

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**RESÍDUOS MADEIREIROS DE ESPÉCIES  
AMAZÔNICAS PARA A PRODUÇÃO DE PELLETS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ANTONIO ALBERTO DA COSTA NETO**

**IRATI-PR**

**2023**

**ANTONIO ALBERTO DA COSTA NETO**

**RESÍDUOS MADEIREIROS DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS PARA A PRODUÇÃO  
DE PELLETS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como requisito do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Éverton Hillig

Co-Orientador: Marcelo José Raiol Souza

**IRATI-PR**

**2023**

Catálogo na Publicação  
Rede de Bibliotecas da UNICENTRO

C837r Costa Neto, Antonio Alberto da  
Resíduos madeireiros de espécies amazônicas para a produção de pellets /  
Antonio Alberto da Costa Neto. – Irati, 2023.  
xi, 65 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste,  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em  
Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, 2023.

Orientador: Éverton Hillig  
Coorientador: Marcelo José Raiol Souza  
Banca examinadora: Éverton Hillig, Martha Andréia Brand, Alexandre  
Tech de Almeida Garrett, Marcelo José Raiol Souza

Bibliografia

1. Biocombustível sólido. 2. Densidade energética. 3. Energia da madeira.  
I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

| CDD 634.9



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE/UNICENTRO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPESP  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS - PPGF



## TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa Nº 167

**Antonio Alberto da Costa Neto**

### "RESÍDUOS MADEIREIROS DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS PARA A PRODUÇÃO DE PELLETS".

Dissertação aprovada em 24/05/2023, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:

Instituto de Tecnologia e Inovação em Ciências Exatas - UNICENTRO

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Martha Andréia Brand  
Universidade do Estado de Santa Catarina  
Primeira Examinadora

Dr. Alexandre Techy de Almeida Garrett  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Segundo Examinador

Prof. Dr. Marcelo José Raiol Souza  
Universidade do Estado de Santa Catarina  
Terceiro Examinador

Prof. Dr. Everton Hillig  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR  
2023

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Campus Santa Cruz: Rua Salvatore Renna – Padre Salvador, 875, Bairro Santa Cruz – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090  
CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR

Campus Cedeteg: Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838, Bairro Vila Carli – Fone: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-187 – GUARAPUAVA – PR

Campus de Irati: Rua Professora Maria Roza Zanon de Almeida, Bairro Engenheiro Gutierrez – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000  
CEP 84.505-677 – IRATI – PR

## **AGRADECIMENTOS**

Venho agradecer a Deus por ter me proporcionado alcançar minhas metas, pela saúde, força e garra aos objetivos traçados.

Aos meus familiares, principalmente minha tia Ana Cleide que sempre acreditou na minha perseverança e sempre esteve de abraços abertos de incentivo e amor.

Assim como meus irmãos Samuel e Sara, minha madrastra Eliete, tia Nonata e aos demais familiares que indiretamente torcem pelas minhas conquistas.

Como aos meus amigos Leandro, Rodrigo e Renan por todo apoio.

Também aos colegas Everton, Ezaquel, Erick, Andressa, Stefani e aos outros pela parceria durante o mestrado em momentos de ajuda e descontração no Laboratório de Madeira e Produtos Florestais.

Da mesma maneira a secretária Silvana e colaboradores do programa de pós-graduação em Ciências Florestais (UNICENTRO).

E principalmente ao andamento da pesquisa ao Prof. Dr. Everton Hillig por ter aceito como orientando, já que vim de Belém-PA. Digo que acertei na escolha de orientador.

Também ao meu Coorientador Prof. Dr. Marcelo Raiol o qual venho sendo orientado desde à iniciação científica e o trabalho de conclusão de curso da graduação.

Em relação à pesquisa o Alexandre e o Jaily pela contribuição da produção dos pellets no laboratório BIO 3.

E aos professores doutores e contribuíram nas disciplinas cursadas e o coordenador da pós graduação Prof. Eduardo Lopes.

Como todos que direta e indiretamente contribuíram para o sucesso deste trabalho. Meu muito obrigado!

Dedico este projeto de pesquisa ao meu pai Antonio Alberto da Costa Junior (*in memoriam*), meu maior incentivador aos estudos.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>12</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>15</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 MADEIRAS AMAZÔNICAS .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.1 <i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke (ANGELIM PEDRA) .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.2 <i>Manilkara elata</i> Huber (MAÇARANDUBA) .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.3 <i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S. Grose (IPÊ AMARELO) .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.4 <i>Hymenaea courbaril</i> L. (JATOBÁ).....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.5 <i>Astronium lecointei</i> Ducke (MUIRACATIARA) .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 INDÚSTRIA MADEIREIRA NA AMAZÔNIA .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 RESÍDUOS INDUSTRIAIS MADEIREIROS .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4 RESÍDUOS MADEIREIROS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA .....</b>	<b>22</b>
<b>3.5 PELLET .....</b>	<b>23</b>
<b>3.6 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PELLETS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.7 CLASSIFICAÇÃO DE PELLETS .....</b>	<b>26</b>
<b>3.8 MERCADO DE PELLETS .....</b>	<b>26</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 COLETA DOS RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO MADEIREIRO.....</b>	<b>32</b>

<b>4.2 BIOMASSA E ESPÉCIES DE MADEIRAS COLETADAS .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE MADEIRA .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4 PRODUÇÃO DE PELLETS .....</b>	<b>34</b>
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke (Angeim pedra).....	36
<b>4.5 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PELLETS .....</b>	<b>36</b>
<b>4.5.1 Propriedades Físicas .....</b>	<b>36</b>
<b>4.5.2 Análise química imediata.....</b>	<b>37</b>
<b>4.5.3 Poder calorífico superior e Poder calorífico inferior.....</b>	<b>37</b>
<b>4.5.4 Densidade energética .....</b>	<b>38</b>
<b>4.5.5 Durabilidade mecânica e teor de finos.....</b>	<b>39</b>
<b>4.5.6 Ensaio de compressão.....</b>	<b>39</b>
<b>4.5.7 Classificação da qualidade dos pellets .....</b>	<b>40</b>
<b>4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....</b>	<b>42</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO RESÍDUOS DE MADEIREIROS .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2 PROPRIEDADES DOS PELLETS.....</b>	<b>44</b>
<b>5.2.1 Propriedades Físicas .....</b>	<b>45</b>
<b>5.2.2 Propriedades Mecânicas .....</b>	<b>48</b>
<b>5.2.3 Análise química imediata.....</b>	<b>53</b>
<b>5.2.4 Propriedades energéticas .....</b>	<b>55</b>
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>56</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Pellets.....	23
<b>Figura 2.</b> Etapas da produção industrial de pellets.....	25
<b>Figura 3.</b> Evolução da produção mundial de pellet de madeira (2012-2017). .....	27
<b>Figura 4.</b> Principais exportadores e importadores de pellet de madeira (2012 e 2017). .....	28
<b>Figura 5.</b> Evolução da exportação brasileira de pellet de madeira (2012-2018).....	29
<b>Figura 6.</b> Evolução da importação brasileira de pellet de madeira (2012-2018). .....	29
<b>Figura 7.</b> Exportação de produtos sólidos de madeira, 2021.....	30
<b>Figura 8.</b> Principais países de destino e estados exportadores de pellets de madeira (2014 e 2018). .....	31
<b>Figura 9.</b> Empresa de decks e pisos. ....	32
<b>Figura 10.</b> Resíduos de decks e pisos de madeiras. ....	33
<b>Figura 11.</b> a) Plaina e b) Moinho triturador forrageiro .....	34
<b>Figura 12.</b> Pelletizadora Amandus Kahl modelo 14-175. ....	35
<b>Figura 13.</b> Tambor rotativo.....	39
<b>Figura 14.</b> a) Emic DL30000N e b) Ensaio de compressão no pellet.....	40
<b>Figura 15.</b> Pellets de <i>Handroanthus serratifolius</i> Vahl S. Grose (a), <i>Hymenaea courbaril</i> L. (b), <i>Manilkara elata</i> Huber (c), <i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke (d), <i>Astronium lecointei</i> Ducke (e), Mix (f) e <i>Pinus taeda</i> (g). .....	45
<b>Figura 16.</b> Regressão linear entre o Módulo de elasticidade em compressão x Resistência à compressão para cada tipos de pellets. ....	52
<b>Figura 17.</b> Relação entre o Módulo de elasticidade em compressão x Resistência à compressão de todos os tipos de pellets. ....	53

