							
Expedição							

Figura F1:

Dados anuais usina de biomassa					
Matéria-prima	Especificação	Fornecedor	Local de origem	Quantidade (mês:ano)	Unidade de Medida
Lenhosos	Biomassa proveniente da empresa				
	Biomassa proveniente de outros fornecedores				
Combustíveis	Especifique outras fontes energéticas				
Água	Água de concessionária – potável				
	Água concessionária – industrial				
	Água subterrânea – de poço				

	Água superficial				
Total para a cobertura temporal:					

Figura G1:

Saídas				
Especificação	Destinação	Quantidade (mês: ano)	Total para a cobertura temporal	Unidade de Medida
Cinzas				
Eletricidade – geração total pela usina				
Vapor – total gerado				
Processo de secagem estufa				
Matéria-prima	Especificação	Quantidade	Unidade de Medida	Observações
Combustíveis	Biomassa			
	Eletricidade (companhia de energia elétrica)			
	Insira outro			
Água	Água concessionária – potável			
	Água concessionária – industrial			
	Água subterrânea (de poço)			
	Água superficial			

Figura H1:

Pergunta	Resposta da empresa
Qual o método de aquecimento da estufa?	
Qual é o tempo necessário para troca do material dentro da estufa? (desaquecer, trocar, aquecer)	
Qual é o tempo que os produtos permanecem na estufa?	
Qual é a temperatura de entrada na estufa?	
Qual é a temperatura de saída na estufa?	
Qual é a temperatura média de operação na estufa?	
Qual a umidade média de entrada dos produtos na estufa?	
Qual a umidade média de saída dos produtos na estufa?	
Qual o modelo de forno para queima da biomassa e geração do vapor?	

Figura I1:

Dados anuais de resíduo e co-produtos					
Processos	Fluxo	Material	Destinação	Quantidade (mês: ano)	Total para a cobertura temporal
Pátio de Toras	Entradas	Toras com casca	-		
	Saídas	Tora processo	Descascamento		
		Toras descarte	Biomassa para energia		
Descascamento	Entradas	Toras processo	-		
	Saídas	Tora descascadas	Desdobro primário		
		Cascas	Biomassa para energia		
Serraria – desdobro primário	Entradas	Toras descascadas	-		
	Saídas	Costaneiras	Desdobro secundário		
		Cavaco	Biomassa para energia		
		Insira outro	-		
Serraria – desdobro secundário (costaneiras)	Entradas	Costaneiras	-		
	Saídas	Tábuas oriundas das costaneiras	Gradeamento		
		Cavaco	Biomassa para energia		
		Insira outro	-		
Armazenamento e grademento	Entradas	Tábuas madeira serrada de costaneiras	-		
		Tábuas madeira serrada de bloco	-		
	Saídas	Gradeado madeira serrada de costaneiras	Secagem		
		Gradeado madeira serrada de bloco	Secagem		
		Cavacos	Biomassa para energia		
		Insira outro	-		
Secagem	Entradas	Gradeado madeira serrada de bloco	-		
		Gradeado madeira serrada de	-		

		costaneiras			
	Saídas	Gradeado madeira serrada de bloco	Desgradeamento		
		Gradeado madeira serrada de costaneira seca	Desgradeamento		

Figura I1 (continuação):

