



# UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

DOUTORADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

CARLOS MARIO GUTIÉRREZ AGUILAR

**Parâmetros de projeto visando diminuição dos resíduos  
de madeira da produção de móveis de madeira de eucalipto**



**SALVADOR  
2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL  
DOUTORADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

**CARLOS MARIO GUTIERREZ AGUILAR**

**PARÂMETROS DE PROJETO VISANDO DIMINUIÇÃO DOS  
RESÍDUOS DE MADEIRA DA PRODUÇÃO DE MÓVEIS DE MADEIRA  
DE EUCALIPTO**

Salvador  
2019



**CARLOS MARIO GUTIERREZ AGUILAR**

**PARÂMETROS DE PROJETO VISANDO DIMINUIÇÃO DOS  
RESÍDUOS DE MADEIRA DA PRODUÇÃO DE MÓVEIS DE MADEIRA  
DE EUCALIPTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Industrial.

Orientadores:

Prof. Dr. Asher Kiperstok

Prof. Dr. Sandro Fábio César

Prof. Dra. Juliana Cortez Barbosa

Salvador  
2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Gutiérrez Aguilar, Carlos Mario

Parâmetros de projeto visando diminuição dos resíduos  
de madeira da produção de móveis de madeira de  
eucalipto / Carlos Mario Gutiérrez Aguilar. --  
Salvador, 2019.

177 f. : il

Orientador: Asher Kiperstok.

Coorientador: Sandro Fábio César.

Tese (Doutorado - Doutorado em Engenharia  
Industrial) -- Universidade Federal da Bahia, PEI,  
2019.

1. Produção mais Limpa. 2. Ecodesign. 3. ACV. 4.  
Madeira. 5. Móveis. I. Kiperstok, Asher. II. César,  
Sandro Fábio. III. Título.

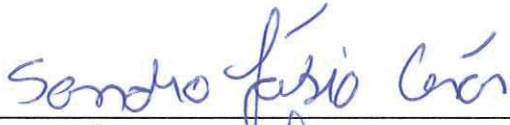
# PARÂMETROS DE PROJETO VISANDO DIMINUIÇÃO DOS RESÍDUOS DE MADEIRA DA PRODUÇÃO DE MÓVEIS DE MADEIRA DE EUCALIPTO

CARLOS MARIO GUTIÉRREZ AGUILAR

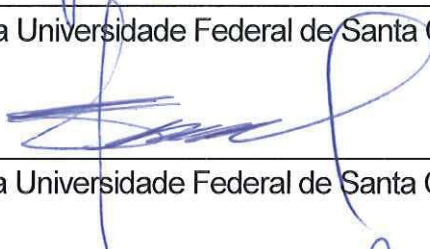
Tese submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Industrial.

Examinada por:


Prof. Dr. SANDRO FÁBIO CÉSAR

  
Doutor em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO pela Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2002


Prof. Dr. EUGENIO ANDRÉS DÍAZ MERINO

  
Doutor em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO pela Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2000

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ÁUREA LUIZA QUIXABEIRA ROSA E SILVA RAPÔSO

  
Doutora em ENGENHARIA INDUSTRIAL pela Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2014

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. MARIA HERMÍNIA OLIVERA HERNÁNDEZ

  
Doutor em ARQUITETURA E URBANISMO, pela Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2005

Prof. Dr. GIOVANNI BARRERA TORRES

  
Doutor em CIENCIA DOS MATERIAIS, pela Universidade Estadual Paulista, Brasil, 2017

Salvador, BA - BRASIL  
Junho/2019



A **Beatriz**, minha esposa, por seu apoio  
permanente sem desistir

Aos meus filhos **Agustín, Lorenzo e  
Mariantonia** por me apoiar apesar da  
distância e por me dar a força para terminar

Aos meus pais **Mario e Cecilia** por tudo  
que eles me ensinaram e me levaram para  
onde eu estou



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Sandro Fábio César, Prof. Dr. Asher Kiperstok e Prof.Dra Juliana Cortez Barbosa

Aos membros da banca de qualificação, Prof. Dr. Eugenio Andrés Díaz Merino, Prof. Dra. Áurea L. Quixabeira Rosa e Silva Rapôso, Prof. Dra. Maria Herminia Oliveira Hernández, Prof. Dr. Giovanni Barrera Torres

À minha colega do Laboratório de Madeiras da EP-UFBA, Julia Silva

À Profa. Dra. Rita Dione do Laboratório de Madeiras da EP-UFBA

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da UFBA, Ronald Américo Panameño e Alexei Pérez

Aos colegas de Itapeva Victor Almedia de Araujo y Juliano Souza Vasconcelos

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior – brasil (capes) – código de financiamento 001.



## RESUMO

As empresas produtoras de móveis de madeira geram grandes volumes de resíduos que nem sempre são descartados de forma adequada, gerando perdas para as empresas e prejuízos ambientais decorrentes do aumento do consumo de matérias-primas. A partir daí o objetivo desse trabalho é propor parâmetros de projeto visando minimização de resíduos no processo produtivo de móveis de madeira de eucalipto, procurando maior utilização da matéria prima. Por meio do estudo de uma cadeira fabricada em empresa de móveis de madeira de eucalipto, se faz aplicação da metodologia de Produção mais Limpa focada na diminuição do consumo de matéria-prima e de energia, dessa metodologia se apresentam propostas para aplicação de princípios de *Ecodesign* com o qual se faz redesenho da cadeira visando diminuição na geração de resíduos de madeira e maior aproveitamento da matéria-prima. Foi feita Avaliação de Ciclo de Vida do berço ao túmulo para cadeira inicial e para cadeira redesenhada comparando os impactos ambientais e o consumo energético. A proposta de redesenho permitiu diminuição na geração de resíduos de 43,81% para 32,20%; redução no consumo de madeira de 29,95% e diminuição no consumo de energia de 5 KWh para 3,23 KWh. Baseado nos resultados, são propostos os parâmetros de projeto para diminuição dos resíduos de madeira gerados na produção de móveis de madeira. As propostas feitas abordaram parâmetros para reduzir, facilitar, selecionar e valorizar as modificações do produto redesenhado. Para isto se propõe um passo a passo baseado numa sequência de atividades: definição do produto, processo de fabricação, Produção mais Limpa, balanço de massa, Avaliação de Ciclo de Vida, *Ecodesign* (propostas de solução) e Avaliação de Ciclo de Vida da proposta. A implementação de parâmetros de projeto, considerando características do material, modulação das peças e redesenho, assim como a identificação das fontes mais relevantes de resíduos, por meio da aplicação de Produção mais Limpa, permite a redução do consumo de material e energia. Pode-se evidenciar o potencial da aplicação dos parâmetros de Produção mais Limpa e *Ecodesign* para atingir micro e pequenas empresas de móveis de madeira ajudando a diminuir a geração de resíduos.

Palavras chave: madeira de eucalipto, resíduo, produção mais limpa, *ecodesign*, avaliação de ciclo de vida.



## ABSTRACT

The companies producing wood furniture generate large volumes of waste that are not always properly discarded, generating losses for companies and environmental damage due to increased consumption of raw materials. From this, the objective of this work is to propose design parameters to minimize waste in the production process of eucalyptus wood furniture, seeking greater use of the raw material. By means of the studio of a chair made of eucalyptus wood furniture company, we apply the methodology of Cleaner Production focused on reducing the consumption of raw material and energy, this methodology presents proposals for application of principles of Ecodesign with which the chair is redesigned with a view to reducing the generation of wood residues and making better use of the raw material. Life Cycle Assessment was carried out from the cradle to the grave for the initial chair and redesigned chair comparing environmental impacts and energy consumption. The redesign proposal allowed a decrease in the generation of waste from 43.81% to 32.20%; reduction in wood consumption of 29.95% and decrease in energy consumption from 5 KWh to 3.23 KWh. Based on the results, the design parameters for the reduction of wood residues generated in the production of wooden furniture are proposed. The proposals have addressed parameters to reduce, facilitate, select and value the redesigned product modifications. To do this, a step-by-step approach is proposed based on a sequence of activities: product definition, manufacturing process, Cleaner Production, mass balance, Life Cycle Assessment, Ecodesign (solution proposals) and Life Cycle Assessment of the proposal. The implementation of design parameters, considering material characteristics, modulation of parts and redesign, as well as the identification of the most relevant sources of waste, through the application of Cleaner Production, allows the reduction of material and energy consumption. The potential of applying the Cleaner Production and Ecodesign parameters to reach micro and small wood furniture companies can be evidenced, helping to reduce waste generation.

Keywords: eucalyptus wood, waste, cleaner production, ecodesign, life cycle assessment.



## RESUMEN

Las empresas productoras de muebles de madera generan grandes volúmenes de residuos que no siempre son descartados de forma adecuada, generando pérdidas para las empresas y perjuicios ambientales derivados del aumento del consumo de materias primas. A partir de ahí el objetivo de este trabajo es proponer parámetros de diseño enfocados en minimización de residuos en el proceso productivo de muebles de madera de eucalipto, buscando mayor utilización de la materia prima. Por medio del estudio de una silla fabricada en una empresa de muebles de madera de eucalipto, se hace aplicación de la metodología de Producción más Limpia enfocada en la disminución del consumo de materia prima y de energía, de esa metodología se presentan propuestas para la aplicación de principios de Eco-diseño con lo cual se hace rediseño de la silla buscando disminución en la generación de residuos de madera y mayor aprovechamiento de la materia prima. Se realizó una Evaluación de Ciclo de Vida de la cuna a la tumba para la silla inicial y para la silla rediseñada comparando los impactos ambientales y el consumo energético. La propuesta de rediseño permitió disminuir la generación de residuos de 43,81% para 32,20%; reducción en el consumo de madera del 29,95% y disminución del consumo de energía de 5 KWh a 3,23 KWh. Basado en los resultados, se proponen los parámetros de diseño para disminuir los residuos de madera generados en la producción de muebles de madera. Las propuestas hechas abordaron parámetros para reducir, facilitar, seleccionar y valorar las modificaciones del producto rediseñado. Para ello se propone un paso a paso basado en una secuencia de actividades: definición del producto, proceso de fabricación, Producción más Limpia, balance de masa, Evaluación de Ciclo de Vida, Eco-diseño (propuestas de solución) y Evaluación de Ciclo de Vida de la propuesta. La implementación de parámetros de diseño, considerando características del material, modulación de las piezas y rediseño, así como la identificación de las fuentes más relevantes de residuos, por medio de la aplicación de Producción más Limpia, permite la reducción del consumo de material y energía. Se puede evidenciar el potencial de la aplicación de los parámetros de Producción más Limpia y Eco-diseño para alcanzar micro y pequeñas empresas de muebles de madera ayudando a disminuir la generación de residuos.

Palabras clave: madera de eucalipto, residuo, producción más limpia, eco-diseño, evaluación del ciclo de vida.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma da sequencia metodológica adotada. ....	36
Figura 2 – Comportamento da madeira quando solicitada à flexão simples. ....	50
Figura 3 –Tração nas direções paralela e perpendicular às fibras da madeira .....	51
Figura 4 – Exemplos de defeitos intrínsecos ou naturais .....	54
Figura 5 - Exemplos de defeitos externos .....	55
Figura 6 – Gráfico do processo de definição dos programas de P+L.....	74
Figura 7 - Organograma das ações para prevenção e controle da poluição .....	75
Figura 8 - Processo produtivo genérico de indústrias de móveis de madeira .....	90
Figura 9 – Diagrama do proceso produtivo de móveis da empresa Letto. ....	92
Figura 10 - Cadeira de madeira de eucalipto e seus componentes. ....	96
Figura 11 – Processo de produção da cadeira e equipamentos utilizados para a fabricação da cadeira L1. ....	99
Figura 12 – Diagrama simplificado do ciclo de vida da cadeira de madeira.....	104
Figura 13 - Dimensões corpo de prova segundo a norma NBR7190.....	107
Figura 14 – Corpos de prova na prensa de ensaio. ....	108
Figura 15 – Total de madeira utilizada na produção da cadeira, em massa (g). ....	118
Figura 16 - Gráfico de Pareto representando os componentes da cadeira e seu consumo de material (g).....	118
Figura 17 – Perdas de material, por peça componente da cadeira (g).....	119
Figura 18 - Madeira consumida nos principais componentes de montagem a serem redesenhados (g). ....	120
Figura 19 – Desenho da modulação proposta: (a) perna única - produção individual x modulada; (b) assento - produção única x modulada.....	121
Figura 20 – Comparativo do processo de produção da empresa x proposta, para o consumo de madeira e os resíduos gerados (g). ....	122
Figura 21 – Representação da cadeira redesenhada .....	124
Figura 22 – Estudo comparativo de deformações da cadeira original x redesenhada.	124
Figura 23 – Zona de maiores esforços observados na cadeira.....	125
Figura 24 – Zonas da cadeira com deformações acima de 1 mm.....	125

Figura 25 – ACV entre o modelo redesenhado e as unidades funcionais do modelo básico, utilizando o ILCD 2011 Midpoint + V1.10 / EC-JRC global, igual ponderação / caracterização / excluindo infraestruturas / excluindo as emissões a longo prazo.	128
Figura 26 - ACV para modelos básicos e redesenhados, usando o ILCD 2011 Midpoint + V1.10 / EC-JRC Global, ponderação / normalização / excluindo infraestrutura / excluindo emissões de longo prazo.	130
Figura 27 – Comparativo Demanda de Energia Cumulativa	132
Figura 28 - Cisalhamento na linha de cola dos corpos de prova com três acabamentos superficiais e três tempos de prensagem.	133
Figura 29 - Porcentagem de falha da madeira dos corpos de prova com três acabamentos superficiais e três tempos de prensagem.	136
Figura 30 – Sequência de parâmetros de projeto	137

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área de floresta plantada (ha) por cultura .....	44
Tabela 2 – Principais características físicas e mecânicas de algumas espécies de eucalipto.....	51
Tabela 3 - Quantidade de corpos de prova por tipo de acabamento e tempo de prensagem .....	107
Tabela 4 – Entradas e saídas de energia elétrica e massa de madeira de eucalipto na produção da cadeira L1.....	115
Tabela 5 – Rendimento da madeira para a produção de cada peça componente (g).117	
Tabela 6 – Comparação das porcentagens de rendimento de madeira utilizada pela empresa x proposta de redesign .....	122
Tabela 7 – Consumo de energia por peça componente da cadeira – comparativo atual x proposta.....	123
Tabela 8 - ACV para modelos básico e redesenhado, usando o ILCD 2011 Midpoint + V1.10 / EC-JRC Global, igual ponderação .....	126
Tabela 9 - Consumo de energia para o modelo básico de acordo com o Método de Demanda de Energia Cumulativa V1.10 .....	128
Tabela 10 - Consumo de energia para o modelo redesenhado de acordo com o Método de Demanda de Energia Cumulativa V1.10. ....	129
Tabela 11 - Especificidade por substância / Toxicidade humana, efeitos não cancerígenos / critérios de corte de 0,1% / ILCD 2011 Ponto médio + V1.10 / EC-JRC Global, ponderação igual.....	131
Tabela 12 - Comparação entre o modelo básico e redesenhado usando a DEC....	132
Tabela 13 - Resultados de ensaios de cisalhamento .....	133
Tabela 14 - Resultados de ensaios de cisalhamento na lâmina de cola encontrados na literatura no período de 2014 a 2018. ....	135
Tabela 15 - Entradas e saídas de energia elétrica e massa de madeira de eucalipto na produção. ....	142
Tabela 16 – Rendimento da madeira para a produção de cada peça componente (g).143	



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrições das atividades da metodologia adotada, relacionadas com os objetivos específicos propostos.....	34
Quadro 2 – Espécies de eucalipto plantadas no Brasil, segundo a utilização.....	41
Quadro 3 - Principais usos, estados produtores e área de cultivo das madeiras de árvores plantadas no Brasil. ....	42
Quadro 4 - Níveis de coeficiente de anisotropia de algumas espécies de madeira ...	49
Quadro 5 – Classificação de resíduos sólidos segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004).	71
Quadro 6 - Parâmetros ambientais para projetos de móveis de madeira .....	82
Quadro 7 – Rótulos ecológicos apresentados pela série ISO 14000. ....	85
Quadro 8 - Lista de equipamentos utilizados na produção da cadeira L1.....	96
Quadro 9 - Operações necessárias para a produção da cadeira L1. ....	111
Quadro 10 - Principais características da madeira .....	138
Quadro 11 - Principais defeitos da madeira .....	139
Quadro 12 - Características a ser consideradas para a produção de peças coladas de madeira .....	140
Quadro 13 - Modelo de quadro para registro de operações, com seus respectivos equipamentos envolvidos, e o tipo de resíduos gerado. ....	141
Quadro 14 - Modelo de quadro para registro de entradas e saídas associadas às operações de produção.....	141



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida  
BDTD – Biblioteca Digital de Teses e Dissertações  
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
DEC - Demanda de Energia Cumulativa  
DfE – Design para o Meio Ambiente  
DfS – Design para a Sustentabilidade  
EI – Ecologia Industrial  
EP – Escola Politécnica  
ILCD - International Reference Life Cycle Data System  
LABMAD-UFBA – Laboratório de Madeiras da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia  
P+L – Produção mais Limpa  
PEI – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial  
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
Portal CAPES – Portal Brasileiro de Informação Científica  
PP – Prevenção à Poluição  
TECLIM – Rede de Tecnologias Limpas da Escola Politécnica da UFBA  
UFBA – Universidade Federal da Bahia



# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	27
1.1.	Formulação do problema.....	28
1.2.	Hipóteses .....	29
1.2.1.	Hipótese principal.....	29
1.2.2.	Hipótese secundária .....	29
1.3.	Objetivos .....	29
1.3.1.	Objetivo Geral.....	29
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	29
1.4.	Justificativa .....	30
1.5.	Delimitação da pesquisa.....	32
1.6.	Metodologia Geral .....	33
1.7.	Estrutura da tese .....	36
2	MADEIRA DE EUCALIPTO - ALTERNATIVA DE MADEIRA NA FABRICAÇÃO DE MÓVEIS.....	39
2.1.	Generalidades .....	39
2.2.	Espécies cultivadas no Brasil .....	40
2.3.	Madeira de eucalipto – contexto e características .....	45
2.3.1.	Características físicas e mecânicas do eucalipto.....	46
2.3.2.	Defeitos e desperdícios .....	52
2.3.3.	Secagem .....	56
2.3.4.	Uso da madeira de eucalipto em móveis .....	58
2.3.5.	Colagem.....	60
3	DESIGN E SUSTENTABILIDADE .....	65
3.1.	Sustentabilidade .....	65
3.2.	Ecologia Industrial .....	67
3.3.	Geração de subprodutos .....	70
3.4.	Produção mais limpa .....	73
3.5.	<i>Ecodesign</i> .....	78
3.6.	Avaliação do ciclo de vida.....	83
4	PROCESSO PRODUTIVO DE MÓVEIS DE MADEIRA.....	87
4.1	Perfil das empresas de móveis de madeira no Brasil.....	87

4.2	Tipos de produtos .....	88
4.3	Processo produtivo móveis de madeira .....	89
4.3.1	Processo produtivo empresa caso: Letto móveis .....	90
4.4	Geração de resíduos .....	92
4.4.1	Colagem da madeira .....	93
5	MÉTODO DE PESQUISA .....	95
5.1	Definição e caracterização da cadeira de madeira de eucalipto.....	95
5.2	Aplicação de princípios do <i>Ecodesign</i> na cadeira modelo L1.....	100
5.3	Análise de Produção mais Limpa da cadeira modelo L1 em estudo .....	100
5.4	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da cadeira modelo L1 .....	103
5.4.1	Limites do sistema .....	103
5.4.2	Unidade funcional .....	104
5.4.3	Balanço de massa .....	105
5.4.4	Método de Avaliação de Impacto.....	105
5.5	Processo de colagem .....	105
5.6	Determinação dos parâmetros de projeto .....	109
6	ANÁLISE DE RESULTADOS E PARÂMETROS DE PROJETO .....	111
6.1	Produção mais Limpa .....	111
6.2	Aplicação do <i>Ecodesign</i> para redesign de peças da cadeira L1 .....	119
6.3	Avaliação de Ciclo de Vida .....	126
6.3.1	Comparação do Ciclo de vida baseada no ponto médio do ILCD para avaliar impactos ambientais .....	126
6.3.2	Comparação dos Ciclos de Vida para avaliar o Consumo de Energia Cumulativa.....	128
6.4	Resistência ao cisalhamento .....	132
6.5	Parâmetros de projeto .....	137
6.5.1	Características do material .....	137
6.5.2	Características do processo de produção .....	140
6.5.3	Aplicação de P+L – avaliação e diagnóstico para o produto .....	141
6.5.4	Balanço de massa .....	143
6.5.5	Avaliação de ciclo de vida (ACV) .....	143
6.5.6	Aplicação de <i>Ecodesign</i> - proposta de solução.....	143
7	CONCLUSÃO .....	145

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149
APÊNDICE 1 .....	169



# 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população urbana o consumo de bens descartáveis teve um grande aumento, o que induziu à utilização de recursos não renováveis empregados como matéria-prima. Isso tem levado à degradação do meio ambiente devido ao intenso emprego destes recursos, como também à geração de resíduos decorrente do processo de produção destes bens descartáveis.

Ao focar na indústria de móveis de madeira, observa-se um grande volume de resíduos gerados no processo de produção destes produtos, os quais são descartados de forma inadequada pelas unidades produtoras de móveis sendo elas micro, pequenas, médias ou grandes empresas. Isto acontece devido à falta de um sistema de gestão de resíduos industriais decorrentes de empresas produtoras de móveis de madeira. Embora se registre algumas experiências de reciclagem, estas têm sido pouco significativas (FRANCO; SOUZA; OLIVEIRA, 2012).

A madeira é um dos primeiros materiais utilizado pelo homem, possibilitando-lhe o desenvolvimento de uma série de produtos tais como: ferramentas, artigos para moradias, mobiliário, entre outros. Estes produtos utilizam diferentes tipos de madeiras, que podem ser oriundas de regiões próximas ou distantes dos locais de consumo (ALBINO; MORI; MENDES, 2012).

No caso específico do eucalipto no Brasil, inicialmente, as árvores eram plantadas com fins decorativos, como quebra-ventos e para obtenção de seu óleo essencial. Posteriormente, Edmundo Navarro de Andrade a considerou como potencial recurso madeireiro para a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, que necessitava de lenha, dormentes, postes e moirões (FOELKEL, 2005). Atualmente, com o desenvolvimento de pesquisas com esse material, visando especialmente seu emprego em móveis, essas pesquisas têm focado na redução do tempo de colheita e na obtenção de madeiras com melhores características físicas e mecânicas que permitem seu uso na indústria moveleira (DIAS JÚNIOR et al., 2013).

A utilização de madeira proveniente de florestas nativas é cada vez mais restrita e seu uso tende a ser substituído pelo uso de madeira de floresta plantada. O cultivo de eucalipto é apresentado como uma importante opção de espécie arbórea a ser utilizada. Este gênero tem entre suas principais características: o rápido crescimento, a grande diversidade de espécies, a facilidade de adaptação a diferentes condições climáticas e de solo, a alta produção de sementes e de clones,

e a adaptação às mais diversas aplicações industriais com crescente aceitação no mercado (FERREIRA; JOÃO; GODOY, 2008).

A fim de tornar o processo de produção de móveis de madeira sólida mais eficiente, esta tese propõe parâmetros de projeto que visam maior aproveitamento dessa matéria-prima, por meio da diminuição dos resíduos de madeira gerados no processo de produção. Foram definidos os parâmetros de projeto levando em consideração tecnologias focadas no maior aproveitamento da madeira e na diminuição da geração de resíduos como as referidas à Produção mais Limpa (P+L) e *Ecodesign*.

### **1.1. Formulação do problema**

Esta pesquisa tem como ponto de partida a diminuição da geração dos resíduos no processo de produção de móveis de madeira de eucalipto.

Segundo Daian e Ozarska (2009), durante o processamento da madeira na indústria de móveis, entre 7 % e 50% da matéria-prima torna-se resíduo. Segundo Dobrovolski (1999), as empresas produtoras de móveis de madeira geram grande quantidade de resíduos de madeira na forma de serragem, cepilho e lenha. Segundo Brito (1995), a lenha corresponde a 71%, a serragem a 22% do total e os cepilhos, correspondem a 7%. Segundo Marcis, Lima e Trentin (2017), as indústrias de móveis de uma maneira geral possuem os mesmos resíduos. Para Daian e Ozarska (2009) a lenha corresponde a 37.3%, enquanto a serragem e o cepilho, somados, equivalem a 62.5%. A representatividade destes resíduos é de 68% para lenha, 14% para serragem, e 18% para cepilho (KOZAK et al., 2008). Segundo Maffessoni e Meneguzzi (2012), os resíduos gerados nos processos produtivos das indústrias do Pólo Moveleiro de Bento Gonçalves no Rio Grande do Sul corresponde ao 17.12 %.

Segundo as técnicas de prevenção da poluição tomadas de LaGrega, Buckingham e Evans (2001), pode se diminuir e/ou reusar os materiais que se têm como desperdício voltando-os ao processo produtivo.

A partir destas observações tem-se como problema desta pesquisa:

Como se pretende diminuir a geração de resíduos, tendo um maior aproveitamento dos recursos no processo de produção de móveis de madeira de eucalipto?

## **1.2. Hipóteses**

### **1.2.1. Hipótese principal**

A meta do resíduo zero para produção de móveis de madeira pode ser alcançada adotando os conceitos de Ecologia Industrial, Produção mais Limpa (P+L) e *Ecodesign*.

### **1.2.2. Hipótese secundária**

A Produção mais Limpa (P+L) aplicada no processo de fabricação de móveis de madeira se consegue a partir da definição dos parâmetros de projeto; ainda que estes não garantam a meta zero, permitem diminuir a geração de resíduos no processo de produção.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo Geral**

- Propor parâmetros de projeto visando minimização de resíduos no processo produtivo de móveis de madeira de eucalipto, procurando uma produção mais limpa.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar os resíduos de madeira gerados no processo produtivo da fabricação de móveis de eucalipto, a partir da análise de empresa do setor;
- Identificar os parâmetros de projeto utilizados pela empresa caso no desenvolvimento de produtos, com vista a determinar a influência na geração de resíduos;
- Analisar a influência da aplicação dos conceitos de Ecologia Industrial, Produção mais Limpa (P+L) e *Ecodesign* na diminuição da geração de resíduos no processo produtivo de móveis de madeira de eucalipto;
- Estabelecer os parâmetros de projeto para a utilização da madeira de eucalipto na produção de móveis, a partir das características físico mecânicas da madeira de eucalipto.

#### 1.4. Justificativa

As florestas plantadas de eucalipto ocorrem em vários estados brasileiros devido a sua fácil adaptação ao solo, ao clima e ao índice pluviométrico, destacando-se os estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Bahia (ABRAF, 2011; IBÁ, 2015).

Segundo IBÁ (2017), em 2016 a área de florestas plantadas para fins industriais no país era de 7,84 milhões de hectares. Deste total, 5,56 milhões de hectares são plantios de eucalipto, dos quais 72,5% são utilizados para papel e celulose, 19,5% para carvão, 7,3% para painéis industrializados e 0,7% para produtores independentes ABRAF (2013). Considerando que, segundo IBÁ (2017), 3,6% das florestas plantadas no Brasil são destinadas para serraria, móveis e outros produtos, este percentual ainda é pequeno comparado com a utilização para indústria do carvão, papel e celulose. O baixo uso da madeira de eucalipto empregado na indústria moveleira se deve à falta de conhecimento em trabalhar com a madeira de eucalipto por parte dos designers e fabricantes de móveis de madeira (TEXEIRA et al., 2009). O Brasil apresenta crescente utilização de madeiras originadas de florestas plantadas de eucalipto para produção de móveis (SILVA, 2002), no entanto, ainda faltam estudos que permitam conhecer os benefícios da utilização de madeira de eucalipto na indústria moveleira. Em relação à re-utilização de subprodutos de madeira de eucalipto do processo produtivo para fabricação de móveis, os estudos são poucos, conseqüentemente o percentual de re-utilização destes subprodutos é baixo.

Além das vantagens que apresenta o eucalipto como madeira de floresta plantada, também tem benefícios como matéria-prima para a produção de móveis, tais como: idade reduzida de corte, custo competitivo da madeira, destacadas propriedades físicas e mecânicas, alta produtividade volumétrica, variado padrão estético devido à grande variação de cores e texturas inerentes as espécies de eucalipto, possibilidade de colagem para geração de diversos tipos de produtos e acabamentos (SILVA, 2002).

O uso de madeira como matéria-prima, na produção industrial, traz como consequência a geração de resíduos, disponibilizados geralmente para queima, cama de animais, entre outros (IBQP, 2002). Estas formas de aproveitamento, entretanto, tem baixo valor agregado. Outra situação desfavorável ao meio

ambiente, relacionada ao resíduo da madeira de eucalipto, é o seu descarte inadequado, quando são disponibilizados para queima ou descartados em aterros. A revisão dos processos produtivos e o desenvolvimento de produtos podem ajudar na diminuição da geração de resíduos. Quando os processos de produção não conseguem reduzir a geração de resíduos, procuram se adaptar as tecnologias para recuperar os resíduos buscando maiores benefícios ambientais e económicos (CASSILHA et al., 2004); assim, um resíduo pode se transformar em um subproduto, ou seja, em um produto secundário do sistema de produção, o que ocorre quando há o aproveitamento na geração de novos produtos, com maior valor de mercado e de uso. (NOLASCO; ULIANA, 2014).

No caso da produção de móveis de madeira, os resíduos gerados podem voltar ao processo produtivo, seja este do próprio produto ou de outro. A utilização apropriada dos resíduos pode ajudar na solução de problemas ambientais, permitindo a geração de novas matérias-primas e novos produtos, conseguindo reduzir os riscos ambientais através de sua utilização (BOA et al, 2014). O aproveitamento e a diminuição dos resíduos são analisados sob o conceito de prevenção da poluição e P+L (CERVANTES et al., 2009; JELINSKI et al., 1992; LUZ, 2012; TEIXEIRA; CÉSAR, 2006; TEIXEIRA, 2005).

A ecologia industrial se fundamenta na transformação do sistema linear industrial num sistema cíclico no qual os materiais, a energia e os resíduos sejam sempre utilizados levando os sistemas industriais ao Desenvolvimento Sustentável (CERVANTES, 2011; COSTA, 2002). Assim, os subprodutos de uma empresa serviram de matérias-primas para elas mesmas ou para outras empresas, reduzindo a demanda de novos recursos naturais e a devolução para a natureza (MARINHO; KIPERSTOK, 2001), igualmente a obtenção do nível zero de resíduos (CERVANTES, 2012; LUZ, 2012). P+L é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental de prevenção da poluição na empresa, focando os produtos e processos, para otimizar o emprego de matérias-primas, de modo a não gerar ou a minimizar a geração de resíduos, reduzindo os riscos ambientais para os seres vivos e trazendo benefícios econômicos para a empresa (CNTL, 2003).

O uso dos resíduos de madeira como matéria-prima para novos produtos ajuda a preservação dos recursos florestais, diminuindo a pressão sobre as florestas nativas. A grande geração de resíduos de madeira gerados pelos processos de produção da indústria de móveis faz com que se desenvolvam pesquisas para o

aproveitamento destes resíduos em diferentes processos produtivos (NOLASCO; ULIANA, 2014; CASSILHA et al., 2004). A utilização dos resíduos gerados no mesmo processo permitem a diminuição da geração.

A possibilidade de aplicação de *Ecodesign* nas empresas de móveis abre a opção de estudo através da aplicação de duas metodologias: a primeira é a P+L, a qual se apresenta como uma proposta metodológica para diminuir a geração de resíduos tendo maior aproveitamento dos recursos, e a segunda é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a qual permite evidenciar os impactos ambientais de um produto.

Ao trabalhar com resíduos de madeira é necessário fazer uso de colas e adesivos que ajudam a desenvolver novos produtos ou novas matérias-primas, respondendo assim ao conceito de reuso das técnicas de prevenção da poluição. Com a utilização de adesivos, a madeira pode ser colada, permitindo utilizar peças com defeitos ou peças de dimensões limitadas e obter uma variedade de produtos através de madeira laminada colada (ABRAHÃO et al, 2003). O uso das colas se apresenta como uma alternativa para melhor aproveitamento da madeira, e com os diferentes tipos de adesivos é possível identificar qual deles melhor se adapta às características do tipo de madeira a ser utilizada (LIMA et al., 2008).

### **1.5. Delimitação da pesquisa**

A madeira de eucalipto tem diferentes aplicações, entre as quais se tem: celulose, papel, carvão, construção civil e móveis. A fabricação de móveis de madeira pode ser feita de madeira maciça ou de placas aglomeradas de fibras de madeira. Dessas aplicações, o projeto se concentra na fabricação de móveis com madeira maciça de eucalipto.

O alcance da pesquisa é a definição dos parâmetros de projeto na diminuição na geração de resíduos de madeira de eucalipto para produção de móveis visando o maior aproveitamento da matéria-prima sob o conceito de prevenção da poluição, P+L, e *Ecodesign*.

A pesquisa se desenvolveu durante os anos de 2015, 2016 e 2017 na indústria de móveis Letto, localizada na cidade de Lauro de Freitas, na região metropolitana de Salvador, Bahia, Brasil, a qual é produtora de móveis de madeira de eucalipto, e permitiu conhecer o processo produtivo para compreender as características e limitações pertinentes para o desenvolvimento da pesquisa.

Visando atingir o resíduo zero de madeira sólida no processo, esta empresa forneceu as informações necessárias, permitindo o adiantamento de testes para desenvolvimento de produtos.

## **1.6. Metodologia Geral**

Em um primeiro momento, foi levantado o estado da arte que abordou a madeira de eucalipto na produção de móveis, os dados coletados são referentes a: características físicas, mecânicas, adesivos com finalidade estrutural para união de segmentos de madeira de eucalipto visando peças maciças e/ou chapas, disponibilidade da madeira de eucalipto produzida e disponibilizada no mercado nacional, volume e tipos de resíduos gerados no processo produtivo. Esta pesquisa bibliográfica foi feita no portal da Capes (*Science direct, scopus, web of Science*), Google acadêmico, biblioteca digital brasileira de teses e dissertações (<http://bdtd.ibict.br/vufind/>), bibliotecas especializadas em estudos e pesquisas de móveis de madeira, como também na empresa estudo de caso.

Para levantar informações sobre os processos produtivos e a geração de resíduos, foi selecionada uma empresa localizada na região metropolitana de Salvador, por empregar a madeira de eucalipto em produção de móveis. Estas informações foram coletadas na empresa e permitiu identificar e entender os produtos fabricados pela mesma, assim como o processo produtivo de móveis de madeira de eucalipto.

Para compreender a estrutura da empresa e levantar os produtos por ela produzidos, foram feitas visitas à companhia, onde se fez a compilação dos dados com o empresário por meio de entrevista aberta com roteiro preestabelecido.

A comprovação das informações coletadas com o empresário se deu através de observação do processo produtivo, as etapas nas quais são gerados os resíduos e a destinação deles. Para checar as informações coletadas junto a administração utilizou-se entrevistas com os operários e com o encarregado geral da produção. Utilizou-se entrevista aberta com roteiro preestabelecido, complementada com registros fotográficos e diário de campo, layout da planta e fluxograma de produção.

Para caracterizar os resíduos de madeira oriundos do processo produtivo da empresa selecionada foram levantados os dados dos tipos de resíduos gerados nas diversas operações do processo produtivo, assim como o tamanho e a quantidade dos mesmos.

Para definir os parâmetros de projeto partiu-se da definição dos critérios gerais necessários na produção de móveis de madeira. Posteriormente foi retomado o levantamento e análise da empresa selecionada de produção de móveis, considerando o processo produtivo e as características físicas e mecânicas da madeira de eucalipto tendo como base a análise de levantamento da seção 2 (Madeira de eucalipto: alternativa de madeira na fabricação de móveis) em conjunto com os conceitos das seções 3 (Design e sustentabilidade) e 4 (Processo produtivo de móveis de madeira).

As descrições das atividades da metodologia aplicada, relacionadas aos respectivos objetivos específicos da pesquisa estão sintetizadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Descrições das atividades da metodologia adotada, relacionadas com os objetivos específicos propostos.

(continua)

Objetivos	Atividades
<p>Caracterizar os resíduos de madeira gerados no processo produtivo da fabricação de móveis de eucalipto, a partir da análise de empresa do setor.</p>	<p>O estado da arte foi feito considerando: o eucalipto, características físicas e mecânicas, tipos de eucalipto, vantagens e desvantagens, os mais usados para produção de móveis; tipos de resíduos de madeira gerados na produção de móveis; processo produtivo da produção de móveis (geral);</p> <p>Selecionou-se uma empresa de médio porte que trabalha-se com produção de móveis de madeira de eucalipto na região de Salvador-BA, para levantar e analisar seu sistema produtivo, os tipos de produtos desenvolvidos e os resíduos gerados e seu destino;</p> <p>Identificação dos produtos fabricados na empresa caso;</p> <p>Levantamento do processo produtivo da empresa caso;</p> <p>Identificação dos resíduos de madeira gerados nas etapas da produção de móveis de eucalipto a partir da análise de empresa do setor.</p>
<p>Identificar os parâmetros de projeto utilizados pela empresa no desenvolvimento de produtos, com vista a determinar a influencia na geração de resíduos.</p>	<p>Identificação dos materiais utilizados nos produtos, bem como o seu design e a influência na geração de resíduos;</p> <p>Identificação da influência dos processos de produção utilizados na geração de resíduos;</p>

Quadro 1 – Descrições das atividades da metodologia adotada, relacionadas com os objetivos específicos propostos.

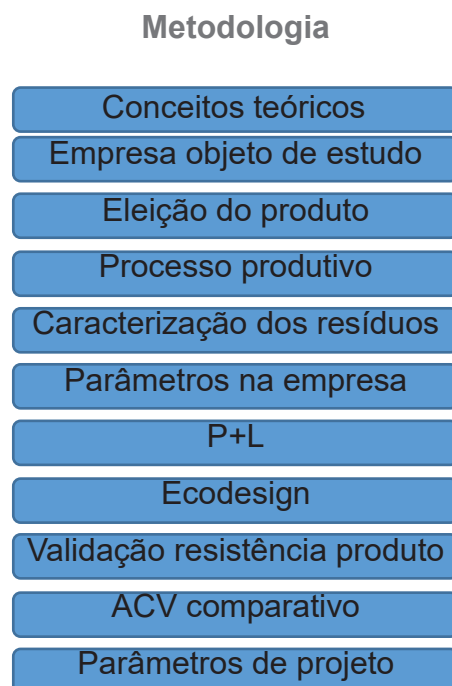
(conclusão)

<p>Analisar a influência da aplicação dos conceitos de ecologia industrial, P+L e <i>Ecodesign</i> na diminuição da geração de resíduos no processo produtivo de móveis de madeira de eucalipto</p>	<p>Realização da análise de P+L para um produto fabricado na empresa por médio do balanço de massa, procurando menor consumo de recursos no processo produtivo;</p> <p>Aplicação dos conceitos de <i>Ecodesign</i> para redesenho do produto estudado;</p> <p>ACV para o produto selecionado visando avaliar o impacto ambiental.</p>
<p>Estabelecer os parâmetros de projeto para a utilização da madeira de eucalipto na produção de móveis a partir das características físico mecânicas da madeira de eucalipto</p>	<p>Levantamento das operações e atividades do processo produtivo requeridas na produção de móveis de madeira;</p> <p>Análise das restrições geradas pelas características físicas e mecânicas da madeira de eucalipto como material usado na fabricação de móveis; e análises das restrições do processo produtivo na fabricação de móveis de eucalipto para aplicação dos parâmetros no desenvolvimento de novo produto;</p> <p>Proposta de P+L focada nos parâmetros de projeto que permitem a diminuição na geração de resíduos;</p> <p>Análise dos impactos ambientais obtidos pela aplicação de ACV como suporte para determinação dos parâmetros de projeto.</p>

Fonte: o autor.

Em resumo, a metodologia utilizada nesta tese é apresentada como fluxograma, mostrando as principais atividades necessárias desde a definição dos conceitos básicos até a proposta dos parâmetros de projeto, como mostrado na Figura 1, seguindo a sequência metodológica apresentada.

Figura 1 – Fluxograma da sequencia metodológica adotada.



### 1.7. Estrutura da tese

A estrutura desta tese está dividida em sete seções. Na introdução tem-se a problemática, as hipóteses, objetivos geral e específicos, justificativas, delimitação da pesquisa, metodologia geral e a estrutura da tese.

A seção 2 faz a descrição das generalidades da madeira de eucalipto tais como: as espécies cultivadas no Brasil, características físicas e mecânicas, defeitos da madeira, secagem e processo de colagem.

Na seção 3 são apresentados os principais conceitos de *Design* e Sustentabilidade, Ecologia Industrial, geração de subprodutos, P+L, *Ecodesign* e ACV.

Na seção 4 se apresenta o perfil das empresas de móveis de madeira, os tipos de produtos, o processo produtivo da indústria de móveis de madeira, a geração de resíduos e colagem da madeira.

Na seção 5 se faz a definição e caracterização do objeto de estudo, aplicação dos conceitos de *Ecodesign*, P+L, ACV, processo de colagem e determinação dos parâmetros de projeto.

Na seção 6 são analisados os resultados da aplicação de P+L, *Ecodesign*, ACV, resistência ao cisalhamento, assim como a proposta dos parâmetros de projeto para a produção de móveis de madeira de eucalipto.

Por fim, na seção 7, as conclusões da pesquisa e recomendações para novos estudos.



## 2 MADEIRA DE EUCALIPTO - ALTERNATIVA DE MADEIRA NA FABRICAÇÃO DE MÓVEIS

Nesta seção são apresentadas generalidades sobre a madeira de eucalipto, tais como o histórico do cultivo, utilização no Brasil, principais espécies plantadas e o direcionamento dessa produção. Também são apresentadas as principais características que influenciam na aplicação dessa madeira para a produção de móveis e os principais aspectos relacionados à técnica de colagem para composição de peças a partir de partes menores de madeira.

### 2.1. Generalidades

O eucalipto é uma árvore originária da Austrália, foi cultivado na Europa, especialmente na Espanha e em Portugal, onde estima-se que os primeiros plantios foram feitos na primeira metade do século XIX (TOUZA; SANZ, 2003). Posteriormente chega ao Brasil, introduzido por Edmundo Navaro de Andrade, onde as primeiras plantações foram das espécies *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus gigantea*, e no início do século XX começou o uso comercial com produção de lenha para energia das locomotivas ferroviárias movidas a vapor, o que intensificou sua produção (FOELKEL, 2005).

No Brasil, a madeira do eucalipto, inicialmente, foi utilizada apenas como matéria-prima bruta sem nem um tipo de beneficiamento e sem valor agregado. Essa madeira foi usada nas ferrovias para produção de energia do transporte ferroviário, e mais tarde como poste para eletrificação das linhas. No final dos anos 20, as siderúrgicas mineiras começaram a aproveitar a madeira do eucalipto para carvão vegetal (FERREIRA; JOÃO; GODOY, 2008).

Segundo Angelo et al. (2015), a eucaliptocultura buscou suprir a demanda de madeira, e teve grande impulso nos últimos 30 anos, em virtude da vasta rede experimental instalada por órgãos públicos e empresas particulares. No ano de 1966, o Governo Federal Brasileiro propôs os incentivos fiscais ao reflorestamento, gerando assim incremento nas plantações especialmente de *Pinus spp* e *Eucalyptus spp* (RODRIGUES, 2002).

Os usos tradicionais do eucalipto tem sido: lenha, estacas, moirões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel, chapas de fibras e de partículas. Outros usos podem ser citados, como fabricação de casas, estruturas e móveis (PEREIRA et al., 2000).