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Representação dos sete tipos de pellets. ....	36
<b>Tabela 2.</b> Propriedades físico-químicas e mecânicas dos pellets para uso residencial/comercial e industrial da norma ISO 17225-2. ....	41
<b>Tabela 3.</b> Médias do teor de umidade (TU) e densidade aparente (DA) do resíduo antes da peletização. ....	43
<b>Tabela 4.</b> Propriedades físicas dos pellets. ....	46
<b>Tabela 5.</b> Análise das propriedades de resistência mecânica. ....	49
<b>Tabela 6.</b> Interpretação do coeficiente de determinação entre o Módulo de elasticidade em compressão e a Resistência à compressão. ....	51
<b>Tabela 7.</b> Composição da análise imediata. ....	53
<b>Tabela 8.</b> Propriedades energéticas. ....	55

## RESUMO

Antonio Alberto da Costa Neto. Resíduos madeireiros de espécies amazônicas para a produção de pellets.

A indústria madeireira na Amazônia possui um grande potencial de produção, mas também é geradora de resíduos de madeira que podem ser utilizados para obtenção de outros produtos. Algumas empresas já os utilizam como biocombustíveis na forma de briquetes que são vendidos para geração de energia. Uma alternativa de aproveitamento é na produção de pellets, que teriam algumas vantagens em relação aos briquetes como na possibilidade de automatização dos processos de queima. Assim, são maiores as possibilidades de retorno financeiro e destaque ambiental da empresa com um “marketing verde”. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi produzir pellets a partir de resíduos de decks e pisos e avaliar sua qualidade por meio da norma ISO 17225-2. Foram utilizados resíduos de madeira das espécies *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose (ipê amarelo), *Hymenaea courbaril* L. (jatobá), *Manilkara elata* Huber (maçaranduba), *Dinizia excelsa* Ducke (angelim-pedra), *Astronium lecointei* Ducke (muiracatiara) e *Pinus taeda*, espécie atualmente mais utilizada na produção de pellets no Brasil. A produção dos pellets foi realizada numa peletizadora laboratorial amandus kahl modelo 14-175. Os parâmetros avaliados foram: diâmetro, comprimento, teor de umidade, densidade unitária, densidade a granel, durabilidade mecânica, teor de finos, teor de voláteis e de carbono fixo, teor de cinzas, poder calorífico superior e inferior, densidade energética, resistência e rigidez à compressão (método adaptado) através da correlação de Pearson e a regressão linear. Os resultados obtidos para os 7 tipos de pellets produzidos atenderam os requisitos normativos para o uso residencial, comercial e industrial, destaque para a densidade a granel que ficou acima dos parâmetros influenciando de forma positiva na questão energética. Dentre as espécies, houve destaque na madeira do ipê amarelo, que apresentou valores de poder calorífico superior de 20,18 MG.kg, tal como o poder calorífico líquido de 17,17 MJ.kg e densidade energética de 13,93 GJ.m<sup>3</sup>.

**Palavras-chave:** Biocombustível sólido; densidade energética; energia da madeira.

## ABSTRACT

Antonio Alberto da Costa Neto. Wood residues from Amazonian species for the production of pellets.

The timber industry in the Amazon has great production potential, but it also generates wood residues that can be used to obtain other products. Some companies already use them as biofuels in the form of briquettes that are sold for power generation. An alternative use is in the production of pellets, which achieve some advantages over briquettes such as the possibility of automating the burning processes. Thus, the possibilities of financial return and environmental highlight of the company with a "green marketing" are greater. In this context, the objective of this work was to produce pellets from waste from decks and floors and evaluate their quality through the ISO 17225-2 standard. Wood residues of the species *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose (yellow ipe), *Hymenaea courbaril* L. (jatobá), *Manilkara elata* Huber (maçaranduba), *Dinizia excelsa* Ducke (stone angel), *Astronium lecointei* Ducke (muiracatiara) and *Pinus taeda*, the species currently most used in the production of pellets in Brazil. The production of the pellets was carried out in an Amandus Kahl laboratory pellet machine model 14-175. The evaluated parameters were: diameter, length, moisture content, unitary density, bulk density, mechanical durability, fines content, volatile and fixed carbon content, ash content, higher and lower calorific value, energy density, resistance and supported to therapy (adapted method) through Pearson therapy and linear regression. The results obtained for the 7 types of pellets produced met the regulatory requirements for residential, commercial and industrial use, highlighting the bulk density that was above the parameters, positively influencing the energy issue. Among the species, the wood of the yellow ipê stood out, which presented values of higher calorific value of 20,18 MG.kg, such as a net calorific value of 17,17 MJ.kg and energy density of 13,93 GJ.m<sup>3</sup>.

**Keywords:** Solid biofuel; energy density; wood energy.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil houve o crescimento 4,6% em 2021 do Produto Interno Bruto (PIB), diferente de 2020 com 3,9% devido a pandemia de Covid-19. Todavia, a indústria florestal apresentou saltos na cadeia produtiva em relação a outros setores, tendo crescimento de 7,5% em 2021, superior ao do PIB nacional e gerando 553 mil postos de trabalho diretos (IBÁ, 2022). A diversidade do ramo florestal está representada nos diversos setores da cadeia como papel e celulose, construção civil, indústria moveleira e energia da biomassa e carvão vegetal (NUMAZAWA *et al.*, 2017).

Em 2021, 63,6% das empresas associadas à Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) destinaram os seus resíduos florestais e industriais para energia, um crescimento em comparação ao ano anterior de 6,4 % (IBÁ, 2022). O gerenciamento dos resíduos da produção e das indústrias florestais acarreta em mudanças sociais e econômicas e contribui para racionalização dos recursos florestais (CERQUEIRA *et al.*, 2012).

Apesar de haver iniciativas para o aproveitamento desses resíduos, na Região Amazônica tal prática ainda permanece incipiente, devido a ineficiência dos maquinários e falta de modernização, dessa forma o processamento tecnológico da madeira não alcança resultados satisfatórios (MELO *et al.*, 2012). De acordo com a Lei nº 12.305/10, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) o aproveitamento dos resíduos é um requisito ambiental, a passo de reutilizar o resíduo madeireiro transformando em produtos geradores de energia, valorizando a cadeia produtiva (GALBIATTI *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2015).

Além da demanda industrial, o crescimento dos centros urbanos intensifica a demanda energética dos combustíveis fósseis de reservas de petróleo, carvão mineral e gás natural, considerados fontes esgotáveis e geradores de degradação e poluição ambiental. Dessa forma, a alternativa energética renovável para substituição parcial ou total destes combustíveis pode se dar pelo uso da madeira, na forma de lenha ou em outros produtos com maior valor agregado como carvão vegetal, briquetes e pellets (NOBRE *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2017).

Dentre as principais formas de biomassa compactada estão os briquetes e pellets. Na forma de pellet, esse combustível sólido possui diâmetro de 6 a 8 mm e comprimento que varia de 20 a 40 mm, tendo vantagens em relação aos briquetes na otimização do processo de queima, menor trabalho manual e facilidade no transporte. Os benefícios do pellet em relação a madeira *in natura* são o menor teor de umidade, maior densidade energética, boas propriedades físico-

químicas e maior resistência mecânica, desse modo favorece o transporte, armazenamento e manuseio (JACINTO *et al.*, 2017; HERNANDEZ *et al.*, 2017).