Desgradeamento	Entradas	Gradeado madeira serrada de bloco seca	-		
		Gradeado madeira serrada de costaneiras seca	-		
	Saídas	Gradeado madeira serrada de bloco seca	Remanufatura		
		Gradeado madeira serrada de costaneiras seca	Remanufatura		
		Cavaco, tabiques e calços	Biomassa para energia		
		Insira outro	-		
Remanufatura e aplainamento	Entradas	Madeira serrada seca	-		
	Saídas	Madeira serrada seca sem aplainamento	Embalagem		
		Madeira serrada seca e aplainada	Embalagem		
		Cavaco	Biomassa para energia		
		Serragem	Biomassa para energia		
		Insira outro	-		
Embalagem	Entradas	Madeira serrada seca sem aplainamento	-		
		Madeira serrada seca e aplainada	-		
	Saídas	Fardo de mad. serr. seca sem aplainamento	Expedição		
		Fardo de mad. serr. seca aplainada	Expedição		
		Insira outro	-		
Expedição	Entradas	Fardo de mad. serr. seca sem aplainamento	-		
		Fardo de mad. serr. seca aplainada	-		
	Saídas	Fardo de mad. serr. seca sem aplainamento, embalado e identificado	Consumidor		
		Fardo de mad. serr. seca aplainada, embalado e identificado	Consumidor		

APÊNDICE C

Referências utilizadas no Capítulo 2.

Nº	Referência	País ou região	Nº citações	Tempo (em anos)	Nº citações por ano	Tópico de pesquisa
01	ABBAS, Dalia; HANDLER, Robert M. Life-cycle assessment of forest harvesting and transportation operations in Tennessee. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 176, p. 512-520, 2018.	Tennessee, EUA	32	4	8	<i>ICV, Pinus</i>
02	ALMEIDA, Natalie Ferreira de et al. Produção e avaliação da qualidade de lâminas de madeira de um híbrido de <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> × <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> . <i>Revista Floresta e Ambiente</i> , v. 21, p. 261-268, 2014.	Piracicaba, São Paulo, Brasil	6	8	0,75	<i>Pinus</i>
03	BALBINOT, Rafaelo et al. Estoque de carbono em plantações de <i>Pinus</i> spp. em diferentes idades no sul do estado do Paraná. <i>Revista Floresta</i> , v. 38, n. 2, 2008.	Paraná, Brasil	25	14	1,78	<i>Pinus, Carbono</i>
04	BALBINOT, Rafaelo et al. Inventário do carbono orgânico em um plantio de <i>Pinus taeda</i> aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. <i>RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais</i> , v. 5, n. 1, p. 59-68, 2003.	Rio Grande do Sul, Brasil	45	19	2,37	<i>Carbono, Pinus, Madeira</i>

05	BATISTA, Djeison Cesar. Avaliação do desempenho operacional de uma serraria através de estudo do tempo, rendimento e eficiência: estudo de caso em Piraí-RJ. 2006. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 64 f. 2006.	Piracicaba, São Paulo, Brasil	3	15	0,2	<i>Pinus, rendimento</i>
06	BERGMAN, Richard D.; BOWE, Scott A. Environmental impact of manufacturing softwood lumber in northeastern and north central United States. Wood and Fiber Science, v. 42, p. 67-78, 2010.	EUA	47	12	3,91	<i>Softwood Lumber, LCI, Carbon</i>
07	BIASI, C.; ROCHA, M. P. Rendimento em serraria de Pinus elliptii. In: Congresso Florestal Brasileiro. 2003.	Brasil	7	19	0,37	<i>Rendimento; Pinus</i>
08	BONDUELLE, Ghislaine Miranda et al. Fatores que influenciam no rendimento em laminação de Pinus spp. Revista Floresta e Ambiente, v. 12, n. 2, p. 35-41, 2012.	Paraná, Brasil	19	17	1,12	<i>Rendimento; Pinus</i>
09	BRAND, Martha Andreia et al. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. Floresta, v.	Rio Negrinho, Santa Catarina, Brasil	65	20	3,25	<i>Lumber, Resíduos</i>