O eucalipto é considerado uma árvore de ciclo curto e, dependendo da finalidade, ela pode ser beneficiada a partir dos seis anos, chegando até trinta anos de idade (GALVÃO, 1976; SILVEIRA 2008; JUIZO et al., 2014). Os países que atualmente encontram-se cultivando o eucalipto contam com condições favoráveis para o reflorestamento, dentre estes: Espanha, Portugal, África do Sul, Argentina (TOUZA; SANZ, 2003). No Brasil, o gênero *Eucalyptus* possui uma variedade de usos, sendo consumida principalmente nos segmentos de celulose e papel, painéis de madeira, serrados, móveis e produtos sólidos, carvão, lenha industrial, madeira tratada e outros (IBÁ, 2015).

Segundo Gonzalez et al (2006), o eucalipto vem ganhando destaque na indústria de produtos sólidos de madeira, na última década, apesar de muitos produtores ainda não adotarem técnicas de plantio e manejo apropriados para a produção de madeira para usos múltiplos, visando abastecer esse mercado. Ainda segundo esses autores, a madeira de eucalipto, entretanto, possui aspectos positivos que são favoráveis à sua utilização em serrarias, e portanto se apresenta como uma alternativa para o fornecimento da indústria moveleira.

## **2.2. Espécies cultivadas no Brasil**

Entre as principais espécies que o Brasil cultiva atualmente estão: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla* (LERAYER, 2008). Grande parte do gênero *Eucalyptus* compreende espécies híbridas, que são o resultado da combinação genética de diferentes espécies, buscando melhorar as características originais. O mais comum é o híbrido do *Eucalyptus grandis* e *urophyla*, denominado “urograndis” (RODRIGUES FARIA et al., 2013).

Segundo Silva (2002) o emprego da madeira de *Eucalyptus grandis*, seja na indústria moveleira ou na construção civil, necessita de tratamento com aplicação de produtos preservativos inseticidas, que garantam a imunidade da madeira e, além de recomendações especiais quanto às situações de risco e condições locais de uso. Ainda segundo esse autor, a madeira com idade de vinte anos foi a que apresentou as melhores características para a utilização da indústria moveleira, dentre as idades testadas (dez, catorze, vinte e vinte e cinco anos).

Afirma também que

[...]mediante uma gestão adequada de produção, a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou-se como matéria-prima homogênea

[em relação a parâmetros físicos e mecânicos], boa adequação às demandas tecnológicas da indústria moveleira, com as possibilidades de produção regionalizada, substituição das espécies nativas tradicionais, além de múltiplos usos da floresta e de seus produtos. (SILVA, 2002, p. 132).

Usos tradicionais para a madeira de eucalipto, como a produção de carvão, papel e celulose, foram atribuídos às diferentes espécies, de acordo com suas características. As espécies *Eucalyptus grandis* e *urophylla* são normalmente preferidas para a fabricação de celulose devido a sua densidade média (600-740 kg/m<sup>3</sup>) e por sua cor clara. Já as espécies *saligna*, *camaldulensis* e *citriodora*, cujas densidades médias variam de 730 a 1000 kg/m<sup>3</sup>, são preferidas para a fabricação de carvão vegetal, produção de postes, mourões, lenha e processamento mecânico (CASTELO, 2016). O Quadro 2 apresenta as espécies de eucalipto que são cultivadas segundo os usos indicados.

Quadro 2 – Espécies de eucalipto plantadas no Brasil, segundo a utilização.

(continua)

<b>Espécies de eucalipto indicadas em função do uso</b>	
<b>Celulose</b>	<i>E. alba</i> , <i>E. dunnii</i> , <i>E. globulus</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. saligna</i> , <i>E. urophylla</i> e <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (híbrido).
<b>Lenha e carvão</b>	<i>E. brassiana</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. cloeziana</i> , <i>E. crebra</i> , <i>E. deglupta</i> , <i>E. exserta</i> , <i>E. globulus</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. maculata</i> , <i>E. paniculata</i> , <i>E. pellita</i> , <i>E. pilularis</i> , <i>E. saligna</i> , <i>E. tereticornis</i> , <i>E. tessellaris</i> e <i>E. urophylla</i> .
<b>Serraria</b>	<i>E. camaldulensis</i> , <i>E. cloeziana</i> , <i>E. dunnii</i> , <i>E. globulus</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. maculata</i> , <i>E. maidenii</i> , <i>E. microcorys</i> , <i>E. paniculata</i> , <i>E. pilularis</i> , <i>E. propinqua</i> , <i>E. punctata</i> , <i>E. resinifera</i> , <i>E. robusta</i> , <i>E. saligna</i> , <i>E. tereticornis</i> e <i>E. urophylla</i> .
<b>Móveis</b>	<i>E. camaldulensis</i> , <i>E. deglupta</i> , <i>E. dunnii</i> , <i>E. exserta</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. maculata</i> , <i>E. microcorys</i> , <i>E. paniculata</i> , <i>E. pilularis</i> , <i>E. resinifera</i> , <i>E. saligna</i> e <i>E. tereticornis</i> .
<b>Laminação</b>	<i>E. botryoides</i> , <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. maculata</i> , <i>E. microcorys</i> , <i>E. pilularis</i> , <i>E. robusta</i> , <i>E. saligna</i> e <i>E. tereticornis</i> .
<b>Caixotaria</b>	<i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. pilularis</i> e <i>E. resinifera</i> .
<b>Construções</b>	<i>E. alba</i> , <i>E. botryoides</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. cloeziana</i> , <i>E. deglupta</i> , <i>E. maculata</i> , <i>E. microcorys</i> , <i>E. paniculata</i> , <i>E. pilularis</i> , <i>E. resinifera</i> , <i>E. robusta</i> , <i>E. tereticornis</i> e <i>E. tessellaris</i> .
<b>Dormentes</b>	<i>E. botryoides</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. cloeziana</i> , <i>E. crebra</i> , <i>E. deglupta</i> , <i>E. exserta</i> , <i>E. maculata</i> , <i>E. maidenii</i> , <i>E. microcorys</i> , <i>E. paniculata</i> , <i>E. pilularis</i> , <i>E. propinqua</i> , <i>E. punctata</i> , <i>E. robusta</i> e <i>E. tereticornis</i> .

Quadro 2 – Espécies de eucalipto plantadas no Brasil, segundo sua utilização.

(conclusão)

<b>Espécies de eucalipto indicadas em função do uso</b>	
<b>Postes</b>	<i>E. camaldulensis, E. cloeziana, E. maculata, E. maidenii, E. microcorys, E. paniculata, E. pilularis, E. punctata, E. propinqua, E. tereticornis</i> e <i>E. resinifera</i> .
<b>Estacas e moirões</b>	<i>E. maculata</i> e <i>E. paniculata</i> .
<b>Óleos essenciais</b>	<i>E. camaldulensis, E. exserta, E. globulus, E. smithii</i> e <i>E. tereticornis</i> .
<b>Taninos</b>	<i>E. camaldulensis, E. maculata, E. paniculata</i> e <i>E. smithii</i> .

Fonte: Angeli, Barrichelo e Müller (2005).

Entre as espécies de árvores plantadas no Brasil, o eucalipto é a que possui maior área de plantio no país, e em maior número de estados. Mesmo o pinus, que representa a segunda espécie mais cultivada, não possui área total de plantio tão expressiva quanto a do eucalipto, conforme pode ser visto no Quadro 3. Este quadro também apresenta, resumidamente, os principais usos e estados produtores das espécies de madeira plantadas no Brasil, assim como as respectivas áreas associadas a seu cultivo, para efeito de comparação.

Quadro 3 - Principais usos, estados produtores e área de cultivo das madeiras de árvores plantadas no Brasil.

(continua)

<b>Espécie</b>	<b>Principais usos</b>	<b>Principais Estados</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>%</b>
Eucalipto ( <i>Eucalyptusspp</i> *)	Madeira: Energia, carvão, cavaco p/ celulose, painéis de madeira, dormentes, postes, construção civil, óleos essenciais	MG, SP, BA, ES, MS, RS, PR, SC, PA e MA	5.102.030	71,00
<i>Pinus spp</i>	Madeira: energia, carvão, cavaco p/ celulose, painéis de madeira, forros, ripas, móveis. Resina: tintas, vernizes, solventes	PR, SC, RS, SP e MG	1.562.782	21,75
Acácia ( <i>Acacia mearnsii</i> e <i>Acacia mangium</i> )	Madeira: energia, carvão, cavaco p/ celulose, painéis de madeira. Tanino: curtumes, adesivos, petrolífero, borrachas	RS e RR	148.311	2,12
Seringueira ( <i>Hevea brasiliensis</i> )	Madeira: energia, celulose. Seiva: borracha	AM	168.848	2,36

Quadro 3 - Principais usos, estados produtores e área de cultivo das madeiras de árvores plantadas no Brasil.

(conclusão)

<b>Espécie</b>	<b>Principais usos</b>	<b>Principais Estados</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>%</b>
<i>Paricá (Schizolobium amazonicum)</i>	Lâmina e compensado, forros, palitos, papel, móveis, acabamentos e molduras	PA e MA	87.901	1,22
<i>Teca (Tectona grandis)</i>	Construção civil (portas, janelas, lambris, painéis, forros), assoalhos e decks, móveis, embarcações e lâminas decorativas	MT, AM, AC	67.329	0,97
<i>Araucaria angustifolia</i>	Serrados, lâminas, forros, molduras, ripas, caixotaria, estrutura de móveis, fósforo, lápis e carretéis	PR e SC	11.343	0,16
<i>Populus spp.</i>	Fósforos, partes de móveis, portas, marcenaria interior, brinquedos, utensílios de cozinha	PR e SC	4.216	0,06
Outras			33.183	0,46
<b>Total</b>			<b>7.185.943</b>	<b>100</b>

Fonte: ABRAF (2013).

Segundo a IBÁ (2017), as áreas plantadas de eucalipto em Brasil, em 2016, foram equivalentes a 5,7 milhões de ha, com um crescimento de 2,4% a. a. de área plantada nos últimos 5 anos, enquanto o pinus, com uma área plantada de 1,6 milhão de ha, vem apresentando decréscimo de 0,7% de área de plantios, no mesmo período (IBÁ, 2017). Entre os 2006 e 2010 observou-se expressivo crescimento das áreas de florestas plantadas no Brasil, em especial de eucalipto em decorrência de seu rápido crescimento, produtividade, vigor e a adaptação a diferentes habitats, enquanto a de pinus vem decrescendo e sendo substituída pelo plantio de eucalipto (REZENDE et al., 2013). A Tabela 1, a seguir, apresenta as áreas das florestas plantadas no período de 2014 a 2016, cujos números ilustram essa tendência.

Tabela 1 - Área de floresta plantada (ha) por cultura

Cultura	Ano		
	2014	2015	2016
Eucalipto	5,56 milhões	5,63 milhões	5,67 milhões
Pinus	1,59 milhões	1,58 milhões	1,58 milhões
Outras espécies	0,59 milhões	0,59 milhões	0,59 milhões
Total Geral	7,74 milhões	7,80 milhões	7,84 milhões

Fonte: IBÁ (2016; 2017).

As condições climáticas brasileiras influenciaram o cultivo de *Eucalyptus*, sendo o gênero mais plantado no reflorestamento desde os anos 80 do século XX (AGUIAR; JANKOWSKY, 1986; CUNHA et al., 2009; NOGUEIRA FILHO et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2018).

O *Eucalyptus grandis* se destaca como o mais plantado em todo o Brasil, porém devido ao clima frio pertencente à região serrana de Santa Catarina, a espécie que mais está sendo difundida é o *Eucalyptus dunnii*. Entretanto, estudos vêm buscando outras alternativas que suportem o clima frio, pois o *E. dunnii* quando usado como madeira serrada apresenta grande quantidade de rachaduras, colapsos e empenamentos (FRANÇA; CUNHA, 2012).

No Estado da Bahia, a área de plantio de eucalipto vem apresentando crescimento médio de 1,2% ao ano, enquanto a área plantada de pinus, no mesmo estado, apresentou diminuição de 24,5% ao ano nos últimos 10 anos, segundo dados do relatório da ABAF (2017). Segundo este relatório, o crescimento dos plantios de eucalipto está associado a altos índices de produtividades, perfil edafoclimático favorável e investimento das empresas do setor no estado, principalmente do segmento de celulose e papel (ABAF, 2017). O crescimento dos plantios de eucalipto no estado, associada às características físicas e mecânicas favoráveis dessa madeira para a indústria moveleira, evidenciam a relevância de estudos sobre o comportamento dessas espécies na fabricação de móveis.

### 2.3. Madeira de eucalipto – contexto e características

O Brasil, a fim de reduzir a exploração da madeira de florestas nativas, vem aumentando as plantações florestais nos últimos anos, com espécies como pinus e especialmente eucaliptos. Esta situação levou a diferentes estudos que buscavam produzir madeiras de maior qualidade com preços mais baixos para serem utilizados para construção civil e produção de móveis (ALBINO; MORI; MENDES, 2012).

Nos últimos anos, tem sido feitos diferentes estudos técnico-científicos, os quais foram realizados empregando-se diferentes espécies de eucalipto e investigando a utilização que pode se fazer com estas madeiras. As aplicações do eucalipto para carvão, para papel e celulose, para construção civil e para o setor mobiliário, são direcionadas de acordo com as propriedades da espécie de eucalipto. Os maiores aportes das pesquisas nesta área estão dados pelo fornecimento das informações para uma melhor empregabilidade do material, mas esta madeira também contribui com aspectos estéticos e visuais que possibilitam novos usos na indústria moveleira (DIAS JÚNIOR et al., 2013).

Os avanços obtidos na indústria madeireira demonstraram a qualidade desta madeira por suas características mecânicas, pelo curto período de cultivo, pelo baixo custo e pela grande abundância, deixando-a em uma posição proeminente em frente a outras madeiras nativas do Brasil (FERREIRA; JOÃO; GODOY, 2008). Mesmo quando o eucalipto tem essas características, seu processamento pode ser comprometido devido a uma série de defeitos que impedem seu uso nessa indústria, contribuindo para o desperdício de material (CASSILHA et al., 2004).

Uma das características estudadas da madeira é a higroscopicidade, que lhe permite absorver e perder umidade, equilibrando com a umidade relativa do ambiente em que está. É precisamente essa característica que faz com que alguns produtos de madeira tenham problemas durante sua vida útil, como é o caso de variações dimensionais, fissuras ou desprendimento das peças, afetando tanto a funcionalidade como a estética (BORGES; QUIRINO, 2004).

A utilização da madeira de espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* na fabricação de produtos de madeira sólida tem sua viabilidade relacionada com o desempenho no processamento e com as propriedades físicas e mecânicas desse material (ELEOTÉRIO et al., 2014).

Conforme Júnior (2003), que pesquisou 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliando suas propriedades físicas e mecânicas, os resultados obtidos foram indicados para várias finalidades, e obtiveram limitação para uso de flexão estática, enquanto as demais propriedades foram satisfatórias para a fabricação de compensados. Conforme evidenciado por esse estudo, o emprego do eucalipto para a fabricação de móveis com chapas de compensados apresentam bom desempenho, mas para seu uso em forma de madeira maciça, em mobiliário, ainda é necessário estudar o comportamento dessas espécies sob os esforços aos quais estarão submetidas, para que sejam identificadas as espécies mais adequadas para essa finalidade.

### **2.3.1. Características físicas e mecânicas do eucalipto**

De acordo com Oliveira e Hellmeister (1998) e Segundinho et al. (2017), em se tratando de resistência mecânica, o gênero não apresenta nenhuma restrição para usos nobres, como é o caso de móveis.

Segundo Lopes (2007), em estudo realizado para três espécies de eucalipto (*urophylla*, *gradis* e *dunni*), o *Eucalyptus urophylla* possui melhor desempenho nos testes de qualidade de superfície usinada e resistência mecânica e recomenda sua aplicação na grande maioria de componentes de móveis. Isso demonstra melhor qualidade no acabamento e ganho de produção em se tratando de tempo. Já o *Eucalyptus dunnii* é melhor no quesito retratibilidade, porém é a menos indicada para uso moveleiro, pois tem baixa qualidade na superfície usinada, de acordo com estudo desenvolvido por Lopes (2007). Segundo essa mesma autora, a qualidade da superfície usinada está associada ao rendimento do tempo de produção das peças com as máquinas e ferramentas e à qualidade do acabamento do produto final. Com relação à resistência mecânica, foram encontradas espécies mais resistentes de *E. urophylla* x *E. grandis*, produzidos a partir de clones (HARDIYANTO; TRIDASA, 2000).

Ao falar sobre a qualidade da madeira, faz-se referência à sua capacidade de atender aos requisitos necessários para o desenvolvimento de cada produto, o que inclui as características físicas da árvore, para permitir o melhor uso da madeira (GONÇALEZ et al., 2006)

Uma das maneiras mais comuns de reduzir significativamente o rendimento da madeira serrada é quando as árvores são derrubadas, pois é nesse momento

que as tensões são liberadas, gerando assim a formação de fissuras na madeira (GONÇALEZ et al., 2006; SILVA; CASTRO; EVANGELISTA, 2015).

No desenvolvimento da produção de móveis de madeira, as operações de usinagem são de vital importância, ou seja, como a madeira se comporta diante de diversos processos, já que estes procedimentos são desenvolvidos em inúmeras etapas do processamento e transformação da madeira (SILVA; CASTRO; EVANGELISTA, 2015).

Embora o eucalipto possua muitas qualidades, seu processamento pode ser comprometido devido a uma série de características que podem limitar seu uso no setor moveleiro, contribuindo para a perda do material. Essas características estão associadas principalmente aos defeitos encontrados na madeira, assim como a algumas propriedades físicas e mecânicas, que serão discutidas nos itens seguintes.

### **2.3.1.1. Massa e densidade**

A massa é considerada uma das mais importantes propriedades físicas da madeira, pois depende da classificação da madeira e é nela que a qualidade da madeira é refletida como material de construção (BRANDÃO, 2010). A massa específica é um bom indicador das diferentes propriedades mecânicas da madeira (KLOCK, 1989 apud BRANDÃO, 2010) e, da mesma maneira, as variações dependem das espessuras das paredes celulares das fibras da madeira (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

Assim como a massa da madeira é considerada uma das propriedades físicas mais importantes, é essencial levar em conta a densidade, já que esta é uma característica particular em cada espécie e a mais influente na resistência mecânica da madeira. (LOBÃO et al. 2004)

Como afirma Macedo (1976), a densidade adquirida por um corpo é definida como a relação entre a massa específica e a massa específica de água pura (considerando a massa específica de um corpo, como relação entre sua massa e seu volume). Entretanto,

[...]considerando a natureza típica da madeira, decorrente de sua estrutura anatômica, seu caráter higroscópico combinado com sua porosidade, e suas singularidades fisiológicas associadas à sua permeabilidade requerem uma abordagem particular da densidade da madeira[...]. (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003, p.27).

Dessa forma, a densidade da madeira pode ser definida segundo diferentes critérios, e geralmente é classificada como densidade básica (encontrada pela relação entre a massa seca de madeira e o seu respectivo volume na condição saturada) e densidade aparente (obtida pela relação entre a massa e o volume da madeira num dado teor de umidade). Ambas as definições de densidade estão relacionadas à umidade da madeira, e são determinadas por este fator. Tanto a densidade quanto a umidade da madeira são fatores que afetam a colagem dos componentes dos móveis.

### **2.3.1.2. Anisotropia**

O fator mais importante que permite avaliar a estabilidade dimensional da madeira é a anisotropia, que é estabelecida como a relação entre contrações tangenciais e radiais (T/R), e é justamente essa relação que permite entender e analisar as deformações sofridas pela madeira durante a secagem (DURLO; MARCHIORI, 1992).

As variações dimensionais e a anisotropia são as principais características da madeira que podem limitar seu uso (DURLO; MARCHIORI, 1992). As referidas variações são devidas à contração ou dilatação da madeira, que são apresentadas pelo ligamento ou desprendimento de moléculas de água às microfibras da parede celular (VITAL; TRUGILHO, 1997). A madeira, sendo um material anisotrópico, ou seja, que suas propriedades variam de acordo com a direção em que é examinada, tem a estrutura anatômica como principal responsável pela contração e dilatação da mesma (TSOUMIS, 1991).

Segundo Klock (2000), ao decorrer da secagem da madeira, as variações dimensionais ocorrem de forma diferente nas direções tangencial, radial e axial, sendo a direção tangencial em geral, a de valores mais elevados, enquanto a axial apresenta valores negligenciáveis. Ainda segundo esse autor, quanto maior a diferença entre as variações dimensionais entre as direções radial e tangencial, mais desfavorável será o comportamento da madeira em secagem. Lopes (2007) afirma que quanto maior for o distanciamento em relação a 1, no coeficiente de anisotropia, maior será a tendência da madeira a apresentar empenamento e /ou fendilhamento durante sua secagem.

Quadro 4, a seguir, apresenta exemplos de algumas espécies, classificadas segundo seu coeficiente de anisotropia.

Quadro 4 - Níveis de coeficiente de anisotropia de algumas espécies de madeira

<b>Coeficiente de anisotropia</b>	<b>Nível de excelencia</b>	<b>Espécies de madeiras</b>
1.2 – 1.5	Excelente	Cedro, Sucupira, Caoba, Balsa
1.5 – 2.0	Normal	Ipê, Pinus, Peroba-rosa, Teca
2.0 ou mais	Ruim	Araucária, Imbuia, Álamo, Jatobá, Eucalipto

Fonte: o autor, embasado nos trabalhos de Durlo e Marchiori (1992) e Müller et al (2014).

Conforme apresentado, o eucalipto possui coeficiente de anisotropia com nível de excelência Ruim, o que leva a necessidade de utilizar técnicas de secagem que permitam diminuir a tendência da madeira ao empenamento ou fendilhamento. A facilidade de cultivo, seu custo e sua quantidade e tempo de produção ainda fazem dele uma opção favorável para emprego em movelaria, em relação a outras espécies com menores coeficientes de anisotropia.

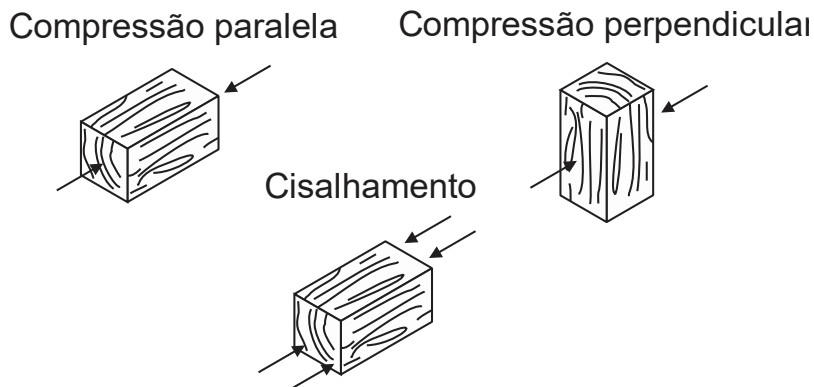
### **2.3.1.3. Propriedades mecânicas**

As propriedades mecânicas da madeira são estabelecidas pela sua reação e comportamento contra forças externas, dividindo-se em propriedades de elasticidade e resistência (CALIL JÚNIOR; LAHR; DIAS, 2003). Quando se fala em propriedades de elasticidade, faz-se referência à capacidade do material de retornar ao estado inicial sem revelar deformações adicionais (MELLO, 2007). As propriedades de resistência da madeira, estão ligadas à densidade. De modo geral, as madeiras com maior densidade são as mais resistentes (MELO, 2002).

Outra propriedade mecânica que se deve observar na madeira é a dureza, pois está associada à facilidade com a qual as madeiras serão processadas pelas máquinas e ferramentas. Embora exista uma lacuna de informação em termos de dureza em espécies tropicais (SILVA et al., 1992). Pogetto, Ballarin e Colenci (2006) afirmam a importância de se determinar a dureza da madeira, seja em direções paralelas ou em direções perpendiculares às fibras, pois a relação entre estas duas tende a aumentar para densidades mais altas. González et al (2006), ao verificar a dureza de duas espécies de eucalipto (*cloeziana* e *grandis*), concluiu que estas, apesar de possuírem valores um pouco mais elevados em relação a outras espécies como cedro e freijó, são indicadas para uso em movelaria.

Para o desenvolvimento da flexão, são produzidos quatro tipos de tensão: a compressão paralela às fibras, a tração paralela às fibras, o cisalhamento horizontal e a compressão perpendicular às fibras (CALIL JÚNIOR; LAHR; DIAS, 2003). O comportamento da madeira flexionada, com a atuação dos diferentes esforços, está representada na Figura 2.

Figura 2 – Comportamento da madeira quando solicitada à flexão simples.



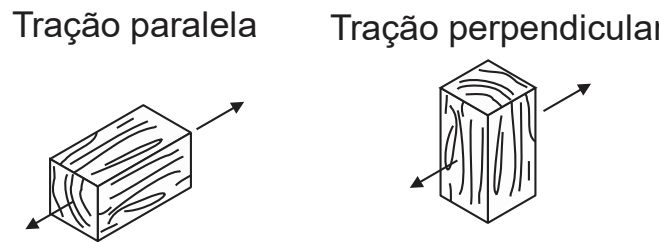
Fonte: Adaptado de Calil Júnior, Lahr e Dias (2003).

Por meio de diferentes ensaios de flexão estática, parâmetros fundamentais são obtidos para a caracterização tecnológica da madeira, como o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade, uma vez que estes permitem adquirir o conhecimento necessário da resistência do material submetido a uma força aplicada (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004).

A madeira a ser submetida a vários esforços de compressão, manifesta diferentes variações, que dependem da direção da força que foi aplicada em relação à direção das fibras. Existem três formas de submeter a compressão: perpendicular, paralela ou inclinada em relação às fibras (CALIL JÚNIOR; LAHR; DIAS, 2003). Na compressão paralela às fibras, ao ter as forças atuando na mesma direção do comprimento das fibras, produz-se uma grande resistência; na compressão perpendicular às fibras, percebe-se a compactação das fibras e a eliminação de vazios; finalmente, em compressão inclinada, atuando paralelamente e perpendicularmente às fibras, torna-se uma propriedade considerada para fins de dimensionamento (MELLO, 2007).

Com relação à tração, pode haver dois modos diferentes de atuação na madeira: tração paralela às fibras e tração perpendicular às fibras (CALIL JÚNIOR; LAHR; DIAS, 2003), conforme representado na Figura 3, a seguir.

Figura 3 –Tração nas direções paralela e perpendicular às fibras da madeira



Fonte: Adaptado de Calil Junior, Lahr e Dias (2003).

A tração paralela às fibras é onde a resistência máxima da madeira é apresentada (MELO, 2002), enquanto na tração perpendicular às fibras a madeira apresenta baixos níveis de resistência (MORESCHI, 2010). Segundo Calil Júnior, Lahr e Dias (2003), a madeira sob a qual atuam esforços de tração apresenta baixos valores de deformação, sendo que na tração paralela a ruptura é dada pelo deslizamento das fibras ou ruptura das paredes das fibras, enquanto na tração perpendicular a ruptura acontece pela separação das fibras.

O cisalhamento horizontal ocorre quando o plano de atuação das forças é paralelo à direção das fibras da madeira (CALIL JÚNIOR; LAHR; DIAS, 2003). Neste caso, há uma tendência da parte superior da seção deslizar em relação à porção inferior, rompendo as ligações inercelulares e deformando a estrutura da célula da madeira (RITTER, 1990).

A Tabela 2 apresenta os valores das principais características físicas e mecânicas de algumas espécies de eucalipto, indicados na NBR 7190 (ABNT, 1997). Segundo os dados dessa tabela, é possível observar a amplitude de valores de resistência da madeira de eucalipto, entre as diferentes espécies, o que indica que esta pode ser aplicada em diferentes funções.

Tabela 2 – Principais características físicas e mecânicas de algumas espécies de eucalipto.  
(continua)

Espécie	$\rho_{ap} 12\%$ (kg/m <sup>3</sup> )	$f_c$ (MPa)	$f_t$ (MPa)	$f_v$ (MPa)	$E_{c0}$ (MPa)
<i>Eucalyptus alba</i>	705	47,3	69,4	9,5	13409
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	899	48,0	78,1	9,0	13286
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	822	51,8	90,8	10,5	13963
<i>Eucalyptus dunnii</i>	690	48,9	139,2	9,8	18029

Tabela 2 – Principais características físicas e mecânicas de algumas espécies de eucalipto.  
(conclusão)

<i>Eucalyptus grandis</i>	640	40,3	70,2	7,0	12813
<i>Eucalyptus maculata</i>	931	63,5	115,6	10,6	18029
<i>Eucalyptus maidene</i>	924	48,3	83,7	10,3	12813
<i>Eucalyptus microcorys</i>	929	54,9	118,6	10,3	18099
<i>Eucalyptus paniculata</i>	1087	72,7	147,4	12,4	14431
<i>Eucalyptus propinqua</i>	952	51,6	89,1	9,7	16782
<i>Eucalyptus punctata</i>	948	78,5	125,6	12,9	19881
<i>Eucalyptus saligna</i>	731	46,8	95,5	8,2	14933
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	899	57,7	115,9	9,7	17198
<i>Eucalyptus triantha</i>	755	53,9	100,9	9,2	14617
<i>Eucalyptus umbra</i>	889	42,7	90,4	9,4	14577
<i>Eucalyptus urophylla</i>	739	46,0	85,1	8,3	13166

Fonte: NBR 7190 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, 1997).

Para estabelecer o destino final, ou o produto que será feito a partir de uma madeira específica, é necessário desenvolver várias análises estruturais e tecnológicas (SPARNOCHIA, 2006).

### 2.3.2. Defeitos e desperdícios

Os avanços obtidos na indústria do eucalipto têm mostrado as qualidades desse tipo de madeira devido às características mecânicas, pouco tempo de cultivo, baixo custo e grande abundância, deixando-a em posição de destaque diante de madeiras nativas do Brasil (FERREIRA; JOÃO; GODOY, 2008). O processamento do eucalipto pode ser comprometido devido a uma série de defeitos que impedem seu uso no setor, contribuindo para o aumento da perda do material.

As características dessas madeiras são baseadas em seu rápido crescimento e baixa idade de lucro, no entanto, geram resíduos que podem chegar a até 70% do corte da árvore, através da transformação, secagem e produção (CASTILLO; CUETO, 1996; DOBROVOLSKI, 1999), os níveis de desperdício podem atingir o 85 % do volume total da árvore até o processamento em tábuas (MEDINA et al, 2007). Para Marcis, Lima e Trentin, (2017), as indústrias de móveis, de modo geral, geram os mesmos resíduos em porcentagens similares. Esses altos níveis de

resíduos criaram a necessidade de desenvolver mecanismos para maior aproveitamento da madeira, bem como a recuperação e aproveitamento de resíduos, não só pelo impacto nos custos produção, mas também pelo impacto ambiental que geram.

Como resultado dessas tendências, é necessário minimizar os níveis de resíduos nos processos de produção na indústria da madeira de eucalipto e, principalmente, na indústria moveleira, sem diminuir a qualidade dos produtos. Aguiar e Jankowsky (1986), Medina et al (2007) e Marcis, Lima e Trentin (2017) propõem várias maneiras de minimizar esse desperdício, como: controlar as tensões internas de crescimento, que podem causar rachaduras nos troncos; gerar um corte e toragem das árvores com anelamento, a fim de reduzir as rachaduras que podem ser geradas; diminuir as tensões internas de crescimento com o aumento do tempo de armazenamento das toras; entre outros.

Existem dois tipos de defeitos que podem ser encontrados na madeira: os intrínsecos, isto é, os que são relacionados às características genéticas; e os externos, que são o resultado de processos de corte, transporte, secagem, entre outros. A qualidade da madeira está relacionada com a quantidade de defeitos que ela apresenta; para uma quantidade menor de defeitos, a qualidade da madeira é maior (GUEDES; MAGOSSO, 2013).

Os defeitos intrínsecos, ou naturais, podem originar-se em imperfeições do tronco, na estrutura anatômica da madeira, defeitos causados por esforços mecânicos e defeitos causados por condições e agentes climáticos (COSTA, 2002). Como exemplo desses defeitos, podem ser citados:

- bolsa de resina - este é um defeito comum na madeira de eucalipto, que consiste no aparecimento de bolsas de resina durante o crescimento da árvore (Figura 4a);
- nós - a base de um ramo que é anexado ao tronco de uma árvore é conhecida como um nó, estes começam no núcleo e crescem do centro da árvore para a periferia. Em um eucalipto, o tamanho dos nós aumenta de acordo com a altura, no entanto, o número de nós depende de fatores genéticos e do espaço que possui (PONCE, 1995). Os nós podem ser de dois tipos: nós firmes, decorrentes de galhos vivos quando a árvore foi cortada, e nós mortos, decorrentes de galhos mortos quando a árvore foi cortada (Figura 4b e 3c).

- tensões de crescimento - as tensões de crescimento geralmente ocorrem em espécies de árvores folhosas. Espécies como o eucalipto, têm maior probabilidade de desenvolver altos níveis de estresse de crescimento. Como consequência das tensões de crescimento tende ao rachamento radial nas toras e nas peças diametrais durante o desdobro e encurvamento das peças desdobradas (PONCE, 1995). O caminho mais forte de tensão de crescimento é aquele que ocorre na direção longitudinal, pois isso é observado na variação da progressividade das forças de tração nas periferias do tronco, de modo que as forças de compressão são geradas no centro do tronco (BELTRAME et al. 2015).

Figura 4 – Exemplos de defeitos intrínsecos ou naturais



a) bolsa de resina



b) nó vivo



c) nó morto

Fonte: a) Apostila defeitos na madeira ([www.ebah.com.br/content/ABAAAenOcaI/defeitos-na-madeira?part=2](http://www.ebah.com.br/content/ABAAAenOcaI/defeitos-na-madeira?part=2)); b) Manual técnico de formación para la caracterización de madera de uso estructural (<http://normadera.tknika.net/es/content/nudos>); c) Peña e Rojas (2017).

Como exemplos dos defeitos externos, podem ser citados:

- defeitos de desdobro - por ter mudanças nas medidas das peças de madeira fora dos padrões permitidos, os defeitos decorrentes do desdobro são resultado de uma operação de serragem mal desenvolvida (PONCE, 1992).
- defeitos de secagem - o processo de secagem é um dos processos mais importantes pelos quais a madeira deve passar, é indispensável para quase todos os usos (KLITZKE, 2007). Durante esse processo, a madeira sofre uma série de alterações de suas propriedades naturais, às vezes até, elas mostram deformações ou rachaduras, isso é o que é chamado de defeito de secagem, e uma das principais causas dos defeitos que vêm da secagem da madeira serrada são as tensões que se desenvolvem na

madeira (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

- colapso - o colapso é conhecido como o resultado da dificuldade do movimento da água no interior da madeira, gerando uma contração irregular, superior a 30% de umidade da madeira (ABIMCI, 2007). O colapso é um dos principais defeitos de secagem, e ocorre com frequência na madeira de eucalipto (Figura 5a).
- rachaduras - as rachaduras são formadas quando a tensão de tração na superfície é maior do que a resistência à tração perpendicular ao material (Figura 5b); são formadas por gradientes de umidade óbvios em determinadas áreas, ou seja, o processo de secagem não ocorre na mesma velocidade nas diferentes partes da madeira (ABIMCI, 2007).
- empenamentos - são as distorções no comprimento da peça (Figura 5c); é o deslocamento transversal à direção principal de compressão, entre os diferentes tipos de flacidez, os mais comuns no eucalipto são: o arco e o curvo, evidenciados durante o desdobramento dos troncos e secagem da madeira (ABIMCI, 2007).

Figura 5 - Exemplos de defeitos externos



a) colapso



b) rachaduras



c) empenamento

Fonte: a) Apostila noções de anatomia da madeira

([www.ebah.com.br/content/ABAAfLS4Al/anatomia?part=14](http://www.ebah.com.br/content/ABAAfLS4Al/anatomia?part=14)); b) Banco de imagens Pxhere

(<https://pxhere.com/pt/photo/636594>); c) Tutorial de como lidar com madeira empenada

(<http://www.zemad.com.br/como-lidar-com-madeira-empenada/>)

### 2.3.3. Secagem

A umidade presente na madeira pode ser classificada em água livre (ou água de capilaridade) e água de adesão (ou higroscópica). A água livre corresponde à umidade presente na madeira até o ponto de saturação das fibras (PSF), que corresponde à faixa de 100% a 30% de umidade, a depender da espécie. Abaixo do PSF, encontra-se apenas a água de adesão, que é mais difícil de ser retirada.

A secagem da madeira consiste na evaporação da umidade superficial e no movimento da umidade interna em direção às zonas externas. A velocidade de secagem é um fator que está diretamente relacionado ao tipo de madeira e às dimensões da mesma. Comumente, a deficiência neste processo é devida à rápida perda de umidade superficial e ao movimento lento da umidade interna em direção às zonas externas (JANKOWSKY; GALINA, 2013). A redução da alteração dimensional em peças serradas; a melhoria na eficiência de produtos preservativos, retardadores de fogo e de acabamento superficial; melhoria nas propriedades de isolamento térmico, acústico e eletricidade; melhoria na aderência, em produtos colados; e o aumento da resistência da madeira são algumas das vantagens da secagem da madeira (JANKOWSKY; GALINA, 2013).

No estudo para avaliar a ocorrência de defeitos na madeira, considera-se a estabilidade dimensional, a anisotropia e a relação entre encolhimento tangencial e radial (T/R) (DIAS JÚNIOR et al., 2013). Durante o processo de secagem da madeira de eucalipto, a retração no plano axial é de aproximadamente 1%, no plano radial entre 5-9% e no plano tangencial entre 10-15%, dependendo da espécie e da região do tronco. Durante a fase de crescimento, a madeira de eucalipto acumula tensões, que são liberadas no processo de usinagem, resultando em má qualidade dos produtos (CRESSONI, 2011). O eucalipto também apresenta considerável instabilidade dimensional devido ao inchamento e à retração. Isto leva a uma variedade de problemas na qualidade dos produtos finais, especialmente quando usados como um elemento estrutural ou como um componente de mobília (BELTRAME et al., 2015).

A secagem pode ser considerada como o equilíbrio entre a transferência de calor do fluxo de ar encontrado na superfície da madeira e a transferência de umidade da superfície da madeira para o fluxo de ar (PONCE; WATAI, 1985). Nesse processo, três fases distintas são evidentes (KOLLMANN; COTÊ, 1968; ROSEN,

1983; JANKOWSKY, 1995): na primeira fase ocorre a secagem com o movimento da água livre para a superfície, onde há evaporação da água na superfície do material (ROSEN, 1983); a segunda fase consiste em um fenômeno difusivo que é afetado pelas condições termodinâmicas do fluxo de ar e pelas características da própria madeira; e a fase final ocorre quando a linha de evaporação da água é concentrada no centro da peça.

Para a secagem do *Eucalyptus grandis* pode-se utilizar a secagem ao ar livre, implementando-a de forma suave, de forma que resulte numa secagem lenta. A secagem em estufa pode ser feita desde que se utilize uma curva de secagem adequada para a respectiva espécie de madeira (SILVA et al., 1997).

Em qualquer processo de transformação de madeira, a fase mais importante de todo o processo é a de secagem, pois é nesse momento que o material é tão estável quanto possível e fornece características que facilitarão a aplicação de outros materiais e processos (SANTOS; JANKOWSKY; ANDRADE, 2003). E da mesma forma, é considerada uma das fases mais importantes, pois em vários usos, como a fabricação de móveis, é essencial ter a uniformidade da madeira, proporcionando maior estabilidade e firmeza no produto (MARTINS, 1988).

Durante a secagem, situações podem ocorrer onde a superfície das peças atinge rapidamente baixos teores de umidade, enquanto na parte central da mesma, altos níveis de umidade são evidentes (SANTOS; JANKOWSKY; ANDRADE, 2003), gerando assim tensões internas na madeira, causando colapso e aparecimento de rachaduras.

O índice de encolhimento, obtido a partir dos valores das contrações na direção transversal, é a relação entre contração tangencial e radial, o que dá uma ideia do comportamento das madeiras, em relação à secagem, indicando maior ou menor propensão ao encolhimento das peças. Estes valores variam de 1,3 a 1,4 para madeiras muito estáveis até mais de 3 para espécies extremamente instáveis dimensionalmente, como a madeira de muitas espécies do gênero *Eucalyptus* (OLIVEIRA et al., 2010).

A maioria dos eucaliptos tem uma densidade básica entre 500 e 800 kg/m<sup>3</sup> e é relativamente impermeável e difícil de secar. Nos níveis de umidade acima do PSF, esta espécie se caracteriza pelo aumento na tendência em fissurar e colapsar se tem aumento descontrolado da temperatura ou acima do que a madeira suporta (SEVERO, 2000).

Mendes et al. (1996), ao testar o comportamento de 25 espécies do gênero *Eucalyptus* em secagem ao ar livre, concluíram que, em relação aos parâmetros de qualidade e fissuras, é possível obter madeiras serradas desse tipo com qualidade satisfatória, o que significa livre de defeitos visíveis como rachaduras, empenamentos, colapsos ou manchas; qualidade requerida pelo setor de móveis, tendo um monitoramento das condições de secagem, bem como técnicas corretas de empilhamento.

#### **2.3.4. Uso da madeira de eucalipto em móveis**

Dadas as condições favoráveis, as pesquisas e o grande desenvolvimento florestal, o eucalipto se apresenta como alternativa para futuros suprimentos de matéria-prima para a indústria. As madeiras nativas serão substituídas pela madeira de eucalipto devido à queda no fornecimento, proteção das florestas e as potencialidades do eucalipto como fornecedor de matéria-prima de qualidade para os diversos usos industriais (FERREIRA; JOÃO; GODOY, 2008).

As pesquisas realizadas em empresas florestais, universidades, institutos de pesquisa e nas grandes plantações florestais com espécies de eucalipto, tem permitido que o Brasil seja reconhecido como um dos principais países em termos do elevado nível científico-tecnológico nas diversas áreas da cultura de eucalipto (ARANTES, 2009).

O Brasil oferece condições favoráveis para o reflorestamento, “e além das condições naturais favoráveis, o Brasil possui também excedentes de mão de obra no meio rural, bem como considerável domínio tecnológico nas atividades ligadas à formação de florestas e produção de madeira” (FERREIRA; JOÃO; GODOY, 2008, p. 5).

A indústria de móveis faz multiuso da madeira de eucalipto. Desde o início do século XX são desenvolvidos móveis de eucalipto em diferentes países, podendo ser citados: Estados Unidos, tem apresentado uma aceitação da madeira de eucalipto por empresários da área moveleira, Austrália, África do Sul, Argentina e Chile que, vêm fabricando móveis com algumas espécies de eucaliptos, dado as suas qualidades, aspecto atraente, fácil trabalhabilidade manual e mecânica e boas características para tratamentos superficiais, sobretudo para colagem e polimento. Atualmente, as estruturas do móveis estofados absorve boa quantidade de madeira de eucalipto (GONÇALEZ et al., 2006).

Segundo Millner (2006), na Nova Zelândia, o eucalipto é usado para móveis, sendo que cada espécie é utilizada para determinada finalidade dependendo dos tons das cores e acabamento. Segundo IBA (2015), dos 7,74 milhões de hectares das diferentes espécies de árvores plantadas no Brasil, apenas 3,6% corresponde ao setor de serrados, móveis e outros produtos sólidos.

A indústria moveleira no Brasil é caracterizada pela multiplicidade de materiais e tecnologias aplicadas aos setores produtivos que a compõem (RAPÔSO, 2014). A pesquisa apresentada pelo DEPEC-Bradesco (2017) afirma que a maioria dos móveis fabricados no Brasil é para o mercado interno (96%), onde o mobiliário doméstico representa mais de 2/3 dos referidos mercados. O mesmo relatório afirma que 84,5% dos móveis são de madeira, 8,8% são de metal e 4,4% de outros materiais. Portanto, a madeira é o material mais importante para o mobiliário doméstico e de escritório comprado no Brasil, seguido pelo mobiliário de metal.