Não foram encontrados registros da produção de pellets de madeiras da região amazônica, sendo que os teores de umidade variam entre espécies e indivíduos e a alta densidade dessas madeiras pode influenciar no processo produtivo bem como nas propriedades dos pellets. Outra característica importante é o teor de cinzas relacionado à emissão de particulados no decorrer da queima, o que pode diminuir o poder calorífico (PROTÁSIO *et al.*, 2015; GARCIA *et al.*, 2018a). Em escala industrial, o teor de cinzas é um contratempo o qual exige manutenções para retirar as incrustações vindas da sua fusão durante a combustão (GARCÍA *et al.*, 2015).

Através do manejo florestal de espécies amazônicas provém o interesse e investigação dentre seus atributos tecnológicos que estão presentes nas propriedades físicas, anatômicas, mecânicas, químicas e o poder calorífico. Desse forma, as informações obtidas são passadas as indústrias madeireiras, assim dando aplicabilidade correta das madeiras e diminuindo a quantidade de resíduos da produção (FRANZEN *et al.*, 2018).

Assim, a presente pesquisa buscou avaliar a viabilidade técnica de produção de pellets para geração de energia. A biomassa é proveniente de resíduos de processamento madeireiro de diferentes espécies comerciais nativas da região amazônica visando atender aos parâmetros de qualidade exigidos pela Norma ISO 17225-2, seja para uso industrial, comercial ou residencial.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a viabilidade técnica de produção de pellets a partir de resíduos de processamento madeireiro de espécies comerciais da Amazônia.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Produzir pellets utilizando resíduos de processamento de madeira diferentes espécies comerciais da amazônia.
- Avaliar as propriedades físicas, mecânicas e energéticas dos pellets produzidos.
- Comparar as propriedades dos pellets produzidos com madeira de diferentes espécies amazonicas e com os requisitos de qualidade internacionais.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 MADEIRAS AMAZÔNICAS

No início da década de 70 houve crescimento da exploração madeireira, devido a escassez de recursos florestais madeireiros do Sudeste e do Sul, e dos incentivos fiscais do governo federal para ampliar as atividades na Amazônia (GARRIDO FILHA, 2007). Em contrapartida, na década de 80 se iniciou mudanças ambientais e sustentáveis, através da aprovação de planos de manejo e controle do desmatamento que contribuiu para conservação florestal (SFB, 2013; GARCIA *et al.*, 2013).

Há diversas causas que podem influenciar no rendimento do processamento da madeira alcançado nas serrarias, das quais pode-se citar: as propriedades e características das espécies, os equipamentos e métodos para o desdobro, a mão de obra qualificada, conicidade e diâmetro das toras, degradação por agentes xilófagos, intempéries, demanda de qualidade ao mercado externo, algumas entre essas variáveis podem prejudicar no balanceamento dos calculos entre o volume inicial das toras e o volume final de madeira processada (BIASI & ROCHA, 2007; MARCHESAN *et al.*, 2014).

Para as espécies amazônicas Maçaranduba (*Manilkara huberi* Ducke) Muiracatiara (*Astronium lecointei* Ducke), e Guajará (*Pouteria* sp), processadas em uma indústria madeireira no Pará, Dutra *et al.* (2005) verificaram rendimentos iguais a 32,3%, 41,2%, 35,2%, respectivamente. Piovesan *et al.* (2013) ao pesquisarem a espécie tropical Ipê (*Handroanthus* sp) obtiveram para o rendimento em madeira serrada valores de 34,89% a 67,24%. Dessa forma, os autores observaram que a variação entre o maior e o menor rendimento está na qualidade das toras, dado que, o procedimento, os maquinários e a mão de obra foram os mesmos.

Conforme Feitosa (2008) entre o desdobro de espécies Amazônicas, em média, somente 35% do volume inicial da tora é convertido em peças serrados. Porém, este valor pode aumentar no momento que as toras desdobradas detiverem menor conicidade e maiores diâmetros (DELMIRO *et al.*, 2015).

De acordo com Almeida *et al.* (2020) a região amazônica representa 30% dos remanescentes florestais do planeta, apresentando vasta diversidade de espécies madeireiras que são comercializadas, como: *Hymenaea courbaril* L. (jatobá) e *Dinizia excelsa* Ducke (angelim). Assim como, o *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose (ipê amarelo) e a



*Manilkara elata* Huber (maçaranduba), mais usadas nas serrarias do sul de Roraima, outro contra ponto são os preços, esperava-se que os valores menores, porém não é o que ocorre, contrariando o parâmetro da Lei de Oferta e da Procura, visto que preços estão fazendo-se pela oferta, dado que o ipê amarelo em valor médio de compra do m<sup>3</sup> é R\$ 385,00 e o valor médio de venda R\$ 1450,00 (AUGUSTA *et al.*, 2016).

### 3.1.1 *Hymenolobium petraeum* Ducke (ANGELIM PEDRA)

O angelim pedra é uma espécie pertence ao gênero *Hymenolobium*, está na família *Leguminosae*, é encontrado na Região Amazônica nos estados do Amazonas, Acre, Amapá, Rondônia, Roraima e Pará. Pode alcançar 60 metros de altura e suas dimensões, beneficiam (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004).

A madeira de angelim pedra tem o cerne castanho-avermelhado escuro ou claro, com manchas escuras diferindo pouco do alburno (castanho-pálido), os anéis de crescimento são distintos, grã direita, média textura, brilho ausente e cheiro e gosto despercebidos. Em relação a anatomia, o parênquima axial é visível a olho nu, a maioria aliforme, formando arranjos oblíquos ou em faixas marginais. Os raios são pouco visíveis a olho nu na face transversal e pouco distintos, mesmo sob lente, na face tangencial, não estratificados. Sobre os poros são visíveis a olho nu, com frequência de poucos a numerosos (até 24/mm<sup>2</sup>), solitários e múltiplos radiais, obstruídos por uma substância na tonalidade avermelhada (IPT, 1983).

A madeira é pesada, de densidade aparente igual 990 kg.m<sup>3</sup> (12%), densidade saturada igual a 1260 kg.m<sup>3</sup>, com tendência moderada ao torcimento médio e colapso leve. Apresenta excelente resistência ao ataque de fungos, insetos e térmitas de madeira seca e é utilizada na construção civil e naval, postes, peças torneadas e dormentes, (SOUZA *et al.*, 1997). A espécie é bastante empregada nos ramos madeireiros nos estados do Amazonas e Pará (BARAÚNA, 2011).

### 3.1.2 *Manilkara elata* Huber (MAÇARANDUBA)

A maçaranduba é a espécie do gênero *Manilkara* conhecida por outros nomes como: maçaranduba- mansa, maçaranduba-amarela, maçaranduba-preta, maçaranduba-de-leite, maçaranduba-verdadeira (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004). É vista na Região Amazônica, e também encontrada na Guianas e sul da Venezuela especialmente na mata pluvial de terra firme, possui exsudação lactescente, podendo atingir até

50 m de altura diâmetros entre 60 a 120 cm (LORENZI, 2013).

A madeira da maçaranduba apresenta o cerne com coloração vermelho arroxeadada, aproximando ao vermelho escuro, cerne distinto do albúrnio, que é castanho claro; tem textura fina e uniforme, brilho médio, grã a direita, com cheiro e gosto imperceptíveis (LORENZI, 2013). Anatomicamente, tem o parênquima axial visível somente sob lente (10x), em linhas; raios visíveis somente sob lente (10x) nas seções transversal e tangencial, não estratificados; canais secretores radiais ausentes, pouco contrastado em seção radial; poros visíveis somente sob lente (10x), difusos, arranjo com padrão indefinido, a maioria múltiplos de dois, conteúdo ausente; placa de perfuração simples; linhas vasculares retilíneas em seção tangencial (CHIPAIA *et al.*, 2015).

É uma madeira apresenta de alta densidade (1040 kg.m<sup>3</sup>), com elevada retrabilidade volumétrica, resistência mecânica de média a alta, e alta resistência ao ataque de fungos e cupins. Dessa forma, as características exploradas e trabalhadas na Região Amazônica (CASTRO; CARVALHO, 2014). Os usos externos são indicados, como construção de utilização em dormentes de trem, vigas, caibros e estacas (IPT, 1983).