	32, n. 2, 2002.					
10	BRAND, Martha Andreia, Thielly Schmidt Furtado Stähelin, Juliana Ceccato Ferreira, e Márcio Daian Neves. Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de Pinus taeda L. com diferentes idades. 2014. Revista árvore, v 38.	Viçosa, Minas Gerais, Brasil	23	8	2,87	<i>Biomassa; Pinus</i>
11	BRAND, Martha Andreia. Potencial de produção de biomassa para geração de energia em florestas de Pinus taeda L. Revista Organizadora, p. 58, 2015.	Santa Catarina, Brasil	1	7	0,06	<i>Biomassa; Pinus</i>
12	BRAND, Martha Andreia. Rendimento do processo produtivo e energético da matéria-prima de uma indústria de base florestal. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.	Curitiba, Paraná, Brasil	6	22	0,27	<i>Rendimento; Pinus</i>
13	CARDOSO JÚNIOR, Antônio Américo. Inovação tecnológica na obtenção de madeira serrada de pinus com uso de programa otimizador de desdobro. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.	Rio Negrinho, Santa Catarina, Brasil	8	14	0,57	<i>Pinus, Madeira serrada, Rendimento,</i>
14	CHIES, Daniel. Influência do	Paraná, Brasil	19	17	1,12	<i>Rendimento, Pinus</i>

	espaçamento sobre a qualidade e rendimento da Madeira Serrada de Pinus Taeda L. 2005. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. 2005.					
15	COSTA, Ana Carla Rodrigues da. Estudo sobre o rendimento no processo de serramento em operações de desdobro de pinus. 2017.	São Paulo, Brasil	1	5	0,2	<i>Serraria; Pinus</i>
16	CUBAS, Rafael et al. Modelagem da biomassa da regeneração natural em plantio de Pinus. Revista Pesquisa Florestal Brasileira, v. 36, n. 87, p. 303-310, 2016.	Brasil	1	6	0,17	<i>Biomassa; Pinus</i>
17	DELIBERALI, Isabel. Captura e alocação de carbono em Pinus taeda e Pinus caribaea var. hondurensis sob manejos hídricos e nutricionais distintos. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.	Piracicaba, São Paulo, Brasil	2	7	0,29	<i>Pinus, carbono</i>
18	DOBNER JÚNIOR, Mário, Antonio Rioyei Higa; ROCHA, Márcio Pereira da. Rendimento Em Serraria De Toras De Pinus Taeda: Sortimentos De Grandes Dimensões. 2012. Floresta E Ambiente v. 19.3. p. 385-92.	Curitiba, Paraná, Brasil	10	10	1	<i>Rendimento; Pinus</i>

19	DOBNER JÚNIOR, Mário. Impacto do manejo de povoamentos na produtividade e qualidade da madeira de <i>Pinus taeda</i> . 2014. 176 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.	Paraná, Brasil	1	8	0,125	<i>Pinus taeda</i>
20	DOS SANTOS, Kristiana Fiorentin et al. Biomassa em <i>Pinus elliottii</i> Engelm: Um dreno para o carbono. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 11, n. 1, p. áginas 50-56, 2019.	Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil	1	3	0,33	<i>Pinus, Carbono</i>
21	ESHUN, John Frank; POTTING, José; LEEMANS, Rik. Inventory analysis of the timber industry in Ghana. The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 15, n. 7, p. 715-725, 2010.	Gana	41	12	3,42	<i>Timber; Softwood</i>
22	FAGUNDES, Hilton Albano Vieira. Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2013. 173p.	Rio Grande do Sul, Brasil	23	19	1,21	<i>Madeira serrada, Rendimento, Resíduos</i>
23	FERREIRA, Juliana	Paraná e	1	3	0,33	<i>Biomassa;</i>