No contexto atual, são necessárias alternativas com madeiras renováveis, com tempos de cultivo curto para se tornar uma opção econômica para os fabricantes. Nos novos desenvolvimentos e pesquisas com o eucalipto, especialmente para uso em móveis, tem-se enfatizado a redução dos tempos de plantação e a obtenção de madeiras com maiores características técnicas, assegurando a trabalhabilidade e a durabilidade da madeira (PONCE, 1995).

Desde a década dos 90 do século XX existem projetos no Brasil para a produção de eucalipto destinado à indústria moveleira em conjunto com os centros tecnológicos do setor (GORINI, 1998).

De acordo com Gonzalez et al. (2006), a qualidade da madeira está relacionada com sua capacidade de responder no momento da fabricação de um produto ou também com o melhor aproveitamento na forma do uso. No caso do eucalipto, especificamente para a produção do móveis, suas vantagens estão no rápido crescimento volumétrico das árvores, em sua capacidade de adaptação às mais diversas condições de clima e solo e a adequação aos diferentes usos industriais, com ampla aceitação no mercado (FERREIRA; JOÃO; GODOY, 2008).

Segundo Moura (2001), árvores mais maduras produzem madeira mais durável, usadas em serrarias e para a produção de móveis. O conhecimento tecnológico do eucalipto e seu potencial para a utilização na indústria tem possibilitado o desenvolvimento intensivo do cultivo de espécies do gênero (GONÇALEZ et al., 2006).

Em trabalho realizado por Silva et al. (1997), onde os autores testaram o comportamento do *Eucalyptus grandis* mediante as principais operações de usinagem normalmente executadas no setor moveleiro, os mesmos concluíram que a referida madeira apresentou bom comportamento, indicando seu potencial para o setor de madeira serrada, principalmente o setor moveleiro. Essa característica é fundamental porque favorece o emprego dessa espécie na indústria moveleira, pois

[...]quando a madeira é destinada à fabricação de móveis, assoalhos, esquadrias e outros usos que demandam alta qualidade da superfície, a usinagem bem executada melhora o seu desempenho perante os processos de acabamento superficial, tornando a operação economicamente ajustada. (SOUZA et al., 2009, p. 2).

Atualmente, já são encontrados alguns móveis confeccionados em eucalipto no mercado interno, como, por exemplo, na estrutura interna de estofados, cômodas e armários, nas laterais de gavetas e na fabricação de jogos de mesas. Entretanto, a madeira pode ser utilizada em muitas outras aplicações, desde a forma aparente, como madeira maciça - já que o eucalipto tratado admite tingimento e verniz, aproximando-se do “padrão mogno” - até em lâminas nobres, revestindo painéis (GORINI, 1998).

Cabe destacar o potencial de móveis confeccionados em eucalipto, ainda inexplorado. Esta é uma tendência que deverá crescer e introduzir mudanças significativas no perfil da indústria brasileira de móveis. Além disso, a competitividade da indústria moveleira depende não somente da eficiência dos processos produtivos, mas também da qualidade, do conforto, da facilidade de montagem e, sobretudo, do design dos móveis.

### **2.3.5. Colagem**

O processo de colagem da madeira consiste da união de duas ou mais peças utilizando adesivos. No caso de aproveitamento de resíduos para fabricação de móveis podem ser usados pequenos pedaços de madeira ou até defeituosos, gerando peças de maiores dimensões. Parte do sucesso dos produtos à base de madeira colada está relacionada ao tipo de adesivo utilizado, uma vez que é responsável por proporcionar resistência, estabilidade e durabilidade. Com a colagem da madeira, é possível obter um material homogêneo com boa estabilidade

dimensional, desde que adotadas as tecnologias de processamento adequadas (MOTTA et al., 2012).

Segundo a *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2000), o adesivo é uma substância capaz de unir materiais através do contato entre as superfícies. As condições físicas e químicas da superfície durante a adesão são relevantes para que ela tenha um desempenho satisfatório, uma vez que o adesivo líquido deve umedecer e se dividir livremente nas superfícies para que o contato entre as partes seja estabelecido. Com a colagem da madeira, busca-se obter um material mais homogêneo e com maior estabilidade dimensional do que a madeira serrada, por isso, a tecnologia de processamento é importante para garantir as características do material (SILVA; COSTA, 2012).

Cerca de 70% dos produtos de madeira possuem algum tipo de adesivo, portanto, é necessário ter informações sobre os parâmetros envolvidos no processo de colagem. Comumente, são utilizados adesivos à base de acetato de polivinila (PVA), formaldeído uréia, emulsão polimérica isocianato (EPI), resorcinol fenol formaldeído (RFF), poliuretano (PUR) e resina resorcinol. Alguns dos parâmetros que devem ser levados em conta para se obter uma placa de madeira colada com boas características são: densidade da madeira, teor de umidade da madeira, tipo de adesivo, quantidade de adesivo utilizado, pressão de colagem, tempo de pressão, acabamento superficial das peças, temperatura ambiente e disposição das peças.

Para a produção de mobiliário é aconselhável a utilização de madeira de baixa densidade (abaixo de  $0,65 \text{ g/m}^3$ ), pois a madeira de densidades mais elevadas são menos eficientes e de difícil ligação, uma vez que não permitem uma boa penetração do adesivo, além de apresentar maior perda deste durante o processo de colagem (BOA et al, 2014). Foram realizados vários estudos, que analisaram diversas variáveis, tais como: densidade e quantidade de adesivo aplicado (BOA et al, 2014.); tipos de madeira, adesivos e quantidade de adesivo aplicado (BILA, 2014); adesivos e arranjo das suas partes (IWAKIRI et al., 2012); adesivo e pressão (LUZ et al, 2011); tipos de madeira, adesivos e teor de humidade (MOTTA et al, 2012); adesivos, tempo e temperatura de prensagem (FERREIRA et al, 2012); quantidade de extractivos e a posição de madeira no tronco (ALBINO; MORI; MENDES, 2012); adesivo e sistema de gestão de floresta (PLASTER et al., 2012). Em todos os casos, foi estudada a resistência ao cisalhamento e a porcentagem de

falha da madeira, tendo em conta as recomendações das normas internacionais da *American Society for Testing and Materials*, ASTM D-3110 (1994) e ASTM D905 (2008), assim como a norma brasileira NBR7190 (ABNT, 1997) para estes estudos.

No caso do uso de resíduos de madeira de eucalipto na indústria moveleira, diferentes investigações foram realizadas (PEREIRA; CARVALHO; PINTO, 2010), algumas voltadas para o desenvolvimento de chapas de pequenas peças coladas, obtendo diferentes resultados estéticos e funcionais. Outras investigações enfocam a verificação da resistência de união em adesivos (CRESSONI, 2011; GOMES, 2012; SILVA, 2013), fornecendo informações para o uso de resíduos de madeira de eucalipto.

Santos Neto (1999) estudou a adesão da aderência das áreas na madeira procurando as melhores combinações de variáveis, levando em consideração o consumo de adesivo, a pressão da colagem e a aplicação do adesivo à base de resorcinol formaldeído em um ou mais faces, em diferentes direções da fibra. O resultado obtido mostrou que a resistência ao cisalhamento das juntas coladas foi afetada por todas as variáveis, tendo um efeito significativo para as interações do consumo em relação à pressão e ao consumo em relação ao vínculo.

O teor de umidade da madeira no momento da execução da colagem é um dos fatores que devem ser levados em conta, sendo recomendado que esteja entre 5% e 14%. Motta et al. (2012) avaliaram a influência do teor de umidade nas propriedades adesivas de duas espécies comerciais de eucalipto, o *Eucalyptus urograndis* e *Corymbia citriodora*, utilizando adesivos à base de resina resorcínica e acetato de polivinil-PVA. Diferentes variáveis foram avaliadas, como as espécies de madeira, o teor de umidade no momento da colagem e o tipo de adesivo utilizado, constatando que, com menor teor de umidade, o desempenho do adesivo PVA obteve resultados satisfatórios.

No entanto, no caso dos móveis de madeira, não se conhece até o momento pesquisa que indique desde o desenho, a antecipação de defeitos ao longo do tempo que apresentem os móveis feitos com eucalipto e que sejam atribuídos às variações dimensionais a transferência de umidade da madeira para o meio ambiente. Portanto, para o uso do eucalipto na produção de móveis é necessário levar em conta as propriedades físico-mecânicas, defeitos, características de secagem e o comportamento que esta madeira tem na colagem, buscando o melhor aproveitamento do material e entendendo como essas características afetam ou

condicionam o processo. Da mesma forma, as propriedades da madeira de eucalipto indicarão alternativas para propostas de sustentabilidade que nesta tese são apresentadas, a partir do diagnóstico feito na empresa do estudo de caso, e que dá origem a propostas baseadas em *Ecodesign*.



### 3 DESIGN E SUSTENTABILIDADE

Nesta seção são apresentados a definição da Sustentabilidade, os principais conceitos ligados ao *Design* e sustentabilidade, como Ecologia Industrial, geração de subprodutos, P+L, *Ecodesign* e ACV, assim como as inter-relações entre os conceitos.

#### 3.1. Sustentabilidade

*[...] o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades[...]*  
(BRUNDTLAND, 1987, p. 1)

Nos últimos anos o conceito de sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável têm sido citados e pesquisados em múltiplos trabalhos, tendo diversas visões e interpretações dependendo da área ou dos objetivos do estudo, levando como resultado a excessiva ampliação de seu significado (MIKHAILOVA, 2004).

De acordo com Nascimento (2012), o conceito de sustentabilidade tem duas origens. A primeira, na biologia, por meio da ecologia, faz referência à capacidade de recuperação e reprodução dos ecossistemas (resiliência) após agressões antrópicas (externas) ou naturais (terremoto, tsunamis, fogo etc). A segunda, na economia, relacionada ao desenvolvimento, tem a percepção crescente ao longo do século XX de que o padrão de produção e consumo em expansão no mundo coloca em risco a possibilidade de perdurar. Surge, assim, a noção de sustentabilidade sobre a percepção da finitude dos recursos naturais.

Segundo Mikhailova (2004), sustentabilidade é a capacidade de se sustentar, de se manter. Uma atividade sustentável é aquela que pode se manter para sempre. Ou seja: a exploração de um recurso natural exercida de forma sustentável durará para sempre, não se esgotará nunca. Uma sociedade sustentável é aquela que não coloca em risco os elementos do meio ambiente. Desenvolvimento Sustentável não somente tem a ver com melhorar a qualidade da vida do homem, mas também com respeitar a capacidade de produção dos ecossistemas.

As discussões promovidas pelas reuniões realizadas em Estocolmo (1972) e no Rio de Janeiro (1992) permitiram o surgimento da noção de que o desenvolvimento também está associado a uma dimensão social, a qual contempla

a ideia de que a pobreza é responsável por agressões ambientais. Desta forma, o desenvolvimento voltado para a sustentabilidade deve contemplar a equidade social e a qualidade de vida da geração atual, e também das próximas (NASCIMENTO, 2012). Além dos aspectos sociais e ambientais, deve-se considerar também o aspecto econômico; esses três aspectos compõem as três dimensões do Desenvolvimento Sustentável, conforme descrito por Nascimento (2012):

- A primeira dimensão do desenvolvimento, a sustentável, está relacionada aos aspectos ambientais, e supõe que a produção e o consumo devem estar alinhados com a base material da economia. Ou seja, os padrões para produzir e consumir adotados devem permitir que os ecossistemas possam manter sua capacidade de resiliência;
- A segunda dimensão, a econômica, baseia-se no aumento da eficiência da produção e do consumo associada a uma economia cada vez maior de recursos naturais, principalmente as fontes fósseis de energia e os recursos como a água e os minerais. Também pode ser denominado como ecoeficiência, ou seja, uma contínua inovação tecnológica que conduza os padrões de produção e consumo em direção a soluções alternativas ao ciclo fóssil de energia (carvão, petróleo e gás);
- A terceira e última dimensão, a social, supõe que todos os cidadãos tenham o necessário para uma vida digna, sem o consumo de bens, recursos naturais e energéticos que sejam prejudiciais a outros. Ou seja, é necessário erradicar a pobreza e diminuir os padrões de desigualdade para níveis aceitáveis, definindo limites mínimos e máximos de acesso e consumo de bens materiais.

A garantia de qualidade de vida no presente e, principalmente, para o futuro, por meio do Desenvolvimento Sustentável, incluindo suas três dimensões, é assunto cada vez mais discutido atualmente. As principais formas de discussão nesse sentido tem sido a revisão de valores criados pelo modelo de crescimento adotado por alguns países (SACHS, 2004) e a busca de soluções para problemas como a pobreza e os impactos ambientais. A preocupação com as conseqüências desses problemas sobre as futuras gerações tem sido a principal causa motivadora dessa revisão.

Paralelamente, o conceito de Desenvolvimento Sustentável tem sido cada vez mais aprimorado, assim como tem crescido a sua utilização na busca de melhores

formas de solução desses problemas. A sustentabilidade traz a questão da inter-relação dos problemas, envolvendo nessa discussão outras questões, entre sociais, econômicas e políticas (YUBA, 2001).

Pelo uso exagerado, as palavras *sustentável* e *sustentabilidade* perdem sentido e impacto. Seu uso reiterado leva à falsa crença de que tudo o que os homens fazem, compram e usam pode durar para sempre, mas esta não é a realidade (ENGELMAN, 2013).

### **3.2. Ecologia Industrial**

Na tentativa de assemelhar o funcionamento dos sistemas industriais com os ecossistemas naturais aparece um conceito chamado Ecologia Industrial (JELINSKI et al., 1992; TEIXEIRA, 2005; TEIXEIRA; CÉSAR, 2006; CERVANTES et al., 2009; LUZ, 2012). A Ecologia Industrial parte do princípio de que a reestruturação dos sistemas industriais em direção à sustentabilidade ambiental deveria ter como base os princípios organizacionais dos ecossistemas naturais. Assim como estes se caracterizam pela ciclagem dos materiais, pela interdependência das espécies e pela utilização da fonte energética solar, os sistemas industriais deveriam otimizar o uso de energia, utilizar fontes renováveis, e promover o fechamento do ciclo de materiais por intermédio de múltiplas conexões das atividades de produção e consumo (COSTA, 2002).

A Ecologia Industrial, assim como o Desenvolvimento Sustentável, inclui benefícios aos aspectos ambientais, sociais e econômicos, como a minimização do consumo de recursos, e a diminuição de cargas poluentes e de custos ambientais, e utiliza critérios como fechamento do ciclo dos materiais, desmaterialização, promoção da ecoeficiência e do capital social local, melhoria nos postos de trabalho, criação de redes, melhoria da imagem ambiental de empresas, instituições e municípios, e maior relacionamento e colaboração dentro do setor industrial e do setor industrial com o ambiente social e natural, entre outros (LOEWE; GONZÁLEZ; BALZARINI, 2013; CERVANTES, 2011).

Os modelos e metas da Ecologia Industrial apontam para um modo de organização da economia segundo princípios de defesa do meio ambiente e exploração sustentável dos recursos naturais. A Ecologia Industrial busca uma adequada integração entre diferentes empresas de forma que os resíduos e subprodutos de uma sirvam de matérias-primas para outras, buscando assim reduzir

a demanda por novos recursos naturais e a devolução para a natureza (MARINHO; KIPERSTOK, 2001), assim como a obtenção do nível zero de resíduos (CERVANTES, 2011; LUZ, 2012). A Ecologia Industrial baseia-se na transformação do sistema linear industrial num sistema cíclico no qual os materiais, a energia e os resíduos sejam sempre utilizados levando os sistemas industriais ao Desenvolvimento Sustentável (COSTA, 2002; CERVANTES, 2011).

A partir de analogias com os ecossistemas naturais, a Ecologia Industrial analisa e indica novos arranjos para os fluxos de energia e materiais em sistemas industriais, visando a integração das atividades econômicas e a redução da degradação ambiental, de forma a minimizar a exploração de recursos naturais e reduzir a geração de poluição (COSTA, 2002). Com essas analogias, são identificados os ecossistemas industriais, que são formados pelos ambientes de produção e de consumo, onde circulam os fluxos de materiais e de energia. O ecossistema industrial pode ser definido em função de um produto, de um material, de uma região específica, e por conseguinte estabelece as fronteiras do sistema que engloba os fluxos de energia e materiais (ALLENBY; RICHARDS, 1994).

A Ecologia Industrial considera ainda a aplicação dos conceitos de Prevenção da Poluição e P+L para avaliar novas formas de gerenciar as atividades industriais, propondo a adoção dos ciclos fechados para os materiais e energia empregados em substituição aos fluxos lineares de sentido único. Para tal, considera-se o conceito de simbiose industrial, que consiste na

[...] cooperação, tanto dos processos produtivos dentro de uma mesma empresa quanto entre várias empresas diferentes, que trocam e partilham entre si diversos serviços e materiais. O conceito está baseado na sinergia entre diferentes atividades produtivas que apresentam maior eficiência de recursos aliados a benefícios ambientais e econômicos [...] (PEREIRA; LIMA; RUTKOWSKI, 2007, p. 3).

Segundo Marinho e Kiperstok (2001), o conceito geral da Ecologia Industrial consiste em utilizar ao máximo os recursos naturais necessários e de utilização inevitável no processo, por meio de um sistema industrial e dos reaproveitamentos e transformações possíveis, de forma a reduzir ao mínimo a pressão sobre a natureza, tanto do lado da demanda quanto da restituição. O aporte da Ecologia Industrial, neste sentido, está baseado na diminuição de emissões e cargas ambientais, tendo em consideração aspectos ambientais e econômicos, tentando fechar o ciclo dos materiais, gerando maior sustentabilidade (LUZ, 2012).

Ao prever o fechamento do ciclo dos materiais, os resíduos, quando tratados para se tornarem subprodutos ou novos produtos, deixam de serem considerados como resíduos (TEIXEIRA; CÉSAR, 2006). Ainda que se direcione um esforço para obter uma redução da geração de resíduos ao longo dos processos produtivos, a Ecologia Industrial considera que pode ser admitida, ou até mesmo útil, a geração de algum resíduo ou subproduto, em um determinado processo, se esse servir como matéria-prima para a empresa seguinte da cadeia, contribuindo, assim, para a manutenção do fluxo (MARINHO; KIPERSTOK, 2001).

Outra alternativa para a destinação dos resíduos industriais consiste em sua armazenagem, para os quais se vislumbra uma possibilidade de utilização posterior, em substituição a sua disposição definitiva (MARINHO; KIPERSTOK, 2001).

As soluções relacionadas com a geração de resíduos dos sistemas industriais visam prevenir a poluição por meio da redução da demanda por recursos materiais e energia e da disposição de resíduos, propondo uma desmaterialização da economia. Isto pode ser obtido através de sistemas integrados de processos ou indústrias, conforme o conceito citado de simbiose industrial, de forma que resíduos ou subprodutos de um processo possam ser utilizados por outros. Difere, nesse ponto, da P+L, que prioriza os esforços dentro de cada processo, isoladamente, colocando a reciclagem externa entre as últimas opções a se considerar (MARINHO; KIPERSTOK, 2001).

Além dos conceitos de Prevenção da Poluição e de P+L, é importante considerar também a ACV. Esta consiste em uma ferramenta essencial para a Ecologia Industrial, uma vez que permite um melhor acompanhamento dos ciclos dos processos industriais, além da identificação de alternativas de interação destes; destaca-se também o Projeto para o Meio Ambiente (Design for Environment), que é um método relevante para prever a integração de unidades ou sistemas industriais (MARINHO; KIPERSTOK, 2001).

Esses conceitos e metodologias incorporados pela Ecologia Industrial, como P+L, Prevenção de Poluição, Projeto para o Ambiente e ACV, embora já conhecidos, apenas recentemente foram sistematizados em linhas de pesquisa em torno da Ecologia Industrial (COSTA, 2002).

Um objetivo mais específico da Ecologia Industrial é criar uma rede de indústrias, ligadas por seus resíduos e, ao mesmo tempo, relacionadas ao meio ambiente social e natural (ERKMAN; FRANCIS; RAMESH, 2005). Também incentiva

a inovação na consideração de resíduos como matéria-prima, o que promove a criação de novos processos e sistemas para valorização de resíduos. Outro objetivo da Ecologia Industrial é situar a atividade tecnológica como parte do ecossistema que a integra, analisando as entradas de recursos e saídas de resíduos, bem como a maneira pela qual a atividade humana afeta o ecossistema (ERKMAN; FRANCIS; RAMESH, 2005).

A ecologia industrial se apresenta como novo enfoque ao design industrial de produtos e processos, e à implementação de estratégias de manufatura sustentável. É um sistema em harmonia com os sistemas circundantes, oferecendo aportes à sustentabilidade da produção ao permitir otimizar o ciclo dos materiais desde os componentes, os resíduos e o descarte final (JELINSKI et al., 1992). Para conseguir resultados positivos, é necessário inovar no uso dos resíduos, adicionando outros componentes ou materiais para oferecer resultados diferentes nos produtos (CERVANTES, 2011).

### **3.3. Geração de subprodutos**

Os resíduos são gerados durante todo o ciclo de vida de um produto. Sua produção decorre de matérias-primas parcialmente empregadas em processos produtivos. Outros aspectos negativos na geração de resíduos é que eles contribuem para maiores gastos com mão de obra, infraestrutura, armazenamento, transporte e tratamento, além de não gerar valor para a empresa (NOLASCO; ULIANA, 2014).

Os processos produtivos que buscam maior sustentabilidade tem como resultado menor geração de resíduos. Quando não se consegue eliminar a geração de resíduos no processo produtivo, recorre-se à adoção de tecnologias para recuperar os resíduos gerados, obtendo-se melhor aproveitamento da matéria-prima e obtendo benefícios ambientais e econômicos (CASSILHA et al., 2004).

A lei n. 12.305 de 2 de agosto de 2010, em seu Art. 1º, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), atribuindo a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos aos responsáveis da geração, neste caso às empresas (BRASIL, 2012). O Art. 7º, inciso II, define como sendo um dos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, assim como a disposição final, ambientalmente adequada, dos rejeitos. Cabe então às empresas notar que a

diminuição na geração de resíduos e o melhor aproveitamento da água, energia e matérias-primas gera benefícios ambientais e econômicos.

A mesma PNRS faz uma distinção entre resíduo sólido e rejeito. Considera resíduo sólido todo

[...]material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível [...]. (BRASIL, 2012, p. 11).

Enquanto define como rejeitos os

resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não seja a disposição final ambientalmente adequada. (BRASIL, 2012, p. 11).

Os resíduos sólidos, segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente, através da NBR 10004 (ABNT, 2004), podem ser de origem industrial, doméstica, hospitalar, agrícola, de serviços e de varrição. Esses resíduos são classificados conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Classificação de resíduos sólidos segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004).

Classe I (perigosos).	Ex: borra de tinta, resíduos com thinner, etc.
Classe II A (não-inertes).	Ex.: papel, lamas de sistemas de tratamento de águas, resíduos provenientes de caldeiras e lodos.
Classe II B (inertes).	Ex: entulhos de demolição, pedras, sucata, etc.

Fonte: embasado em NBR 10004 (ABNT, 2004) e Caetano, Depizzol e Reis (2017).

Um resíduo pode se transformar em um subproduto quando efetivamente utilizado. Os subprodutos são produtos secundários de um sistema de produção, com valor de mercado ou de uso. São materiais com potencial de aproveitamento na geração de novos produtos (NOLASCO; ULIANA, 2014).

As indústrias madeireiras são geradoras de grande quantidade e diversidade de resíduos e rejeitos. Considera-se que os processos de transformação da madeira geram quantidades grandes de resíduos, com aproveitamento médio em torno de 40% a 60% (FONTES, 1994; OLANDOSKI, 2001).

Segundo Hillig et al. (2006), os resíduos de madeira são classificados em pó de serra (ou serragem), maravalha (ou cepilho) e lenha, de acordo com as seguintes características:

- Pó de serra – é um resíduo encontrado na maioria das indústrias de madeira e é gerado principalmente pelo processo de usinagem com serras;
- Maravalha – é um resíduo encontrado geralmente em indústrias beneficiadoras da madeira como, por exemplo, a indústria de móveis, gerado pelo processamento em plainas;
- Lenha - engloba os resíduos maiores como aparas, refiles, casca, roletes entre outros e também pode ser encontrada em todas as indústrias de madeira.

A representatividade desses tipos de resíduo corresponde a lenha, serragem e cepilho são dos 71%, 22% e 7% respectivamente (BRITO, 1995; LIMA; SILVA, 2005).

No setor florestal, é considerado como resíduo o material que sobra da colheita florestal e também da produção madeireira (desdobro e beneficiamento). Estes resíduos podem ser reutilizados pela própria indústria, assim os resíduos passam a converter-se em subprodutos e gerar lucros. (ALCÂNTARA et al., 2012; LIMA; SILVA, 2005; FRANCO; COSTA, 2010; HILLIG et al., 2009; KOZAK et al., 2008)

Existem diversas aplicações que podem ser dadas aos resíduos de madeira, de acordo com Wiecheteck (2009), tais como:

- Geração de energia - devido a sua capacidade calorífica e economia de outras fontes de energia.
- Produção de chapas de partículas e de fibras - como o aglomerado, chapas duras, *Medium Density Fiber Board* - MDF.
- Briquetes - outra forma de se utilizar os resíduos para gerar energia.
- Extração de polpa para produção de papel.
- Cargas para compostos poliméricos - o uso dos resíduos de madeira como aditivo de polímeros termoplásticos é bastante viável e possui diversas aplicações.

No caso particular do eucalipto, têm sido desenvolvidas diferentes pesquisas que apontam à utilização dos resíduos principalmente na produção de aglomerados

e de madeira laminada colada (BOA, 2011; BRAND, 2007; SOUZA, 2008; FRANCO; COSTA, 2010; PEREIRA, 2012; HILIG et al., 2006; TEIXEIRA; CÉSAR, 2006).

No caso da utilização de resíduos de madeira de eucalipto na indústria de móveis, tem sido feitas diferentes pesquisas (SOUZA, 2008; FRANCO; COSTA, 2010), algumas delas dirigidas à produção de madeiras laminadas coladas, geradas a partir de pequenas peças (PEREIRA; CARVALHO; PINTO, 2010). Outras pesquisas foram baseadas na comprovação da resistência das juntas coladas com diferentes tipos de colas (CRESSONI, 2011; GOMES, 2012; SILVA, 2013) as quais aportam informações para serem utilizadas nos resíduos de madeira de eucalipto.

### **3.4. Produção mais limpa**

A P+L é um programa contínuo para aumentar a eficiência no consumo de matérias-primas, de água e de energia, através da mitigação dos desperdícios e do uso indevido de energia nos setores industrial e de serviços (UNEP, 1996). A definição da P+L, segundo a UNEP (1996), consiste em uma abordagem de proteção ambiental ampla que considera todas as fases do processo de manufatura ou ciclo de vida do produto, com o objetivo de prevenir e minimizar os riscos para os seres humanos e o meio ambiente, a curto e a longo prazo, procurando ações que minimizem o consumo de energia, matéria-prima e a geração de resíduos e emissões.

Esse programa foca na aplicação de estratégias ambientais integradas e contínuas, que evoluíram em direção à sustentabilidade. Desde 1990 até então, diferentes entidades e pessoas vêm falando a respeito da P+L ampliando e complementando esta definição.

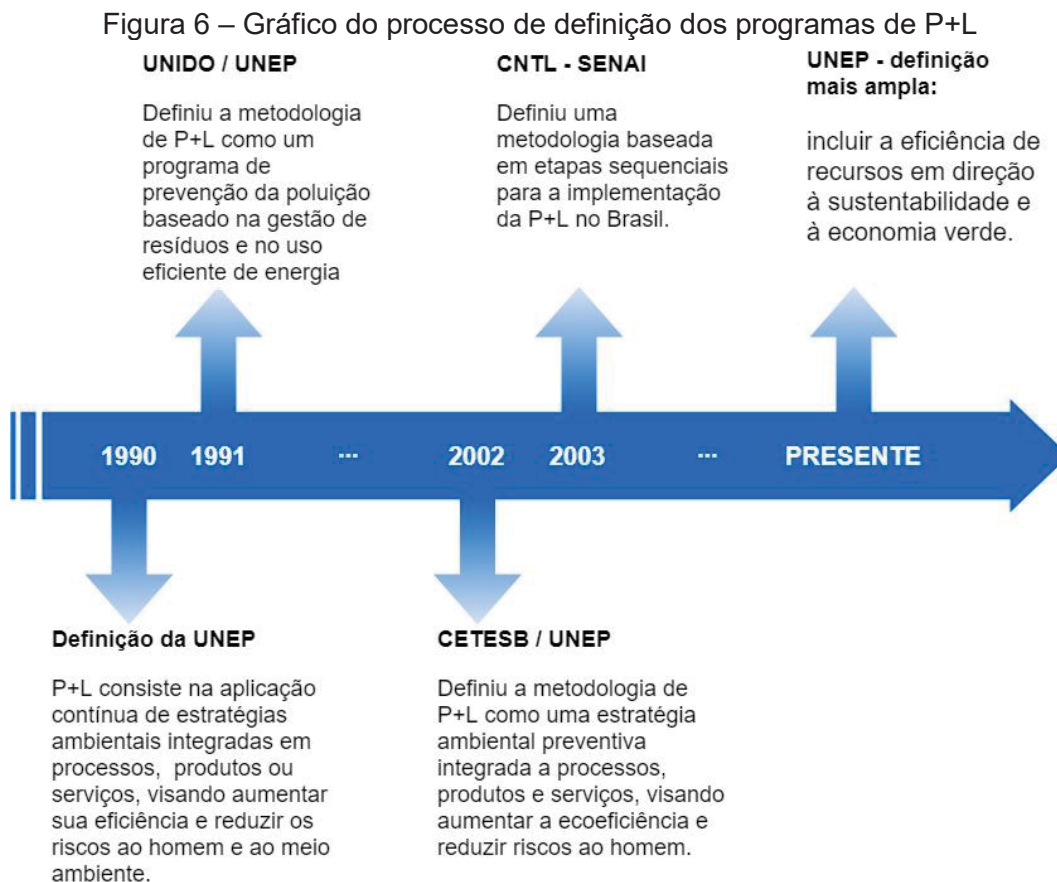
O Programa das Nações Unidas para o meio ambiente/ Desenvolvimento Industrial das Nações Unidas – PNUMA/UNIDO, adota o programa Projeto Ecológico para Tecnologias Ambientais Integradas que visa contribuir com a melhoria do meio ambiente, fortalecendo economicamente a indústria através da Prevenção da Poluição.

Para o Centro Nacional de Tecnologias Limpas - CNTL (2003), a P+L pode ser adotada em qualquer setor da atividade econômica, tanto para produtos como para serviços, constituindo-se numa análise técnica, econômica e ambiental detalhada do processo produtivo, procurando oportunidades para melhorar a eficiência da empresa sem aumento dos custos, com benefícios ambientais e de

saúde ocupacional. A implementação de P+L pode incluir estratégia de design em todas as fases do processo, envolvendo todo o seu ciclo de vida (SILVA; MEDEIROS, 2006).

Por outro lado, a P+L se apresenta como uma “atividade de preservação ambiental, redução de consumo de energia ou de matérias-primas, na produção do mesmo produto” (ARGENTA, 2007, p.27).

A UNEP (1996) definiu o conceito de P+L como a aplicação contínua de uma estratégia ambiental integrada a processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência e reduzir os riscos para os seres humanos e o meio ambiente. Como mostrado na Figura 6, a seguir, o conceito da P+L vem se desenvolvendo em direção a uma definição mais holística. Indicados na mesma figura estão a contribuição da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Brasil (CETESB), o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. (SENAI).

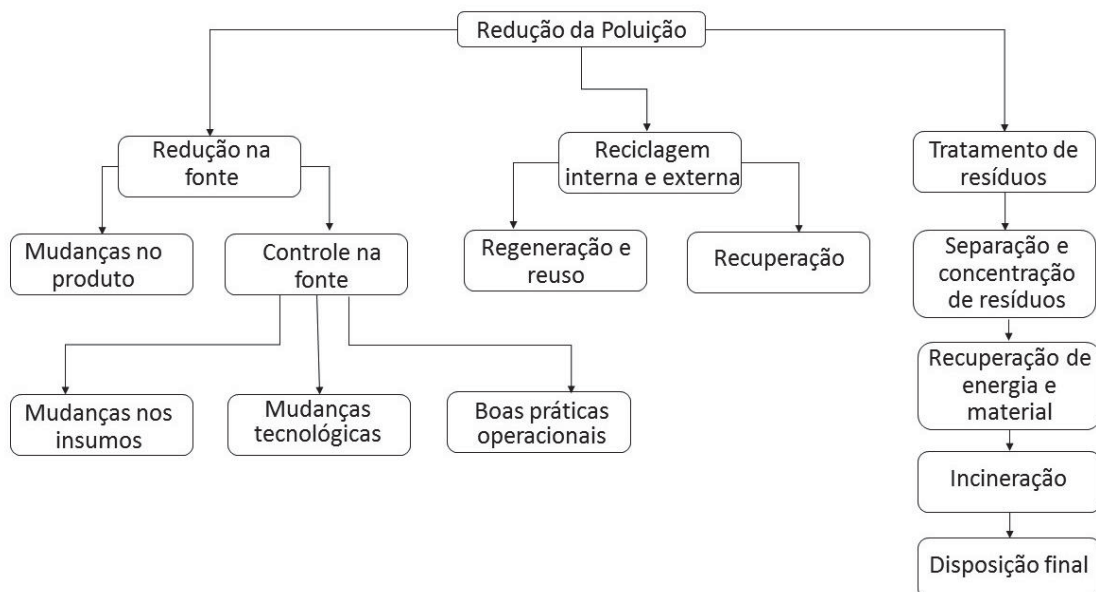


A evolução da definição de P+L ocorreu alinhada com o desenvolvimento de práticas ambientais, cujas origens foram voltadas para a destruição dos resíduos gerados, seja por disposição em aterros, tratamento ou reciclagem (KIPERSTOK et al., 2006), mas atualmente esse foco também evoluiu para a busca de consumo sustentável (KIPERSTOK et al., 2006), eficiência dos recursos e economia verde (UNEP, 1996).

A eliminação da poluição durante o processo de produção, e não ao seu final, é o princípio fundamental da P+L. Segundo o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS, 2005), os resíduos gerados tem um custo alto para a empresa, não somente porque foram comprados a preço de matéria-prima e consumiram insumos (água, energia), mas também pelo custo de armazenamento, disposição final, por multas ambientais ou por danos a reputação da empresa.

A P+L propõe mudanças, incentivando toda a empresa a pensar em diferentes propostas e formas mais econômicas ou inteligentes de produzir. Também visa, através da redução de resíduos e emissões, vincular processos de produção a objetivos ambientais. Diante disso, Kiperstok, Coelho e Torres (2002) propõem várias estratégias visando a P+L junto à prevenção e controle da poluição, como apresentado na Figura 7, a seguir.

Figura 7 - Organograma das ações para prevenção e controle da poluição



Fonte: traduzido de La Grega, Buckingham e Evans (2001).

As medidas propostas no nível da esquerda (redução na fonte) são as prioritárias, seguidas das propostas no nível do meio (reciclagem interna e externa); estas devem ser adotadas preferencialmente na implementação da P+L e somente as medidas do nível da direita (tratamento de resíduos) devem ser adotadas quando tecnicamente não é possível a aplicação dos outros níveis (CNTL, 2003).

Segundo o CNTL (2003, p.27) “deve ser dada prioridade a medidas que busquem eliminar ou minimizar resíduos, efluentes e emissões no processo produtivo onde são gerados”. No primeiro nível, mudanças no produto e controle na fonte são as medidas mais efetivas para controle da poluição e diminuição do problema ambiental, ainda que, apesar de mais complexa, permite uma redução permanente dos custos incorporando ganhos econômicos, ambientais e de saúde.

Enquanto o resíduo for visto como rejeito num processo produtivo, estará contribuindo para um impacto ambiental negativo. Para minimizar este impacto, o resíduo deve ser considerado como um subproduto para outro processo produtivo, vinculando-o assim a uma proposta de P+L. Segundo Kiperstok, Coelho e Torres (2002), os resíduos são matérias-primas que não foram transformadas em produtos comercializáveis ou em subprodutos a serem usados como insumos em outro processo produtivo. Portanto, um aspecto para ter em conta com o resíduo é não somente sua utilização, como também a não geração tanto como meta ambiental, quanto máxima utilização dos materiais e, conseqüentemente, maior produtividade (RAPÔSO, 2014). Vale ressaltar que, segundo Kiperstok, Coelho e Torres (2002), minimizar resíduos significa:

- aumentar a eficiência ecológica da empresa – transformando toda a matéria-prima em produto;
- beneficiar-se das vantagens comerciais – aumentando a competitividade;
- minimizar custos de retrabalho;
- reduzir o impacto ambiental do processo produtivo.

Segundo Silva Filho e Sicsú, (2003), todo resíduo deve ser considerado um produto de valor econômico negativo. Assim visto, a redução ou prevenção da geração de resíduos pode aumentar os benefícios financeiros da empresa.

A Rede Brasileira de Produção mais Limpa promove o Desenvolvimento Sustentável nas micro e pequenas empresas do país, difundindo o conceito de eco eficiência e a metodologia de P+L como instrumentos para aumentar a competitividade, a inovação e a responsabilidade ambiental no setor produtivo

brasileiro. P+L se faz através da realização de balanços de massa e de energia, para avaliar processos e produtos identificando oportunidades de melhoria, levando em conta aspectos técnicos, ambientais e econômicos (CEBDS, 2005).

A utilização da P+L como instrumento do Desenvolvimento Sustentável, proporciona às empresas maior competitividade ao ser associada com o respeito pelo meio ambiente (CAETANO; DEPIZZOL; REIS, 2017). A maneira tradicional de tratar os resíduos tem sido através do chamado fim do tubo, que procura utilizar tecnologias para o tratamento de resíduos no final do processo. A P+L propõe a redução de resíduos e emissões na fonte, unindo os processos produtivos com os objetivos ambientais, o que se reverte para benefícios econômicos para a empresa (NETO et al., 2015).

A P+L apresenta uma série de vantagens, se comparada com outras tecnologias como a de fim-de-tubo, tais como: eliminação dos desperdícios; minimização ou eliminação de matérias-primas e outros insumos impactantes para o meio ambiente; redução dos resíduos e emissões; redução dos custos de gerenciamento dos resíduos; minimização dos passivos ambientais; incremento na saúde e segurança no trabalho (CNTL, 2003). A implementação de programas de P+L apresenta as seguintes vantagens:

- Requer comprometimento da gerência, funcionários e níveis operacionais, focado em uma abordagem de melhoria contínua (CNTL, 2003);
- Inclui uma metodologia definida para a implementação (CNTL, 2003);
- Pode produzir benefícios econômicos, como redução de custos operacionais de materiais e processos (MASSOTE; SANTI, 2013);
- Pode melhorar a imagem da empresa (CEBDS, 2005);
- Pode ser implementado a partir de níveis de baixo custo (auto-fornecidos) a níveis de alto custo (avaliação financeira), dependendo dos casos e do escopo do programa (CNTL, 2003).

Outro aspecto relevante da P+L é que, durante sua implementação, é possível combiná-la com outros princípios, métodos, abordagens ou ferramentas ambientais, a fim de aumentar ainda mais a eficiência no uso de recursos e reduzir desperdícios. Uma das abordagens mais utilizadas é o *Ecodesign*, que será apresentado e discutido na próxima subseção.

### 3.5. Ecodesign

Segundo a definição oficial do *World Design Organization* (WDO, 2019), *Design* industrial é um processo estratégico de solução de problemas que impulsiona a inovação, constrói o sucesso do negócio e leva a uma melhor qualidade de vida por meio de produtos, sistemas, serviços e experiências inovadores. Em outras palavras, pode-se dizer que o *Design* se ocupa da criação, desenvolvimento e implantação de produtos industrializados, ou sistemas de produtos, com a análise dos fatores humanos, econômicos, tecnológicos e outros, visando a otimização dos recursos disponíveis, a preservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade do ser humano.

No Brasil, a definição de *Design* consta no projeto de lei Nº 1.965, do ano de 1996, que regulamenta a profissão de projetista no país. Segundo o Detec (2000), o design é uma atividade especializada de natureza técnico-científica, criativa e artística que busca criar objetos levando em consideração os aspectos ergonômicos, tecnológicos, econômicos, sociais, culturais e éticos para solucionar as necessidades humanas.

Outro conceito, que reforça os anteriores, está contido na cartilha da Confederação Nacional das Indústrias (CNI, 1998), que apresenta o *Design* como uma melhoria dos aspectos funcionais, ergonômicos e visuais dos produtos, de modo a atender às necessidades do consumidor, melhorando o conforto, a segurança e a satisfação dos usuários. Pode ser usado como uma ferramenta que permite adicionar valor aos produtos industrializados, levando à conquista de novos produtos e destacar-se no mercado, perante os seus concorrentes. Neste contexto, a cartilha apresenta o *Design* ambiental como sendo uma forma de reduzir o impacto causado pela produção em escala industrial sobre o meio ambiente, com a utilização de materiais alternativos e evitando o desperdício.

A história do *Design* tem início com a revolução industrial no final do século XVIII, numa proposta de unir a arte à indústria com o propósito de melhorar a qualidade de vida das pessoas (DETEC, 2000). Itália, Alemanha, França, Inglaterra, EUA, Japão e países escandinavos souberam utilizar o Design como elemento de diferenciação em seus produtos industrializados.

Além de estar ligado à área técnica, o *Design* é uma atividade cultural. Intelectuais de várias nacionalidades, em diferentes períodos da história,

contribuíram para grandes transformações no desenvolvimento do produto industrial. Desta maneira, o *Design* é uma atividade que envolve o setor cultural, industrial e comercial.

*Design* é um termo muito utilizado atualmente, principalmente na indústria gráfica. Desta forma, a utilização deste termo nem sempre condiz com o verdadeiro sentido ao qual é proposto. Atualmente, o significado do termo *Design* também implica o conceito de conforto, de adequação, de beleza, sendo muitas vezes confundido com estilo.

A função básica do profissional de *Design* é de adequar a produção da indústria ou do ser humano em geral a ele próprio, modelar toda a produção ao homem de forma que esse se sinta confortável ao utilizar os produtos resultantes, segundo Santos (2000), ou simplesmente elaborar o projeto do produto, como exposto pela CNI (1998). Pode-se dizer que o papel fundamental do projetista, ou *Designer* é desenvolver produtos realmente confortáveis, confiáveis, e fáceis de utilizar. Sendo assim, o projeto basicamente tenta significar algo, seja no campo da construção de mensagens visuais ou na construção de objetos.

Conforme exposto por Santos (2000), o estilo, muitas vezes confundido com o *Design*, pode ser considerado como um sistema dentro da moda, que adquire elementos de vários outros sistemas e os reinventa. A moda é muitas vezes vista como um importante elemento simbólico da condição humana, cujo elemento principal seria a constante mudança. Assim, com essa constante mudança, ocorre a revisitação de elementos históricos e intercâmbio com outros sistemas simbólicos que fornecem elementos para a moda. Os conceitos relativos ao *Design*, até aqui expostos, servem como base para uma melhor compreensão do conceito de *Ecodesign*, ou projeto para o meio ambiente, que é o tema principal desta subseção.

Segundo Fiksel (1996), no início dos anos 90, surgiram novos conceitos para o projeto, principalmente nos EUA e Europa, denominados *DfX (Design for X)*, onde o componente "X" representa o objetivo com a qual o projeto está relacionado, podendo ser a montagem (*DfA - Design for Assembly*), a desmontagem (*DfD - Design for Disassembly*), a reciclagem (*DfR - Design for Recycling*) ou o meio ambiente (*DfE - Design for Environment*).