### 3.1.3 *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose (IPÊ AMARELO)

O ipê, pertence ao gênero *Handroanthus* e família Bignoniaceae, ipê-amarelo, ipê-do-cerrado, ipê-pardo, ipê-preto, ipê-roxo, ipê-tabaco, ipê-una, ipeúva, pau-d'arco, pau-d'arco-amarelo, peúva, piúna, piúna- amarela, piúna-roxa, piúva, piúva-do-serrado. É frequente na região Amazônica, encontrado no Ceará até São Paulo, na floresta pluvial Atlântica e floresta Semidecídua, pertence ao gênero *Handroanthus*, com altura chegando até 35 metros (LORENZI, 2016). O cerne e albúrnio são de cores distintas, alta densidade e madeira dura ao corte, considerada de alta resistência natural (IPT, 1983).

A madeira de ipê amarelo apresenta o cerne e albúrnio distintos pela cor, cerne pardo ou castanho com reflexos amarelados ou esverdeados, albúrnio branco-amarelado, superfície sem brilho, cheiro e gosto imperceptíveis, grã irregular a reversa, textura fina (IPT, 1989). Parênquima axial visível somente sob lente de 10x ou mesmo invisível sob lente de 10x; predominantemente paratraqueal vasicêntrico; vasicêntrico escasso; ou extremamente raro. A porosidade difusa; solitários e múltiplos; obstruídos por substância amarelada (FREITAS *et al.*, 2015; GALLIO *et al.*, 2016).

Conforme o IPT (1989), a madeira de ipê possui densidade alta 1010 kg.m<sup>3</sup> e dura de

corte, difícil de trabalhar, principalmente com ferramentas manuais que perdem rapidamente a afiação, alta resistência ao ataque de organismos xilófagos (fungos e cupins), assim como resistente ao apodrecimento, a secagem ao ar é de média a rápida e tem poucos problemas de rachaduras e empenamentos, mas apresentando cuidadosa secagem artificial (em estufa) pode apresentar defeitos. A madeira é boa para construções pesadas, como construção civil, dormentes de trilhos, assoalho e postes (LORENZI, 2016).

#### 3.1.4 *Hymenaea courbaril* L. (JATOBÁ)

O jatobá pertence ao gênero *Hymenaea*, encontrada na família fabaceae, conhecida por outros nomes como: jutaí, jutaí-açu, jutaí-bravo, jutaí-grande, jutaí-peba, jutaí-uba, jutaí-uva, jataíba, jataúba. É encontrada na América do Sul e América Central, México e Paraguai. No Brasil, em alguns estados das regiões norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul, indo pelos domínios fitogeográficos da Amazônia, Caatinga Cerrado, Mata atlântica e Pantanal em floresta ciliar ou galera, florestas de terra firme, ombrífila e restinga, encontradas em solos pobres e argilosos, a altura pode chegar 15 a 30 metros (LORENZI & MATOS, 2002).

A madeira do jatobá apresenta o cerne é variável quanto a cor, do castanho-claro-rosado ao castanho avermelhado com tonalidade mais ou menos intensa, o alburno é espesso, branco a ligeiramente amarelado. Em relação aos limites dos anéis de crescimento distintos, apresenta bandas de parênquima axial marginais, paratraqueal vasicêntrico ou aliforme a confluyente, a superfície é pouco lustrosa e ligeiramente áspera, com gosto e cheiro imperceptíveis, assim como a grã direita a reversa com textura média, os vasos com porosidade difusa, com vasos agrupados geralmente em grupos radiais curtos de 2 a 3 vasos (EMBRAPA, 2004).

A madeira é considerada muito pesada de 900 a 1100 kg.m<sup>3</sup>, com baixa retratibilidade e alta resistência mecânica, possui resistência média a alta ao ataque de organismos xilófagos, o cerne é resistente a fungos e cupins, porém o alburno é facilmente atacado. A madeira é de tratamento difícil, pouco permeável as soluções preservantes quando colocadas sobre pressão, em relação a secagem e trabalhabilidade quando seca ao ar, tem poucas deformações, observando-se a presença de rachaduras e empenamentos quando a secagem o processo acontecer rápida. A madeira não é de boa qualidade para a lenha, visto que apresenta baixo poder calorífico, assim como inapropriada para celulose e papel (IPT, 1989).

### 3.1.5 *Astronium lecointei* Ducke (MUIRACATIARA)

A Muiracatiara pertence ao gênero *Astronium*, da família Anacardiaceae família Anacardiaceae, vista em toda a região Amazônica, é encontrada nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Rondônia, Pará, também no Suriname, Venezuela, Bolívia e Colômbia, em mata de terra firme, a altura varia entre 15 a 20 metros. (LORENZI & MATOS, 2002; LUZ *et al.*, 2020).

A madeira tem o cerne e alburno distintos pela cor, cerne variável do bege-rosado ao castanho-escuro- avermelhado, com estrias mais escuras, brilho moderado, cheiro e gosto imperceptíveis, grã irregular e média textura. A espécie *Astronium lecointei* Ducke, possui parênquima axial paratraqueal vasicêntrico, escasso, agrupamento dos vasos predominantemente solitários e camadas de crescimento individualizadas por zonas fibrosas tangenciais mais escuros, os raios são visíveis a olho nu no topo e na face tangencial; poucos, vasos visíveis a olho nu, pequenos a médios, pontoações radiovasculares pequenas e arredondadas a grandes e alongadas, óleo resina presentes e canais secretores radiais (PEREIRA, 2013).

A Madeira apresenta densidade alta de 1010 kg.m<sup>3</sup>, dura ao corte, em estudos de campo apresentou durabilidade natural inferior a sete anos, é resistente xilofágos como à podridão-branca e tem resistência moderada ao ataque de cupins, sobre a secagem ao ar a madeira aponta problemas de empenamentos e rachaduras, assim como a secagem artificial for muito drástica, ocasionará rachaduras profundas e endurecimento superficial, sua utilização é vista na construção civil, esquadrias, móveis, peças torneadas e lâminas decorativas (IPT, 1989).

## 3.2 INDÚSTRIA MADEIREIRA NA AMAZÔNIA

Em somatório a região Norte apresentou 8.116 empresas do ramo industrial madeireiro e moveleiro, destes números concentrou no Pará (3.478) e Rondônia (1.686), totalizando 64% das empresas em 2018 (ABIMCI, 2019).

No ano de 2010 os Estados Unidos foram que mais importaram pisos brasileiros representando 42%. A exportação do Brasil em 2018 cresceu 59% para esse país, em seguida a França com 12%, adiante a Bélgica (5%), Dinamarca (3%) e Canadá (3%). Dentre os estados maiores exportadores, o Pará em primeiro com 43% em 2018, em seguida os estados do Paraná (21%), Mato Grosso (15%), Santa Catarina (8%) e São Paulo (5%), seguindo a ordem dos maiores exportadores de pisos de madeira. Em destaque a região norte forcedora de matéria-

prima a região sul do Brasil, assim dando valor ao produto na cadeia produtiva (ABIMCI, 2019).

Porém, nota-se no setor madeireiro da Amazônia o gerenciamento das etapas de exploração da floresta até o processamento e transporte são incipientes ou condutas ruins, principalmente em parte da fiscalização, mão de obra e proprietários, tendo reflexo negativos nas comunidades tradicionais e trabalhadores do meio rural. Em ordem, as atividades são executadas da forma extensiva, predatória e despreparo nas etapas de levantamento, instalação e execução e medidas mitigadoras (VERÍSSIMO *et al.*, 1992; SOUZA JÚNIOR *et al.*, 2005; RIBEIRO *et al.*, 2018).

Em destaque aos empreendimentos industriais madeireiros da Amazônia ainda precisam de modernização, assim melhorar a eficiência das etapas de produção, como as etapas de desdobro, manutenção periódica das serras, atualização ou trocas das máquinas ou troca, desse modo evitar desperdício de matéria-prima, ocasionando rendimento maior no processamento das toras (PARAENSE *et al.*, 2023).