	<p>Ceccato et al. Estimativa da oferta de biomassa florestal em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. após intervenções culturais. Revista Ciência Florestal, v. 29, p. 1459-1468, 2019.</p>	<p>Santa Catarina, Brasil</p>				<p><i>Pinus</i></p>
24	<p>FERRO, Fabiane Salles et al. Environmental Life Cycle Assessment of industrial pine roundwood production in Brazilian forests. Science of The Total Environment, v. 640, p. 599-608, 2018.</p>	<p>Brasil</p>	<p>12</p>	<p>4</p>	<p>3</p>	<p><i>LCA, Life Cycle, Pinus</i></p>
25	<p>FONTES, Paulo Jose Prudente de. Autossuficiência energética em serraria de <i>Pinus</i> e aproveitamento dos resíduos. 1994. Tese de Mestrado Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. 140f. 1994.</p>	<p>Curitiba, Paraná, Brasil</p>	<p>60</p>	<p>28</p>	<p>0,467</p>	<p><i>Pinus, timber production</i></p>
26	<p>GIONGO, Marcos et al. Inventário de biomassa em um plantio de <i>Pinus elliotii</i> engelm. aos 23 anos de idade. Journal of Biotechnology and Biodiversity, v. 2, n. 3, p. 81-86, 2011.</p>	<p>Rio Branco do Sul, Paraná, Brasil</p>	<p>9</p>	<p>11</p>	<p>0,82</p>	<p><i>Pinus</i></p>
27	<p>GOMES, Fernando dos Santos; MAESTRE, Romualdo; SANQUETTA, Carlos Roberto. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. submetidos a</p>	<p>Paraná, Brasil</p>	<p>28</p>	<p>25</p>	<p>1,12</p>	<p><i>Serraria; Pinus</i></p>

	diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. Revista Ciência Florestal, v. 7, p. 101-126, 1997.					
28	HING FI, Mércia Portraite. Predição do volume de madeira serrada e subprodutos em árvores em pé de Pinus spp. nas plantações de Inhamacari. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique, 2006.	Moçambique	0	16	0	<i>Serraria; Pinus</i>
29	HOCHHEIN, N.; MARITN, P. Influência da qualidade das toras no processo de fabricação, rendimento, custo e rentabilidade da madeira serrada. In: Anais do I Congresso Florestal Pan-Americano, 7º Congresso Florestal Brasileiro. 1993. p. 644-646.	-	6	29	0,21	<i>Madeira serrada, Rendimento</i>
30	JUNIOR, Mauro Itamar Murara; DA ROCHA, Márcio Pereira; JUNIOR, Romano Timofeiczuk. Rendimento em madeira serrada de Pinus taeda para duas metodologias de desdobro. Revista Floresta, v. 35, n. 3, 2005.	Curitiba, Paraná, Brasil	48	17	2,82	<i>Rendimento; Pinus</i>
31	LEITE, Helio Garcia. Conversão de troncos em multiprodutos de madeira, utilizando	Viçosa, Minas Gerais, Brasil	17	29	0,58	<i>Pinus, Rendimento</i>

	programação dinâmica. 1994. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 230 f. 1994.					
32	LIMA, Máida Cynthia Duca de et al. Biomass and carbon stock from <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> under homogenous stands in southwest Bahia, Brazil. <i>Ciência Rural</i> , v. 46, p. 957-962, 2016.	Bahia, Brasil	17	6	2,83	<i>Pinus, silvicultura</i>
33	LIN, Wenshu; WANG, Jingxin; THOMAS, Edward. Development of a 3D log sawing optimization system for small sawmills in central Appalachia, US. <i>Wood and Fiber Science</i> , v. 43, n. 4, p. 379-393, 2011.	Appalachia, EUA	10	11	0,9	<i>Timber, Lumber, Forest</i>
34	LISBOA, G. S. et al. Quantificação da biomassa em plantios de <i>Pinus elliottii</i> Engelm em Clevelândia-PR. <i>Revista do Instituto Florestal</i> , v. 27, n. 1, p. 103-115, 2015.	Paraná, Brasil	2	7	0,29	<i>Biomassa; Pinus</i>
35	MATIAS, Harliany de Brito, 1990. Otimização do desdobro de toras por meio de programação linear inteira. 2017. Tese de Mestrado em Ciências Florestais - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. 76f. 2017.	Espírito Santo, Brasil	0	5	0	<i>Pinus</i>