Assim, o conceito de *Ecodesign* é recente, originando-se do conceito de projeto para o meio ambiente (*DfE - Design for Environment*). De acordo com Fiksel (1996) nos anos 90, as indústrias eletrônicas dos EUA foram as primeiras em se

preocupar por uma produção que impactasse o mínimo possível ao meio ambiente. Assim, a Associação Americana de Eletrônica (*American Electronics Association*) vigilou o desenvolvimento de projetos com preocupação ambiental e a criação de uma base conceitual. Deste então, o interesse pelo assunto tem crescido rapidamente e os termos "*Ecodesign*" e "*Design for Environment*" têm se tornado comuns.

Segundo Fiksel (1996), o design para o meio ambiente considera a abordagem do projeto nos aspectos ambientais, de saúde e segurança ao longo do ciclo de vida do processo do produto, tornando-o ecoeficiente.

Peneda e Frazão (1994) definem o *Ecodesign* como o desenvolvimento ambientalmente consciente do produto, onde há a inserção da dimensão ambiental em seu processo de desenvolvimento. Os atributos ambientais são considerados também como objetivos e oportunidades e orientam o processo de desenvolvimento, aliando-se a outros atributos, como eficiência, qualidade, funcionalidade, estética, custo e ergonomia. Os autores também citam a inclusão da avaliação dos aspectos ambientais em todas as fases de desenvolvimento de novos produtos, visando prevenir e reduzir os impactos negativos ao meio ambiente, principalmente quanto à geração de resíduos, além de satisfazer a necessidades dos consumidores com produtos e serviços ambientalmente mais adequados e integrar as relações sociais e culturais tanto dos consumidores como da região onde se está produzindo, contribuindo assim para assumir e difundir o conceito de Desenvolvimento Sustentável.

O desenvolvimento de produtos sustentáveis, na visão de Manzini e Vezzoli (2008), deve ser uma atividade que ligue o tecnicamente possível com o ecologicamente necessário, surgindo novas propostas que sejam social e culturalmente apreciáveis. Esta atividade pode ser articulada de diferentes formas, conforme a necessidade, como por exemplo: o *redesign* de produtos já existentes, melhorando a sua eficiência ambiental; o projeto de novos produtos ou serviços que substituam os atuais, o que requer uma aceitação e validação por parte dos consumidores; e o projeto de um novo mix de produtos e serviços, superando a inércia cultural e comportamental dos consumidores, oferecendo uma nova maneira, mais sustentável, de obter resultados. Outra forma proposta é desenvolver produtos que promovam novos critérios de avaliação da qualidade de um produto ou serviço, ou seja, dependem de inovações socioculturais, as quais os projetistas devem

interpretar e estimular as ideias socialmente aceitáveis, culturalmente atraentes e ambientalmente sustentáveis. Nesta última forma, existe mais uma formação de cultura voltada à preservação dos recursos ambientais do que uma relação direta com as técnicas produtivas (VENZKE, 2002).

O *Ecodesign* consiste em projetar ou redesenhar produtos da maneira mais ecológica possível. Representa a consolidação da cultura da racionalidade em uma empresa, que passa a gerar produtos concebidos à luz da ecoeficiência, com adoção de tecnologias limpas e prevenção da geração de resíduos. Portanto, o design ecológico garante que um produto seja proveniente do uso mais racional de energia, água e matérias-primas, podendo inclusive incluir estudos sobre biodegradação e/ou reciclagem de resíduos de processos e de produtos de produção no final de sua vida útil (GARCIA, 2007).

O *Ecodesign* ou design para o meio ambiente (DfE) propõe a integração dos aspectos ambientais no projeto de novos produtos. O *ecodesign* é um método que consiste em desenvolver e repensar produtos, processos ou serviços para respeitar o meio ambiente (NAVEIRO; PACHECO; MEDINA, 2005). Sua aplicação é dada por meio da escolha correta de materiais e processos de fabricação, e também projetando o uso e disposição final do produto, determinando, desta forma, seu impacto ambiental durante seu ciclo de vida (VENZKE, 2002; NAVEIRO; PACHECO; MEDINA, 2005).

O problema ambiental está fundamentalmente ligado à atividade econômica e à produção industrial geradoras de impactos de ordem ecológica e social. (GEORGESCU-ROEGEN, 1971). Venzke (2002) diz que um produto ecologicamente correto é aquele que usa matérias-primas naturais renováveis, obtidas de forma sustentável, e/ou o reaproveitamento e a reciclagem de matérias-primas sintéticas por processos tecnológicos limpos.

Uma das primeiras tentativas de abordar as considerações de projeto em relação ao meio ambiente foi desenvolvida por Victor Papanek em 1974, quando este autor classificou o desenvolvimento de novos produtos em uma estrutura de seis etapas, indicando que os possíveis impactos ambientais devem ser considerados em todas: materiais, produção, embalagem, acabamento, transporte e geração de resíduos (ASHTON; NAIME; HUPFFER, 2012).

Um dos aspectos abordados pelo *Ecodesign* consiste na busca pela ecoeficiência. O conceito de ecoeficiência, elaborado pelo Conselho Empresarial em

Desenvolvimento Sustentável (*Business Council on Sustainable Development - BCSD*), citado por Fiksel (1996), sugere uma importante ligação entre eficiência dos recursos (que leva a produtividade e lucratividade) e responsabilidade ambiental. Assim, a ecoeficiência tem também um sentido de melhoria econômica das empresas, pois eliminando resíduos e usando os recursos de forma mais coerente, empresas ecoeficientes podem reduzir custos e tornarem-se mais competitivas.

Além de obterem vantagens em novos mercados e aumentarem sua participação nos mercados existentes, por conta de padrões de desempenho ambiental que tornam-se cada vez mais comuns, principalmente em mercados europeus.

A indústria de móveis de madeira no Brasil também desenvolveu uma estrutura própria para o *Ecodesign*. Um exemplo é o guia para a introdução de parâmetros ambientais em projetos de móveis de madeira, desenvolvido na Universidade de Minas Gerais, em 2010. Os parâmetros, apresentados no Quadro 6, foram desenvolvidos especificamente para a indústria de móveis de madeira no Brasil.

Quadro 6 - Parâmetros ambientais para projetos de móveis de madeira

<b>Categoria</b>	<b>Estratégias relacionadas</b>
Reduzir	Reduzir o consumo de matérias-primas, simplificar a estrutura dos móveis, repensar os processos de corte, reutilizar e reciclar resíduos, entre outros.
Facilitar	Projetar novos sistemas para facilitar a montagem do móvel com menos peças e menos ferramentas.
Aumentar a vida útil	Oferecer pacotes de manutenção para o mobiliário, visando aumentar sua vida útil.
Selecionar	Empregar espécies alternativas de madeira (incluindo compostos), oriundas de fontes certificadas.
Valorizar a diferença	Informar os clientes sobre o novo aspecto do mobiliário para destacar os esforços para se tornarem “verdes”

Fonte: Pêgo, Pereira e Carrasco (2012).

Todos os produtos possuem impactos ambientais, que podem ocorrer em qualquer fase do ciclo de vida: extração de matérias-primas, fabricação, distribuição, uso, descarte e fim de vida. Os impactos no ciclo de vida podem variar, de reduzidos a significativos e de curto a longo prazo e podem ocorrer a nível local, regional ou global. A inclusão de considerações ambientais desde o início do processo de

desenvolvimento de produtos é a maneira mais eficaz de introduzir mudanças que afetam positivamente seu perfil ambiental em todas as fases do ciclo de vida.

Levando em conta que o *designer* industrial é responsável pelo desenvolvimento de novos produtos ou pelo redesenho de produtos existentes, é importante incluir parâmetros ambientais em suas propostas e conhecer o conjunto de elementos que envolvem o produto como local de produção e consumo, a rede de fornecedores, o modo de produção, a logística, as matérias-primas disponíveis, a geração de resíduos, entre outros.

É comum encontrar na literatura que cerca de 80% dos impactos gerados por um produto são de responsabilidade das fases de projeto e desenvolvimento. Por isso, é importante dedicar os esforços durante a concepção e concepção dos novos produtos, com foco na redução dos impactos ambientais.

O *ecodesign* tem relação direta com a P+L, ao propor a redução dos impactos negativos do ciclo de vida dos produtos (MELO, 2002; GUTIERREZ et al., 2017). Escolhas de materiais, processos de manufatura, uso e descarte final projetados durante o desenvolvimento de um novo produto determinam qual será o impacto ambiental do produto durante o ciclo de vida (NAVEIRO; PACHECO; MEDINA, 2005; VENZKE, 2002; ROSSI et al., 2016). O projeto de produtos tendo em conta o descarte modifica os conceitos de *design*, produção, uso de recursos naturais e distribuição (PIOTTO, 2003; DALHAMMAR, 2016). O *Ecodesign* permite às empresas reduzir os impactos ambientais dos produtos, otimizar o consumo de materiais, diminuir a geração de resíduos e reduzir os custos de produção (VENZKE, 2002; GUTIERREZ et al, 2017).

### **3.6. Avaliação do ciclo de vida**

A globalização possibilitou ao consumidor a obtenção de produtos e de serviços de praticamente todas as partes do globo. O ambiente de negócios no mercado altamente competitivo atual transforma a seleção de mercadorias em uma questão econômica, em que a análise de custo-benefício e o desconto por volume estão entre as ferramentas de tomada de decisão mais popularmente usadas. Os consumidores querem maior qualidade, entrega mais rápida e produtos adaptados às necessidades a um custo total menor (MONCZKA et al, 2015). No ambiente de negócios ecologicamente correto, essa seleção não mais se baseia apenas nesses fatores. Independentemente do fato de ainda existirem empresas que acreditam que

quanto mais ecologicamente corretas, menos competitivas elas se tornam (GIUNIPERO; HOOKERB; DENSLOWC, 2012), cada vez mais empresas e serviços estão considerando os impactos ambientais das compras.

No entanto, a questão da Sustentabilidade nas compras não é uma tarefa fácil quando há falta de informações sobre os impactos ambientais dos produtos a serem comprados. Além disso, o mercado de produtos ambientalmente corretos é assimétrico em relação à informação, dificultando a identificação do desempenho ambiental antes da compra (HEINZLE; WÜSTENHAGEN, 2012).

Uma maneira de diminuir tais assimetrias é usar rótulos ecológicos. O exemplo mais comum é o uso de rótulos de eficiência energética em eletrodomésticos. O rótulo de eficiência energética apresenta uma base de comparação para os diferentes aparelhos, dando aos clientes a oportunidade de escolher aquele que lhes oferece potenciais economias. Rótulos de eficiência energética fazem sentido para os eletrodomésticos, já que seu consumo de energia é principalmente o maior impacto ambiental. Mas e os outros bens que não precisam de energia para servir ao seu propósito? E quanto a outros tipos de impactos ambientais?

No mercado atual, existem vários rótulos ecológicos que demonstram os impactos ambientais dos bens apresentados. Eles podem variar de reivindicações próprias a esquemas de terceiros. Um dos padrões mais aceitos é o da ISO, cujas normas da série ISO 14000 envolvem diferentes padrões normativos que têm profundas consequências públicas e ambientais (KRUT; GLECKMAN, 2013). Diferentes tipos de rótulos ecológicos na série ISO 14000 são mostrados no Quadro 7.

O rótulo ecológico Tipo 3 requer uma avaliação “do berço ao túmulo” e a transmissão de informações científicas abrangentes, pelo que é utilizada uma abordagem de ACV para quantificar os impactos. A ACV é um método estruturado, abrangente e internacionalmente padronizado que quantifica todas as emissões e recursos relevantes consumidos, bem como os impactos ambientais e de saúde associados (EUROPEAN COMMISSION, 2010).

Quadro 7 – Rótulos ecológicos apresentados pela série ISO 14000.

Tipo	Características	Norma
Tipo 1	Concedido e monitorado por uma terceira parte independente, como o governo ou instituições reconhecidas internacionalmente	ISO 14024
Tipo 2	Auto declarações ou afirmações espontâneas feitas pelos fornecedores ou pelos fabricantes, sem avaliação de terceiros e sem uso de critérios pré-estabelecidos.	ISO 14021
Tipo 3	Também são verificados por terceiros e consideram a avaliação de todo o ciclo de vida do produto, também chamada avaliação "do berço ao túmulo". Não possuem padronização de parâmetro para alcançar, porém são os mais sofisticados, proporcionando as dimensões exatas dos impactos ambientais.	ISO 14025

Fonte: Moura (2013).

Infelizmente, poucos produtos adotaram as declarações ambientais e a rotulagem ecológica como parte de suas estratégias. No Brasil, apesar dos estágios relativamente iniciais da pesquisa de ACV, há esforços claros para aumentar seu uso. O Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV) tem como objetivo endireitar a metodologia e sensibilizar o setor privado e público sobre a perspectiva do ciclo de vida (SAMPAIO, 2015). Quanto ao *framework*, o Brasil desenvolveu uma norma própria, a NBR ISO 14025 (ABNT, 2015), para facilitar o uso deste método de avaliação.

A ACV é uma técnica de avaliação dos aspectos ambientais e os impactos potenciais associados a produto, processo o serviço e consta de quatro componentes: definição de objetivos; análise de inventario; avaliação de impacto; interpretação. Com esta técnica é possível decidir entre duas ou mais alternativas de produto, processo ou serviço, qual tem menor impacto ambiental (ABNT, 2006).

Para aplicação dos conceitos de Sustentabilidade, é necessário levar em conta o processo de fabricação do produto avaliado, para isso a seção seguinte apresenta o processo para produção de móveis de madeira e a análise de resíduos que são o ponto de partida da P+L.



## **4 PROCESSO PRODUTIVO DE MÓVEIS DE MADEIRA**

Essa seção apresenta o processo produtivo dos móveis de madeira em geral, assim como o processo produtivo da empresa estudo de caso, os resíduos gerados no processo de produção e o processo de colagem.

### **4.1 Perfil das empresas de móveis de madeira no Brasil**

Os impactos ambientais de bens como móveis foram pouco relatados no Brasil. Pesquisa realizada por Rapôso (2014) indica uma quantidade relativamente pequena de pesquisas relacionadas a móveis e sustentabilidade no Brasil: em uma pesquisa bibliográfica realizada entre 2000-2012, foram encontradas apenas 47 publicações: 9 teses e 38 dissertações. Menos de 11% eram publicações internacionais de pesquisa. A produção de móveis chegou a quase 430 milhões de mercadorias em 2015, com um valor de R\$ 51,5 bilhões (US \$ 16,54 bilhões), empregando cerca de 274,5 mil pessoas (GUINSKI, 2016). Apesar do tamanho desse mercado, a pesquisa no campo é relativamente pequena, e há uma necessidade crescente de considerar os fatores ambientais para avaliar a melhor decisão que atenda aos requisitos econômicos e ambientais.

A indústria de móveis no Brasil tem como característica principal a aglomeração de processos de produção, a utilização de matérias-primas orgânicas e o uso intensivo de mão de obra, tendo como resultado uma gama muito grande de produtos finais (GORINI, 1998). Segundo a Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário (ABIMÓVEL, 2016), essa tendência continua e afirma que o setor está caracterizado pela forte fragmentação, diversidade tecnológica e verticalização.

As empresas dedicadas à fabricação de móveis de eucalipto, além do uso de madeira, utilizam outros tipos de materiais. Segundo o estudo denominado “estudo de mercado SEBRAE” realizado em 2017, o uso desses materiais é distribuído da seguinte forma: madeira (84,5% ), metal (8,8%) e outros. No entanto, apesar de combinar a madeira com outros materiais, este processo de produção do móvel é verticalizado, ou seja, todo o processo de fabricação é concentrado em uma única fábrica (DEPEC, 2017).

Para a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI; UNICAMP, 2009) a indústria brasileira de móveis tem uma estrutura produtiva caracterizada pela predominância das empresas de pequeno porte. Quase todas são empresas

familiares, com recursos limitados tanto gerencial quanto financeiramente, apresentando grandes dificuldades para se apropriar das vantagens competitivas.

Segundo o Departamento de pesquisas e estudos econômicos do Bradesco (DEPEC, 2017), o setor depende do emprego, do nível de renda da população e da expansão da construção civil. A demanda de reposição influencia a produção de móveis. No Brasil, a troca de móveis é baixa comparada com outros países.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) classifica o tamanho das empresas de acordo com o número de funcionários permanentes, sendo estas: microempresa (menos de 19 empregados), pequenas empresas (entre 20 e 99 empregados), média empresa (entre 100 e 499 funcionários) e grande empresa (mais de 500 empregados). Tal distribuição dá uma perspectiva sobre o setor de móveis de madeira no Brasil. Pesquisa desenvolvida no Estado do Rio de Janeiro em 2015 caracterizou a distribuição das indústrias moveleiras como sendo 70,8% microempresas, 25,8% pequenas empresas e 3,4% médias empresas, sendo considerada como representativa da distribuição das empresas moveleiras no Brasil. (FIRJAN, 2015).

#### **4.2 Tipos de produtos**

A produção de móveis de madeira abrange uma série de produtos que incluem duas grandes categorias: móveis residenciais (67,7%) e móveis para escritório (16,3%) (SEBRAE, 2017); com uma ampla gama compreendendo quartos, salas de jantar, armários, camas de madeira ou bases de colchão, mesas, estantes, cadeiras e mesas.

Para autores como Gorini (1998), Rosa et al. (2007) e Ferreira, João e Godoy (2008), ressaltados também por Rapôso (2014), esta divisão foi feita em quatro critérios: 1) tipo de material predominante, subdividindo-se em móveis de madeira maciça (nativa ou de madeira plantada) e/ou de painéis de madeira reconstituída, metal, plástico e estofados; 2) uso ao qual se destina, como móveis residenciais (ou de uso doméstico), móveis para escritório e móveis institucionais (que se subdividem em uma variedade de subprodutos, como móveis escolares, médico-hospitalares, de lazer, para restaurantes, hotéis e similares, etc.); 3) forma organizacional da produção, seriada ou sob medida/encomenda; 4) design utilizado, que varia entre torneado e/ou retilíneo.

O DEPEC (2017) faz a subdivisão em cinco categorias: 1) Móveis retilíneos seriados, sem detalhes sofisticados, utilizando madeira industrializada como aglomerado e MDF; 2) Móveis retilíneos sob encomenda os quais são feitos para o mercado doméstico, nas marcenarias de acordo com as medidas fornecidas pelos clientes; 3) Móveis torneados: os quais tem maior nível no detalhe e qualidade, utilizando madeira maciça, seja de floresta nativa ou de madeira plantada; 4) Móveis de metal: são de aço tubular, e podem ser combinados com outras matérias-primas, como madeira, vidro ou plástico; 5) Móveis para escritório, que são considerados mais complexos, pois precisam atender a fatores ergonômicos específicos.

As características do processo produtivo podem variar de acordo com o produto. Seguindo a classificação apresentada no parágrafo anterior, pode-se dizer que os móveis retilíneos seriados são os que possuem a produção mais simples, com poucas etapas e sem estoques, ou contrário dos móveis torneados e dos móveis para escritório, cujo processo de produção é mais complexo, e normalmente inclui marcenaria, metalurgia, tapeçaria, entre outros (DEPEC, 2017).

Seja qual for o produto ou materiais utilizados para fabricação de móveis, antes de iniciar o processo de produção, a empresa deve definir o projeto a ser utilizado, pois isso determinará o dimensionamento das peças. No caso desta tese, o material estudado é a madeira de eucalipto.

#### **4.3 Processo produtivo móveis de madeira**

Na fabricação de móveis com madeira maciça, deve-se assegurar que a madeira seja seca, com um teor de umidade entre 10% e 15%. Por esse motivo, o primeiro passo no processo de produção é a secagem da madeira, que pode ser feita ao ar livre ou uma combinação de ar livre e estufa. Uma vez que a madeira está seca, é dada continuidade ao dimensionamento das peças, utilizando máquinas para dar o comprimento e espessura desejados às peças, e também para deixar faces paralelas e arestas em 90 graus. Depois, o desenho é feito com ajuda de modelos, e então é feito o corte, usando copiadoras ou serras que permitem seccionar a peça da forma determinada. O processo continua com a perfuração, se necessário, com furadeira ou máquinas para esse fim. Posteriormente, é passado para a montagem, para o qual são usadas colas ou fixadores, como cavilhas ou parafusos de madeira e depois segue para o polimento, onde a superfície está preparada para finalizá-lo. O acabamento é continuado através da aplicação de tintas, lacas ou vernizes. Após

esse processo, o produto é passado para a embalagem, etapa feita especialmente para garantir a proteção do produto que, finalmente, é levado para a distribuição. Este processo é mostrado no diagrama de blocos na Figura 8, a seguir.

Figura 8 - Processo produtivo genérico de indústrias de móveis de madeira



Fonte: o autor.

#### 4.3.1 Processo produtivo empresa caso: Letto móveis

A Letto Móveis desenvolve produtos para mobiliário, feitos de madeira de eucalipto, com matérias-primas da região, instalações próximas à cidade de Salvador. É uma empresa de porte médio, com mais de 20 anos de experiência na fabricação desses produtos, possui maquinário característico do processo de produção de madeira e interesse em desenvolver produtos mais amigáveis com o meio ambiente. Baseada nessas características, esta foi a empresa adotada para a realização do estudo de caso desta pesquisa.

Para a fabricação de móveis, a empresa estudada utiliza madeira de eucalipto seca, fornecida em tábuas, com umidade em equilíbrio com a temperatura e umidade de Salvador em torno de 14%. Para melhor aproveitamento da matéria-prima, a empresa fabrica suas próprias placas de madeira. Isto é conseguido

cortando as tábuas em ripas de dimensões menores, que são então coladas em conjunto para gerar uma tábua maior. O produto final desse procedimento é conhecido como madeira laminada colada. Utilizando a técnica de madeira colada, várias vantagens são obtidas: peças pequenas e até defeituosas podem ser usadas, tábuas de maiores dimensões são obtidas, maior estabilidade dimensional é alcançada e o desperdício é reduzido.

Na empresa estudo de caso, é utilizado híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*, com umidade em torno de 14% fornecida por um fornecedor do sul do Estado da Bahia. A madeira é entregue em tábuas com espessuras de 23 e 32 mm, com largura entre 15 e 20 cm e comprimentos de 2 m a 4,50 m. A empresa utiliza as dimensões disponíveis do fornecedor.

O adesivo utilizado é Multibond EZ-1. Este é um adesivo de emulsão mono-componente de "crosslinking" de polivinil acetato (PVA), pré-catalisado. Recomendado para colagem de madeira em prensas de alta frequência, quentes e frias. É um adesivo de secagem rápida, com alta porcentagem de sólidos (47-50%), viscosidade estável (3.000-4.000 cps) e pH entre 2.0 e 3.0. Permite aderência resistente à umidade de acordo com a norma DIN EN 204 D3, com uma linha de cola colorida transparente.

Embora a cadeia produtiva das empresas de fabricação de móveis de madeira seja essencialmente a mesma, cada empresa possui características e elementos próprios. No caso da empresa estudada, o processo de secagem não é realizado porque a matéria-prima já é adquirida nas condições mencionadas acima.

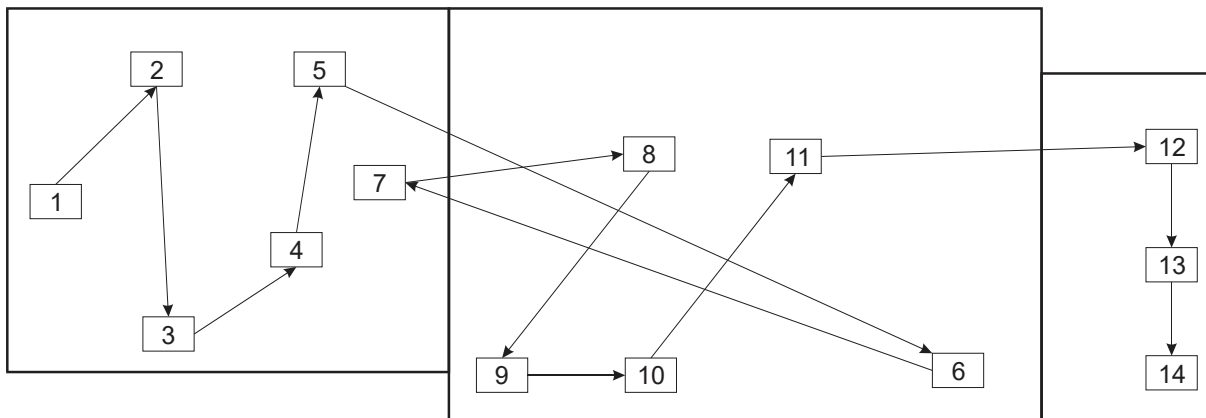
As tábuas são cortadas em ripas de 20 mm ou 30 mm e depois coladas com cola PVA Multibond. Aqui, o uso de material de madeira é perto do 85% e tenta alcançar o desperdício "zero"; as peças que sobram no processo são usadas novamente e coladas para gerar estoque de matéria-prima para futuros projetos.

O processo se inicia com o corte que dá o comprimento previsto para as tábuas, depois desempena para ir ao corte múltiplo, que converte a placa em ripas, que por sua vez passam para uma máquina que as esquadra e dá espessura às peças, para obtenção de sua dimensão final. Sobre as peças é aplicada a cola e depois são conduzidas para a prensa, onde permanecem por 90 minutos para colagem. Após esse processo é necessário esperar 24 horas para que eles possam "curar" a cola, e então são lixadas e cortadas para o projeto, ou também podem ser

copiadas - processo que consiste em fazer cópias de peças de um modelo em uma máquina copiadora.

Outra operação que a peça pode ter é a perfuração. Depois as peças são polidas e montadas. Posteriormente, são submetidas ao processo de pintura ou aplicação de outros acabamentos, para o qual há cabines especiais e espaço de armazenamento. O mobiliário é encaminhado para acabamento fino e embalado para ser armazenado ou despachado. Este processo descreve as etapas de produção da empresa Letto. A Figura 9 mostra, por meio do diagrama de blocos, a distribuição espacial das máquinas (*layout*) na área de produção da empresa.

Figura 9 – Diagrama do proceso produtivo de móveis da empresa Letto.



1 Armazenagem	6 Colagem	11 Montagem
2 Destopar	7 Planeadora	12 Acabamento
3 Desempeno	8 Serra fita	13 Embalagem
4 Serra múltipla	9 Lixadeira	14 Expedição
5 Quatro fases	10 Furacão	

Fonte: o autor.

#### 4.4 Geração de resíduos

A fabricação de móveis gera resíduos sólidos de diferentes naturezas e quantidades, assim como emissões atmosféricas e efluentes líquidos em menor escala, mas todos eles causam impactos ambientais (CASSILHA et al., 2004). Requisitos ambientais no ramo moveleiro ainda são pouco inseridos no desenvolvimento de produtos ou nas decisões do processo de produção. Segundo a visão das empresas, as práticas ambientais representam custos ligados a produção (AZEVEDO; NOLASCO, 2009).

Segundo Raposo, Kiperstok e César (2011), as barreiras econômicas observadas pelas indústrias moveleiras são inexistentes, toda vez que a implementação do P+L permite otimizar o uso das matérias-primas, como a madeira. Além disso, diminuir a geração de resíduos melhora a eficiência da empresa tendo como base a Sustentabilidade. Segundo Gomes et al. (2015), as empresas ambientalmente responsáveis são cada vez mais valorizadas pelos clientes.

Durante o ciclo de fabricação de produtos de madeira, os resíduos são gerados a partir do volume inicial de matéria-prima que não é totalmente utilizado no processo de fabricação. Os resíduos, quando descartados, geram custos relacionados a mão de obra, infraestrutura, transporte e armazenamento, os quais não contribuem com nenhum valor para a empresa (NOLASCO; ULIANA, 2014).

No caso do eucalipto, o uso adequado de resíduos levou ao desenvolvimento de diferentes pesquisas voltadas especialmente para a produção de aglomerados e madeira laminada colada (SCHNEIDER et al., 2003; TEIXEIRA; CÉSAR, 2006; FRANCO; SOUZA; OLIVEIRA, 2010; PEREIRA; COSTA, 2010; BOA et al., 2014). Nesses casos, o melhor uso é feito da matéria-prima que tem sido chamada como resíduo, porque não é mais possível usá-la em peças grandes e medidas uniformes em móveis de madeira.

#### **4.4.1 Colagem da madeira**

Para obter melhor aproveitamento da madeira na produção de móveis, o processo de colagem é utilizado para reduzir o desperdício, pois pode tirar proveito de um grande número de pequenos pedaços, até mesmo os que contém defeitos, para gerar um painel laminado que pode ser utilizado na fabricação de móveis ou outros produtos. O sucesso dos produtos à base de madeira colada está relacionado ao tipo de adesivo utilizado, que é responsável por garantir resistência, estabilidade e durabilidade, características diretamente relacionadas às propriedades da madeira utilizada.

Com a colagem da madeira, é possível obter um material homogêneo com boa estabilidade dimensional, desde que adotadas as tecnologias de processamento adequadas (MOTTA et al., 2012). Segundo a *American Society for Testing and Materials*, o adesivo é uma substância capaz de unir materiais através do contato entre suas superfícies. As condições físicas e químicas da superfície, durante a aderência são relevantes para o desempenho satisfatório, já que o adesivo líquido

tem de umedecer e ficar distribuído livremente nas superfícies de forma que o contato entre as partes seja estabelecido (ASTM, 1994).

No caso da utilização de resíduos de madeira de eucalipto na indústria de móveis, tem havido várias investigações (PEREIRA; CARVALHO; PINTO, 2010), alguns visando o desenvolvimento de chapas a partir de pequenos pedaços colados com diferentes resultados estéticos e funcionais. Outras investigações enfocam a verificação da resistência de união em adesivos (CRESSONI, 2011; SILVA, 2013; ALVES, 2012), fornecendo informações para o uso de resíduos de madeira de eucalipto.

A preocupação com o aproveitamento de resíduos oriundos do processo produtivo, analisada desde as etapas de projeto, fazem parte da filosofia da Ecologia Industrial, procurando otimizar o emprego de resíduos de madeira, aproveitando ao máximo o potencial dessas peças para movelaria.

## 5 MÉTODO DE PESQUISA

Nesta seção são apresentados os conceitos e metodologias utilizados para a realização do estudo de caso de uma cadeira em madeira de eucalipto realizada pela empresa objeto de estudo desta pesquisa. Esses conceitos foram concentrados nos princípios de *ecodesign*, análise de P+L e ACV, além de atividades experimentais para avaliar a resistência de peças constituídas de madeira de eucalipto colada.

### 5.1 Definição e caracterização da cadeira de madeira de eucalipto

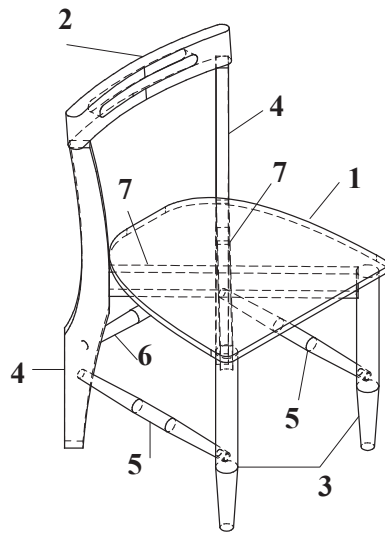
O estudo foi realizado na fábrica de móveis de madeira Letto Móveis, localizada na região metropolitana de Salvador, Bahia, Brasil. A empresa possui 22 funcionários permanentes. De acordo com o critério do IBGE, apresentado no item 4.1 e embasado no número de funcionários, e com a Lei Complementar 123 (BRASIL, 2006), referente à renda anual média da empresa, a fábrica citada pode ser classificada como empresa de porte médio.

A fábrica produz mobiliário para residências, escritórios e espaços comerciais, como mesas, escrivaninhas e cadeiras. Essa empresa tem ainda a capacidade para produzir uma variedade de outros produtos, pois foi realizado investimento em máquinas especializadas que permitem ampliar a gama de produtos personalizados em madeira.

No momento da realização deste estudo, o principal produto fabricado pela empresa consistia numa cadeira de madeira de eucalipto (modelo L1), projetada para ser utilizada em praças de alimentação de *shopping centers*. O volume de produção dessa cadeira representa mais de 60% da produção diária de móveis da fábrica. Devido à sua relevância no setor comercial, esse foi o produto selecionado como objeto de análise para estudo. A Figura 10, a seguir, representa a cadeira mencionada e identifica as peças componentes.

A cadeira selecionada, assim como outros móveis confeccionados pela empresa, são produzidos com madeira de *Eucalyptus urograndis*, devido à disponibilidade pelos fornecedores locais.

Figura 10 - Cadeira de madeira de eucalipto e seus componentes.



## LEGENDA:


- 1- Assento
- 2- Encosto
- 3- Pé dianteiro (dois)
- 4- Pé traseiro (dois)
- 5- Trava lateral (duas)
- 6- Trava traseira
- 7- Barra X (duas partes)

Fonte: o autor.

As peças de *Eucalyptus urograndis* empregadas na produção da cadeira L1 têm dimensões de 20 mm x 30 mm x 2000 mm, fornecida pelo distribuidor em condições específicas de umidade, em torno de 14% ao comprovar com o medidor de umidade da madeira, para a confecção dos móveis. O processo geral de produção da cadeira se baseia na divisão da chapa em peças menores retangulares, com dimensões próximas às dimensões finais das peças componentes da cadeira (Figura 10). Para a confecção das peças do encosto e do assento, a madeira utilizada é cortada em segmentos menores, que são colados e prensados, formando tábuas ou blocos que são posteriormente cortados e esculpido até obter o formato final. Para os processos de produção das diferentes partes da cadeira L1 são utilizadas várias máquinas distintas, conforme a produção das peças específicas. As máquinas envolvidas em cada etapa do processo, assim como o respectivo resíduo gerado, estão listadas no Quadro 8.










Quadro 8 - Lista de equipamentos utilizados na produção da cadeira L1.

(continua)

Processo de produção de móveis de madeira sólida e geração de resíduos		
Processo	Equipamento	Tipo de resíduo
1 ajustar o comprimento da peça	serra circular tipo destopadeira 	pó de serra, pontas (segmentos sólidos de madeira)





Quadro 8 - Lista de equipamentos utilizados na produção da cadeira L1.

(continuação)

Processo de produção de móveis de madeira sólida e geração de resíduos			
Processo	Equipamento		Tipo de resíduo
2	desempenar	desempenadeira 	maravalha
3	cortar (múltiplo)	serra múltipla 	pó de serra, ripas
4	esquadrar	esquadrejadeira 	maravalha
5	aplicar cola	mesa 	cola e recipiente da cola
6	prensar	prensa 	cola
7	lixar	lixadeira 	pó, lixas
8	cortar para ajuste	serra fita 	pó de serra, aparas de madeira sólida
9	copiar	copiadora 	pó de serra, lenha
10	perfurar	furadeira vertical de coluna 	maravalha

Quadro 8 - Lista de equipamentos utilizados na produção da cadeira L1.

(conclusão)

Processo de produção de móveis de madeira sólida e geração de resíduos		
Processo	Equipamento	Tipo de resíduo
11	polir lixadeira	 pó
12	encaixar as peças mesa com prensa mecânica e manual	 -
13	pintar cabine de pintura	 vapor de tinta e lata da tinta
14	embalar mesa	 plástico, papel, cinta metálica, cinta plástica

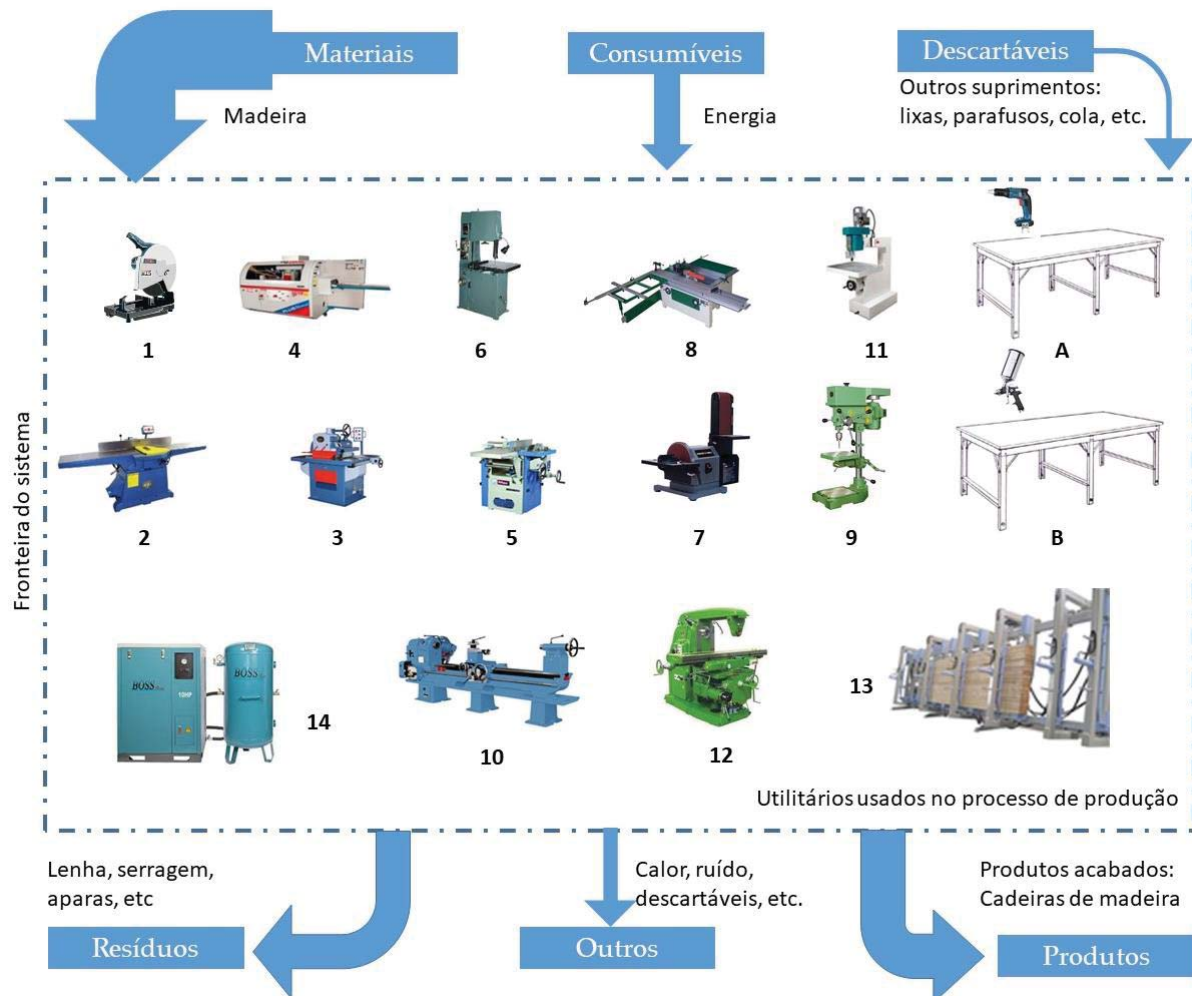
Fonte: o autor.

No final do processo de produção da cadeira, duas áreas de trabalho são utilizadas para as atividades de montagem e acabamento do produto. A Figura 11, a seguir, apresenta uma descrição geral desse processo. O tamanho das setas indica a contribuição relativa de cada etapa dentro do panorama do processo de produção.

As entradas identificadas nesse sistema foram: materiais, recursos consumíveis e descartáveis. As saídas identificadas foram os produtos, os resíduos de madeira e de outros materiais.

As medições foram realizadas em abril de 2016, assim como a coleta de dados na empresa. O equipamento utilizado para medição da massa das peças componentes da cadeira e dos resíduos gerados foi uma balança digital, modelo Mark L2102i, com capacidade para 2100 g e precisão de 0.01 g, com calibração automática. O controle do tempo gasto nas atividades de cada estação de trabalho foi efetuado utilizando um cronômetro.

Figura 11 – Processo de produção da cadeira e equipamentos utilizados para a fabricação da cadeira L1.



Legenda:

- |                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Serra circular tipo destopadeira | 8. Serra                        |
| 2. Desempenadeira                   | 9. Furadeira vertical de coluna |
| 3. Serra múltipla                   | 10. Torno                       |
| 4. Esquadrejadeira                  | 11. Fresadora                   |
| 5. Serra múltipla                   | 12. Copiadora                   |
| 6. Serra fita                       | 13. Prensa                      |
| 7. Lixadeira                        | 14. Compressor                  |

Fonte: traduzido de Gutierrez et al., 2017.

Com o intuito de obter os parâmetros de projeto para minimização de resíduos na produção de móveis de madeira, a partir do estudo de caso da cadeira

L1, foram realizadas análises baseadas na aplicação das metodologias de *Ecodesign*, P+L e ACV, conforme descrito nas subseções seguintes.

## **5.2 Aplicação de princípios do *Ecodesign* na cadeira modelo L1**

Nesta etapa, o estudo se concentra na redução das perdas de matéria-prima, levando em conta o processo produtivo e as características do produto e do material utilizado na cadeira modelo L1. Desta forma, buscou-se intervir no consumo de matéria-prima, na geração de resíduos e no consumo de energia. Para tal, foram elaboradas três propostas:

- revisão do projeto do produto (cadeira modelo L1), considerando a modulação dos componentes dentro das dimensões da matéria-prima utilizada;
- reavaliação dos materiais utilizados nos componentes, propondo alterações quando conveniente;
- redesenho das peças componentes da cadeira modelo L1, quando possível, a fim de reduzir o consumo de matéria-prima.

Antes da aplicação dos princípios de *Ecodesign*, por meio das propostas citadas, foi necessário acompanhar, na empresa, todo o processo produtivo da cadeira estudada. Esse acompanhamento foi necessário para reconhecer os parâmetros de projeto utilizados pela empresa no desenvolvimento de produtos, buscando determinar sua influência na geração de resíduos. Além disso, foi necessário também caracterizar os resíduos de madeira gerados no processo produtivo da fabricação de móveis de eucalipto, a partir da análise da cadeira selecionada.

Após o acompanhamento e avaliação do processo produtivo da cadeira, o estudo de *Ecodesign* se iniciou com a análise dos componentes da cadeira responsáveis pelos maiores índices de geração de resíduos. Essa análise permitiu identificar as possibilidades de aplicação das propostas citadas, eliminando, redesenhando ou propondo substituições das peças.

## **5.3 Análise de Produção mais Limpa da cadeira modelo L1 em estudo**

Para esta etapa, foi formada equipe de P+L, composta pelo gerente geral da empresa, pelo chefe da produção, o carpinteiro mais experiente da fábrica e dois consultores de P+L. Todos os membros dessa equipe receberam treinamento básico

sobre os princípios de P+L; e os objetivos, escopo e cronograma de trabalho foram definidos nesta etapa.

Foi seguida a metodologia definida pelo UNEP/UNIDO, adotada pelo Programa de P+L, desenvolvida pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL). Os resultados encontrados na análise de P+L foram convertidos em insumos utilizados na aplicação de parâmetros de *Ecodesign*, conforme proposto por Pêgo, Pereira e Carrasco (2012), visando identificar os ganhos ambientais para o estudo de caso da cadeira selecionada.

O estudo de caso focado nessa cadeira foi realizado por meio de uma abordagem analítica, ou seja, a partir da seleção e estudo de um exemplar da referida cadeira. Esta foi analisada detalhadamente ao longo de todo o seu processo de produção, incluindo a observação e avaliação de cada um de seus componentes. A opção por essa abordagem foi considerada mais adequada em relação à coleta de uma amostragem estatística de dados da fabricação do móvel, uma vez que o objetivo do estudo não consistia em observação de frequências ou tolerâncias, mas em identificar as oportunidades de melhorias em seus aspectos ambientais, por meio da aplicação da metodologia de P+L e do *Ecodesign*.

A análise do processo produtivo foi realizada por meio da observação direta da fabricação da cadeira, cujos registros permitiram a validação dos procedimentos. As medições dos pesos dos componentes da cadeira, assim como dos resíduos gerados na produção, foram conciliados utilizando o *software* Stan<sup>®</sup>, versão 2.5.1302.