### **3.3 RESÍDUOS INDUSTRIAIS MADEIREIROS**

A geração de resíduos madeireiros quando armazenados de forma errada podem acarretar problemas socioambientais, como a poluição do ar, corpos d'água, solo, perigos à saúde da população, ainda o grande desperdício de material que poderia ser utilizado para energia (RIUL & RIBEIRO, 2012). Dessa forma, a reciclagem ou reutilização são passos para gerenciar, e deve estar no planejamento das empresas que produzem resíduos, entretanto, essa alternativa ainda se encontram pouco avanço, falta de fiscalização e irregulares (LEEUEWESTEIN & MONTEIRO, 2000).

O planejamento para gestão dos resíduos sólidos deve identificar, classificar, acondicionar, armazenar, transportar e dar destinação final, sendo preferível o possível o reaproveitamento. De acordo com Brand *et al.* (2002), a gestão do setor industrial deve encontrar os meios de caracterizar o rendimento da produção das indústrias, as causas geradoras dos resíduos, volume e identificar. Ainda em análise criteriosa, avaliar as etapas do processo produtivo, apresentado o balanço dos materiais e considerado o rendimento da empresa.

Os resíduos madeireiros são categorizados como não perigosos, não inertes, biodegradável, solúveis em água e fonte energética. No processamento madeireiro são provenientes: a costaneira, serragem, pó, maravalha, cavaco, pontas, aparas e tocos;

dependendo da utilização da madeira podem estar contaminados com produtos químicos, verniz, cola, tinta. Pesquisas já comprovam que as empresas madeireiras utilizam os resíduos para diferentes finalidades, assim como o reuso, sendo incluso processo de produção em ganhos rentáveis e contribui para o socioambiental (GALBIATTI *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2013).

### **3.4 RESÍDUOS MADEIREIROS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA**

A quantidade de resíduos madeireiros gerados na produção madeireira podem ser transformados em biocombustível, assim serem usados na forma *in natura* ou densificado como pellets e briquetes. Nesses produtos há um controle de umidade, dimensões padronizadas, densidade em menor volume, poder calorífico concentrado, assim apresentando ganhos logísticos com transporte, manuseio, armazenamento e redução de custos (DIAS *et al.*, 2012; FERNÁNDEZ *et al.*, 2013; GARCÍA-MARAVÉR *et al.*, 2015).

De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF) em 2012 foram gerados 41 milhões de toneladas de resíduos oriundos da colheita florestal e indústria de processamento madeireiro, podendo produzir 1,7 GW/ano, ilustrado no plano estatístico (ABRAF, 2013). A geração de energia é fundamental para o abastecimento de centro urbano e rural, pois a procura entre biocombustível é elevada. Dentre variados produtos oriundos da madeira, o carvão vegetal tem ênfase na produção energética, sobretudo proveitoso ao segmento renovável do resíduo madeireiro. (SILVA *et al.*, 2007; NOBRE *et al.*, 2015).

No ramo florestal, conforme a atividade introduzida serão gerados diversos resíduos, como no manejo florestal, tal qual nas serrarias o volume e o diferentes produtos que acarretará em resíduos, dependendo do acabamento da unidade de madeira. A porcentagem aproximada das costaneiras, os refilos e as aparas retratam 71% dos resíduos de processamento madeireiro e são bastantes usados para lenha. Adiante a serragem que equivale a 22% do total, por último as maravalhas ou cepilhos que unem 7%. (NUMAZAWA *et al.*, 2017).

Os resíduos madeireiros sem utilidade pode-se tornar um passivo ambiental tanto em área urbana como rural, dessa forma a alternativa é a reutilização ou reciclagem dos resíduos originados da produção industrial de movelarias, dando finalidade para fabricação de outros materiais e mercado consumidor ou inserindo como matéria-prima nas etapas de produção como caldeiras, energia termoelétrica ou aquecimento, assim buscando a sustentabilidade e diminuindo problemas ambientais, como também atrair investimentos a empresa e região (SILVA *et al.*, 2017).

### 3.5 PELLET

A partir de resíduos madeireiros e agrofloretais, como a serragem de madeira, bagaço de cana e casca de arroz, pode-se produzir os pellets, que são biocombustíveis sólidos compactados com baixo teor de umidade e alta densidade energética (GARCIA *et al.*, 2016).

A atividade florestal é o principal fornecedor de materiais residuais para produção de pellets. As variadas matérias-primas florestais usadas são (i) resíduos da indústria madeireira de segunda transformação, serragem, maravalha e pó de indústrias moveleiras de pisos e decks; (ii) os resíduos das empresas madeireiras de primeira transformação, costaneiras, serragem e desaproveitamento das serrarias; (iii) em campo a exploração florestal com resíduos de galhos, pontas e tocos; (iv) e plantios exclusivos de curta rotação e alta produção gera resíduos (WOLF *et al.*, 2006). A figura 1 representa a produção de pellets através de resíduos lignocelulósicos.



**Figura 1.** Pellets

Fonte: FIMACO.

O formato de geometria regular e cilíndrica contribui para automatização e para manter um padrão comercial e industrial de queima do biocombustível. Para mais, a facilidade no manuseio, menor espaço de armazenagem, energeticamente renovável, que pode ser embalado em vários tamanhos de embalagens pré-definidas. Mais um benefício é sua utilização em residências que necessitem de aquecedores, devido seus constituintes não apresentarem toxicidade (GARCIA *et al.*, 2016).

O material usado está associado ao teor de cinzas e ao poder calorífico superior (PCS),

considerados medidas de qualidade de pellets para uso energético. Assim como, a densidade a granel e durabilidade mecânica (DUCA *et al.*, 2014). Entretanto, o teor de umidade, teor de cinzas e PCS, são importantes dados para escolher queimador específico e a quantidade de energia utilizada, no decorrer da queima da matéria-prima em energia térmica (FURTADO *et al.*, 2010).

A qualidade dos pellets estão presentes na durabilidade mecânica e o teor de finos considerados parâmetros para certificação para exportar pellets. Essas características apontam a aptidão dos pellets resistirem a fragmentação ao longo do transporte, armazenamento e manuseio, além do mais, a alta resistência mecânica, atribui menos frações de finos (partículas finas e poeira), reduz riscos de explosões no espaço da carga enquanto ocorre o transporte e armazenamento (TUMULURU, 2014; GARCIA *et al.*, 2018a.). No decorrer dos anos as tecnologias de produção de pellets foram avançando e várias biomassas florestais utilizadas, como também a produção aumentou e os custos de produção diminuíram, tornando-o competitivo com outras fontes energéticas (TROMBORG *et al.*, 2013).

### **3.6 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PELLETS**

Para produzir pellets de qualidade deve-se avaliar e padronizar a matéria-prima utilizada, dentre os requisitos são: a densificação para que o pellet tenha resistência, gere menos partículas para evitar ou reduzir riscos de explosões e facilite o transporte nas vias logísticas. Durante o processo industrial de produção a pressão de compactação, temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima são requisitos para alta durabilidade dos pellets (ZHANG *et al.*, 2018).