36	MAY, Barrie et al. Cradle-to-gate inventory of wood production from Australian softwood plantations and native hardwood forests: Embodied energy, water use and other inputs. <i>Forest Ecology and Management</i> , v. 264, p. 37-50, 2012.	Austrália	55	10	5,5	<i>Softwood Lumber, life cycle inventory, LCI, Carbon</i>
37	MILOTA, Michael R.; WEST, Cynthia D.; HARTLEY, Ian D. Gate-to-gate life-cycle inventory of softwood lumber production. <i>Revista Wood and fiber science</i> , v. 37, p. 47-57, 2005.	USA	139	17	8,18	<i>Lumber, Softwood, Life Cycle Inventory, LCI, Pinus, Carbon</i>
38	MILOTA, Michael; PUETTMANN, Maureen E. Life-cycle assessment for the cradle-to-gate production of softwood lumber in the pacific northwest and southeast regions. <i>Forest Products Journal</i> , v. 67, n. 5-6, p. 331-342, 2017.	Pacific northwest and Southeast, EUA	12	5	2,4	<i>Softwood lumber</i>
39	MOOSMAYER, H. Técnicas modernas de desdobro de Pinus com aproveitamento e resíduos. Seminário sobre Processamento e Utilização de Madeiras de Reflorestamento, Curitiba-PR. <i>Relatório...Silvicultura</i> , n.35, 1983, p.7-13	São Paulo, Brasil	4	38	0,11	<i>Pinus</i>

40	MURARA JUNIOR, Mauro Itamar. Desdobro de toras de pinus utilizando diagramas de corte para diferentes classes diamétricas. 2005. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.	Curitiba, Paraná, Brasil	2	9	0,22	<i>Madeira serrada, rendimento, Pinus</i>
41	MURARA JUNIOR, Mauro Itamar. Desdobro de toras de pinus utilizando diagramas de corte para diferentes classes diamétricas. 2013.	Curitiba, Paraná, Brasil	13	10	1,3	<i>Rendimento; Pinus</i>
42	MURARA JUNIOR, Mauro Itamar; ROCHA, Márcio Pereira da; TRUGILHO, Paulo Fernando. Estimativa do rendimento em madeira serrada de pinus para duas metodologias de desdobro. Revista Floresta e Ambiente, v. 20, p. 556-563, 2013.	São Bento do Sul, Santa Catarina, Brasil	33	9	3,67	<i>Pinus, Madeira Serrada, Rendimento,</i>
43	MURPHY, Fionnuala; DEVLIN, Ger; MCDONNELL, Kevin. Greenhouse gas and energy based life cycle analysis of products from the Irish wood processing industry. Journal of Cleaner Production, v. 92, p. 134-141, 2015.	Irlanda	51	7	7,28	<i>Timber, Life Cycle, Carbon</i>
44	NICOLETTI, Marcos Felipe et al. Influência	Santa Catarina,	1	1	1	<i>Pinus, Madeira</i>

	do primeiro desbaste no crescimento de quatro espécies do gênero Pinus. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 15, n. 1, p. 1-9, 2022.	Brasil				<i>Serrada, Rendimento</i>
45	OLANDOSKI, D. P.; BRAND, M. A.; ROCHA, M. P. Avaliação do rendimento em madeira serrada, qualidade e quantidade de resíduos no desdobro de Pinus spp. Revista do Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, v. 17, n. 1-2, p. 177-184, 1998.	Paraná, Brasil	9	24	0,375	<i>Pinus; rendimento</i>
46	PONCE, R.H. Produção de madeira de qualidade para processamento mecânico e utilização de madeiras de reflorestamento. 1984. Revista Silvicultura, São Paulo, v. 9 p. 9 – 13, 1984.	São Paulo, Brasil	7	28	0,25	<i>Madeira serrada</i>
47	PUETTMANN, Maureen E.; WAGNER, Francis G.; JOHNSON, Leonard. Life cycle inventory of softwood lumber from the inland northwest US. Wood and Fiber Science, v. 42, p. 52-66, 2010.	Inland Northwest, EUA	38	12	3,17	<i>Softwood lumber</i>
48	PUETTMANN, Maureen et al. Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Softwood Lumber Production from the Pacific Northwest. 2012.	EUA	12	10	1,2	<i>Softwood lumber, Forest Operations, Lumber, Life Cycle, Pinus, Carbon</i>