A energia necessária (potência) para o funcionamento de cada equipamento utilizado no processamento das peças de madeira foi obtida diretamente das informações dos rótulos fornecidos pelos fabricantes, reproduzido para cada item utilizado na produção. O consumo desses equipamentos foi estimado por meio do produto do tempo de utilização pela potência do motor, considerando a eficiência informada para cada máquina. O processo de coleta de dados incluiu os seguintes procedimentos: limpeza e preparação das áreas de trabalho (equipamento e materiais); medição das condições iniciais (peso das peças antes de serem trabalhadas e potência dos equipamentos utilizados); observação direta e registro dos procedimentos de transformação das peças, realizada por trabalhador qualificado; separação e classificação dos resíduos gerados; pesagem do

componente em sua configuração final e dos resíduos gerados; e composição dos valores das pesagens.

A utilização da metodologia específica desenvolvida pelo CNTL (2003), para a implementação de programas de P+L, não possui caráter obrigatório. Entretanto, essa metodologia é composta por guia organizado e sequenciado, de fácil entendimento, que torna sua aplicação viável e adequada para implementação em micro e pequenas empresas de móveis de madeira. O emprego dessa metodologia visa encontrar oportunidades para redução da geração de resíduos e melhoria da eficiência no consumo de recursos, que podem ser abordadas em uma combinação de diferentes ferramentas, métodos ou abordagens. Essa metodologia é composta pelas seguintes etapas:

- etapa de planejamento e organização, na empresa selecionada, definindo o contexto organizacional, considerando o porte da empresa, o tipo de gestão e o número de funcionários, e diferenciando o nível administrativo da força de trabalho operativa;
- etapa de pré avaliação, na qual o produto é selecionado, considerando sua relevância no processo produtivo e nos aspectos chave do estudo, e geralmente é representado em fluxograma que lista detalhadamente todo o processo produtivo;
- etapa de avaliação, na qual é calculado o balanço de massa para cada fase do processo produtivo, por meio da quantificação de entradas e saídas geradas em cada processo, identificando as fontes e causas dos resíduos de recursos materiais, energia e água; nessa etapa também é realizada uma análise do fluxograma, discussão de ideias e um balanço de massa para identificar oportunidades de P+L;
- etapa final de estudo de viabilidade e implementação, na qual são implementadas modificações no produto, com o objetivo de reduzir os consumos de recursos materiais e de energia e, conseqüentemente, reduzir a geração dos respectivos resíduos no processo produtivo; nesta fase é proposto um novo projeto, considerando parâmetros de *Ecodesign*, e estas modificações no produto afetam diretamente sua produção, assim como a geração de resíduos e consumo de energia ao longo do processo.

## 5.4 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da cadeira modelo L1

Nesta etapa, foi feita a ACV, comparando o impacto ambiental da cadeira de madeira L1 com a nova cadeira proposta. ACV foi utilizada como um método de base científica para avaliar e comparar os dois tipos de cadeira citados, usando o banco de dados Ecoinvent 3.4, por se tratar de uma extensa biblioteca de inventários com valores de cargas ambientais (entradas e saídas de materiais, substâncias e energia) que podem ser associadas ao ciclo de vida de um grande número de produtos, processos, sistemas de energia, de transporte, de disposição de resíduos, entre outros.” Quanto aos métodos de comparação de avaliação, foram escolhidos o Midpoint e a Demanda de Energia Cumulativa do ILCD 2011, devido à sua diversificada caracterização.

A ACV realizada compreendeu as seguintes atividades:

- Revisão bibliográfica para estudo da matéria-prima e dos processos de produção;
- Coleta de dados para o inventário do ciclo de vida das cadeiras de madeira; Avaliação dos impactos do inventário do ciclo de vida das cadeiras, utilizando o método de análise do ILCD 2011 (*International Reference Life Cycle Data System*);
- Comparação dos resultados obtidos;
- Avaliação e discussão dos resultados.

Optou-se por uma abordagem que considere não apenas os valores de inventário disponíveis nas bases de dados existentes, mas também informações mais detalhadas, para maior aprofundamento do trabalho. Desta forma, foram considerados dados que refletissem uma realidade mais próxima ao Brasil, incluindo fatores como os tipos de materiais utilizados, distâncias efetivas das florestas plantadas, a matriz energética brasileira, entre outros fatores associados ao processo produtivo das cadeiras.

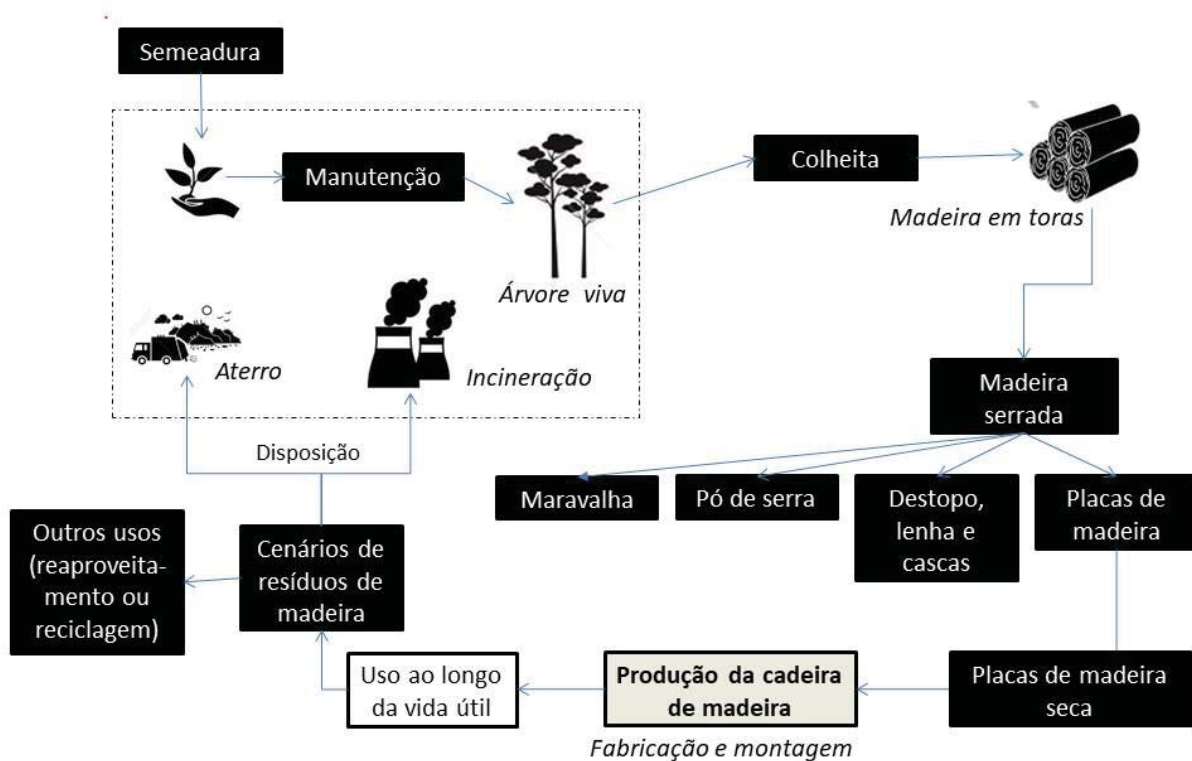
### 5.4.1 Limites do sistema

Com o intuito de fazer uma comparação entre as cadeiras abordadas, foi realizada a avaliação “do berço ao túmulo”, ou seja, da extração das matérias-primas até o momento em que estas são descartadas. O escopo incluiu a modelagem de todos os processos desde a semeadura, ocupação do solo (de antigas pastagens à

floresta), distâncias médias dos campos de eucalipto até o tratamento da madeira e secagem, da serraria à carpintaria, da carpintaria ao shopping e finalmente do shopping para o aterro municipal.

A Figura 12, a seguir, mostra o diagrama simplificado do ciclo de vida da cadeira de madeira (modelo L1).

Figura 12 – Diagrama simplificado do ciclo de vida da cadeira de madeira



Fonte: adaptado de Gutierrez et al. (2017).

#### 5.4.2 Unidade funcional

A unidade funcional foi escolhida do ponto de vista da utilidade e não das unidades produzidas ou do ponto de vista material, uma vez que não é recomendável fazer uma comparação direta entre meros produtos, mas comparar o serviço equivalente a que se destinam como uma unidade funcional. Portanto, a unidade funcional adotada neste estudo foi focada no tempo de serviço prestado pelos produtos até a próxima reforma da área onde são utilizados. Foi considerado um tempo de utilização das cadeiras de aproximadamente 10.000 horas, numa

praça de alimentação de um shopping center. Este tempo foi estimado considerando a utilização durante 9 horas por dia, em 360 dias, por aproximadamente 3 anos.

#### **5.4.3 Balanço de massa**

Um dos principais aspectos desta etapa do trabalho foi a coleta de dados para a realização da ACV. Esses dados foram coletados diretamente com o produtor da cadeira de madeira, extraídos do próprio processo produtivo.

Para minimização de imprecisões, foi utilizado o software Stan® para conciliar os valores do material das peças componentes da madeira, obtidas por meio de pesagem. Stan® é um *freeware* que ajuda a realizar a análise de fluxo de material com aplicação em gerenciamento de resíduos.

Neste ponto foram feitos os balanços de massa de cada peça e, ao final, o balanço de massa para a montagem da cadeira. Para cada peça tem-se os insumos e materiais que serão utilizados (madeira, cola, parafusos), as atividades com as diferentes saídas representadas em desperdício de madeira, e a peça final (ver Apêndice A).

#### **5.4.4 Método de Avaliação de Impacto**

Para ter um conjunto abrangente de impacto, o ponto médio do ILCD 2011 foi escolhido para ser o método de avaliação do potencial de efeito estufa, toxicidade humana, eutrofização, uso da terra, esgotamento de água entre outros, enquanto a Demanda Cumulativa de Energia (DEC) foi escolhida como método para relatar a categoria de impacto de energia. O SimaPro® 8.5.2.0, da PRé Consultants (Licença da Faculdade) foi o software especializado utilizado na Avaliação. A seleção deste método foi impulsionada pela estimativa de diferentes categorias de impacto, a fim de ter uma melhor compreensão das compensações entre os dois modelos de cadeira. Quanto à Pegada de Energia, a Demanda de Energia Cumulativa V1.10 foi escolhida para estimar a quantidade total de energia necessária para ambos os modelos.

#### **5.5 Processo de colagem**

Para testar o processo de colagem, foram realizados ensaios com a madeira de eucalipto colada com adesivo à base de acetato de polivinila (PVA). Estes ensaios foram realizados para avaliar a eficiência do processo de colagem das

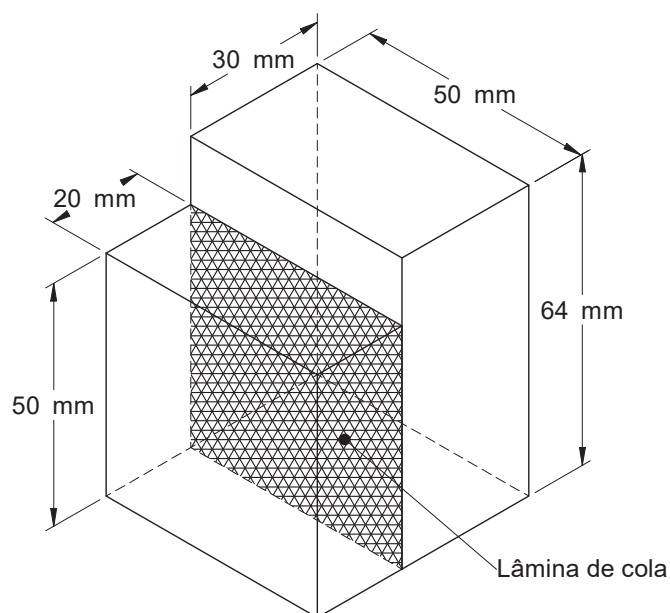
peças, uma vez que este é um procedimento cuja investigação é fundamental para orientar os estudos de *Ecodesign*, P+L e ACV.

Para este ensaio, foi utilizada a madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* com 14% de teor de umidade, proveniente de cultivos no sul do Estado da Bahia, fornecido por distribuidor da região metropolitana de Salvador. Os corpos de prova foram fabricados seguindo as recomendações do documento normativo brasileiro NBR7190 (ABNT, 1997). Os corpos de prova foram confeccionados visando testar três tipos de acabamento da superfície da madeira a ser colada e o tempo de prensagem das peças, dividido em 12 horas, 18 horas e 24 horas. Os tipos de acabamento relacionados neste estudo referem-se a superfícies apenas serradas (sem acabamento), lixadas com lixa de número 60 e lixadas com lixa de número 200. Para cada tipo de acabamento das superfícies coladas foram prensadas peças sob pressão de 9 MPa, nos três períodos de tempo mencionados.

Para obtenção dos corpos de prova, tábuas foram selecionadas aleatoriamente, de um lote de aproximadamente 12 m<sup>3</sup>. Destas tábuas foram retirados segmentos de madeira, sendo uma parte cortada com 23 mm de espessura e 55 mm de largura e a outra com 32 mm de espessura e 55 mm de largura. Estas peças foram posteriormente ajustadas para resultar nas dimensões finais de 20 mm e 30 mm de espessuras e 50 mm de largura, que correspondem às dimensões dos corpos de prova para ensaio de cisalhamento na lâmina de cola, conforme as especificações da norma NBR7190 (ABNT, 1997), como representado na Figura 13.

Levando em conta que a seleção das peças para a elaboração dos corpos de prova foi aleatória, a densidade da madeira pode variar conforme ocorre no processo produtivo dos móveis. Foram confeccionados 12 corpos de prova para cada tipo de acabamento superficial e tempo de prensagem, obtendo um total de 108 corpos de prova, conforme a Tabela 3.

Figura 13 - Dimensões corpo de prova segundo a norma NBR7190.



Fonte: o autor, embasado na NBR 7190 (1997).

Tabela 3 - Quantidade de corpos de prova por tipo de acabamento e tempo de prensagem

Número de Corpos de prova	Tipo de acabamento	Tempo de prensagem
12	Apenas serrado (sem lixamento)	12 horas
12	Apenas serrado (sem lixamento)	18 horas
12	Apenas serrado (sem lixamento)	24 horas
12	Lixa 60	12 horas
12	Lixa 60	18 horas
12	Lixa 60	24 horas
12	Lixa 200	12 horas
12	Lixa 200	18 horas
12	Lixa 200	24 horas

Fonte: o autor.

Foi adotado o adesivo mono componente de emulsão de acetato de polivinila (PVA) “crosslinking” (reticulável) pré-catalisado, chamado Multibond EZ-1, como um

adesivo recomendado para colagem de madeira em prensas de alta frequência a quente e frio, o que permite uma adesão resistente à umidade de acordo com o boletim técnico do fabricante do produto (FRANKLIN ADHESIVES & POLIMERS, S/D). Este adesivo, conforme o mesmo boletim, é de secagem rápida, tem uma linha de cola de coloração clara, bem como alta porcentagem de sólidos (47-50%), viscosidade estável (3.000-4.000 cps) e pH entre 2.0 e 3.0 (FRANKLIN ADHESIVES & POLIMERS, S/D).

Os corpos de prova foram prensados no mesmo dia para garantir a mesma temperatura ambiente e umidade relativa. Outras variáveis como quantidade de extrativos, posição da madeira no tronco, a densidade da madeira, outros tipos de adesivos, não foram o foco deste estudo devido às características da empresa fabricante dos móveis.

O comportamento dos corpos de prova foi avaliado pela análise da resistência ao cisalhamento na lâmina de cola paralelo às fibras da madeira segundo a norma ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997), conforme mostrado na Figura 14. O equipamento utilizado nos testes foi a máquina universal de ensaios INSTRON modelo 1000HDX-C4-G7C com capacidade de 1000KN, disponível no laboratório Timoshenko da Escola Politécnica da UFBA.

Figura 14 – Corpos de prova na prensa de ensaio.



a) Vista geral do corpo de prova na máquina de ensaio



b) Detalhe do corpo prova posicionado, antes do ensaio.



c) Detalhe do corpo de prova rompido, após o ensaio.

Fonte: o autor.

Aliada ao ensaio de cisalhamento da lâmina de cola, e com o intuito de complementar a análise, foi feita uma observação visual das porcentagens de falha

da madeira, baseado na norma D5266-99 – *Standard practice for estimating the percentage of wood failure in adhesive bonded joints* (ASTM, 2000). Essa norma descreve a técnica de medição das áreas de falha na madeira, que, segundo Abrahão et al. (2003), consiste numa avaliação subjetiva. Os percentuais de falha na madeira são mensurados com a ajuda de películas transparentes quadriculadas, com área delimitada em porcentagem. Neste estudo, a porcentagem de falha da madeira foi obtida visualmente através de películas transparentes quadradas divididas em 25 espaços de 10 mm por 10 mm, correspondendo cada espaço a 4% da superfície da área colada.

Para determinar a resistência ao cisalhamento e a porcentagem média de falha na madeira, cada conjunto de dados foi coletado e depois submetido à análise estatística. O delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado, no esquema fatorial (3 x 3), sendo o acabamento superficial das superfícies coladas com três níveis: lixa 200, lixa 60 e sem lixa, e o tempo de prensagem com três níveis: 12 horas, 18 horas e 24 horas, totalizando 9 tratamentos com 12 repetições cada. Os resultados foram submetidos à análise de variância ANOVA, para identificação de diferença significativa entre as variáveis propostas, e ao teste de Tukey, para comparação de médias. Todas as avaliações foram realizadas com o software estatístico Action Stat 3 a 95% de probabilidade.

## **5.6 Determinação dos parâmetros de projeto**

A determinação dos parâmetros de projeto partiu dos conceitos de ecologia industrial, P+L, *Ecodesign* e ACV, buscando o objetivo de desperdício zero. Esses conceitos, como evidenciado, foram aplicados a caso específico. Uma vez verificados os benefícios dos conceitos mencionados nos itens anteriores, e a maneira como eles podem ser trabalhados em conjunto para obter maior benefício, uma sequência de etapas foi estabelecida para ser usada tanto pelos fabricantes quanto pela academia, a fim de facilitar os procedimentos.

Foram tomadas as cinco categorias definidas por Pêgo, Pereira e Carrasco (2012), utilizadas por ela como parâmetros ambientais, que são: reduzir, facilitar, prolongar a vida útil, selecionar e valorizar / diferenciar. A ênfase foi colocada na matéria-prima, já que a proposta é feita a partir de madeira de *Eucalyptus urograndis*. Depois foram determinados os passos na proposta dos parâmetros de projeto para a fabricação de móveis de madeira.

O primeiro passo é evidenciar as características desse material que determina possibilidades de uso, assim como as dificuldades, já que essas delimitam o produto e o processo de produção. O segundo passo é a determinação do processo, e para isso se propõem usar tabelas a fim de inserir as informações do processo e as máquinas/ferramentas necessárias.

Com base nessas informações foram estabelecidos os passos a seguir, dando sequência aos conceitos básicos para proposta de parâmetros de projeto. Definiu-se, para aplicar em primeira instância, o conceito de P+L, recomendando o uso de tabelas que ajudem a coletar as informações necessárias do processo e dos resíduos. Uma linha foi preenchida em cada tabela apresentada, como exemplo para facilitar seu uso.

A partir das informações coletadas nas tabelas, sugere-se realizar o balanço de massa e aplicação de *Ecodesign* ao produto analisado, para o qual são fornecidas recomendações que orientam a elaboração de novas propostas de projeto com menor impacto ambiental. Por fim, é necessário avaliar a proposta do produto, repetindo o processo.

## 6 ANÁLISE DE RESULTADOS E PARÂMETROS DE PROJETO

Nesta seção se apresentam os resultados encontrados após realização do estudo de caso da cadeira em madeira de eucalipto (modelo L1). Os resultados estão relacionados à aplicação de princípios de *Ecodesign*, análise de P+L e ACV, além do ensaio de resistência ao cisalhamento de peças coladas de madeira de eucalipto. Após a realização do estudo de caso, são listados parâmetros de projeto para a produção de móveis de madeira de eucalipto.

### 6.1 Produção mais Limpa

Devido ao seu design, a produção da cadeira envolve a utilização da maioria dos equipamentos disponíveis na fábrica, permitindo conhecer o processo de fabricação, o consumo de matéria-prima e a geração de resíduos. O Quadro 9 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta as etapas de produção, indicando as entradas e saídas do sistema. Esse quadro descritivo destina-se a facilitar o reconhecimento de todos os procedimentos envolvidos, a fim de evitar a omissão de alguma etapa relevante.

Na primeira coluna estão enumeradas todas as operações de que precisa a cadeira; na segunda coluna estão os nomes das peças componentes da cadeira; na coluna Entradas estão as matérias-primas, materiais e energia utilizadas em cada operação; na coluna Equipamento e Operações estão os equipamentos usados em cada operação e o nome da operação; e por fim na coluna Saídas estão as respectivas perdas de material e de energia.

Quadro 9 - Operações necessárias para a produção da cadeira L1.

(continua)

	Peças da cadeira	Entradas	Equipamento e Operações	Saídas
1	Assento	Madeira, energia elétrica	Desempenadeira, Multilâmina, 4 faces - Desempeno	Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda energia
2		Energia elétrica	Destopadeira, Esquadrejadeira-Destopar e Esquadrejar	Maravalha, Lenha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda energia
3		Energia elétrica, Ar comprimido, Cola, Rolo	Prensa-Prensagem	Cola, Calor, Ruído, Perda energia

Quadro 9 - Operações necessárias para a produção da cadeira L1.

(continuação)

4	Assento	Energia elétrica	Copiadora- Copiar	Maravalha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
5		Energia elétrica	Furadeira-Furar	Maravalha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
6		Energia elétrica, Lixa	Lixadeira-Lixa	Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
7		-	Montagem	-
8	Encosto	Madeira, energia elétrica	Desempenadeira, Multilâmina, 4 faces - Desempeno	Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
9		Energia elétrica	Destopadeira, Esquadrejadeira-Destopar e Esquadrejar	Maravalha, Lenha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
10		Energia elétrica, Ar comprimido, Cola, Rolo	Prensa-Prensagem	Cola, Calor, Ruído, Perda de energia
11		Energia elétrica	Serra fita-Serrar	Lenha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
12		Energia elétrica	Furadeira-Furar	Maravalha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
13		Energia elétrica, Lixa	Lixadeira-Lixar	Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
14		-	Montagem	-
15		Pé dianteiro	Madeira, energia elétrica	Desempenadeira, Multilâmina, 4 faces - desempenho
16	Energia elétrica		Destopadeira, Esquadrejadeira-Destopar e Esquadrejar	Maravalha, Lenha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
17	Energia elétrica, Ar comprimido, Cola, Rolo		Prensa-Prensagem	Cola, Calor, Ruído, Perda de energia
18	Madeira, energia elétrica		Desempenadeira, Multilâmina, 4 faces - Desempeno	Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
19	Energia elétrica		Destopadeira, Esquadrejadeira-Destopar e Esquadrejar	Maravalha, Lenha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia

Quadro 9 - Operações necessárias para a produção da cadeira L1.

(continuação)

20	Pé dianteiro	Energia elétrica	Furadeira-Furar	Maravalha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
21		Energia elétrica	Torno-Tornear	Maravalha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
22		-	Montagem	-
23	Pé traseiro	Madeira, energia elétrica	Desempenadeira, Multilâmina, 4 faces - desempenho	Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
24		Energia elétrica	Destopadeira, Esquadrejadeira-Destopar e Esquadrejar	Maravalha, Lenha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda energia
25		Energia elétrica	Serra fita-Serrar	Lenha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
26		Energia elétrica	Copiadora- Copiar	Maravalha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
27		Energia elétrica	Espigadoura-Fazer cavilhas	Maravalha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
28		Energia elétrica	Furadeira-Furar	Maravalha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
29		-	Montagem	-
30	Trava lateral	Madeira, energia elétrica	Desempenadeira, Multilâmina, 4 faces - Desempeno	Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
31		Energia elétrica	Destopadeira, Esquadrejadeira-Destopar e Esquadrejar	Maravalha, Lenha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
32		Energia elétrica	Torno-Tornear	Maravalha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
33		-	Montagem	-
34	Trava traseira	Madeira, energia elétrica	Desempenadeira, Multilâmina, 4 faces - desempenho	Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
35		Energia elétrica	Destopadeira, Esquadrejadeira-Destopar e Esquadrejar	Maravalha, Lenha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
36		Energia elétrica	Torno-Tornear	Maravalha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
37		-	Montagem	-

Quadro 9 - Operações necessárias para a produção da cadeira L1.

(conclusão)

	Peças da cadeira	Entradas	Equipamento e Operações	Saídas
38	Trava X	Madeira, energia elétrica	Desempenadeira, Multilâmina, 4 faces - desempenho	Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
39		Energia elétrica	Destopadeira, Esquadrejadeira-Destopar e Esquadrejar	Maravalha, Lenha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
40		Energia elétrica	Furadeira-Furar	Maravalha, Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
41		Madeira, energia elétrica	Desempenadeira, Multilâmina, 4 faces - Desempeno	Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda de energia
42			Montagem	
43	Finalização (cadeira completa)	Energia elétrica, lixa	Lixadeira-Lixar	Pó de serra, Saída ao ar, Calor, Ruído, Perda energia
44		tinta, energia elétrica, ar comprimido, solventes	Acabamento	lata de tinta, tinta no ar, solventes no ar
45		plástico, papelão, cinta metálica, cinta plástica	Embalagem	sobras de plástico, papelão, cinta metálica, cinta plástica

Fonte: o autor.

Os dados levantados sobre a produção foram utilizados para identificar o processo mais relevante, em termos de geração de resíduos. Foi identificado que o principal material envolvido foi a madeira de eucalipto. A quantidade de água e outros recursos consumidos, tais como cola, tinta, solvente e brocas, representaram menos de 2% do peso do produto final. Portanto, o foco foi direcionado para a madeira utilizada e para a energia necessária para sua produção.

A quantificação de entradas e saídas do sistema de produção da cadeira, apresentada na Tabela 4, a seguir, resume os valores aferidos na produção da cadeira selecionada. Nessa tabela, a primeira coluna contém um número identificando cada peça da cadeira; na segunda coluna, o peso em gramas da peça de madeira de eucalipto da qual va sair a peça definitiva; na terceira coluna, o consumo de energia elétrica em KWh para cada operação (o consumo foi medido a partir do

tempo gasto no processo multiplicado pelo consumo de energia elétrica do motor de cada equipamento); na coluna Etapas são numeradas as operações de cada peça da cadeira; na coluna Saída estão os resíduos de madeira gerados durante cada operação; na coluna Perdas de energia elétrica estão as perdas de energia elétrica de cada operação, calculadas a partir da eficiência dos motores de cada equipamento; e por fim, na coluna Peça, a imagem de cada peça componente da cadeira.

Tabela 4 – Entradas e saídas de energia elétrica e massa de madeira de eucalipto na produção da cadeira L1.

(continua)

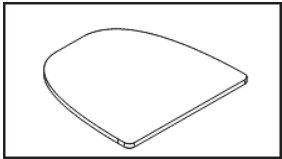
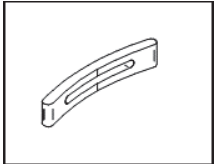




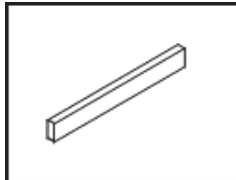
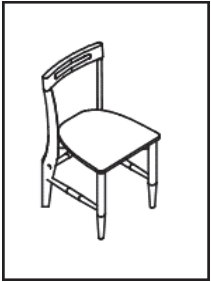
Nº	Entradas		Proces- so	Saídas		Peça
	Matéria prima – madeira de eucalipto (g)	Energia elétrica – potência de entrada (kWh)	Etapas	Saída – massa de resíduos de madeira (g)	Perdas de energia elétrica (kWh)	
1	3283.62	$2.79 \times 10^{-1}$	1	131.34	$5.82 \times 10^{-2}$	
		$1.15 \times 10^{-2}$	2	163.92	$3.22 \times 10^{-3}$	
		$6.90 \times 10^{-2}$	3	0.00	$1.93 \times 10^{-2}$	
		$9.65 \times 10^{-3}$	4	597.67	$2.70 \times 10^{-3}$	
		$1.73 \times 10^{-3}$	5	167.35	$4.83 \times 10^{-4}$	
		$8.63 \times 10^{-3}$	6	155.63	$2.42 \times 10^{-3}$	
						Assento
2	1150.32	$2.64 \times 10^{-1}$	8	46.01	$5.42 \times 10^{-2}$	
		$1.15 \times 10^{-2}$	9	57.42	$3.22 \times 10^{-3}$	
		$6.90 \times 10^{-2}$	10	0.00	$1.93 \times 10^{-2}$	
		$8.63 \times 10^{-2}$	11	261.72	$2.42 \times 10^{-3}$	
		$1.73 \times 10^{-2}$	12	78.52	$4.83 \times 10^{-4}$	
		$8.63 \times 10^{-3}$	13	116.60	$2.42 \times 10^{-4}$	
						Encosto
3	1324.03	$5.58 \times 10^{-1}$	15	79.44	$1.16 \times 10^{-1}$	
		$2.30 \times 10^{-2}$	16	74.68	$6.44 \times 10^{-3}$	
		$1.38 \times 10^{-1}$	17	0.00	$3.87 \times 10^{-2}$	
		$5.58 \times 10^{-1}$	18	46.80	$1.16 \times 10^{-1}$	
		$2.30 \times 10^{-2}$	19	44.92	$6.44 \times 10^{-3}$	
		$3.45 \times 10^{-3}$	20	43.13	$9.67 \times 10^{-4}$	
$6.17 \times 10^{-2}$	21	251.52	$1.73 \times 10^{-2}$			
						Pé dianteiro

Tabela 4 – Entradas e saídas de energia elétrica e massa de madeira de eucalipto na produção da cadeira L1.

(conclusão)

Entradas		Processo		Saídas		Peça
Nº	Matéria prima – madeira de eucalipto (g)	Energia elétrica – potência de entrada (kWh)	Etapas	Saída – massa de resíduos de madeira (g)	Perdas de energia elétrica (kWh)	
4	2179.74	$5.58 \times 10^{-1}$	23	152.58	$1.16 \times 10^{-1}$	
		$2.30 \times 10^{-2}$	24	121.63	$6.44 \times 10^{-3}$	
		$1.73 \times 10^{-2}$	25	756.49	$4.83 \times 10^{-3}$	
		$6.17 \times 10^{-2}$	26	91.92	$1.73 \times 10^{-2}$	
		$5.18 \times 10^{-2}$	27	52.86	$1.45 \times 10^{-2}$	
		$3.45 \times 10^{-3}$	28	20.09	$9.67 \times 10^{-4}$	
5	672.24	$5.58 \times 10^{-1}$	30	26.89	$1.16 \times 10^{-1}$	
		$2.30 \times 10^{-2}$	31	38.72	$6.44 \times 10^{-3}$	
		$6.17 \times 10^{-2}$	32	254.78	$1.73 \times 10^{-2}$	
6	283.12	$2.79 \times 10^{-1}$	34	11.32	$5.82 \times 10^{-2}$	
		$1.15 \times 10^{-2}$	35	16.31	$3.22 \times 10^{-3}$	
		$3.09 \times 10^{-2}$	36	107.30	$8.64 \times 10^{-3}$	
7	1399.26	$5.58 \times 10^{-1}$	38	69.96	$1.16 \times 10^{-1}$	
		$2.30 \times 10^{-2}$	39	39.88	$6.44 \times 10^{-3}$	
		$3.45 \times 10^{-3}$	40	95.42	$9.67 \times 10^{-4}$	
		$5.58 \times 10^{-1}$	41	78.07	$1.16 \times 10^{-1}$	
		$3.45 \times 10^{-2}$	43	258.11	$9.67 \times 10^{-3}$	
		$3.45 \times 10^{-2}$	44		$9.67 \times 10^{-3}$	
			45			
	<b>10,292.33</b>	<b>5.00</b>		<b>4509.01</b>	<b>1.10</b>	
Massa total de madeira de eucalipto (g) para produzir a cadeira		Demanda de potência da rede elétrica (kWh)	<b>Total</b>	Massa de madeira (g) em forma de pó de serra, maravalha, lenha e outros	Perda de energia em motores, e sistemas, devido à sua ineficiência: calor, ruído, vibrações e outros	
				<b>43.81%</b>	<b>22.05%</b>	Cadeira completa

Fonte: o autor.

Os resultados dessa aferição indicam um rendimento de 43,81% do uso de madeira de eucalipto. Este resultado encontra-se dentro da faixa típica de valores encontrados para a indústria de móveis de madeira. O consumo de energia está relacionado ao processo de fabricação de cada peça (tempo de uso da máquina) e às eficiências dos motores elétricos de cada máquina envolvida. A caracterização dos resíduos gerados em cada etapa está apresentada na Tabela 5, a seguir Tabela 5.

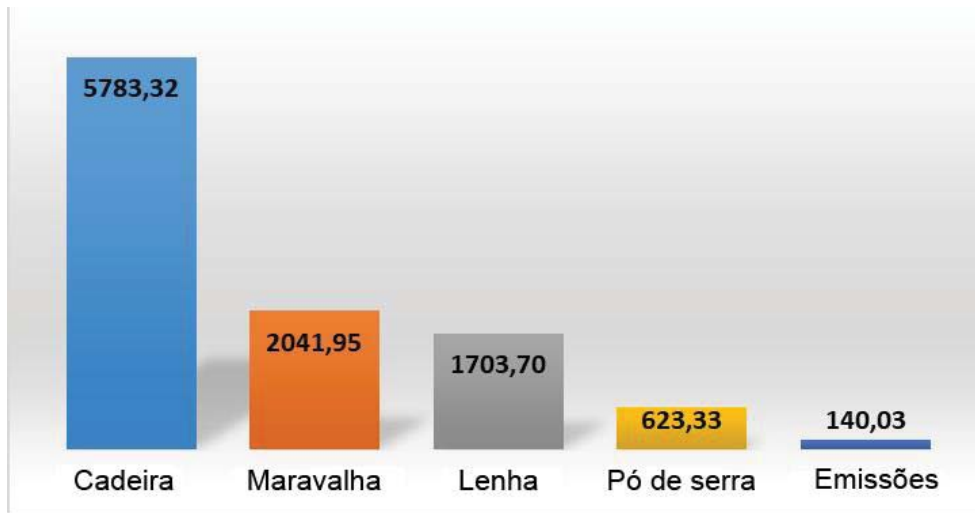
Tabela 5 – Rendimento da madeira para a produção de cada peça componente (g).

Peça	Entradas		Saídas			Perdas totais	
	Madeira	Maravalha	Lenha	Pó de serra	Outros	Perdas	%
1 Assento	3283.62	674.77	361.88	167.45	11.81	1215.92	37.03%
2 Encosto	1150.32	153.79	281.71	85.35	39.42	560.27	48.71%
3 Pé dianteiro (2)	1324.03	378.49	135.64	19.37	6.97	540.49	40.82%
4 Pé traseiro (2)	2179.74	293.21	768.29	124.74	9.32	1195.57	54.85%
5 Trava lateral (2)	672.24	279.65	32.27	6.55	1.92	320.39	47.66%
6 Trava traseira	283.12	117.78	13.59	2.76	0.81	134.94	47.66%
7 Barra X (2 partes)	1399.26	144.25	110.31	23.53	5.24	283.33	20.25%
Montagem				193.58	64.53	258.11	
Total	10,292.33	2041.95	1703.70	623.33	140.03	4509.01	
% Perdas	100%	19.84%	16.55%	6.06%	1.36%		43.81%

Fonte: o autor.

A caracterização do total de resíduos de 43,81% também pode ser expressa em valores relativos da seguinte forma: 13,82% de pó de serra, 45,29% de maravalha e 37,78% de lenha, com um saldo de 3,11% de emissões ao ar. Os valores típicos de tais perdas na indústria madeireira são 14% de pó de serra, 18% de maravalha e 68% de lenha (Kozak et al., 2008). Esses valores também podem ser vistos na Figura 15, a seguir, expressos em massa.

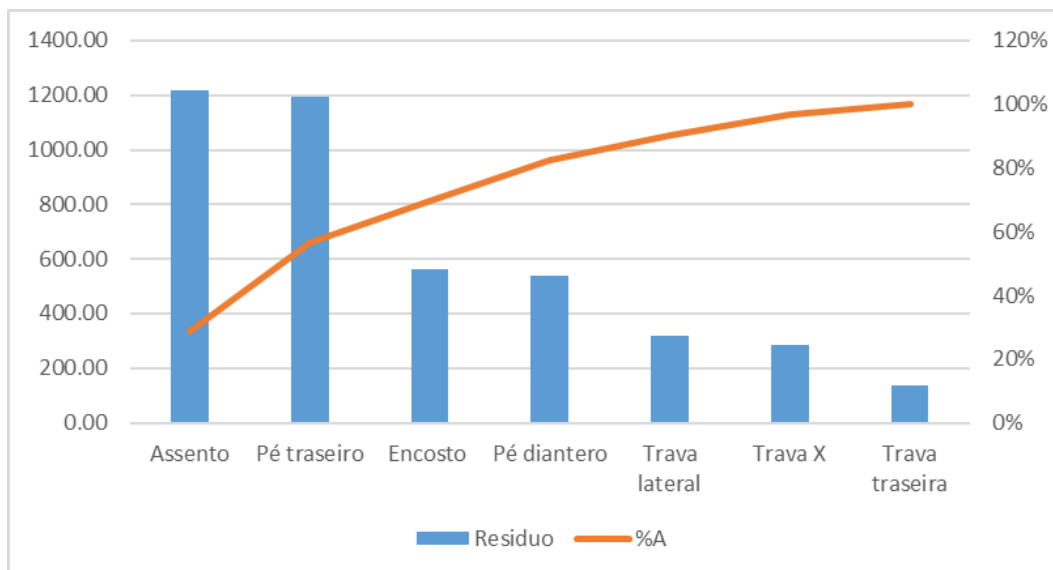
Figura 15 – Total de madeira utilizada na produção da cadeira, em massa (g).



Fonte: o autor.

Ao analisar a produção da cadeira de madeira de eucalipto modelo L1, nota-se que a principal perda de material ocorreu durante a produção do assento (1216 g, correspondente a 28,60% do total do resíduo gerado). Em segundo lugar, ficou o pé traseiro (1196 g, correspondente a 28,13% do total do resíduo gerado), e em terceiro lugar o encosto (560 g, equivalente a 13,18% do total do resíduo gerado). Esses três componentes representaram mais de 69% das perdas totais de material, conforme ilustrado no gráfico da Figura 16. No eixo x, à esquerda, encontra-se o valor do resíduo de cada peça em gramas, e no eixo y, à direita, o percentual dos desperdícios.

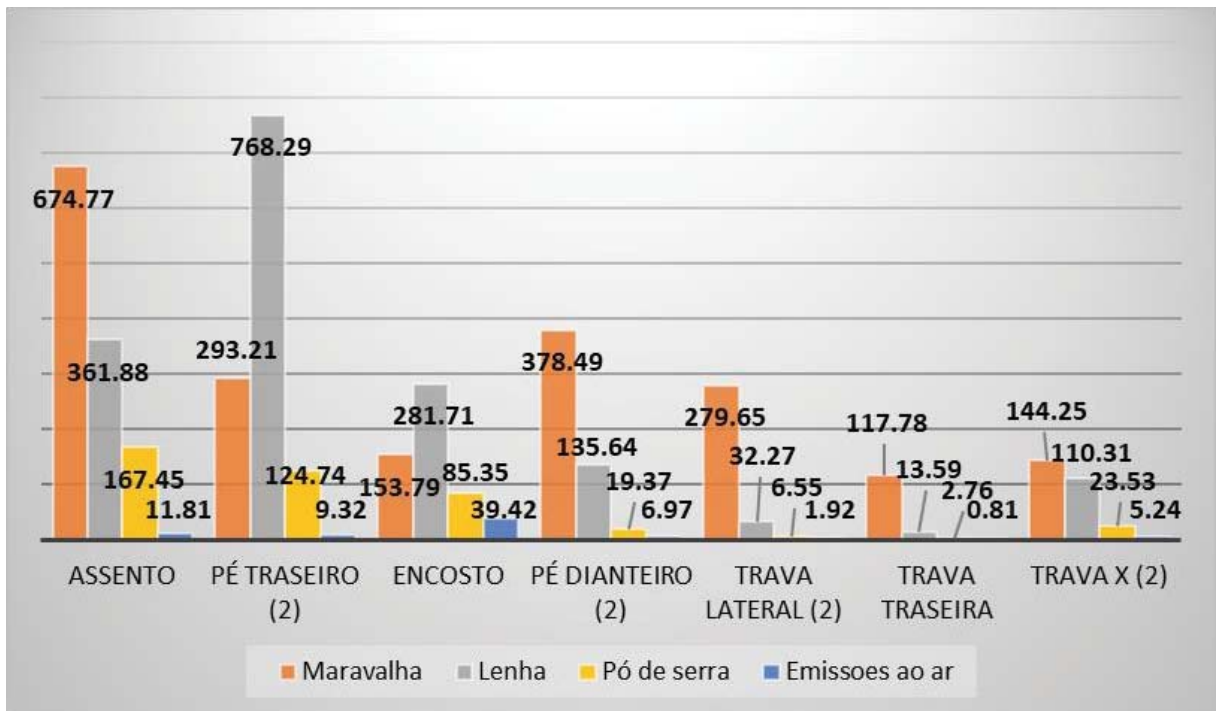
Figura 16 - Gráfico de Pareto representando os componentes da cadeira e seu consumo de material (g).



Fonte: o autor.

O tipo de processo de produção também é importante para analisar, uma vez que o tipo de resíduo pode indicar um processo sujeito a ser aprimorado ou substituído. Aplicando esta abordagem, nota-se que para a perna traseira, o resíduo mais representativo foi a lenha (768,29 g), principalmente devido ao processo de produção utilizado. Para o encosto, o principal resíduo também foi a lenha (281,71g), enquanto para o assento o principal tipo de perda foi de maravalhas (674,77g), conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Perdas de material, por peça componente da cadeira (g).



Fonte: o autor.

## 6.2 Aplicação do *Ecodesign* para redesign de peças da cadeira L1

O processo de aplicação do *Ecodesign* foi baseado na análise das peças da cadeira responsáveis pelos maiores índices de geração de resíduos, buscando realizar intervenções nestas peças, quando possível. Como mostrado na subseção anterior, esses componentes são o assento, o encosto e o pé traseiro.

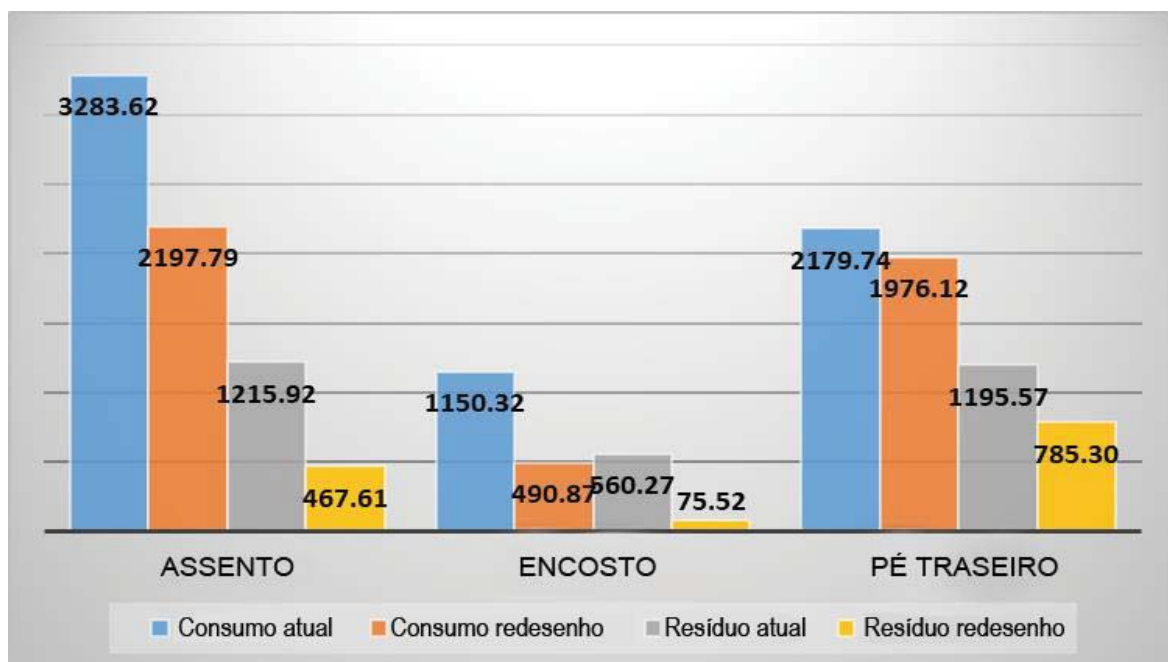
A modificação do design do assento foi apropriada para diferentes estratégias, todas com o objetivo de reduzir o consumo de material. A primeira delas foi a estratégia de substituição: foi proposta a troca do material do assento por compensado, aproveitando a possibilidade de modulação do formato da peça do assento. Desta forma, além de reduzir desperdícios, diminuiu-se a espessura e o peso da cadeira. Ao fazer isso, estima-se uma redução de 19,52% de resíduos, ou

seja, uma redução de 3284 g de madeira de eucalipto sólido; e, exigindo um consumo de 2198 g de compensado, para obter o mesmo número de assentos. A Figura 19b apresenta um esboço da modulação proposta para o assento.