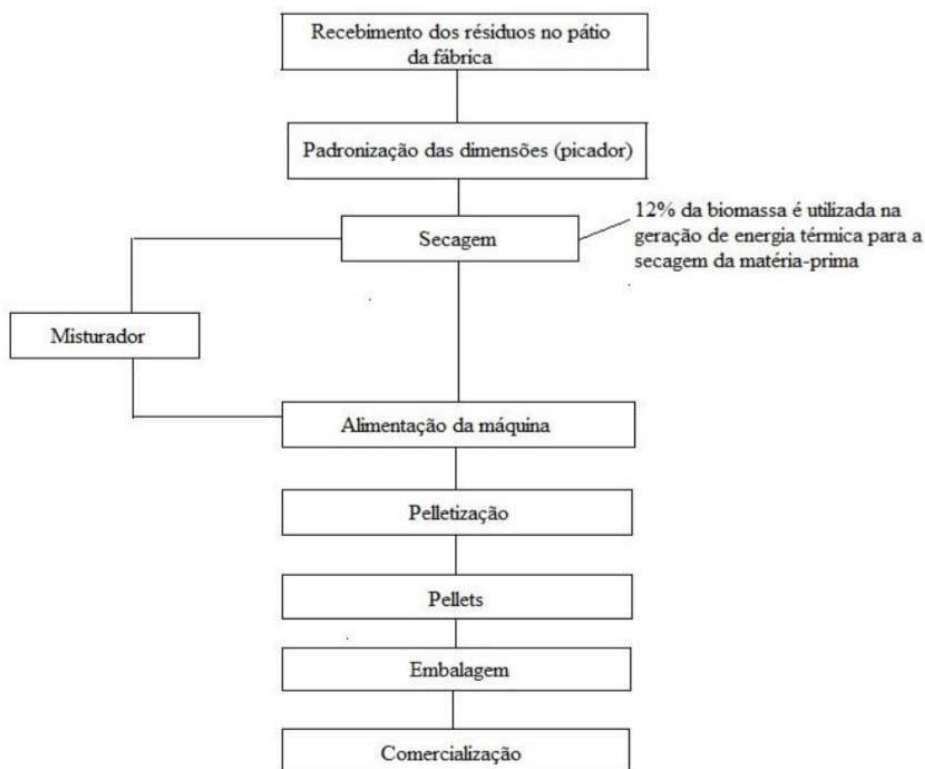
As etapas da produção de pellets são: moagem, classificação de granulometria do resíduo, secagem, prensagem, resfriamento, peneiramento e posteriormente a embalagem e armazenamento (GIACOMO & TAGLIERI, 2009). Dentre o procedimento, a entrada do material pelos furos da máquina peletizadora gera calor pela fricção e ocorre modificação dos componentes lignocelulósicos. Assim produz um material adensado, com ótima resistência mecânica e alto poder calorífico (LI; LIU, 2000; KALIYAN; MOREY, 2009).

No processo de produção dos pellets de madeira existem variáveis que influenciam na qualidade do produto como: teor de umidade ideal entre 6 e 13%, relação direta com espécie utilizada, antes da produção o material seco ao ar livre e/ou em estufa, tamanho das partículas menores que 3,0 mm, e na fabricação o tempo de prensagem reduz o teor de umidade e aumenta



as densidades a granel e energética dos resíduos (JACINTO, 2017; WHITTAKER & SHIELD, 2017). Durante a peletização, a lignina atua como aglutinante natural preenchendo áreas vazias dando mais resistência, assim como a acrescimento de outros aglutinantes oriundos de fontes vegetais, desse modo aprimorando as propriedades dos pellets (STELTE *et al.*, 2011a; STELTE *et al.*, 2011b; ZHANG *et al.*, 2018).

Em geral, a ação de densificar os resíduos de madeira ocorrem com a pressão nas partículas, com ou sem adição de ligantes ou tratamento térmico. A máquina de peletização possui uma matriz de aço perfurada combinada com arranjo de orifícios, dos quais diâmetros possuem diâmetros entre 6 a 12 mm. Durante o processo a matriz gira e os cilindros pressionam a travessia da biomassa dos orifícios, posteriormente os pellets são produzidos e cortados com facas adequadas para tamanho aceitável (MIGLIORINI, 1980). A figura 2 representa a preparação do resíduos madeireiro industrial para a produção dos pellets.



**Figura 2.** Etapas da produção industrial de pellets

Fonte: COUTO *et al.* (2004).

### **3.7 CLASSIFICAÇÃO DE PELLETS**

A qualidade dos pellets e sua indicação de uso estão relacionados com suas propriedades químicas, físicas e mecânicas. É permitido apenas aditivos naturais para ajudar no procedimento de compactação, sendo proibido utilizar de plásticos, tintas e preservantes na composição do pellet (EN PLUS, 2015b). A certificação EN Plus (2015b) está em conforme na ISO 17225-2 (2014) define três classes de qualidade para pellets de uso residencial e comercial, sendo “A1, A2 e B”. Essa classificação refere-se basicamente ao tipo de madeira usada para a produção de pellets, como madeira de tronco, resíduos e subprodutos não tratados quimicamente e resíduos florestais. É determinado, a classe de qualidade dos pellets deve apresentar estampada na embalagem de plástico transparente o selo de certificação.

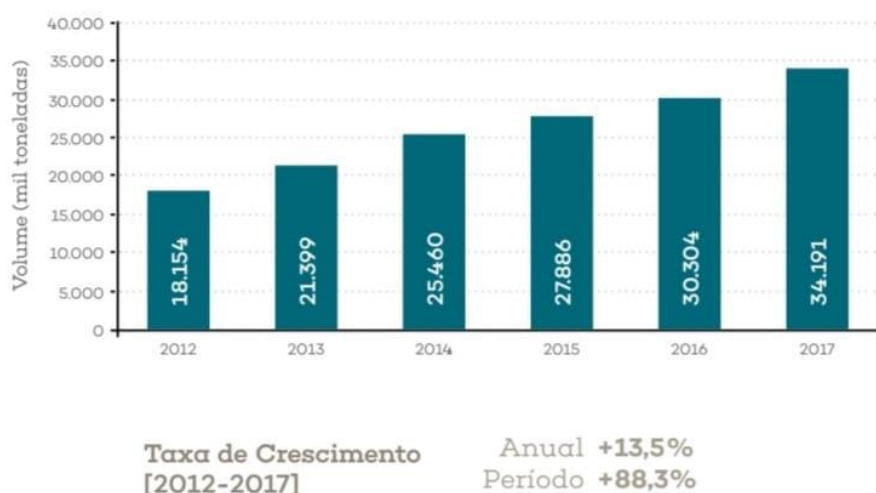
A norma ISO 17225-2 estabelece diferentes classes de qualidade para pellets de madeira: A1, A2 e B para uso residencial e comercial (serviços) e I1, I2 e I3 para uso industrial. Os critérios estão no diâmetro(mm), comprimento (mm), teor de umidade (%), teor de cinzas, resistência mecânica (% da massa), teor de finos (% da massa), poder calorífico líquido inferior (PCI), densidade (kg/m<sup>3</sup>), temperatura de deformação das cinzas (C°), teor de nitrogênio (N), enxofre(S), cloro(Cl), arsênio (Ar), cádmio(Cd), cromo(Cr), cobre(Cu), chumbo (Pb), mercúrio (Me), níquel (Ni) e zinco (Zn) (ALAKANGAS, 2009). Os valores exigidos para cada uma dessas propriedades em função do uso final (residencial, comercial e industrial).

O sistema de certificação EN Plus originou-se na Europa por ser um dos grandes produtores e consumidores desse biocombustível, definindo especificações técnicas para comercialização, alguns países como Reino Unido, Alemanha, Àustria, Itália, Alemanha e Suécia dispõem das suas normas. Em 2022 foi lançada a primeira norma brasileira de pellets através da ABNT NBR 17013-1 com apoio técnico da Associação brasileira da indústria de madeira processada mecanicamente (ABIMCI), desse modo preencherá lacunas técnicas, econômicas e regulatórias, como também em relação à peletização de espécies florestais amazônicas, as aplicações que seguiam normas internacionais. Além do mais, os pellets de biomassa devem conter critérios de qualidade que impactarão a qualidade da combustão e as emissões de gases durante o processo de queima (SPANHOL *et al.*, 2015).