49	PUETTMANN, Maureen; ONEIL, Elaine; BERGMAN, Richard. Cradle to gate life cycle assessment of softwood lumber production from the Northeast-North Central. Consortium for Research on Renewable Industrial Materials. University of Washington. Seattle, WA. April 2013. 33 p., p. 1-33, 2013.	Seattle Washington, EUA	16	9	1,78	<i>Softwood Lumber, LCA, Lyfe Cycle</i>
50	FERREIRA, Juliana Ceccato et al. Qualificação da biomassa em povoamentos florestais de Pinus taeda. (Artigo) Revista Floresta, Curitiba, PR, v.46, n. 2, p. 269 - 276, abr. / jun. 2016.	Curitiba, Paraná, Brasil	8	6	1,33	<i>Biomassa; Pinus</i>
51	RIBAS, C. et al. Estudo da influência do diâmetro e do comprimento das toras de Pinus elliottii na produção de madeira serrada e de resíduos de serraria. Revista do Instituto Florestal, v. 1, n. 1, p. 51-65, 1989.	São Paulo, Brasil	13	33	0,39	<i>Pinus, Madeira Serrada, Resíduos,</i>
52	RIBAS, Clóvis et al. Aproveitamento de Biomassa Pós-Colheita Florestal de Pinus elliottii var. elliottii. Revista Silva Lusitana, v. 16, n. 1, p. 105-113, 2008.	São Paulo, Brasil	3	14	0,21	<i>Biomassa, Pinus</i>
53	RODRIGUES, Carla Krulikowski et al. Modelagem da biomassa residual da	Paraná, Brasil	1	5	0,2	<i>Madeira serrada</i>

	colheita de madeira em povoamentos submetidos ao desbaste com harvester. BIOFIX Scientific Journal, v. 2, p. 01-05, 2017.					
54	SANQUETTA, Carlos Roberto et al. Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de Araucaria angustifolia e Pinus taeda no sul do estado do Paraná, Brasil. Revista Acadêmica Ciência Animal, v. 1, n. 3, p. 33-40, 2003.	Curitiba, Paraná, Brasil	40	19	2,21	<i>Pinus</i>
55	SCHIKOWSKI, Ana Beatriz; DALLA CORTE, Ana Paula; SANQUETTA, Carlos Roberto. Modelagem do crescimento e de biomassa individual de Pinus. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 33, n. 75, p. 269-278, 2013	Paraná, Brasil	18	9	2	<i>Pinus;</i> <i>Biomassa</i>
56	SCHUMACHER, Mauro Valdir et al. Biomassa e comprimento de raízes finas ($\leq 2\text{mm}$) em uma floresta de Pinus elliotti Engelm., em Santa Maria – RS.	Rio Grande do Sul, Brasil	5	10	0,5	<i>Biomassa;</i> <i>Pinus</i>
57	SCHUMACHER, Mauro Valdir et al. Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de Pinus taeda L. de 27 anos de idade em Cambará do Sul -RS. Ciência	Rio Grande do Sul, Brasil	19	9	9,5	<i>Pinus,</i> <i>Silvicultura,</i>