Para o encosto, a estratégia de redesenho foi proposta, redefinindo o tamanho do encosto e modelando a forma em uma placa de madeira composta de pequenas peças coladas reutilizadas de outros processos. Ao fazê-lo, os resíduos poderiam ser reduzidos de 48,71% para 15,38%, economizando até 590 g de madeira de eucalipto.

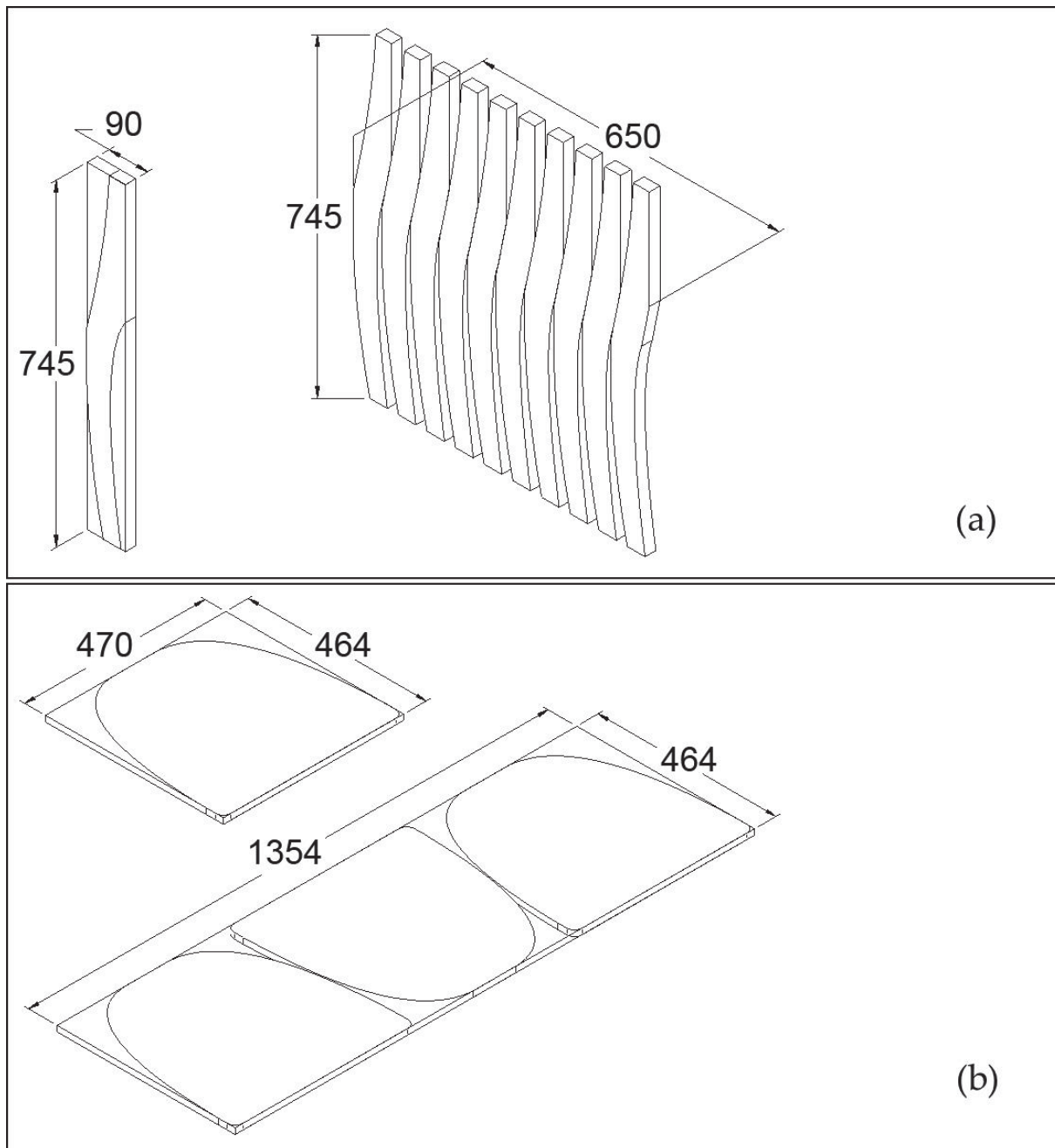
A perna traseira também pôde ser redesenhada. Ao produzir um grande painel de peças coladas de madeira reutilizada de outros processos, é possível obter várias peças de pernas traseiras, otimizando o consumo de madeira. Por exemplo, a partir de um painel de 65 cm, composto de peças coladas, podem ser produzidas 10 pernas, reduzindo assim os resíduos de 54,85% para 39,74%, equivalente a 984 g de madeira de eucalipto. O gráfico da Figura 18 apresenta a quantidade estimada de madeira economizada e a Figura 19a apresenta um esboço da modulação proposta para a perna traseira.

Figura 18 - Madeira consumida nos principais componentes de montagem a serem redesenhados (g).



Fonte: o autor.

Figura 19 – Desenho da modulação proposta: (a) perna única - produção individual x modulada; (b) assento - produção única x modulada.



Fonte: o autor.

A redução total no consumo de madeira da cadeira L1 foi de 29,95%, passando de 10292g para 7209g. O percentual de resíduos gerados também foi reduzido, partindo do valor de 43,81% para 32,20%, e passando de 4509g para 2321g, conforme mostra a Figura 20. Os percentuais e a caracterização dos resíduos na proposta é apresentada na Tabela 6.

Figura 20 – Comparativo do processo de produção da empresa x proposta, para o consumo de madeira e os resíduos gerados (g).



Fonte: o autor.

Tabela 6 – Comparação das porcentagens de rendimento de madeira utilizada pela empresa x proposta de redesign

<b>Consumo de madeira</b>			
	Atual (g)	Proposta (g)	Redução
Consumo total	10,292	7209	29.95%
Total utilizado	5783	4888	15.48%
Total de resíduos	4509	2321	48.51%
Resíduos gerados	43,81%	32,20%	11.61%

Fonte: o autor.

As mudanças propostas também têm impacto no consumo de energia elétrica, devido à redução e simplificação de alguns processos de produção. O consumo de energia pôde mudar de 5 KWh para 3,23 KWh para a produção de uma cadeira, conforme apresentado na Tabela 7.

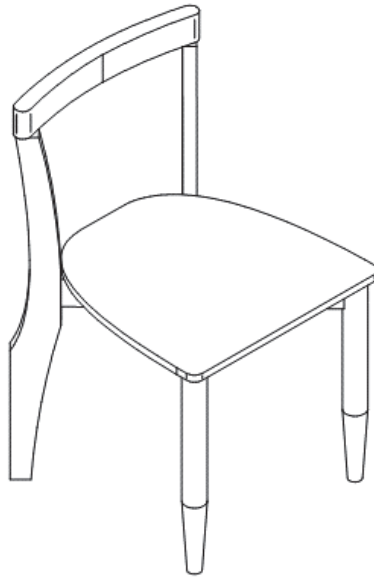
Tabela 7 – Consumo de energia por peça componente da cadeira – comparativo atual x proposta

<b>Consumo de energia elétrica</b>		
	<b>Atual (kWh)</b>	<b>Proposta (kWh)</b>
Assento	0.38	0.04
Encosto	0.36	0.26
Pé dianteiro	1.36	1.36
Pé traseiro	0.71	0.34
Trava lateral	0.64	0.00
Trava traseira	0.32	0.00
Barra X (duas partes)	1.14	1.14
Montagem	0.08	0.08
Consumo total	5.00	3.23

Fonte: o autor.

O consumo de energia das travas laterais e da trava traseira são zero porque esses componentes foram removidos do produto. Por outro lado, há uma diminuição no consumo de energia do pé traseiro devido à modulação, que permitiu diminuir a quantidade de processos para sua fabricação, tendo menos uso de máquinas. No assento foi trocada a matéria-prima de madeira de eucalipto para compensado, onde o processo também foi simplificado. O encosto teve redução de tamanho e processos, afetando também o consumo de energia. No processo de montagem, embora seja executado em menor tempo, pois tem menos peças, o maquinário utilizado tem um consumo de energia igual ao da cadeira inicial. O resultado final de todas as mudanças propostas podem ser resumidos na Figura 21, que representa o aspecto da cadeira de madeira de eucalipto, após as modificações propostas.

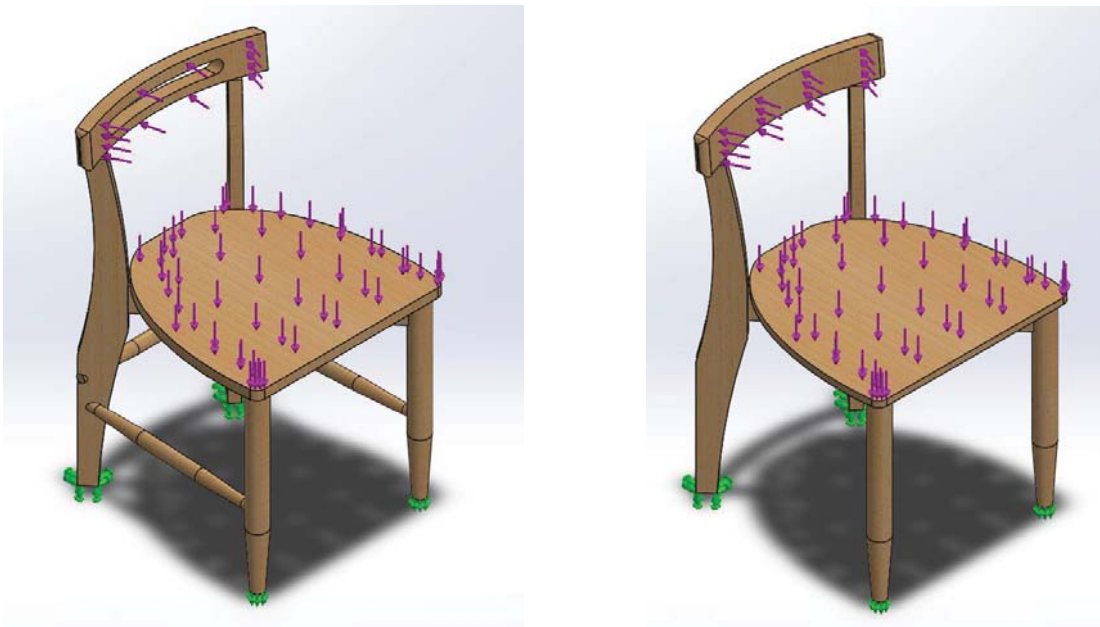
Figura 21 – Representação da cadeira redesenhada



Fonte: o autor.

Foi realizado um estudo comparativo de deformação aplicando carga de 100 kgf no assento e no encosto, conforme apresentado nas figuras 22a e 22b. Foi utilizado *Software Solid Works academic* para simular os resultados.

Figura 22 – Estudo comparativo de deformações da cadeira original x redesenhada.



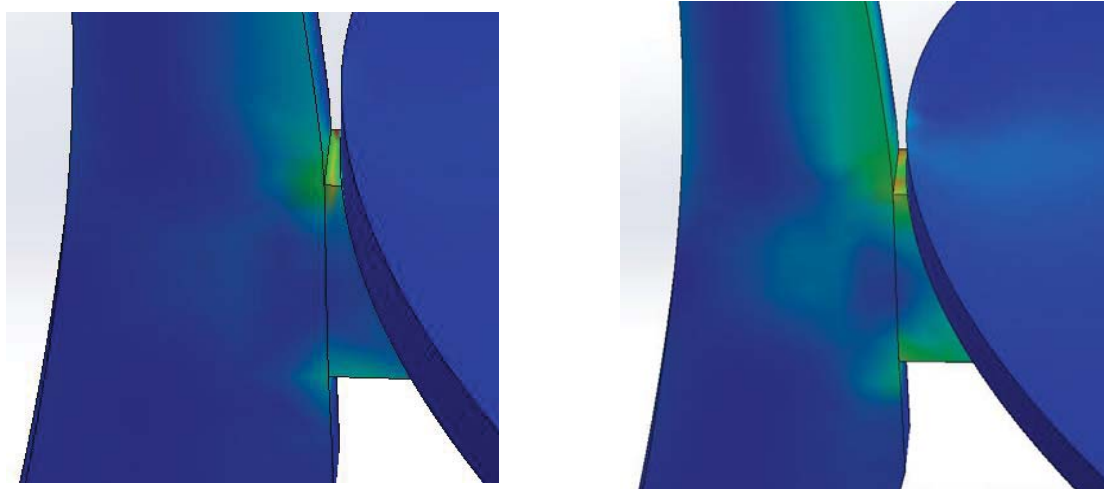
a) cadeira original

b) cadeira redesenhada

Fonte: o autor.

Para ambos os casos, o maior esforço foi observado na união entre a trava X e o pé traseiro como observado nas figuras 23a e 23b.

Figura 23 – Zona de maiores esforços observados na cadeira.



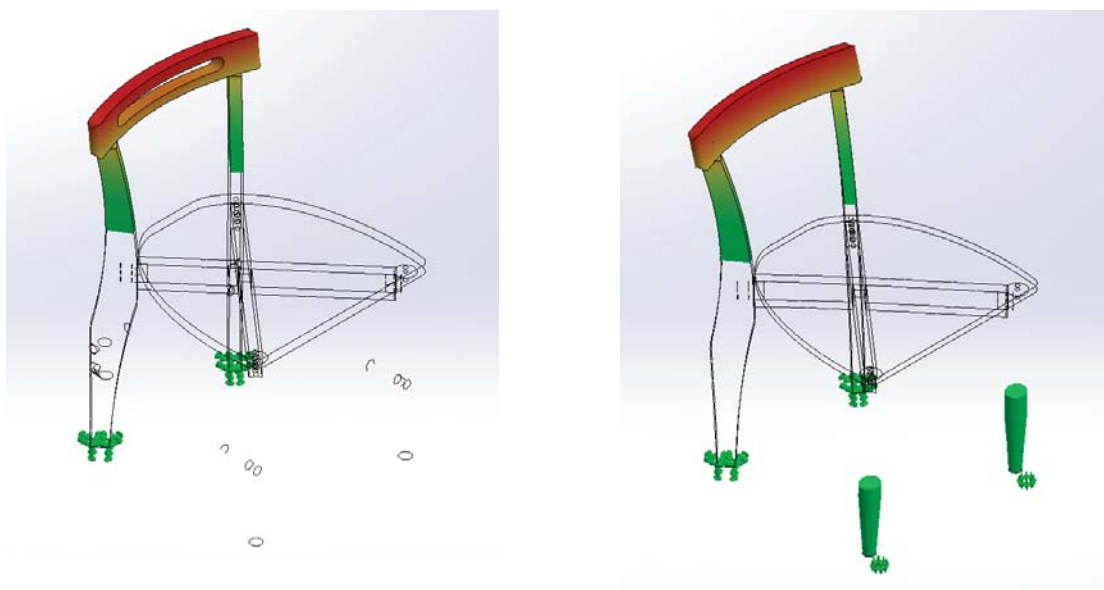
a) União trava X – pé traseiro da cadeira original

b) União trava X – pé traseiro da cadeira redesenhada

Fonte: o autor.

As figuras 24a e 24b apresentam as zonas com deformações acima de 1 mm.

Figura 24 – Zonas da cadeira com deformações acima de 1 mm.



a) Cadeira original

b) Cadeira redesenhada

Fonte: o autor.

As simulações feitas permitiram concluir que não há diferença significativa na deformação ou na estabilidade da cadeira redesenhada.

### 6.3 Avaliação de Ciclo de Vida

Nesta etapa foi realizada a ACV comparando a cadeira modelo básico com a cadeira redesenhada. Os resultados foram divididos em duas subseções: ACV usando o ponto médio do *International Reference Life Cycle Data System* (ILCD) 2011 entre unidades funcionais (UF) e ACV para avaliar a Demanda de Energia Cumulativa (DEC), entre unidades funcionais.

#### 6.3.1 Comparação do Ciclo de vida baseada no ponto médio do ILCD para avaliar impactos ambientais

Apesar dos resultados declararem reduções no consumo de material em torno de 30%, e reduções de desperdício de até 49%, uma vez que foram realizadas ACVs para ambos os produtos (considerando o escopo de cada modelo), foi possível ter um melhor entendimento das reduções por categoria de impacto. Os resultados da ACV utilizando o ponto médio do ILCD para ambos os produtos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - ACV para modelos básico e redesenhado, usando o ILCD 2011 Midpoint + V1.10 / EC-JRC Global, igual ponderação

(continua)

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Modelo Básico</b>	<b>Redesenhado</b>	<b>Variação %</b>
Alterações climáticas	kg CO2 eq	7.02E-01	2.32E+00	230.9%
Depleção de ozônio	kg CFC-11 eq	1.83E-06	1.68E-06	-8.2%
Toxicidade humana, efeitos não cancerígenos	CTUh	1.37E-06	1.49E-06	9.3%
Toxicidade humana, efeitos de câncer	CTUh	6.52E-08	5.77E-08	-11.4%
Material particulado	kg PM2.5 eq	6.60E-03	1.07E-02	61.7%
Radiação ionizante HH	kBq U235 eq	6.81E-01	6.13E-01	-10.0%
Radiação ionizante E (interim)	CTUe	4.84E-06	4.39E-06	-9.3%
Formação fotoquímica de ozônio	kg NMVOC eq	7.01E-02	6.88E-02	-1.8%
Acidificação	molc H+ eq	7.85E-02	7.04E-02	-10.2%

Tabela 8 - ACV para modelos básico e redesenhado, usando o ILCD 2011 Midpoint + V1.10 / EC-JRC Global, igual ponderação

(conclusão)

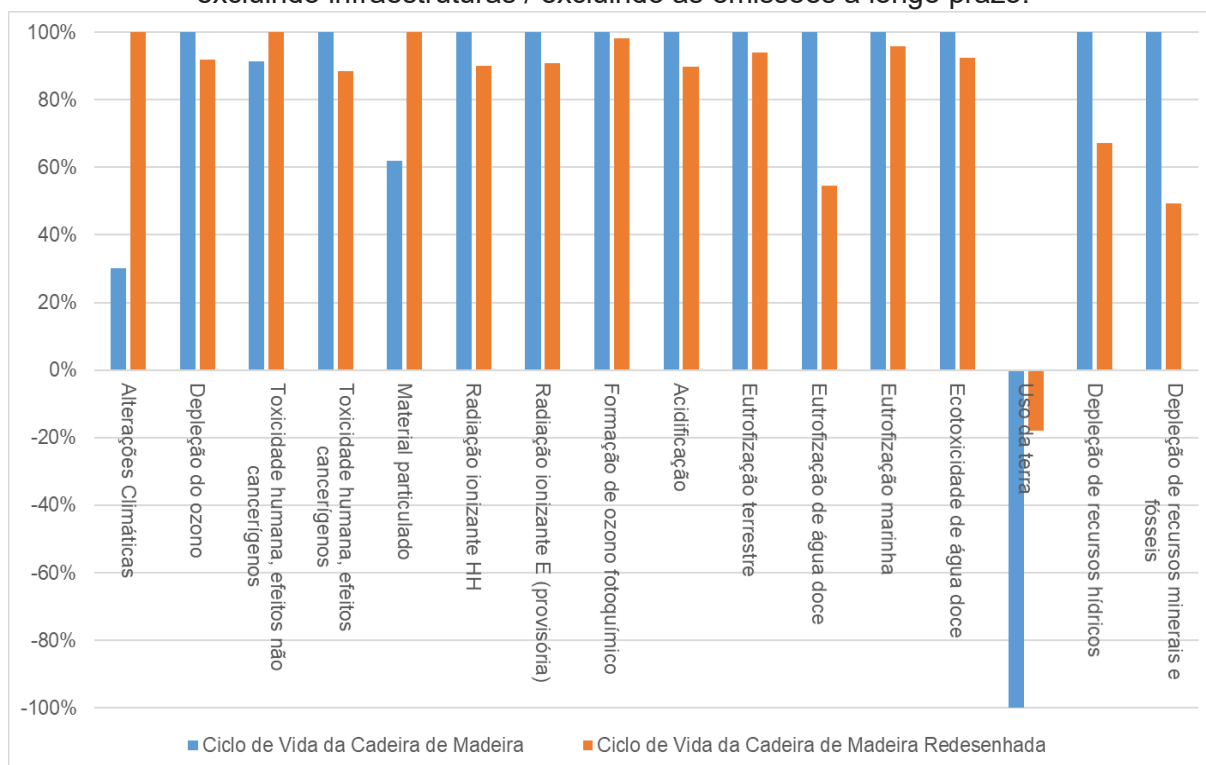
<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Modelo Básico</b>	<b>Redesenhado</b>	<b>Variação %</b>
Eutrofização terrestre	molc N eq	2.88E-01	2.71E-01	-5.9%
Eutrofização da água doce	kg P eq	1.28E-03	6.96E-04	-45.5%
Eutrofização marinha	kg N eq	3.07E-02	2.95E-02	-4.1%
Eco toxicidade da água doce	CTUe	2.33E+01	2.15E+01	-7.5%
Uso da terra	kg C deficit	-7.98E+01	-1.43E+01	-82.0%
Depleção de recursos hídricos	m3 água eq	6.86E-03	4.61E-03	-32.8%
Depleção de recursos minerais & fósseis	kg Sb eq	2.07E-01	1.52E-01	-50.7%

Kg CO<sub>2</sub> Eq = quilogramas de dióxido de carbono equivalente; kg CFC-11 eq = quilos de equivalente triclórofluorometano; CTU<sub>h</sub> = unidades tóxicas comparativas para toxicidade humana; kg PM<sub>2,5</sub> eq = kg de material particulado suspenso de menos de 2,5 microns; kBq U<sub>235</sub> eq = kilobecquerel de urânio 235 para radiação ionizante; CTU<sub>e</sub> = unidades tóxicas comparativas para ecotoxicidade aquática; kg NMVOC eq = quilos de compostos orgânicos voláteis não metânicos equivalentes; molc H + eq = moles de equivalente de ião de hidrogênio; molc N + eq = moles de equivalente de nitrogênio; kg P eq = quilogramas de equivalente de fósforo; kg N eq = quilos de equivalente de nitrogênio; déficit de kg C = kg de déficit de carbono, m<sup>3</sup> de água eq = metros cúbicos de água equivalente; kg Sb eq = quilos de equivalente de antimônio.

Fonte: o autor.

A contribuição relativa expressa como variação de porcentagem de comparação entre a UF do modelo básico e a UF da cadeira redesenhada é apresentada na Figura 25.

Figura 25 – ACV entre o modelo redesenhado e as unidades funcionais do modelo básico, utilizando o ILCD 2011 Midpoint + V1.10 / EC-JRC global, igual ponderação / caracterização / excluindo infraestruturas / excluindo as emissões a longo prazo.



Fonte: o autor.

### 6.3.2 Comparação dos Ciclos de Vida para avaliar o Consumo de Energia Cumulativa

Com relação ao consumo de energia, após a implementação de outra ACV utilizando a Demanda de Energia Cumulativa (DEC) como método de avaliação, é possível ter uma compreensão abrangente da energia acumulada do ciclo de vida total de cada produto, possibilitando identificar as etapas onde é requerida a maior energia. As tabelas 9 e 10 apresentam os resultados de cada modelo, indicando a distribuição de energia cumulativa renovável e não renovável por estágio.

Tabela 9 - Consumo de energia para o modelo básico de acordo com o Método de Demanda de Energia Cumulativa V1.10

Categoria de Impacto	Total (MJ)	Manufatura do Produto (MJ)	Transporte (MJ)	Preservação da madeira (MJ)	Destino Final (MJ)	% do total
Não-renovável	1.76E+02	6.34E+01	4.08E+01	3.81E+00	6.85E+01	67%
Renovável	8.67E+01	8.64E+01	8.07E-02	5.51E-02	1.93E-01	33%

Fonte: o autor.

Tabela 10 - Consumo de energia para o modelo redesenhado de acordo com o Método de Demanda de Energia Cumulativa V1.10.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Total (MJ)</b>	<b>Manufatura do Produto (MJ)</b>	<b>Transporte (MJ)</b>	<b>Preservação da madeira (MJ)</b>	<b>Destino Final (MJ)</b>	<b>% do total</b>
Não-renovável	1.62E+02	4.91E+01	4.08E+01	3.81E+00	6.85E+01	59%
Renovável	1.14E+02	1.13E+02	8.07E-02	5.51E-02	1.86E-01	41%

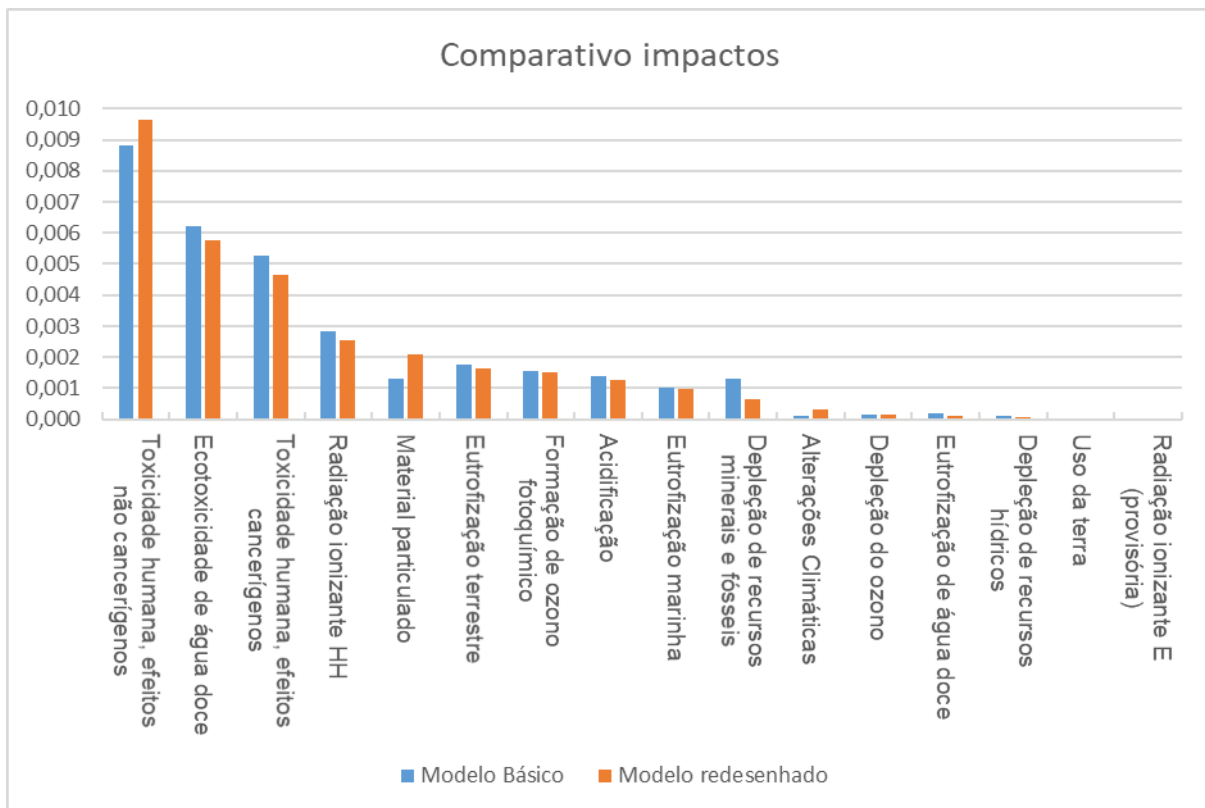
Fonte: o autor.

Embora a maior parte da categoria de impacto apresente reduções na maioria dos valores, ao mesmo tempo em que compara o modelo básico com o redesenhado, alguns desses resultados precisaram ser analisados em detalhes para evitar erros de interpretação.

Uma vez que se considera que a cadeira original exigia mais material do que a cadeira redesenhada (10,3 kg versus 7,2 kg de madeira, respectivamente; consultar a Tabela 6), os valores de impacto resultantes concordam. Os números finais para o potencial da mudança climática - e o restante dos fatores de impacto - incluem as contribuições feitas durante o ciclo de vida.

Como etapa adicional, uma análise de normalização foi realizada para visualizar a contribuição relativa entre categorias de impacto, indicando que a toxicidade humana e a toxicidade de água doce são os principais impactos devido à produção de ambos os modelos. A Figura 26 apresenta a comparação dos dois modelos após a normalização.

Figura 26 - ACV para modelos básicos e redesenhados, usando o ILCD 2011 Midpoint + V1.10 / EC-JRC Global, ponderação / normalização / excluindo infraestrutura / excluindo emissões de longo prazo.



Fonte: o autor.

Uma análise mais aprofundada das fontes do principal impacto para ambos os modelos (toxicidade humana, efeitos não cancerígenos) indica a presença de substâncias como zinco, mercúrio, chumbo e arsênio, entre outros, como fonte dos principais impactos, conforme apresentado na Tabela 11.

Em relação ao estágio dentro do Ciclo de Vida, as principais contribuições foram geradas durante o transporte (devido às emissões de desgaste de pneus e quebra de emissões entre outras) e em segundo lugar durante a disposição final e aterro (resíduos sólidos urbanos e mistura de cinzas). Isso é considerado coerente com outros dados da literatura, declarando que a maior parte dos impactos ambientais ocorre fora da fábrica na indústria moveleira moderna no Brasil.

Tabela 11 - Especificidade por substância / Toxicidade humana, efeitos não cancerígenos / critérios de corte de 0,1% / ILCD 2011 Ponto médio + V1.10 / EC-JRC Global, ponderação igual

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Suma de Modelo Básico</b>	<b>Suma de Redesenho</b>
<b>Zinco</b>	CTUh	8.47E-07	1.04E-06
<b>Mercúrio</b>	CTUh	1.84E-07	1.44E-07
<b>Chumbo</b>	CTUh	1.12E-07	1.08E-07
<b>Arsênio</b>	CTUh	9.73E-08	7.89E-08
<b>Acroleína</b>	CTUh	2.80E-08	2.56E-08
<b>Antimônio</b>	CTUh	2.58E-08	2.41E-08
<b>Molibdênio</b>	CTUh	2.53E-08	2.36E-08
<b>Bário</b>	CTUh	2.58E-08	2.13E-08
<b>Cádmio</b>	CTUh	1.45E-08	1.88E-08
<b>Substâncias Restantes</b>	CTUh	6.15E-09	6.55E-09
		<b>1.37E-06</b>	<b>1.49E-06</b>

Fonte: o autor.

Em relação ao DEC, os resultados parecem estar em direção oposta aos resultados relatados no programa original de P+L implementado. Apesar de a cadeira redesenhada apresentar maior porcentagem de fontes de energia renováveis do que o modelo original, os valores anteriores de consumo de energia, relatados pelo programa de P+L implementado, e pela ACV são diferentemente proeminentes, mas não são necessariamente incompatíveis. Tal afirmação faz sentido considerando todas as contribuições incluídas de uma abordagem de ciclo de vida, em comparação com um sistema mais restrito analisado no programa de P+L implementado.

Todavia, o valor final para a cadeira redesenhada é 5% maior do que o valor do modelo básico, principalmente devido à energia acumulada contida no assento compensado que substituiu o assento de eucalipto no modelo básico. A

Tabela 12 apresenta os valores finais após a implementação da ACV com DEC.

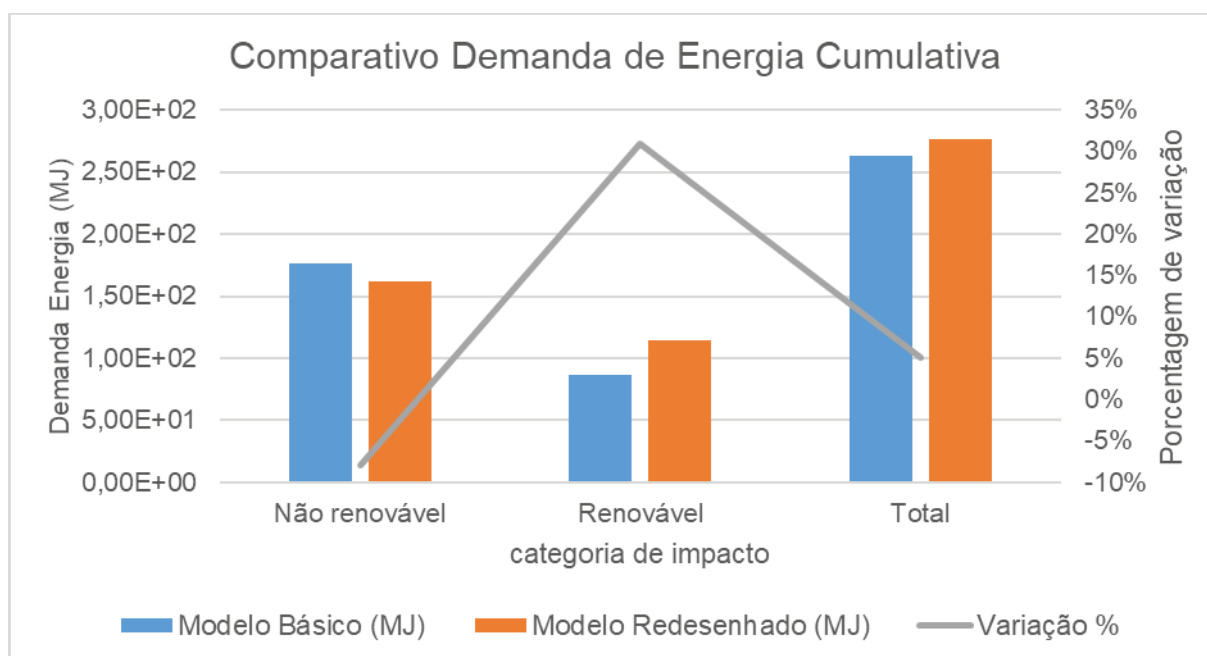
Tabela 12 - Comparação entre o modelo básico e redesenhado usando a DEC.

Categoria de Impacto	Modelo Básico (MJ)	Modelo Redesenhado (MJ)	Variação %
Não renovável	1.76E+02	1.62E+02	-8%
Renovável	8.67E+01	1.14E+02	31%
Total:	2.63E+02	2.76E+02	5%

Fonte: Gutierrez et al (2017).

Na Figura 27 apresenta-se o comparativo da DEC dos modelos básico e redesenhado para energia renovável e não renovável.

Figura 27 – Comparativo Demanda de Energia Cumulativa



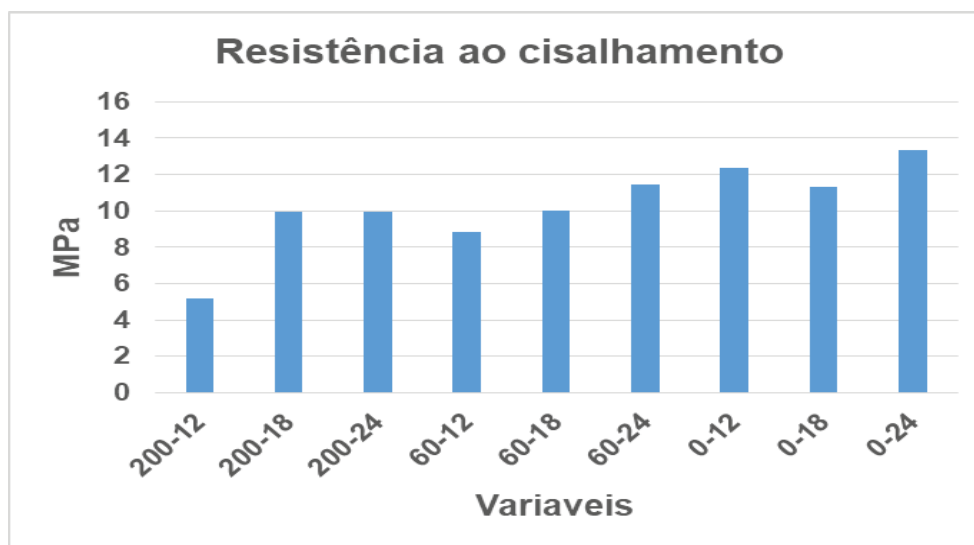
Fonte: o autor.

Para que os impactos na demanda de energia cumulativa sejam favoráveis para a cadeira redesenhada, uma opção seria não trocar o material do assento de madeira maciça para compensado, e sim manter o assento com madeira maciça mas diminuindo a espessura da tábua.

#### 6.4 Resistência ao cisalhamento

Nesta subseção são apresentados os valores de resistência ao cisalhamento na linha cola e os percentuais de falhas obtidos nos corpos de provas ensaiados. Também foi realizado levantamento sobre outros estudos similares, relacionados com o ensaio realizado. Na Figura 28 são exibidos os resultados de resistência ao cisalhamento na lâmina de cola para os diferentes fatores estudados.

Figura 28 - Cisalhamento na linha de cola dos corpos de prova com três acabamentos superficiais e três tempos de prensagem.



200-12: lixa 200 com 12 horas de tempo de prensagem; 200-18: lixa 200 com 18 horas de tempo de prensagem; 200-24: lixa 200 com 24 horas de tempo de prensagem; 60-12: lixa 60 com 12 horas de tempo de prensagem; 60-18: lixa 60 com 18 horas de tempo de prensagem; 60-24: lixa 60 com 24 horas de tempo de prensagem; 0-12: sem lixar com 12 horas de tempo de prensagem; 0-18: sem lixar com 18 horas de tempo de prensagem; 0-24: sem lixar com 24 horas de tempo de prensagem.

Fonte: o autor.

Na Tabela 13 são apresentados os valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras por compressão na linha de cola, o coeficiente de variação e as porcentagens de falha na madeira para juntas coladas confeccionadas com madeira de *Eucalyptus urograndis*.

Tabela 13 - Resultados de ensaios de cisalhamento

(continua)

Tratamento	Tempo prensagem (h)	Resistência ao cisalhamento (MPa)	Falha na madeira (%)
Lixa 200	12	5,15 <sup>c</sup> (42,77)	10,17%
Lixa 200	18	9,91 <sup>ab</sup> (44,27)	14,33%
Lixa 200	24	9,92 <sup>ab</sup> (37,18)	6,58%
Lixa 60	12	8,80 <sup>b</sup> (13,55)	7,50%
Lixa 60	18	9,98 <sup>ab</sup> (15,31)	17,08%
Lixa 60	24	11,47 <sup>ab</sup> (24,66)	7,58%

Tabela 13 - Resultados de ensaios de cisalhamento

(conclusão)

Sem Lixa	12	12,34 <sup>ab</sup> (17,98)	14,17%
Sem Lixa	18	11,29 <sup>ab</sup> (29,97)	21,75%
Sem Lixa	24	13,36 <sup>a</sup> (13,85)	9,58%

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Resultados entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Fonte: o autor.

Os corpos de prova cujas faces foram apenas serradas (sem lixamento) e com maior tempo de prensagem (24 horas) apresentaram os melhores comportamentos de resistência ao cisalhamento (13,36 MPa). O menor valor médio de resistência ao cisalhamento (5,15 MPa) foi obtido para juntas coladas com acabamento superficial feito com lixa 200 e tempo de prensagem de 12 horas.

Os corpos de prova sem lixamento ensaiados, embora tenham rompido na linha de cola, tiveram maior resistência mecânica do que os valores encontrados na literatura referentes a ensaios de cisalhamento na lâmina de cola com madeiras de clones de eucalipto, utilizando colas a base de PVA, como é apresentado no trabalho de Lima et al. (2008). Neste último, foram testadas madeiras de quatro clones, das espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus camaldulensis*. Foram testados, também, três tipos de colas diferentes, incluindo um adesivo a base de PVA. O valor médio de resistência ao cisalhamento na linha de cola, para esses clones, usando cola a base de PVA, variou de 6,98 MPa a 7,94 MPa (LIMA et al., 2008), enquanto os resultados encontrados no presente trabalho para o clone *Eucalyptus urograndis* variaram entre 5,15 MPa e 13,36 MPa.

Outros estudos feitos por Iwakiri et al. (2013), Boa et al. (2014), Motta et al. (2014), Iwakiri et al. (2015), Segundinho et al. (2015), Gonçalves et al. (2016), Nunes et al. (2016) e Bianche et al. (2017), para testar a resistência ao cisalhamento na linha de cola, empregando-se tanto madeiras nativas e de florestas plantadas, com diversos tipos de adesivos, estão resumidos na Tabela 14. Estes estudos evidenciam uma faixa de resistência mecânica ao cisalhamento entre 4,09 MPa e 13,66 MPa. Estes trabalhos foram apresentados para demonstrar que os valores de resistência encontrados para o clone de *Eucalyptus urograndis* são da mesma

ordem de grandeza, embora haja especificidades em cada estudo em particular bem como variáveis diferentes consideradas.

Nos estudos apresentados na Tabela 14, também se observa que a variação das resistências ao cisalhamento na linha de cola está na mesma ordem de grandeza para os adesivos com base PVA.

Tabela 14 - Resultados de ensaios de cisalhamento na lâmina de cola encontrados na literatura no período de 2014 a 2018.

Autores	Adesivo	Madeira	Cisalhamento (MPa)	Falha (%)
Iwakiri et al. (2015)	PVA	Sequoia	9,03 - 9,68	64 - 86,5
Nunes et al. (2016)	Resorsinol-tanino	<i>Corymbia citriadora</i>	6,74 - 11,02	
Nunes et al. (2016)	Resorsinol-tanino	<i>Eucalyptus pellita</i>	10,84 - 12,22	
Boa et al. (2014)	Urea formaldeído	Resíduos de eucalipto	4,09 - 13,66	2,33 - 60,67
Iwakiri et al. (2013)	PVA	<i>Eucalyptus benthamii</i>	8,78 - 9,44	16,88 -51,07
Motta et al. (2014)	PVA	<i>Teca</i>	12,40 - 13,3	73 - 85
Bianche et al. (2017)	PVA	<i>Eucaliptus sp.</i>	5,71 - 7,23	17,4 - 24,89
Segundinho et al. (2015)	MUF	<i>Eucaliptus sp.</i>	5,07 - 11,49	
Gonçalves et al. (2016)	PVA	<i>Pinus</i>	8,95	68,05

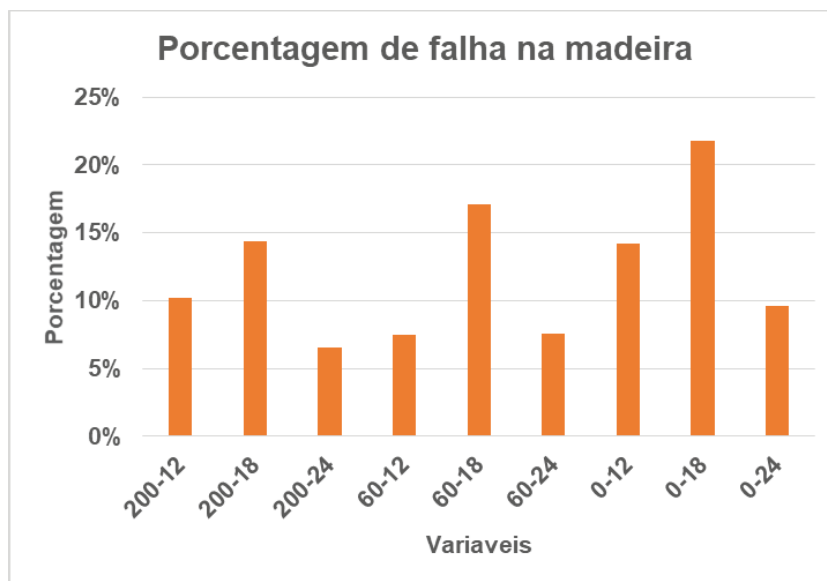
Fonte: o autor.