### **3.8 MERCADO DE PELLETS**

O Mercado de pellets vem crescendo como alternativa energética diante ao aquecimento global e políticas ambientais, como líder de produção os Estados Unidos, e chegando aos países

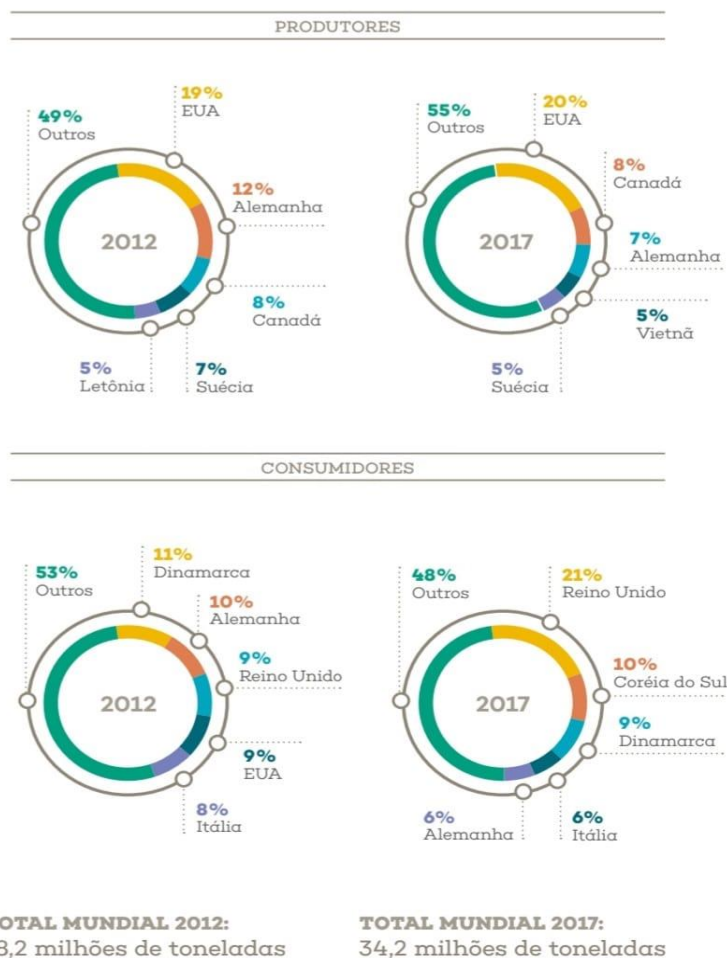
asiáticos como a Coréia do Sul, Japão, China, Tailândia e Vietnã. No período de 2012 e 2017, ocorreu o crescimento dentre 16 milhões de toneladas na produção de pellets, verificando o aumento de 88% de aumento no intervalo. No ano de 2017 a produção mundial de pellets alcançou 34,1 milhões de toneladas, um aumento de 13,5% a.a. (2012-2017), conforme evidenciado na figura 3 (ABIMCI, 2019).



**Figura 3.** Evolução da produção mundial de pellet de madeira (2012-2017).

Fonte: Ministério da Economia (2019), pesquisa setorial ABIMCI (2019).

Hoje a Europa é o maior mercado consumidor de pellets de madeira tanto no ramo industrial como residencial. Esse consumo de pellets é bastante utilizado em países que utilizam a biomassa para geração de energia elétrica e termelétricas como o Reino Unido, Holanda, Suécia, Bélgica e Dinamarca. Assim como, a União Europeia particularmente como Itália, Áustria e Alemanha, como também a América do Norte, a aplicação dos pellets estão direcionados ao aquecimento de residências. O forte aumento de energia renovável na Europa está ligado ao comprometimento de 20% do total de energia produzida e aumentar parcela em 20% a produtividade energética até 2020, variando entre países como Malta entre 10% até 49% na Suécia (KRISTÖFEL *et al.*, 2016; HELMINGER *et al.*, 2016; QUÉNO *et al.*, 2019; ABIMCI, 2019). A figura 4 demonstra os países que são maiores produtores e consumidores de pellets.



**Figura 4.** Principais exportadores e importadores de pellet de madeira (2012 e 2017).

Fonte: Ministério da Economia (2019), pesquisa setorial ABIMCI (2019).

Os pellets de madeira começaram em 2001 no Brasil, mas o uso considerado lento ao mercado interno, encontra-se, em hotéis, residências, pizzarias e indústrias de pequeno e médio porte. O pequeno consumo deve-se ao fator da matriz energética renovável mais sustentável do planeta, com as hidrelétricas, assim o direcionamento dos pellets para o mercado externo e sua produção está majoritariamente nas regiões Sul e Sudeste (REMADE, 2012; ABIMCI, 2019).

A produção de pellets no Brasil em 2018 aproximou de 506 mil toneladas, o intervalo de 2012-2018 a produtividade aumentou 43,9%, esse feito das importações para países europeus e asiáticos. Ainda que sua produção seja modesta se comparado aos primeiros países em produção, mesmo assim no Brasil está ocorrendo crescimento e taxas altas, devido a investimentos recentes nas linhas industriais atualmente. O consumo nacional de pellets obteve 363 mil toneladas em 2017 e 281 mil toneladas em 2018, como também em 2021 o volume exportado de 345,2 mil toneladas com 5% a menos em variação a 2020, essas oscilações de

quedas entre anos, deve-se a exportação desse produto e taxa cambial animadora ao mercado internacional (ABIMCI, 2019; IBÁ, 2022). As figuras 5 e 6 fornecem dados em volume (mil ton) da exportação e importação de pellets no Brasil.



**Figura 5.** Evolução da exportação brasileira de pellet de madeira (2012-2018).

Fonte: Ministério da Economia (2019), pesquisa setorial ABIMCI (2019).



**Figura 6.** Evolução da importação brasileira de pellet de madeira (2012-2018).

Fonte: Ministério da Economia (2019), pesquisa setorial ABIMCI (2019).

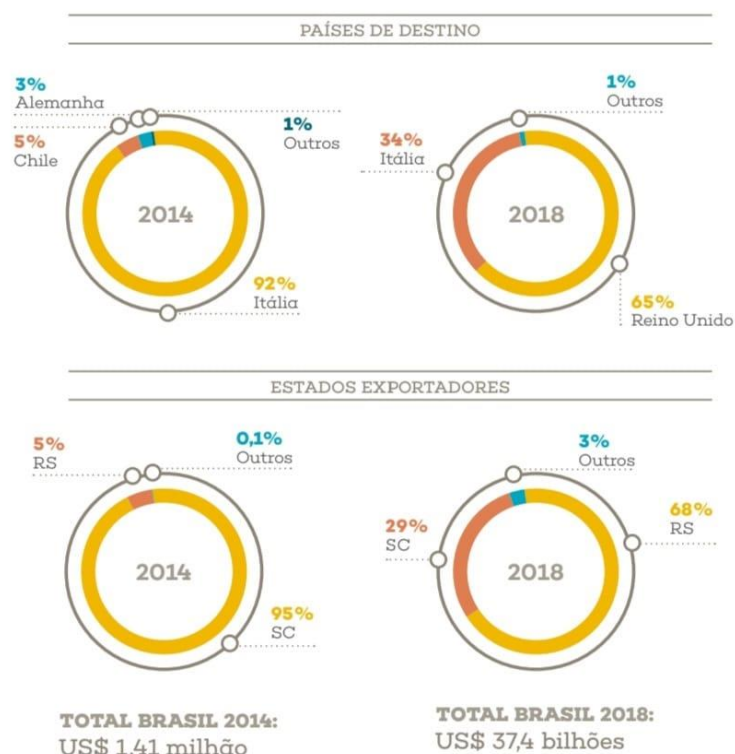
A figura 7 apresenta informações dos produtos madeireiros em relação ao volume exportado de 2021 a 2020.

Produto	Volume exportado em 2021	Varição em relação a 2020
Compensados de pinus	2,6 milhões m <sup>3</sup>	4%
Madeira serrada de pinus	3,2 milhões m <sup>3</sup>	6%
Madeira perfilada de pinus (molduras)	179,0 mil t	8%
Portas de madeira	182,8 mil t	8%
Pellets	345,2 mil t	-5%
Toras de pinus	825,0 mil m <sup>3</sup>	121%

**Figura 7.** Exportação de produtos sólidos de madeira, 2021.

Fonte: ABIMCI (2022) | Dados compilados pela Iba (2022).

No mercado brasileiro os pellets são empregados na indústria do agronegócio para secagem de grãos e sistemas aviários para o aquecimento, essa indústria há tempo usa lenha e cavacos como fonte energética e algumas vem trocando progressivamente para os pellets, devido ao produto ter facilidade de manuseio e aplicação energética, aliás está aumentando a procura de empresa hoteleira nacional para utilização de pellets em aquecimentos interno e caldeiras (ABIMCI, 2019). A figura 8 indica os países importadores e os estados brasileiros produtores de pellets.