	Florestal, v. 23, n. 2, p. 321-332, 2013.					
58	SCORUPSKI, Antônio José, Felipe Martins De Oliveira; DINIZ, Carlos César Cavassin; LOPES, Eduardo Da Silva. Produtividade do processamento mecanizado da madeira de Pinus nos sistemas Full Tree e cut to Length em diferentes volumes individuais. 2017. Biofix Scientific Journal v. 2 p. 6-11.	Curitiba, Paraná, Brasil	0	5	0	<i>Pinus</i>
59	SERPE, Edson Luis; FIGUEIREDO FILHO, Afonso; ARCE, Julio Eduardo. Rendimento do desdobro de madeira em serraria convencional e diferentes simulações utilizando otimizador computacional. BIOFIX Scientific Journal, v. 3, n. 1, p. 103-108, 2018.	Curitiba, Paraná, Brasil	2	22	0,1	<i>Rendimento</i>
60	SILVA, Elizabeth Neire da et al. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de Pinus sp. com harvester. Revista Árvore, v. 34, n. 4, p. 745-753, 2010.	Viçosa, Minas Gerais, Brasil	33	12	2,75	<i>Pinus, rendimento</i>
61	HEINRICH, Daniele. Simulação da produção de madeira serrada. 2010. Tese de Mestrado em Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2010.	Porto Alegre, Brasil	4	12	0,33	<i>Madeira serrada</i>

	159f.					
62	SIXEL, Ricardo Michael de Melo. Sustentabilidade da produtividade de madeira de Pinus taeda com base no estoque, na exportação e na ciclagem de nutrientes. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2012.	Piracicaba, São Paulo, Brasil	1	10	0,1	<i>Pinus</i>
63	TAVARES, Everton Lorenzetti et al. Massa específica da madeira, rendimento da laminação e qualidade das lâminas de Pinus patula Schlttdl & Cham. Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science), v. 9, n. 2, 2018.	Paraná, Brasil	1	5	0,2	<i>Pinus</i>
64	TAVARES, Manoel Francisco Ramalho. Análise técnica e econômica do desdobro de toras de pinus. 1988. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.	Viçosa, Minas Gerais, Brasil	2	30	0,067	<i>Pinus, timber</i>
65	TUCKER, S. N.; A. Tharumarajah, B. May, J. England, K. Paul, M. Hall, P. Mitchell, R. Rouwette, S. Seo and M. Syme. Life Cycle Inventory of Australian Forestry and Wood Products. 2009. ISBN: 978-1-920883-90-4.	Austrália	19	13	1,46	<i>Softwood lumber</i>
66	VALERI, Sérgio Valiengo; SOARES, Ronaldo Viana;	Paraná, Brasil	11	33	0,33	<i>Pinus, Resíduos</i>

	MONTEIRO, Rui Fernando P. Exportação de biomassa de povoamentos de Pinus taeda L. desbastados em diferentes idades. Revista Floresta, v. 19, n. 1, 1989.					
67	VIANNA NETO, J. As considerações básicas sobre desdobro de Pinus spp. In: Anais do Seminário sobre processamento e utilização de madeiras de reflorestamento, p. 15-19, 1984.	-	14	38	0,37	<i>Pinus</i>
68	WAGNER, Francis G.; PUETTMANN, Maureen E.; JOHNSON, Leonard R. Life-cycle inventory of Inland Northwest softwood lumber manufacturing. In: CORRIM Phase II Report Module B. Environmental performance measures for renewable building materials with alternatives for improved performance. Seattle, WA, 2009.	Inland Northwest, EUA	6	13	0,46	<i>Softwood lumber</i>
69	WATZLAWICK, Luciano Farinha et al. Aboveground stock of biomass and organic carbon in stands of Pinus taeda L. Cerne, v. 19, n. 3, p. 509-515, 2013.	Minas Gerais, Brasil	11	9	1,2	<i>Pinus</i>
70	WITSCHORECK, Rudi. Biomassa e nutrientes no corte raso de um	Cambara do Sul, Rio Grande do	18	14	1,29	<i>Pinus</i>

<p>povoamento de Pinus taeda L. de 17 anos de idade no município de Cambará do Sul - RS. 2008. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Rio Grande do Sul. 30g.</p>	<p>Sul, Brasil</p>				
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------	--	--	--	--