A Figura 29 apresenta os valores de porcentagem de falha na madeira encontrados no ensaio de cisalhamento. Os corpos de prova com tempo de prensagem de 18 horas apresentaram os maiores percentuais de falha da madeira. Por outro lado, os corpos de prova com tempo de prensagem de 24 horas apresentaram os mais baixos valores de percentual de falha da madeira.

O percentual de falha para os três tipos de acabamento apresentou maiores valores para o tempo de prensagem de 18 horas. Todavia, os resultados demonstram que quanto mais polida é a superfície de colagem, menor é o percentual de falha para o tempo de prensagem de 18 e 24 horas.

Tanto a resistência ao cisalhamento como a taxa média de falha da madeira apresentam os melhores resultados sem aplicação de lixa nas faces a serem coladas. No entanto, a maior porcentagem de falha na madeira foi dada para o tempo de prensagem de 18 horas.

Figura 29 - Porcentagem de falha da madeira dos corpos de prova com três acabamentos superficiais e três tempos de prensagem.



200-12: lixa 200 com 12 horas de tempo de prensagem; 200-18: lixa 200 com 18 horas de tempo de prensagem; 200-24: lixa 200 com 24 horas de tempo de prensagem; 60-12: lixa 60 com 12 horas de tempo de prensagem; 60-18: lixa 60 com 18 horas de tempo de prensagem; 60-24: lixa 60 com 24 horas de tempo de prensagem; 0-12: sem lixar com 12 horas de tempo de prensagem; 0-18: sem lixar com 18 horas de tempo de prensagem; 0-24: sem lixar com 24 horas de tempo de prensagem.

Fonte: o autor.

Outra constatação extraída destes resultados é que não se observa uma relação direta entre acabamento superficial e porcentagem de falha na madeira para ganho de resistência mecânica ao cisalhamento na linha de cola. A maior resistência ao cisalhamento na linha de cola verificou-se com o tempo de prensagem de 24 horas para as peças com superfície apenas serradas sem aplicação de lixamento.

Embora os resultados de resistência ao cisalhamento na linha de cola tenham variado na faixa de 5,15 MPa a 13,36 MPa, estes se encontram dentro da linha de valores aceitos pela indústria de móveis para resistência de juntas coladas. No processo produtivo da fabricação de peças coladas para móveis, é recomendada a utilização da colagem mais econômica dada por acabamento sem lixa e 12 horas de prensagem, para não incorrer em custos de produção desnecessários devido a tempos de fabricação e custos de material.

## 6.5 Proposta dos parâmetros de projeto

Os parâmetros de *Ecodesign*, desenvolvidos especificamente para a indústria de móveis de madeira, contribuem para concentrar soluções focadas no produto e no processo, no lugar de “soluções de fim de tubo”. As propostas feitas abordaram parâmetros para reduzir, facilitar, selecionar e valorizar as modificações do produto redesenhado. Para isto se propõe um passo a passo baseado numa sequência de atividades, como apresentado na Figura 30.

Figura 30 – Sequência de parâmetros de projeto



Fonte: o autor.

Em cada subitem que segue é apresentada a maneira pela qual cada estágio proposto no fluxograma para a análise de um produto é desenvolvido, buscando menor impacto ambiental em sua fabricação e uso. Inicia-se com um resumo das características da madeira de *Eucalyptus urograndis*, que determina os fatores limitantes ao se fazer as propostas finais de design do produto.

### 6.5.1 Características do material

Neste estágio são apresentadas características físicas e mecânicas, defeitos, importância da secagem e características para colagem de peças de madeira. Essas condições apresentadas são fundamentais para se considerar ao trabalhar com madeira na fabricação de móveis. O Quadro 10 apresenta as principais

características da madeira a considerar para a produção de móveis, assim como suas respectivas influências no produto.

Quadro 10 - Principais características da madeira

<b>Característica</b>	<b>Definição</b>	<b>Influência</b>
Higroscopicidade	Capacidade da madeira de absorver umidade do ambiente	Influência nas variações dimensionais, fissuras ou descolamento das peças, afetando tanto a funcionalidade como a estética
Usinagem	Comportamento diante de diversos processos mecânicos para se transformar em uma peça	Facilidade de transformação das peças
Módulo de ruptura (MOR)	Resistência à ruptura	Resistência mecânica do produto
Módulo de elasticidade (MOE)	Parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez da madeira	Resistência mecânica do produto
Resistência ao cisalhamento na linha de cola	Tensão que suporta a peça antes de romper adjacente à linha de cola	Resistência mecânica do produto
Falha na linha de cola	Quanto a madeira desprende-se na linha de cola, em peças coladas	Resistência mecânica do produto
Densidade	Relação entre massa e volume na madeira seca (12% teor de umidade)	Qualidade da ligação e capacidade de penetração do adesivo, resistência
Anisotropia	Relação entre contrações tangenciais, radiais e axiais	Deformações no produto Limitações de uso
Dureza	Resistência à penetração dos parafusos	Resistência mecânica do produto
Teor de umidade	Porcentagem de umidade contida no material	Qualidade de colagem
Compressão paralela às fibras	Força na mesma direção das fibras da madeira	Resistência mecânica do produto
Tração paralela às fibras	Alongamento das fibras da madeira	Resistência mecânica do produto
Cisalhamento horizontal	Esforço cortante com duas forças paralelas na mesma direção e com sentidos contrários	Resistência mecânica do produto
Compressão perpendicular às fibras	Compactação das fibras da madeira	Resistência mecânica do produto

Fonte: o autor.

Existem dois tipos de defeitos que podem ser encontrados na madeira: os intrínsecos, isto é, os que são relacionados às características genéticas; e os externos, que são o resultado de processos de corte, transporte, secagem, entre outros. A qualidade da madeira está relacionada com a quantidade de defeitos que ela apresenta; para uma quantidade menor de defeitos, a qualidade da madeira é

maior (GUEDES; MAGOSSO, 2013). O Quadro 11 resume os principais defeitos encontrados na madeira.

Quadro 11 - Principais defeitos da madeira

<b>Defeito</b>	<b>Característica</b>	<b>Como afeta</b>
Rachas	Fendas que separam partes da madeira	Características mecânicas da peça e sua estética
Nó	Rastro deixado por ramo (galho)	Resistência mecânica
Colapso	Ocasionado durante a secagem por forças geradas durante a movimentação da água de impregnação	Resistência mecânica e aspecto visual, em alguns casos leva a separação parcial da peça
Empenamentos	Qualquer distorção da peça de madeira em relação a sua forma original	Propriedades mecânicas da madeira
Medula	Tem como função armazenar substâncias nutritivas para a planta, durante a fase inicial de crescimento	É uma região muito susceptível a ataque de microrganismos xilófagos e baixa resistência mecânica
Baixa resistência ao ataque de microrganismos xilófagos	Atraídos pelos nutrientes do lúmen das células	Reduz a resistência mecânica, aumentando a permeabilidade e causando odor desagradável
Ataque de insetos xilófagos	Alguns insetos atacam a madeira com o objetivo de se alimentar	Reduz a resistência mecânica, aumentando a permeabilidade
Bolsa de resina e veio de Kino	São bolsas planas, cheias de resina que surgem entre os anéis de crescimento	Afeta as propriedades físicas e mecânicas da madeira

Fonte: o autor.

Como vantagens da secagem da madeira, pode-se citar a redução da alteração dimensional em peças serradas; a melhoria na eficiência de produtos preservativos, retardadores de fogo e de acabamento superficial; melhoria nas propriedades de isolamento térmico, acústico e eletricidade; melhoria na aderência, em produtos colados; e o aumento da resistência da madeira (JANKOWSKY; GALINA, 2013). Parte do sucesso dos produtos à base de madeira colada está relacionada ao tipo de adesivo utilizado, uma vez que é responsável por proporcionar resistência, estabilidade e durabilidade. Com a colagem da madeira, é possível obter um material homogêneo com boa estabilidade dimensional, desde

que adotadas as tecnologias de processamento adequadas (MOTTA et al., 2012). As características que devem ser consideradas para a produção de peças coladas de madeira estão listadas no Quadro 12.

Quadro 12 - Características a ser consideradas para a produção de peças coladas de madeira

<b>Características a serem consideradas para peças coladas</b>
Densidade da madeira
Teor de umidade da madeira/secagem
Tipo de adesivo
Quantidade de adesivo utilizado
Pressão de colagem
Tempo de pressão
Acabamento superficial das peças
Temperatura ambiente
Disposição das peças

Fonte: o autor.

Comumente, são utilizados adesivos à base de acetato de polivinil (PVA), ureia formaldeído, emulsão polimérica isocianato (EPI), resorcinol fenol formaldeído (RFF), poliuretano (PUR) e resina resorcinol.

### 6.5.2 Características do processo de produção

As indústrias de móveis de madeira de eucalipto têm um processo de produção genérico, conforme apresentado na Figura 8, na página 90. No entanto, deve-se selecionar um produto que seja considerado representativo para a empresa, ou que seja necessário estudar, devido aos resíduos gerados, e decompor o processo produtivo e as etapas particulares para sua fabricação que são necessárias aplicar as modificações.

A partir do processo definido pela empresa, e de acordo com a sequência em que são feitos, os equipamentos, máquinas e ferramentas utilizadas e os resíduos gerados devem ser listados em cada operação. Para isso, recomenda-se usar o modelo apresentado no Quadro 13 para especificar operações e atividades no nível mais alto possível (esse quadro mostra o exemplo em uma operação, para exemplificar como deve ser preenchido). As entradas do sistema devem ser identificadas como materiais, suprimentos, energia e outros, e saídas como

produtos, resíduos de madeira e outros resíduos como elementos utilizados no processo (lixas, brocas, parafusos). Nas máquinas, o consumo de energia, água e ar comprimido deve ser avaliado.

Quadro 13 - Modelo de quadro para registro de operações, com seus respectivos equipamentos envolvidos, e o tipo de resíduos gerado.

Processo de produção de móveis de madeira sólida e geração de resíduos				
	Operação	Equipamento		Tipo de resíduo
	cortar (múltiplo)	serra múltipla		pó de serra, ripas

Fonte: o autor.

### 6.5.3 Aplicação de P+L – avaliação e diagnóstico para o produto

Para realizar esta etapa recomenda-se adotar a metodologia definida pelo Programa de Produção mais Limpa, desenvolvida pelo CNTL no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI/RS). Esse programa é representativo das tecnologias de Produção mais Limpa para o Brasil. Recomenda-se classificar as entradas e saídas para cada operação usando o modelo do Quadro 14 (no quadro está apresentada uma operação preenchida, como exemplo de preenchimento).

Quadro 14 - Modelo de quadro para registro de entradas e saídas associadas às operações de produção.

Entradas	Operações	Saídas
Energia elétrica, Ar comprimido, Cola, Rolo	Prensagem	Cola, Calor, Ruído, Perda energia

Fonte: o autor.

Os dados levantados do processo de produção são utilizados para identificar as operações mais relevantes, em termos de geração de resíduos. Como resultado, a quantificação de entradas e saídas do sistema de produção do produto se apresenta numa tabela, onde se resume os valores aferidos na produção do produto

selecionado. Recomenda-se usar o modelo da Tabela 15, que mostra o exemplo de preenchimento para uma operação.

Tabela 15 - Entradas e saídas de energia elétrica e massa de madeira de eucalipto na produção.

Nº	Entradas		Processo Etapas	Saídas		Peças
	Matéria prima – madeira de eucalipto (g)	Energia elétrica – potência de entrada (kWh)		Saída – massa de resíduos de madeira (g)	Perdas de energia elétrica (kWh)	
1	3283.62	$2.79 \times 10^{-1}$	1	131.34	$5.82 \times 10^{-2}$	(Inserir imagem da peça)
		$1.15 \times 10^{-2}$	2	163.92	$3.22 \times 10^{-3}$	
		$6.90 \times 10^{-2}$	3	0.00	$1.93 \times 10^{-2}$	
		$9.65 \times 10^{-3}$	4	597.67	$2.70 \times 10^{-3}$	
		$1.73 \times 10^{-3}$	5	167.35	$4.83 \times 10^{-4}$	
		$8.63 \times 10^{-3}$	6	155.63	$2.42 \times 10^{-3}$	
2			7			
			8			
			9			
			10			
			11			
3			12			
			13			
			14			
			15			
			16			
	Massa total de madeira de eucalipto (g) para produzir o produto	Demanda de potência da rede elétrica (kWh)	<b>Total</b>	Perda da massa de madeira (g)	Perda de energia	Imagem do Produto
				%	%	

Fonte: o autor.

Os resultados obtidos nesta tabela indicam o rendimento em porcentagem do uso do material e, o consumo de energia relacionados ao processo de fabricação de cada máquina envolvida.

A caracterização dos resíduos gerados por cada peça em valores relativos é apresentada na Tabela 16, que também mostra o exemplo de preenchimento para uma operação.

Tabela 16 – Rendimento da madeira para a produção de cada peça componente (g).

Peça	Entradas		Saídas			Perdas totais	
	Madeira	Maravalha	Lenha	Pó de serra	Outros	Perdas	%
Assento	3283.62	674.77	361.88	167.45	11.81	1215.92	37.03%
							%
							%
Montagem							
Total							
% Perdas	100%		%	%	%	%	%

Fonte: o autor.

#### 6.5.4 Balanço de massa

Nesta etapa se faz a coleta de dados para a realização da ACV. São coletados diretamente na empresa, extraídos do próprio processo produtivo. O balanço de massa é calculado para cada peça a partir da informação de cada fase do processo produtivo, por meio da quantificação de entradas e saídas geradas em cada operação, identificando as fontes e causas dos resíduos de recursos materiais, energia e água. O balanço de massa permite ter clareza dos desperdícios gerados e a quantidade deles. Sugere-se a utilização do software Stan®, software livre para o análise de fluxo de materiais, reconhecido e aceito para aplicação em gestão de resíduos, para conciliar os valores do material das peças componentes da madeira, obtidas por meio de pesagem.

#### 6.5.5 Avaliação de ciclo de vida (ACV)

Com os dados coletados é preciso fazer ACV do produto utilizando algum software conhecido (SimaPro, Open LCA, GaBi, Umberto, etc). Assim é possível obter os principais impactos ambientais do produto.

#### 6.5.6 Aplicação de *Ecodesign* - proposta de solução

Nesta etapa, o estudo se concentra na redução das perdas de matéria-prima, água e energia, levando em consideração o processo produtivo e as características do produto e do material utilizado. Desta forma, busca-se intervir no consumo de matéria-prima, na geração de resíduos e no consumo de água e energia. Aqui são utilizados os dados coletados nas etapas anteriores. É utilizado o diagrama de Pareto para identificar quais peças são as maiores geradoras de resíduos. São feitas as propostas, focadas em reduzir, facilitar, selecionar e valorizar:

- revisão do projeto do produto, considerando a modulação dos componentes dentro das dimensões da matéria-prima utilizada;
- reavaliação dos materiais utilizados nos componentes, propondo alterações quando conveniente;
- redesenho das peças componentes da cadeira, quando possível, a fim de reduzir o consumo de matéria-prima;
- diminuição de peças sem comprometer funcionalidade nem estética;
- facilitar a montagem do produto;
- aumentar a vida útil do produto.

Acompanhando a avaliação do processo produtivo, o estudo de *Ecodesign* inclui a análise dos componentes do produto responsáveis pelos maiores índices de geração de resíduos. Essa análise permite identificar as possibilidades de aplicação das propostas, diminuindo, modulando, redesenhando ou propondo substituições das peças ou matérias-primas.

#### **6.5.7 Avaliação de ciclo de vida da proposta (ACV)**

Novamente aplicar a ACV para a nova proposta de produto e assim poder fazer a comparação dos impactos ambientais do produto inicial com a proposta de produto. Para isso deve-se fazer novamente o processo do balanço de massa usando os modelos das tabelas 15 e 16. Esta etapa é necessária apenas para as peças que foram modificadas.

## 7 CONCLUSÃO

Comprova-se que o clone *Eucalyptus urograndis* é uma madeira adequada para a fabricação de móveis, pesquisas sobre o assunto mostram que, apesar de já estar sendo utilizado na indústria moveleira, ainda há muito para se trabalhar para um melhor aproveitamento. No entanto, para o eucalipto fornecer um produto de qualidade, são necessárias algumas condições, como tempo de plantio, tempo de secagem, densidade, fator de anisotropia, revisão dos defeitos, capacidade de colagem e características físico-mecânicas.

Sustentabilidade é um conceito amplo e utiliza uma série de ferramentas para ter um guia para trabalhar na empresa, nesta tese o uso de conceitos como P+L, *Ecodesign* e ACV, permitiu construir uma proposta focada na redução dos impactos ambientais no processo de fabricação de móveis de madeira de eucalipto.

Para aplicar as ferramentas utilizadas, é necessário o conhecimento do processo produtivo, diferenciando entradas, saídas, características de máquinas, entre outros. Como foi observado nesta tese através da empresa adotada como estudo de caso, quando não se evidencia aplicação de nenhum programa de Prevenção da Poluição nem utilização de parâmetros de projeto focados em redução da geração de resíduos, a geração de resíduos é alta, tendo altos níveis de desperdício.

Testes de desempenho do adesivo PVA na colagem de peças de madeira, tais como o de resistência ao cisalhamento e a porcentagem de falha da madeira, podem ser utilizados pela indústria para decidir os tempos ótimos de prensagem de peças coladas na fabricação de móveis de madeira de eucalipto, a fim de gerar valor dentro da cadeia de produção.

Nesta tese comprovou-se através dos testes de cisalhamento na linha de cola, que os resultados estão dentro da mesma faixa de resistência obtida em estudos realizados por diversos autores. Neste trabalho, a maior porcentagem de falha não foi referência para determinar a maior resistência ao cisalhamento na linha de cola.

Não há uma maneira fácil de prever quais tendências de *design* podem surgir, mas conclui-se que, independentemente dessas tendências, o desempenho ambiental dos produtos continuará a aumentar como uma meta para negócios futuros.

A aplicação dos conceitos de P+L permite reduzir o consumo de matéria-prima e energia, bem como a geração de resíduos. Os resultados obtidos na aplicação da P+L e do *Ecodesign*, no estudo de caso da Cadeira L1 nesta tese, confirmam os benefícios da P+L. Também, com a aplicação da ACV confirma-se a redução nos impactos ambientais da cadeira redesenhada ao consumir menos matéria-prima e diminuir a geração de resíduos. Isto tem uma relevância especial considerando a viabilidade de implementação em pequenas empresas de móveis de madeira, como apresentado neste estudo.

A proposta dos parâmetros de projeto para fabricação de móveis de madeira, combinam o uso de ferramentas como P+L, *Ecodesign* e ACV, gerando em sua implementação um impacto ambiental positivo, reduzindo a geração de resíduos e otimizando o uso da madeira.

Conclui-se que a implementação de parâmetros de projeto, considerando características do material, modulação das peças e redesenho, assim como a identificação das fontes mais relevantes de resíduos, por meio da aplicação de P+L, permite a redução do consumo de material e energia, sem diminuir a qualidade e a estética do produto final. O produto final apresenta valorização da diferença, já que é um produto mais eficiente no consumo de recursos. Desta forma, pode-se evidenciar o potencial da aplicação dos parâmetros de P+L e *Ecodesign* para atingir micro e pequenas empresas de móveis de madeira (que representam 96% das empresas de móveis de madeira no Brasil) ajudando a diminuir a geração de resíduos.

Embora a redução no consumo de energia não seja o foco da pesquisa, a economia obtida no consumo de energia é o resultado da simplificação do processo produtivo e uma consequência da aplicação dos parâmetros de projeto.

Para melhores resultados, a mudança na tecnologia de máquinas para processamento de madeira com melhor eficiência poderia ser analisada. Essa opção, entretanto, exige uma análise econômica para o investimento necessário.

#### Limitações da pesquisa

Na presente tese, só se trabalhou com uma empresa do setor de móveis de madeira de eucalipto pelo qual não foi possível fazer comparações.

Também o trabalho com um móvel só não permitiu fazer comparações com outros dados que poderiam ser obtidos.

### Trabalhos futuros

Com base nos resultados encontrados na presente investigação, propõem-se as seguintes linhas: microestrutura da madeira, desenvolvimento de software para sistematização dos dados, aplicação do mesmo trabalho em outro setor produtivo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAF - Associação Baiana das Empresas de Base Florestal. **Bahia Florestal** - Relatório ABAF 2017. 2017. 28p.

ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; UNICAMP – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Relatório de acompanhamento setorial** - madeira e móveis. Vol. III, jun. 2009. Disponível em: <[https://www3.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/RelatorioABDI/moveleira\\_vol-III\\_junho2009.pdf](https://www3.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/RelatorioABDI/moveleira_vol-III_junho2009.pdf)>. Acesso em 31 mar. 2019.

ABIMCI - Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo setorial 2007**: Ano base 2006. Curitiba, 2007.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação, Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14025**: Rótulos e declarações ambientais - Declarações ambientais de Tipo III - Princípios e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015. 29 p.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2006. 21p.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14044**: Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2006. 46 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 14806**: Madeira serrada de eucalipto – Requisitos. Rio de Janeiro, 2002. 11p.

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico 2011** – Ano base 2010. Brasília, 2011.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico 2013** – Ano base 2012. Brasília, 2013.

ABRAHÃO, C. P.; VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. D. A. D. C.; KHOURY JUNIOR, J. K. Quantificação da falha na madeira em juntas coladas utilizando técnicas de visão artificial. **Revista Árvore**, vol. 27, n. 1, p. 71–78, 2003.

AGUIAR, O. J. R.; JANKOWSKY, I. P. Prevenção e controle das rachaduras de topo em tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **IPEF**, v. 33, p. 39-46, Piracicaba, 1986.

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *eucalyptus Grandis W. Hill ex maiden* na qualidade da colagem. **Ciencia Florestal**, v. 22, n.4, p. 803–811, 2012.

ALCÂNTARA, P.; CORREIA, G.; MAGALHAES, I.; CLIMACO, L.; FREITAS, L. Análise dos Resíduos Madeireiros Gerados Pelas Serrarias do Município de Eunápolis-BA. **Floresta e Ambiente**, vol. 19, n. 4, p. 506–510, 2012.

ALLENBY, B. R.; RICHARDS, D. J. (Ed.). **The greening of industrial ecosystems: overview and perspective**. Washington: National Academy, 1994.

ALVES, P. R. G. **Resistência da linha de cola em superfícies lixadas da madeira de eucalipto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ANGELI, A.; BARRICHELO, L. E. G.; MÜLLER, P. H. Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus*. 2005. Disponível em: <<https://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>>. Acesso em 31 mar. 2019.

ANGELO, H.; PAULUCIO, F. F.; ALMEIDA, A. N.; MATRICARDI, E. A. T.; SOARES, P. R. C. A expansão dos reflorestamentos de eucalipto no estado de Goiás. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 223-228, abr.-jun. 2015.

Apostila defeitos na madeira (figura de bolsa de resina). Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAenOcAl/defeitos-na-madeira?part=2>>. Acesso em 05 mai. 2019.

Apostila noções de anatomia da madeira (figura de colapso em madeira). Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAfLS4Al/anatomia?part=14>>. Acesso em 05 mai. 2019.

ARANTES, M. D. C. **Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden x Eucalyptus urophylla S. T. Blake***. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

ARGENTA, D. O. F. **Alternativas de melhoria no processo produtivo do setor moveleiro de Santa Maria/RS: impactos ambientais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ASTM - American Society for Testing And Materials. **1994 Annual Book of ASTM Standards: Construction**. American Society for Testing and Materials, 1994.

\_\_\_\_\_. **Annual Book of ASTM Standards**. Vol. 15.06, set. 2000.

\_\_\_\_\_. **Standard specification for adhesives used in nonstructural glued lumber products**. ASTM D-3110. Annual book of ASTM Standarts, 1994.

\_\_\_\_\_. **Standard test method for strenght properties of adhesive bonds in shear by compression loading**. ASTM D905-08, 2008. 5 p.

AZEVEDO, P. S.; NOLASCO, A. M. Fatores de incorporação de requisitos ambientais no processo de desenvolvimento de produtos em indústrias de móveis sob encomenda. In: 2 INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2009, p. 2422-2427.

Banco de imagens Pxhere (figura de rachadura em madeira). Disponível em: <<https://pxhere.com/pt/photo/636594>>. Acesso em: 05 mai. 2019.

BELTRAME, R.; PERES, M. L.; LAZAROTTO, M.; GATTO, D. A.; SCHNEID, E.; HASELEIN, C. R. Tensão de crescimento e sua relação com as rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 63–74, mar. 2015.

BIANCHE, J. J.; TEIXEIRA, A. P. M.; LADEIRA, J. P. S.; CARNEIRO, A. D. C. O.; CASTRO, R. V. O.; DELLA LUCIA, R. M. Cisalhamento na linha de cola de *Eucalyptus* sp. colado com diferentes adesivos e diferentes gramaturas. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1–9, 2017.

BILA, N. F. **Avaliação da qualidade de juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais da amazonia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BOA, A. C. **Aproveitamento de residuos madeireiros de eucalipto aderidos com resina ureia-formaldeido colados a frio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

BOA, A. C., GONÇALVES, F. G., OLIVEIRA, J. T. D. S., PAES, J. B., & ARANTES, M. D. C. (2014). Resíduos madeireiros de eucalipto colados com resina ureia formaldeído à temperatura ambiente. **Scientia Forestalis**, v. 42 n. 102, p. 279–288, jun. 2014.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Revista Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 169 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BRANDÃO, J. B. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de três espécies florestais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010.

BRASIL. Lei 12.305 de 02 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 31 mar. 2019.

BRASIL. Lei Complementar 123, de 14 de dezembro de 2006. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/LCP/Lcp123.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp123.htm)>. Acesso em: 31 mar. 2019.

BRITO, E. O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. **Revista da Madeira**, v. 4, n. 26, p. 34-39, 1995.

BRUNDTLAND, G. H. **Our common future**. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Universidade de Oxford. Nova Iorque, 1987.

CAETANO, M. D. D. E.; DEPIZZOL, D. B.; REIS, A. O. P. Análise do gerenciamento de resíduos sólidos e proposição de melhorias : estudo de caso em uma marcenaria de Cariacica, ES. **Revista Gestão & Produção**, v. 24, n. 2, p. 382-398, 2017.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Barueri, SP: Manole, 2003.

CASSILHA, A. C.; PODLASEK, C. L.; CASAGRANDE JUNIOR, E. F.; SILVA, M. C.; MENGATTO, S. N. F. Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. **Revista Educação & Tecnologia**, v. 8, p. 209-228, 2004.

CASTELO, G. F. O híbrido mais comum encontrado é a combinação *Eucalyptus grandis* e *urophylla*, denominado *urograndis*. 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/6436776-O-hibrido-mais-comum-encontrado-e-a->

[combinacao-eucalyptus-grandis-e-urophylla-denominado-urograndis.html](#)>. Acesso em: 01 mar. 2019.

CASTILLO, J. L. M.; CUETO, E. M. P. Características de maquinado de 32 especies de madera. **Madera Y Bosques**, v. 2, n. 1, p. 45–62, 1996.

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Guia da produção mais limpa faça você mesmo. Rio de Janeiro: [s. n.], 2005. Disponível em: <<https://cebds.org/wp-content/uploads/2016/09/Guia-Pra%CC%81tico-de-PmaisL.pdf>>. Acesso em 31 mar. 2019.

CERVANTES, G. T. M. Ecología Industrial : innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales. **Revista Internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo**, V. 6, p. 58–78, 2011.

CERVANTES, G. T. M. Ecología Industrial : innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales. **Sostenibilidad, Tecnología Y Humanismo**, p.58–78, 2012.

CERVANTES, G. T. M.; GRANADOS, R. S.; HERRERA, G. R.; MARTÍNEZ, F. R. Ecología industrial y desarrollo sustentable. **Ingeniería**, v. 13, n. 1, 2009.

CNI - Confederação Nacional das Indústrias. **A importância do Design para a sua empresa**. Brasília: CNI, 1998.

CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas. **Implementação de programas de produção mais limpa**. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/INEP, 2003.

COSTA, M. **Princípios de ecologia industrial aplicados a sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção de aço**. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

CRESSONI, A. **Resistência mecânica de juntas coladas em madeira de Eucalyptus sp**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

CUNHA, A. C. M. C. M.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P. Relações entre variáveis climáticas com produção e enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 2, p.195-203, 2009.

DAIAN, G.; OZARSKA, B. Wood waste management practices and strategies to increase sustainability standards in the Australian wooden furniture manufacturing sector. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 17, p. 1594-1602, 2009.

DALHAMMAR, C. Industry attitudes towards eco-design standards for improved resource efficiency. **Journal of Cleaner Production**, v. 123, p. 155-166, jun. 2016.

DEPEC – DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E ESTUDOS ECONÔMICOS – BRADESCO. Indústria de móveis. Jun. 2017. Disponível em: <[www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset\\_industria\\_de\\_moveis.pdf](http://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_industria_de_moveis.pdf)>. Acesso em: 31 mar. 2019.

DIAS JÚNIOR, A. F.; SANTOS, P. V.; PACE, J. H. C.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Caracterização da Madeira de Quatro Espécies Florestais para Uso em Movelaria. **Revista Ciência Da Madeira**, v. 4, n.1, p.93–107, 2013.

DOBROVOLSKI, E. G. **Problemas, destinação e volume dos resíduos da madeira na indústria de serrarias e laminados da região de Iratu-Pr**. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Ponta Grossa, 1999.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira**: retratibilidade Santa Maria, CEPEF/FATEC, 1992. 33 p. Série Técnica, v. 10.

ELEOTÉRIO, J. R., HORNBERG, K. F., REICHERT, D., BAGATTOLI, T. R., & MENEGHELLI, I. Efeito da espécie e da condição de secagem na formação de defeitos na madeira serrada de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n.101, p. 41–47, 2014.

ERKMAN, S.; FRANCIS, C.; RAMESH, R. **Ecologia industrial**: uma agenda para a evolução no longo prazo do sistema industrial. São Paulo: Instituto Pólis, 2005. 88p.

EU – European Commission. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) handbook** - general guide for life cycle assessment-detailed guidance. Institute for Environment and Sustainability, 2010.

FERREIRA, A. R.; JOÃO, D. D. M.; GODOY, L. P. A utilização da matéria prima Eucalipto na indústria moveleira como estratégia para o desenvolvimento sustentável. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELENCIA EM GESTÃO, 4., 2008, Niterói. **Anais...** Niterói: UFF, 2008.

FERREIRA, B. S.; CAMPOS, C. I.; SILVA, M. S.; VALARELLI, I. D. D. Cisalhamento na Linha de Cola de Compensados de Eucalyptus sp. e Adesivo PVA. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 141–146, 2012.

FIKSEL, J. **Design for environment**: creating eco-efficient products and processes. New York: McGraw-Hill, 1996.

FIRJAN – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Diagnóstico da Indústria Moveleira**. Jun. 2015. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8F4F4C1F2E014F5037FC7A5908>>. Acesso em 31 mar. 2019.

FOELKEL, C. E. B. Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo. **Visão Agrícola**, n.4, p. 66-69, 2005.

FONTES, P. J. P. **Auto suficiencia energetica em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos**. 1994. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

FRANÇA, M. C.; CUNHA, A. B. Determinação da relação resistência/ rigidez e teor de umidade da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4., 2012, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2012.

FRANCO, A.; COSTA, L. D. S. Resíduo de madeira : matéria-prima alternativa usada sob critérios de ecodesign e design estratégico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 9., 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UNI7, 2010.

FRANCO, A.; SOUZA, L.; OLIVEIRA, A. Resíduo de madeira : limites e possibilidades de seu uso como matéria-prima alternativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 9., 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UNI7, 2010.

GALVÃO, A. P. M. **Aspectos da utilização da madeira de eucalipto no Brasil**; seu aproveitamento em serraria. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, v. 4, 1976.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985.

GARCIA, J. C. C. **Ecodesign**: estudo de caso em uma indústria de móveis de escritório. 2007. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economics Process**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1971.

GIUNIPERO, L. C.; HOOKERB, R. E.; DENSLOWC, D. Purchasing and supply management sustainability: Drivers and barriers. **Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 18, n. 4, p. 258-269, 2012.

GOMES, C. M.; KNEIPP, J. M.; KRUGLIANSKAS, I.; ROSA, L. A. B.; BICHUETI, R. S. Management for sustainability: An analysis of the key practices according to the business size. **Ecological Indicators**, v. 52, p. 116-127, 2015.

GOMES, P. R. **Resistência da linha de cola em superfícies lixadas da madeira de eucalipto**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

GONÇALEZ, J. C.; BREDAS, L. C. S.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciencia Florestal**, v. 16, p. 329–341, 2006.

GONÇALVES, F. G.; SEGUNDINHO, P. G. A.; SCHAYDER, L. F.; TINTI, V. P.; SANTIAGO, S. B. Avaliação da resistência ao cisalhamento da madeira de *Pinus* sp. coladas em temperatura ambiente. **Revista Ciência da Madeira**, v. 7, n. 1, p. 42–50, 2016.

GORINI, A. P. F. **Panorama do setor moveleiro no Brasil, com ênfase na competitividade externa a partir do desenvolvimento da cadeia industrial de produtos sólidos de madeira**. Rio de Janeiro: BNDES, v. 199, 1998.

GUEDES, G.; MAGOSSI, D. C. Análise da qualidade da madeira de duas espécies de *Pinus* sp. (*pinaceae*) resultante do método de secagem em estufa convencional. **Revista da União Latino-americana de Tecnologia**, Jaguariaíva, n.1, p. 27-41, 2013.

GUINSKI, G.S. Relatório Setorial da Indústria de móveis no Brasil. 2016. Disponível em: <http://www.emobile.com.br/site/industria/iemi-relatorio-brasil-moveis-2016>. Acesso em: 20 out. 2018.

GUTIERREZ, C. M. A.; PANAMEÑO, R.; VELAZQUEZ, A. P. ; ÁLVAREZ, B. E. A.; KIPERSTOK, A.; CÉSAR, S. F. Cleaner production applied in a small furniture industry in Brazil: Addressing focused changes in design to reduce waste. **Sustainability**, v. 9, n. 10, 2017.

HARDIYANTO, E. B.; TRIDASA, A. M. Early performance *Eucalyptus urophylla* x *E. Grandis* hybrid on several sites in Indonesia. In: HYBRID BREEDING

AND GENETICS OF FOREST TREES. PROCEEDINGS OF QFRI/CRC-SPF SYMPOSIUM, 2000. **Proceedings...** 2000, p. 9-14.

HEINZLE, S. L.; WÜSTENHAGEN, R. Dynamic adjustment of eco-labeling schemes and consumer choice – the revision of the EU energy label as a missed opportunity? **Business Strategy and the Environment**, v. 21, n. 1, p. 60-70, 2012.

HILLIG, É.; SCHNEIDER, V. E.; WEBER, C.; TECCHIO, R. D. Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 26., 2006, Fortaleza. **Anais...** v. 26, 2006, p. 1–7.

HILLIG, É.; SCHNEIDER, V. E.; PAVONI, E. T. Geração de resíduos de madeira e derivados da indústria moveleira em função das variáveis de produção. **Produção**, v. 19, n. 2, p. 292-303, mai.-ago. 2009.

IBÁ - Indústria brasileira de Árvores. **Anuário Estatístico da IBÁ: Ano Base 2014**. Brasília: [s.n.], 2015.

\_\_\_\_\_. **Anuário estatístico da IBÁ: ano base 2015**. Brasília: [s.n.], 2016.

\_\_\_\_\_. **Anuário estatístico da IBÁ: ano base 2016**. Brasília.: [s.n.], 2017.

IBQP- Instituto Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Paraná. **Análise da competitividade da cadeia produtiva da madeira no estado do Paraná**. Curitiba: IBPQ, 2002. 345 f.

IWAKIRI, S.; CRUZ, C. R. D.; OLANDOSKI, D. P.; BRAND, M. A. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, v. 7, p. 251-256, 2012.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; CUNHA, A. B.; PRATA, J. G.; HARA, M.; BILA, N. F.; LUIS, R. C. G.; ARAÚJO, R. D.; BÔAS, B. T. V. Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Eucalyptus benthamii* com diferentes adesivos e faces de colagem. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, vol. 41, n. 99, p. 411–416, 2013.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; NASCIMENTO, C. C.; GUMANE, C.; LENGOWSKI, E. C.; SCHARDOSIN, F. Z.; AZAMBUJA, R. Resistência das juntas coladas de madeiras de *Inga alba* (SW) Willd e *Swartzia recurva* Poepp. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 457–463, 2015.

JANKOWSKY, I. P. Equipamentos e processos para a secagem de madeiras. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO

PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 109-118.

JANKOWSKY, I. P.; GALINA, I. C. M. **Secagem de madeiras**. ANPM/ESALQ-USP/XYLEMA, 2013. (Curso Técnico).

JELINSKI, L. W.; GRAEDEL, T. E., LAUDISE, R. A., MCCALL, D. W., PATEL, C. K. Industrial ecology: concepts and approaches. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 89, n. 3, p. 793-797, 1992.

JUIZO, C. G. F.; ROCHA, M. P.; BILA, N. F. Avaliação do rendimento em madeira serrada de eucalipto para dois modelos de desdobro numa serraria portátil. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 543-550, out.-dez. 2014.

JÚNIOR, G. B. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis**, n. 63, p. 65-78, jun. 2003.

KIPERSTOK, A.; COELHO, A.; TORRES, E. A. **Prevenção da poluição**. In: Prevenção da poluição. Brasília: CNI/SENAI, 2002.

KIPERSTOK, A.; SILVA, M.; KALID, R. A.; SALES, E. A. Development of water and wastewater minimization tools for the process industry: the experience of the Clean Technology Network of Bahia, Brazil. In: GLOBAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE PRODUCT DEVELOPMENT AND LIFE CYCLE ENGINEERING, 4, 2006, São Carlos. **Anais..** São Carlos: IFM, 2006.

KLITZKE, R. J. **Manual de secagem de madeira**. (Apostila técnica). Curitiba, 2007. 119 p.

KLOCK, U. **Qualidade da madeirajuvenil de Pinus maximinoi** H. E. Moore. 2000. 275 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOLLMAN, F.; CÔTÉ, W. **Principles of wood science and technology: solid wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592 p.

KOZAK, P. A.; CORTEZ, A. M.; SCHIRMER, W. N.; CALDEIRA, M. V. W.; BALBINOT, R. Identificação, quantificação e classificação dos resíduos sólidos de uma fábrica de móveis. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 6, n. 2, p. 203-212, 2008.

KRUT, R.; GLECKMAN, H. **ISO 14001: A Missed Opportunity for Sustainable Global Industrial Development**. Routledge, 2013.

LA GREGA, M. D.; BUCKINGHAM, P. L.; EVANS, J. C. **Hazardous Waste Management**: environmental resources management. New York: McGraw Hill Higher Education, 2001.

LERAYER, A. (Coord.). **Guia do eucalipto**: oportunidades para um desenvolvimento sustentável. São Paulo: Conselho de Informações sobre Biotecnologia, 2008.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, C. L. S. O. Colagem da madeira de clones de Eucalyptus com três adesivos comerciais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 77, p. 73–77, 2008.

LIMA, E. G.; SILVA, D. A. Resíduos gerados em indústrias de móveis de madeira situadas no pólo moveleiro de Arapongas - PR. **Floresta**, v. 35, n. 1, p. 105–116, 2005.

LOBÃO, M. S.; DELLA LÚCIA, R. M.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, nov.-dez. 2004.

LOPES, C. S. D. **Caracterização da madeira de três espécies de eucalipto para uso em movelaria**. 2007. 89 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

LOEWE, V.; GONZÁLEZ, M.; BALZARINI, M. Wild cherry tree (*Prunus avium* L.) growth in pure and mixed plantations in South America. **Forest Ecology and Management**, v. 306, p. 31-41, out. 2013.

LUZ, S.; BARBOSA, P. P.; BORGES, H.; CESAR, F.; MARTINS, C. H. Resíduos Da Indústria Da Madeira: Estado Da Arte. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 7., 2011, Maringá. **Anais...** Maringá: CESUMAR, 2011.

LUZ, B. Ecologia Industrial: Conceitos, aplicações e oportunidades. 2012. Disponível em: [http://www.openinnovationseminar.com.br/2012/apresentacoes/arenas/ecologia/BeatrizLuz\\_Braskem.pdf](http://www.openinnovationseminar.com.br/2012/apresentacoes/arenas/ecologia/BeatrizLuz_Braskem.pdf)>. Acesso em: 31 mar. 2019.

MACEDO, H. **Dicionário de física**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1976.

MAFFESSIONI, D.; MENEGUZZI, A. Diagnóstico da gestão dos resíduos de madeira e de chapas nas indústrias do Pólo Moveleiro de Bento Gonçalves. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 3., 2012, Bento Gonçalves. **Anais....** Bento Gonçalves: UCS, 2012.

Manual técnico de formação para la caracterización de madera de uso estructural (figura de nó vivo). Disponível em: <[www.ebah.com.br/content/ABAAAenOcaI/defeitos-na-madeira?part=2](http://www.ebah.com.br/content/ABAAAenOcaI/defeitos-na-madeira?part=2)>. Acesso em 05 mai. 2019.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. São Paulo: Edusp, 2008.

MARCIS, J.; LIMA, E. P.; TRENTIN, M. G. Desperdícios e Sustentabilidade nas Indústrias Moveleiras de Pequeno Porte do Sudoeste do Paraná. **Journal Of Lean Systems**, v. 2, n. 1, p. 68-81, 2017.

MARINHO, M.; KIPERSTOK, A. Ecologia industrial e prevenção da poluição: uma contribuição ao debate regional. **Bahia Análise & Dados**, v. 10, n. 4, p. 271-279, 2001.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF,DPq, LPF, 1988. 52 p.

MASSOTE, C. H. R.; SANTI, A. M. M. Implementation of a cleaner production program in a Brazilian wooden furniture factory. **Journal of Cleaner Production**, v. 46, p. 89-97, 2013.

MELO, M. C. A. **Produção Mais Limpa**: Um Estudo De Caso Na Agco Do Brasil. 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

MELLO, R. L. **Projetar em madeira**: uma nova abordagem. 2007. 195 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, E. C. Secagem da madeira ao ar livre e alguns pontos básicos para compra de madeira serrada. Boletim Agropecuário, Universidade Federal de Lavras, n. 21, 1996. 30p.

MIKHAILOVA, I. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, n. 16, 2004.

MILLNER, J. P. **The performance of Eucalyptus species in Hill Country**. 2006. 334 f. Tese (PhD in Plant Science) – Massey University, Palmerston North, Nova Zelândia, 2006.

MONCZKA, R. M.; HANDFIELD, R. B.; GIUNIPERO, L. C.; PATTERSON, J. L. **Purchasing & Supply Chain Management**. Boston: Cengage Learning, 2015.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; ALVES, R. C. Influência do teor de umidade nas propriedades de adesão da madeira de eucalipto. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, jul.-dez. 2012.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ALVES, R. C.; VIDAURRE, G. B. Avaliação da resistência ao cisalhamento de juntas coladas com madeira de teca (*Tectona grandis*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 615-621, dez. 2014.

MOURA, V. P. G. **Potencial e uso de espécies de Eucalyptus e Corymbia de acordo com locais e usos**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. 2001. 32p.

MOURA, A. M. M. **O mecanismo de rotulagem ambiental**: perspectivas de aplicação no Brasil. Boletim regional, urbano e ambiental, v. 7, p. 11-21, jan.-jun. 2013.

MÜLLER, B. V.; ROCHA, M. P.; CUNHA, A. B.; KLITZKE, R. J.; NICOLETTI, M. F. Avaliação das Principais Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 535-542, 2014.

NAIME, R.; ASHTON, E.; HUPFFER, H. M. Do Design ao Ecodesign: pequena história, conceitos e princípios. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 7, n. 7, p. 1510–1519, 2012.

NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, 2012.

NAVEIRO, R. M.; PACHECO, E. B. A. V.; MEDINA, H. V. *Ecodesign*: O desenvolvimento de projeto de produto orientado para reciclagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 5., 2005, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UTFPR, 2005.

NOGUEIRA FILHO, F. P.; BAJAY, M. M.; SOUSA, J. A.; ARAÚJO, J. D. M.; CORREIA, D. Viabilidade econômica da produção de eucalipto no polo moveleiro de Marco – Ceará. **Revista iPecege**, v. 3, n. 4, p. 22-34, 2017.

NOLASCO, A.; ULIANA, L. R. **Gerenciamento de resíduos nas indústrias de piso de madeira**. Piracicaba: ANPM, 2014.

NUNES, C. S.; NASCIMENTO, A. M.; GARCIA, R. A.; LELIS, R. C. C. Qualidade de adesão das madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* tratadas termicamente. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 41–56, 2016.

OLANDOSKI, D. P. **Rendimento, resíduos e considerações sobre melhorias no processo em indústria de chapas compensadas**. 2001. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C. Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP). São Paulo: EDUSP, 1998. 52 p.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

OLIVEIRA, P. S.; VIANA, A. E. S.; VIRGENS, A. P.; DUTRA, F. V. Caracterização de propriedades rurais com plantio de eucalipto no município de Cândido Sales, BA. In: SEMANA DE ENGENHARIA FLORESTAL DA BAHIA, 5., 2018, Vitória da Conquista. **Anais...** Vitoria da CONQuista: UESB, 2018.

OLIVEIRA, J. T. S.; MARIO TOMAZELLO FILHO, M.; NILTON CÉSAR FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.5, p.929-936, 2010.

OLIVEIRA NETO, G. C.; GODINHO FILHO, M.; GANGA, G. M. D.; NAAS, I. A.; VENDRAMETTO, O. Princípios e ferramentas da produção mais limpa: um estudo exploratório em empresas brasileiras. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 22, n. 2, p. 326-344, 2015.

PÊGO, K. A. C.; PEREIRA, A. F.; CARRASCO, E. V. M. Inserção de Parâmetros Ambientais no Desenvolvimento de Produtos: caso categoria móveis de madeira. **Estudos em design**, v. 20, n. 1, 2012.

PENEDA, C.; FRAZÃO, R. **Ecodesign no desenvolvimento dos produtos**. Lisboa: Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 1994.

PEÑA, S. V.; ROJAS, I. M. Madera Aserrada II: Defectos Y Alteraciones. Relatório Técnico, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Santiago\\_Pena2/publication/311924422\\_MAD](https://www.researchgate.net/profile/Santiago_Pena2/publication/311924422_MAD)

[ERA ASERRADA ii DEFECTOS Y ALTERACIONES/links/58639c7808ae8fce490b6841/MADERA-ASERRADA-ii-DEFECTOS-Y-ALTERACIONES.pdf](http://ERA_ASERRADA_ii_DEFECTOS_Y_ALTERACIONES/links/58639c7808ae8fce490b6841/MADERA-ASERRADA-ii-DEFECTOS-Y-ALTERACIONES.pdf)>. Acesso em 05 mai. 2019.

PEREIRA, A. F.; CARVALHO, L. D. S. C.; PINTO, A. C. D. O. Resíduo de madeira: limites e possibilidades de seu uso como matéria-prima alternativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 9., 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UNI7, 2010.

PEREIRA, A. F.; COSTA, L. D. S. Resíduo de madeira: matéria-prima alternativa usada sob critérios de *ecodesign* e design estratégico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 9., 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UNI7, 2010.

PEREIRA, A. F. Design para a sustentabilidade: melhoria de produtos e processos e valorização da identidade local. **Estudos em Design**, v. 20, n. 2, 2012.

PEREIRA, A. S.; LIMA, J. C. F.; RUTKOWSKI, E. W. Ecologia Industrial, Produção e Ambiente: uma discussão sobre as abordagens de inter-conectividade produtiva. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 1., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UNIP, 2007.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel** - Estudo de Caso. 2003. 379 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PLASTER, O. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; GONÇALVES, F. G.; MOTTA, J. P. Comportamento de adesão da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* proveniente de três condições de manejo. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 323-330, 2012.

POGETTO, M.H.F.A.; BALLARIN, A.W.; COLENCI, R.A. Relações entre a dureza paralela e normal às fibras em madeiras. In: Encontro Brasileiro em madeira e em estruturas de madeira, 10, 2006, Águas de São Pedro. **Anais...** Botucatu:UNESP, 2006.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF, 1995. p. 50-58.

PONCE, R. H. Tecnologia de desdobro de pinus e eucaliptos a busca da competitividade. In: SIMPÓSIO FLORESTAL DO RIO GRANDE DO SUL – TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2., 1992, Esteio. **Anais...** Santa Maria: UFSM/AGEFLOR/CEPEF/FATEC, 1992. p. 154-162.

PONCE, R. H.; WATAI, L.T. **Manual de secagem da madeira**. Brasília, DF: IPT/STI, 1985. 72 p.

RAPÔSO, Á. L. Q. R. S. **Modelo de sistema de Produto - Serviço para Estofado Personalizado**: Sustentabilidade ambiental e inovação em modelo de negócio de Estofadora do APL de Móveis do Agreste (Alagoas, Brasil). 2014. 431 f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

RAPOSO, A.; KIPERSTOK, A.; CÉSAR, S. F. Produção Mais Limpa e Design do Ciclo de Vida de Móveis Estofados no Estado de Alagoas, Brasil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 3., São Paulo. **Anais...** São Paulo: UNIP, 2011.

REZENDE, J. B.; PEREIRA, J. R.; BOTELHO, D. O. Expansão da cultura do eucalipto nos municípios mineiros e gestão territorial. **Cerne**, Lavras, v.19, n.1, jan.-mar. 2013.

RODRIGUES, R. A. D. **Variabilidade de propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para a construção civil**. 2002. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

RODRIGUES FARIA, J.; SILVA, J. F.; NERIS, K. P.; RODRIGUES LOPES, F. L.; COSTA SILVA, M. ; SARDINHA LISBOA, E.; RODRIGUES, J.; CENTENO, A. J.; MARQUES LOPES, F. Desenvolvimento de *Eucalyptus urograndis* no município de Corumbá-GO. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande, v. 17, n. 2, pp. 9-27, 2013.

ROSSI, M.; GERMANI, M.; ZAMAGNI, A. Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 129, p. 361-373, 2016.

ROSA, S. E. S.; CORREA, A. R.; LEMOS, M. L. F.; D. VILELA BARROSO, D. V. O setor de móveis na atualidade: uma análise preliminar. 2007. Disponível em: <[https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Galerias/Convivencia/Public](https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Galerias/Convivencia/Public)

[acoes/Consulta\\_Expressa/Setor/Industria/200703\\_5.html>](#). Acesso em: 31 mar. 2019.

ROSEN, H.N. Recent advances in the theory of drying lumber. In: IUFRO DIVISION CONFERENCE, 5., Madison, 1983. **Proceedings**: wood drying working party. Carbondale: Southern Illinois University, USDA, 1983. p.32-62.

SACHS, I. **Desenvolvimento includente, sustentável, sustentado**. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

SAMPAIO, C. S. O Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida – PBACV. 2015. Disponível em: <http://az545403.vo.msecnd.net/observatoriodaconstrucao/2015/09/01-Cristiane-Sampaio-INMETRO.pdf>>. Acesso em> 31 mar. 2019.

SANTOS, G. R. V.; JANKOWSKY, I. P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 63, 214–220, jun. 2003.

SANTOS NETO, A. B. S. **Cisalhamento Em Corpos-De-Prova De Madeira**. 1999. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 1999.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 120-129, jun. 2004.

SCHNEIDER, V. E.; HILLIG, É.; PAVONI, E. T.; RIZZON, M. R.; BERTOTTO, L. A. Gerenciamento ambiental na indústria moveleira – estudo de caso no município de Bento Gonçalves. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ABEPRO, 2003.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Critérios de classificação de empresas**: MEI, ME,EPP. 2010. Disponível em: <http://www.sebrae-sc.com.br/leis/default.asp?vcdtexto=4154>. Acesso em: 20 jan. 2017.

SEGUNDINHO, P. G. A.; CALIL NETO, C.; GONÇALVES, F. G.; REGAZZI, A. J.; CALIL JUNIOR, C. Resistência de linhas de cola para madeiras de reflorestamento. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 107–116, jan.-jun. 2015.

SEGUNDINHO, P. G. A.; GONÇALVES, F. G.; GAVA, G. C.; TINTI, V. P.; ALVES, S. D.; REGAZZI, A. J. Eficiência da colagem de madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell para produção de madeira laminada colada (MLC). **Revista Matéria**, v. 22, n. 2, 2017.

SEVERO, E. T. D. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, v.10, n.1, 2000.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira.** 2002. 181 f. Tese (Doutorado em Ciências Forestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J. D. C.; CASTRO, V. R., EVANGELISTA, W. V. Influência da idade na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, visando uso na indústria moveleira. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 1–8, 2015.

SILVA FILHO, J. C. G.; SICSÚ, A. B. Produção Mais Limpa : uma ferramenta da Gestão Ambiental aplicada às empresas nacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ABEPRO, 2003.

SILVA, J. R. M.; MENDES, L. M.; WENZEL, M. K.; TRUGILHO, P. F. Secagem ao ar livre da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de móveis. **Cerne**, v. 3, n. 1, p. 170 – 186, 1997.

SILVA, G. C. S.; MEDEIROS, D. D. Metodologia de Checkland aplicada à Implementação da Produção Mais Limpa em Serviços. **Gestão e Produção**, v. 13, n. 3, p. 411–422, 2006.

SILVA, R. S. **Resistência mecânica da madeira de eucalyptus saligna unidas por adesivo poliuretano para diferentes acabamentos de superfície.** 2013. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

SILVEIRA, R. B. **Análise da rentabilidade potencial de investimentos em reflorestamento de eucalipto no leste de Mato Grosso do Sul e Norte do Paraná.** 2008. 40 f. Dissertação (Mestrado em Produção e Gestão Industrial) - Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal, Campo Grande, 2008.

SOUZA, K. S. **Viabilidade do aproveitamento de resíduos de madeira para produção de móveis**. 2008. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2008.

SOUZA, M. O. A.; SILVA, J. C.; DELLA LUCIA, R. M.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh E *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake em ensaios de usinagem, visando a produção moveleira. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 751–758, 2009.

SPARNOCHIA, L., COCO, S., RIVERA, S., & ACOSTA, M. S. Estudio de las características anatómicas de la Madera de *Eucalyptus maculata* y del híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus tereticornis*, cultivados en Concordia, Entre Ríos. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE PRODUCTOS FORESTALES [MADEREROS Y NO MADEREROS], 3., 2006, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires, 2006.

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos**: o exemplo do resíduo de madeira. 2005. 159 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

TEIXEIRA, T. O. B.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R.; SILVA, J. C.; PIRES, V. A. V. A percepção sobre o uso da madeira de eucalipto pelos fabricantes do polo moveleiro de Ubá-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.5, p.969-975, 2009.

TEIXEIRA, M.; CÉSAR, S. F. Produção de compósito com resíduo de madeira no contexto da ecologia industrial. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA – EBRAMEM, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: IBRAMEMEM, 2006.

TOUZA, M.; SANZ, F. Nuevas Aplicaciones de la Madera de Eucalipto. **Revista CIS-Madera**, v. 9, p. 6–22, 2003.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991.

Tutorial de como lidar com madeira empenada (figura de madeira empenada). Disponível em: <<http://www.zemad.com.br/como-lidar-com-madeira-empenada/>>. Acesso em: 05 mai. 2019.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Cleaner Production: A Training Resource package**. Paris: United Nation Publication, 1996. Disponível em:

<http://www.uneptie.org/shared/publications/pdf/WEBx0029xPA-CPtraining.pdf>.

Acesso em 15 jun. 2019.

VENZKE, C. S. O *ecodesign* no setor moveleiro do Rio Grande do Sul. **REAd - Revista Eletrônica de Administração**, vol. 8, n. 6, p. 69–84, 2002.

VITAL, B. R.; TRUGILHO, P. F. Variação dimensional e uso da madeira de *Eucalyptus*. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 186, p. 57-61, 1997.

WIECHETECK, M. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos**. Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental, Curitiba, 2009.

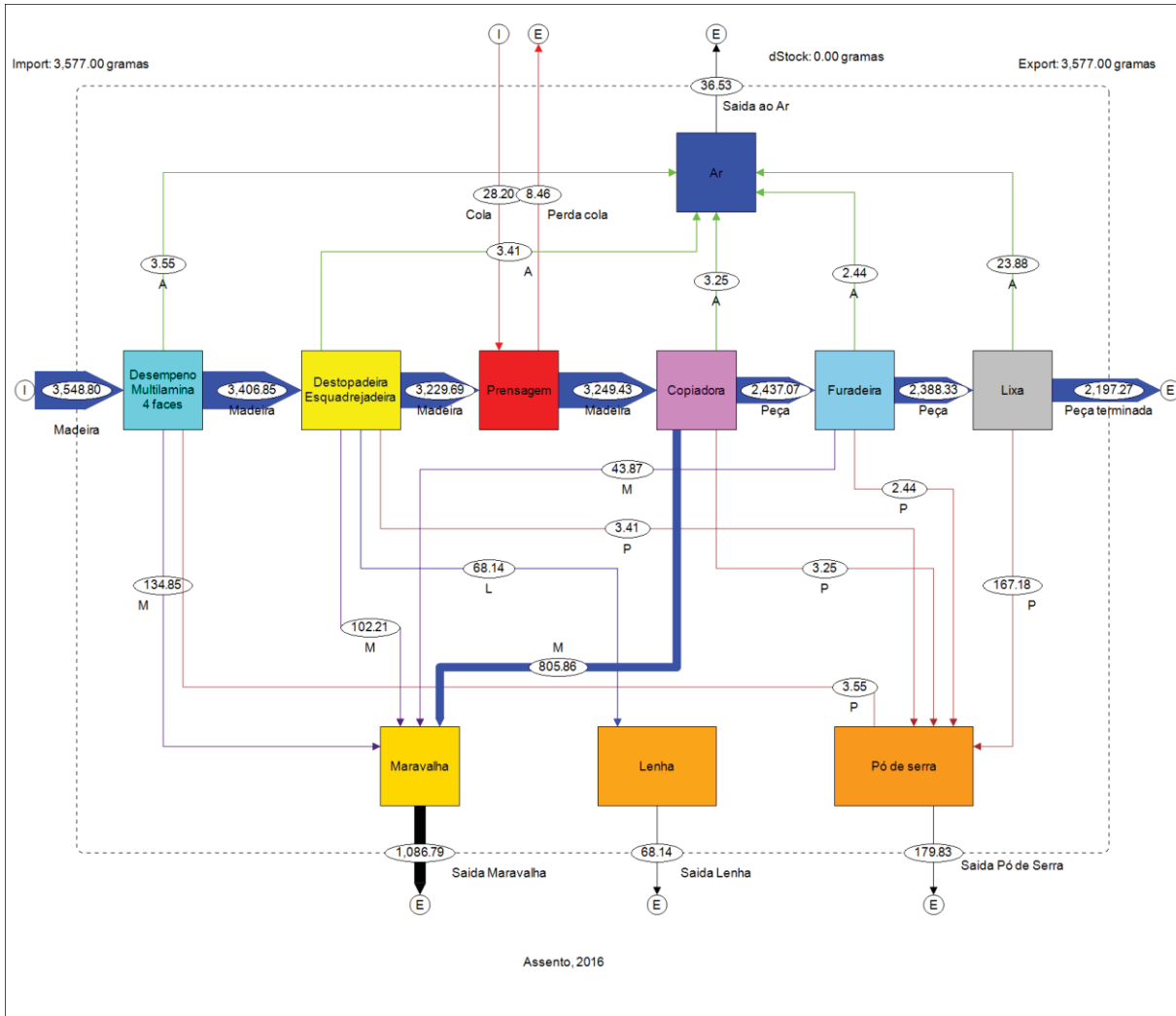
WDO – World Design Organization. **Definition of Industrial Design**. 2019. Disponível em: <https://wdo.org/about/definition/>. Acesso em 31 mar. 2019.

YUBA, A. N. **Cadeia produtiva de madeira serrada de eucalipto para produção sustentável de habitações**. 2001. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

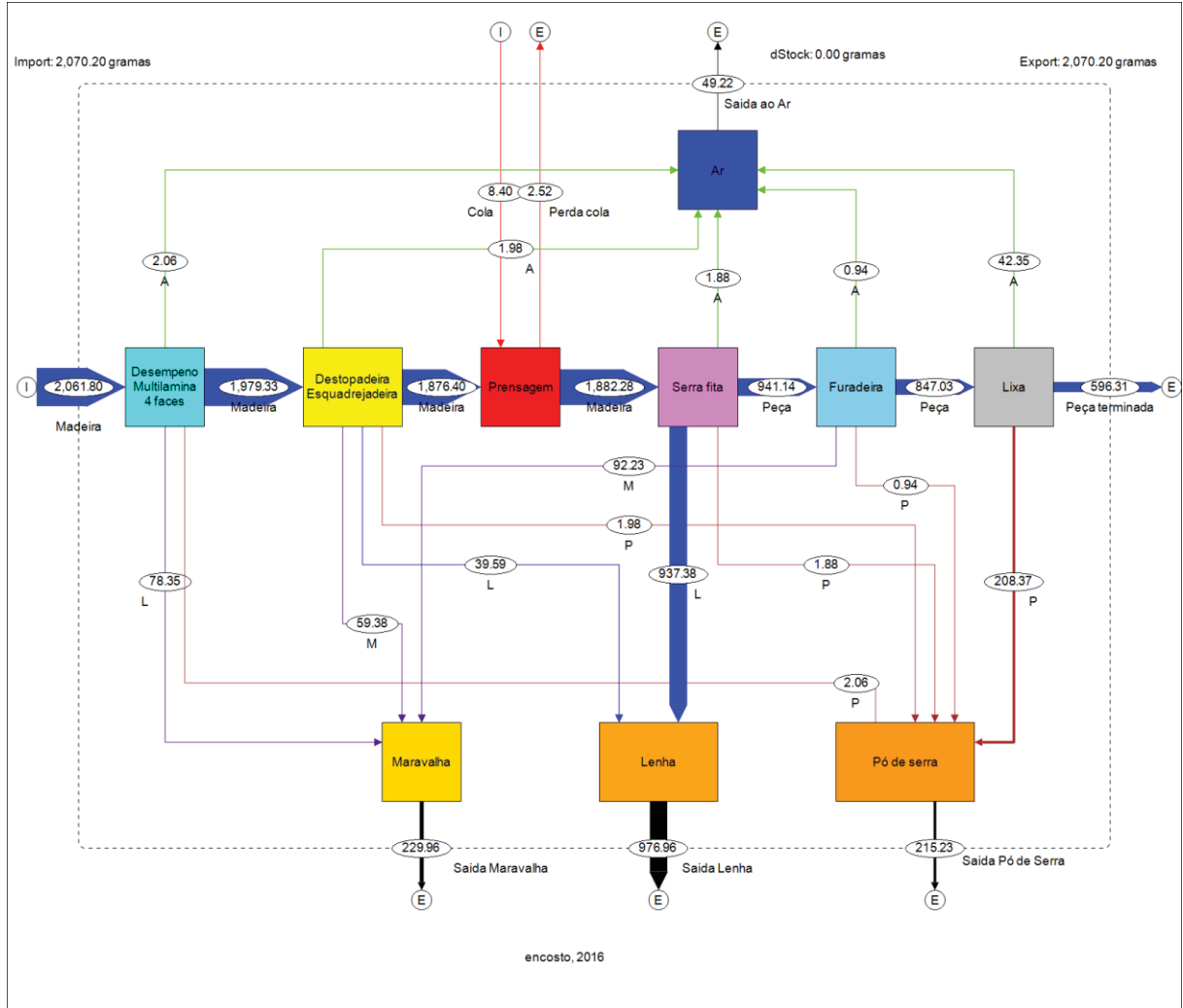
## **APÊNDICE 1**

Balanço de massa, Software Stan

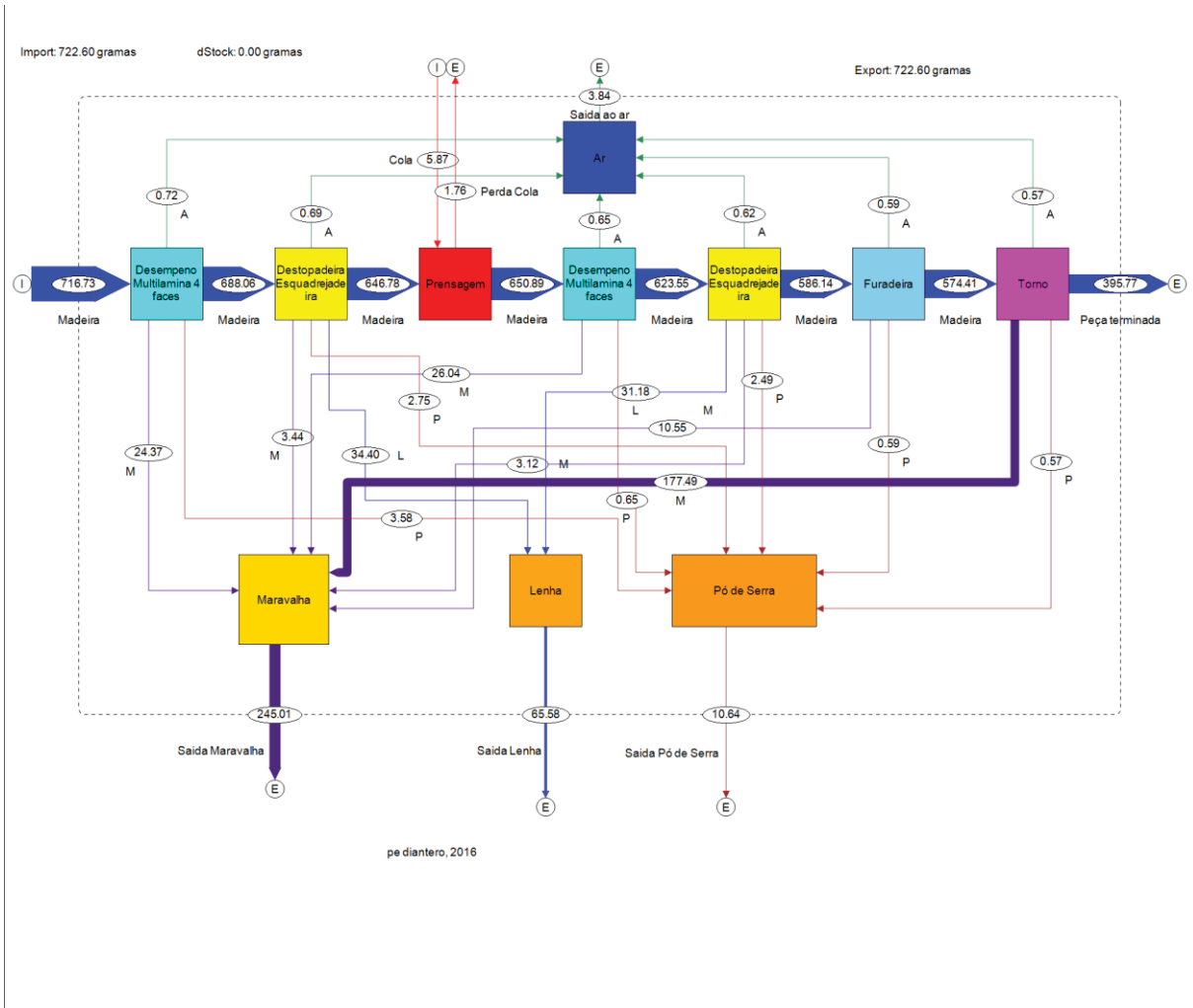
### Balço de massa – assento



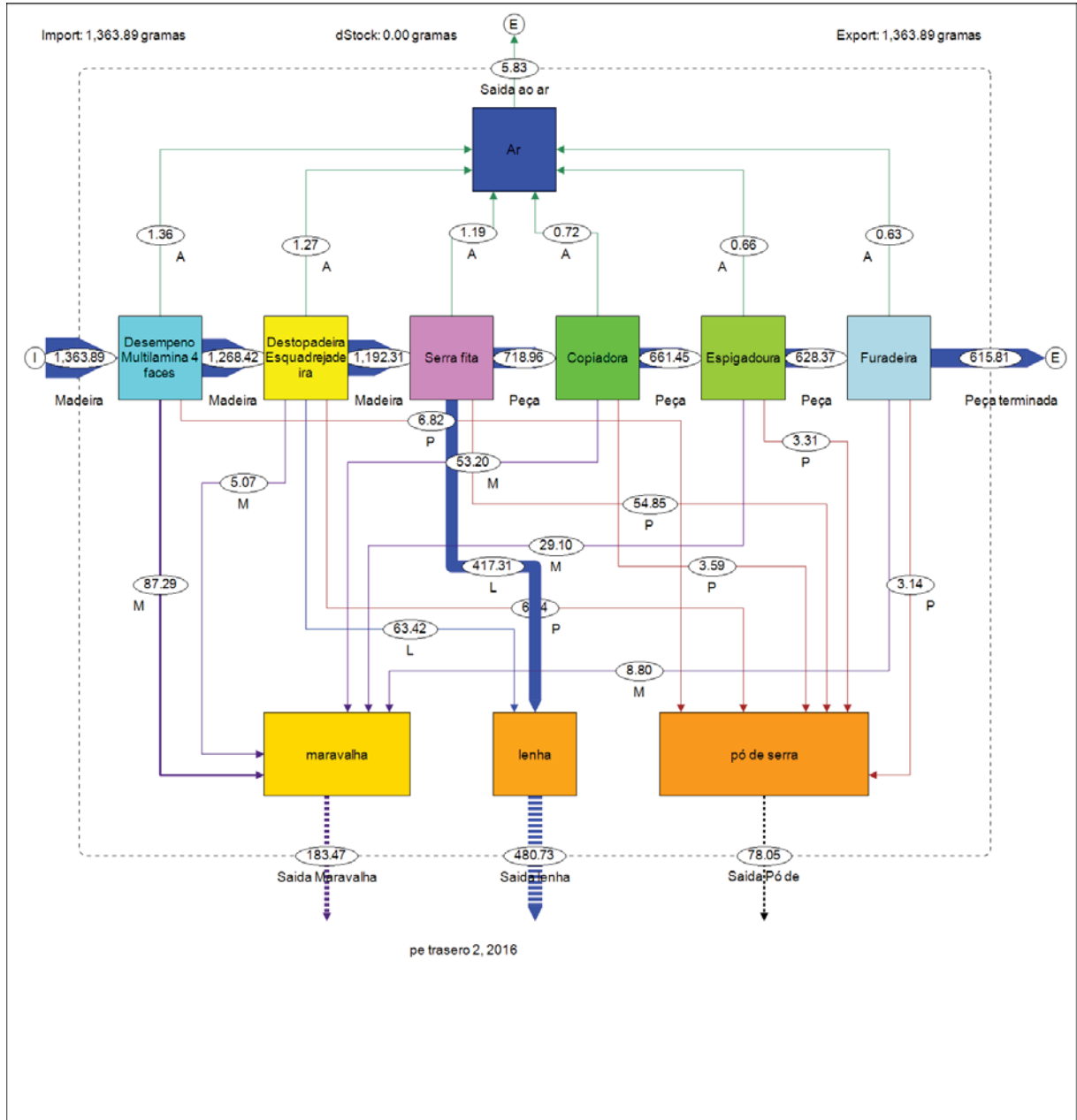
### Balço de massa – encosto



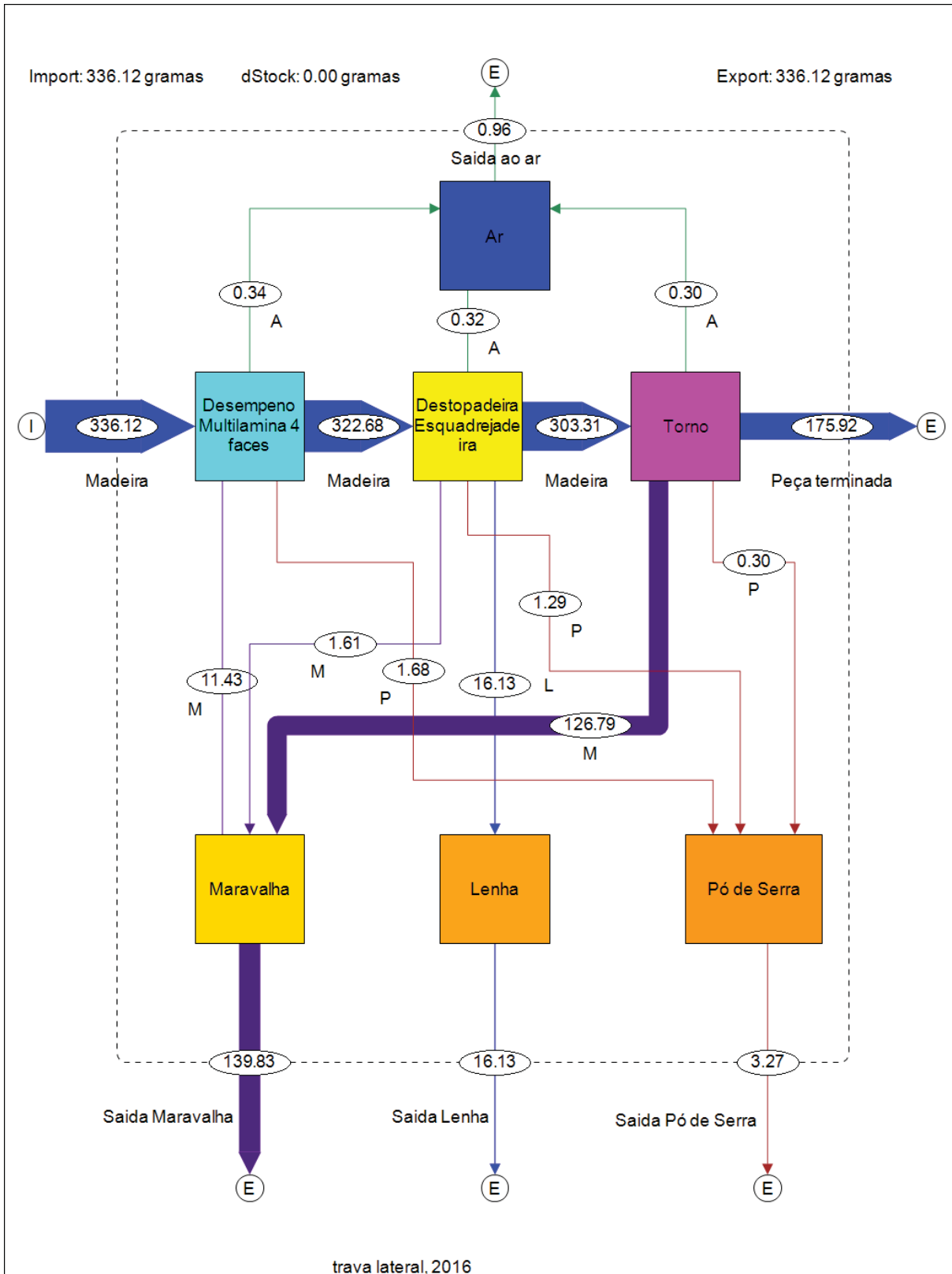
### Balço de massa – pé dianteiro



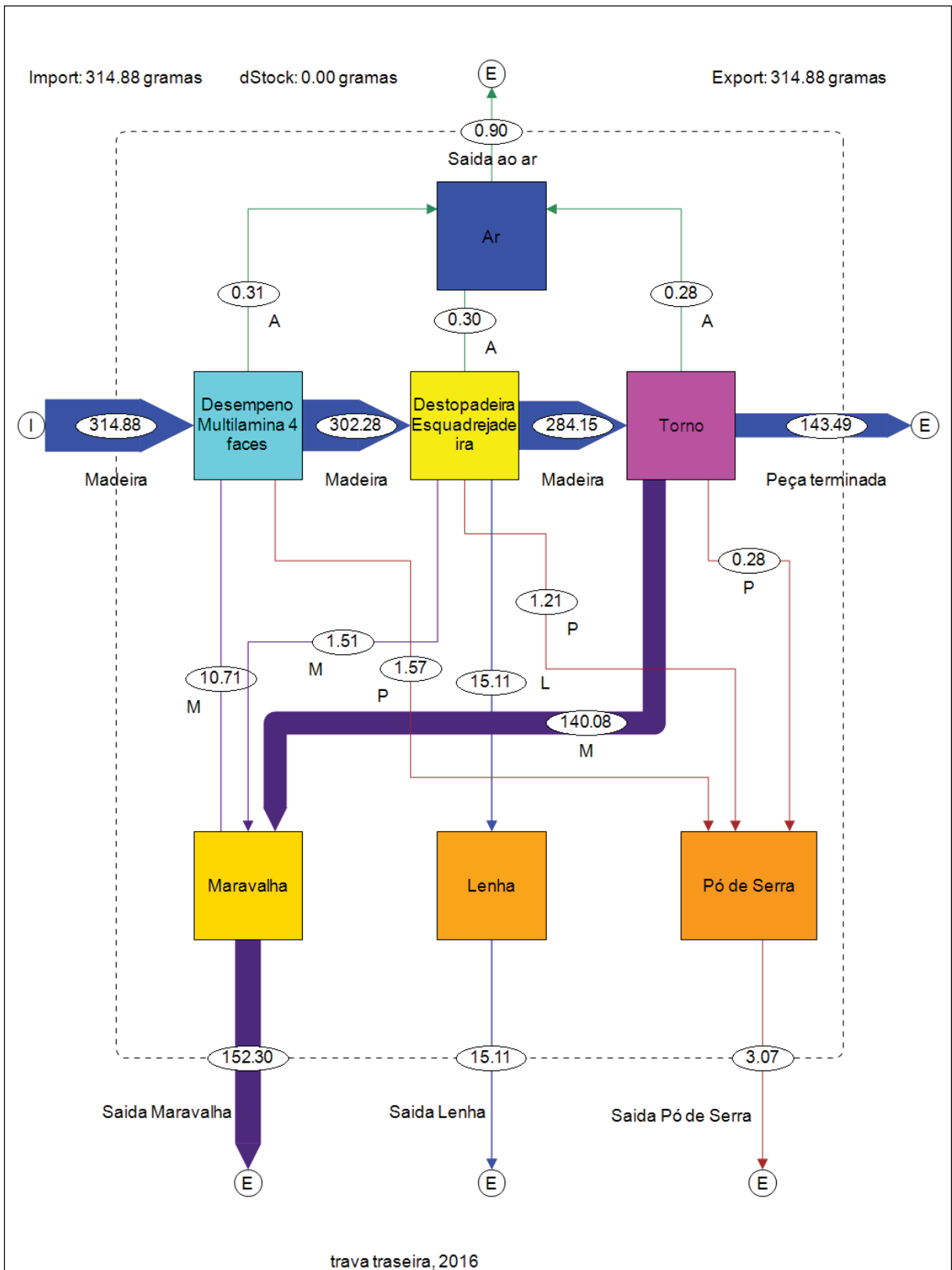
### Balanco de massa – pé traseiro



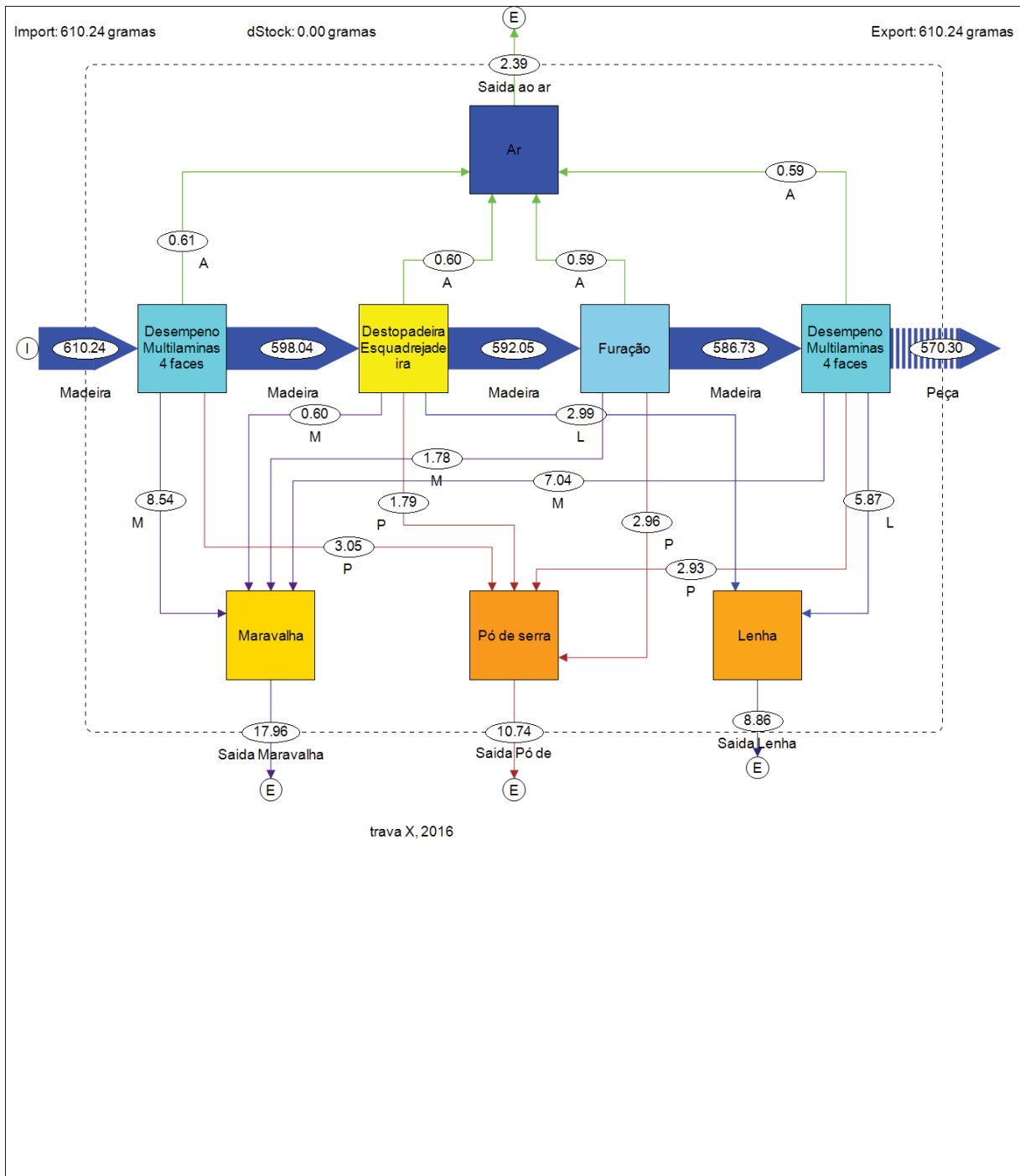
### Balço de massa – trava lateral



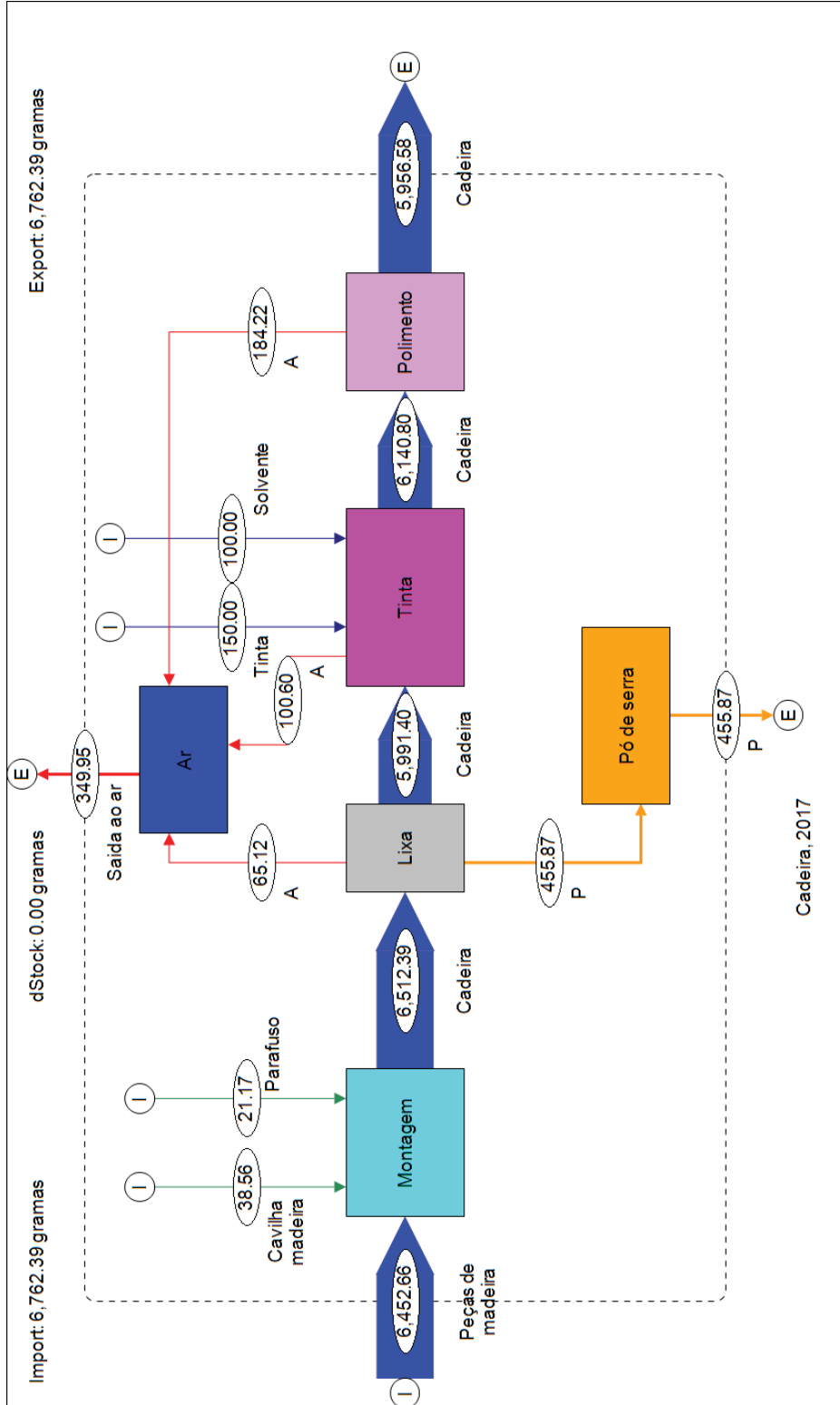
### Balço de massa – trava traseira



### Balço de massa – trava X



### Balço de massa - montagem da cadeira



**UFBA**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**

**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI**

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA  
CEP: 40.210-630  
Telefone: (71) 3283-9800  
E-mail: [pei@ufba.br](mailto:pei@ufba.br)  
Home page: <http://www.pei.ufba.br>