**Figura 8.** Principais países de destino e estados exportadores de pellets de madeira (2014 e 2018).

Fonte: Ministério da Economia (2019), pesquisa setorial ABIMCI (2019).

A qualidade dos pellets ao mercado está atrelada ao teor de cinzas e poder calorífico, podem impactar nos valores. Com a demanda de tecnologias, modernização, custos de processo e manutenção, a seleção da biomassa e procedência são primordiais para produção dos pellets através das propriedades físico-química e energética podem ser utilizados de maneira conjunta com outra fonte energética ou substituir (SUN & NIQUIDET, 2017).

Sobre a certificação ENPLUS, 65% dos pellets vendidos, à obtém através do selo, como produtores, vendedores e varejistas tem o certificado de comercialização na região europeia, assim assegura padrões de qualidades: físico, químico, resistência e produto sustentável (RAKOS, 2015; EUROPEAN PELLET COUNCIL, 2013).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 COLETA DOS RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO MADEIREIRO

A coleta foi realizada na Região Metropolitana de Belém, em uma empresa (Figura 9) que compra as madeiras processadas de variadas espécies para produção de pisos e decks, de acordo com a preferência dos clientes em termos de desenhos e acabamentos. Os produtos são vendidos majoritariamente ao mercado externo, além de que, os resíduos gerados são utilizados para produzir briquetes, os quais são utilizados para aquecimento de estufas na própria indústria ou vendidos ao mercado interno às empresas de grande porte para utilizá-los em caldeiras.



**Figura 9.** Empresa de decks e pisos.

Fonte: Autor, 2023.

### 4.2 BIOMASSA E ESPÉCIES DE MADEIRAS COLETADAS

Foram coletados 4 kg de resíduos de peças industrializadas de cada madeira totalizando 20 kg das espécies *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose (Ipê amarelo), *Hymenaea courbaril* L. (jatobá), *Manilkara elata* Huber (Maçaranduba), *Hymenolobium petraeum* Ducke (Angelim pedra), *Astronium lecointei* Ducke (muiracatiara) (Figura 10). Também, foi realizada a coleta de resíduos de lâminas de madeira de *Pinus taeda* no município de Irati que serviu de testemunha na pesquisa.





**Figura 10.** Resíduos de decks e pisos de madeiras.

Fonte: Autor, 2023.

#### **4.3 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE MADEIRA**

Primeiramente os resíduos das espécies coletadas na forma de retalhos foram direcionados para uma estufa com circulação de ar forçada a temperatura de  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  para uma pré-secagem de 24 horas, como também foram determinados a densidade aparente, a partir das medições e pesagens. Os retalhos foram reduzidos em maravalhas numa plaina, depois levados ao moinho triturador forrageiro para obtenção de partículas (Figura 11), por fim foram utilizadas peneiras de 8, 10 e 12 meshes e aberturas de 2.36 mm, 1.7 mm, 1.40 mm e 2.36 mm respectivamente.



**Figura 11.** a) Plaina e b) Moinho triturador forrageiro

Fonte: Autor, 2023.

#### **4.4 PRODUÇÃO DE PELLETS**

Os pellets foram produzidos em uma prensa de peletizadora laboratorial com matriz plana da marca Amandus Kahl modelo 14-175 (Figura 12), com potência de 3,0 kW, capacidade de produção de 30 kg.h<sup>-1</sup>, diâmetro da matriz de 6 mm e velocidade de rotação dos roletes de 1200 rpm. A alimentação de biomassa para prensagem foi realizada manualmente, respeitando o limite de 2000 W de torque dos rolos de prensagem. A temperatura de produção dos pellets variou de 70 a 90° C.



**Figura 12.** Pelletizadora Amandus Kahl modelo 14-175.

Fonte: Autor, 2023.

A produção dos pellets foi realizada com madeira pura de cada espécie e com a mistura das cinco espécies, além de ter sido usada também a madeira de pinus, o que consistiu em 7 tipos de pellets. Na Tabela 1 são apresentados os tipos de pellets produzidos e também os valores médios encontrados na literatura de densidade aparente das madeiras em estudo.

**Tabela 1.** Representação dos sete tipos de pellets.

Tipo de pellet	Espécie	Densidade aparente da madeira
1	<i>Handroanthus serratifolius</i> Vahl S. Grose (Ipê amarelo)	1010 kg/m <sup>3</sup>
2	<i>Hymenaea courbaril</i> L. (Jatobá)	1100 g/cm <sup>3</sup>
3	<i>Manilkara elata</i> Huber (Maçaranduba)	1040 kg/m <sup>3</sup>
4	<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke (Angelim pedra)	990 kg/m <sup>3</sup>
5	<i>Astronium lecointei</i> Ducke (Muiracatiara)	1010 kg/m <sup>3</sup>
Mix	Angelim pedra (20%) + Ipê amarelo (20%) + Maçaranduba (20%) + Jatobá (20%) +Muiracatiara (20%)	1030 kg/m <sup>3</sup>
Testemunha	<i>Pinus taeda</i>	480 kg/m <sup>3</sup>

Nota: Médias de densidades citadas na literatura para o *Handroanthus serratifolius* Vahl S. Grose, *Hymenaea courbaril* L., *Astronium lecointei* Ducke, *Pinus taeda* (IPT, 1983; IPT, 1989), *Manilkara elata* Huber (INPA, 1991); *Hymenolobium petraeum* Ducke (SOUZA; MAGLIANO; CAMARGOS, 1997) e o mix (20% de cada espécie).

Fonte: Autor, 2023.

## 4.5 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PELLETS

### 4.5.1 Propriedades Físicas

Foram determinados o teor de umidade, a densidade unitária, o diâmetro, o comprimento e a densidade a granel.

Para determinação da umidade de equilíbrio higroscópico, os pellets foram condicionados em uma câmara climática a temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa, de acordo com norma ISO 18134-2-17.

Para determinar o comprimento, diâmetro e a densidade unitária dos pellets, foram medidas e pesadas amostras representativas de 30 pellets por tipo produzido, conforme a norma ISO 17829-15, as medições com um paquímetro e o peso em balança analítica.

A densidade granel foi realizada usando um Becker de volume conhecido com os pellets ao teor de umidade de equilíbrio. De acordo com a norma ISO 17828-15 a massa de material necessária para completar o recipiente foi mensurada e obtida a densidade dividindo-se a massa de material utilizada pelo volume do recipiente, conforme equação 1.

$$Da = \frac{m(g)}{V(cm^3)} \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

Da = densidade a granel (g.cm<sup>-3</sup>);

m = massa (g);

V = volume (cm<sup>3</sup>).

#### 4.5.2 Análise química imediata

Foi realizada a análise química imediata, em triplicatas, em uma mufla com controle de aquecimento, segundo a norma ASTM D1762-84 (2013). Para encontrar os materiais voláteis, os cadinhos com 1,0 g de material lignocelulósico e realizaram-se o aquecimento a 900°C ± 10°C no decorrer de 10 minutos, para após serem resfriados em dessecador contendo sílica seca e em seguida pesados.

Logo depois, foram inseridos outra vez à mufla a 600°C ± 10°C, onde ficaram por 4 horas para determinar o teor de cinzas. O teor de carbono fixo foi calculado pela diferença apresentada na equação 2.

$$CF (\%) = 100 - (TMV + TC) \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:

CF = carbono fixo (%);

TMV = teor de materiais voláteis (%);

TC = teor de cinzas (%).

#### 4.5.3 Poder calorífico superior e Poder calorífico inferior

O poder calorífico superior (PCS), em (MJ.kg), foi realizado em duplicata, usando uma bomba calorimétrica adiabática IKA C200, conforme a norma ASTM D240-17. Para estimativa do poder calorífico inferior (PCI) foi usada a equação 3, considerando o teor de hidrogênio de

6% (teor médio para madeira da maioria das espécies florestais), para assim encontrar o poder calorífico líquido (PCL) foi adotado o procedimento (BRAND, 2010), através da equação 4.

$$PCI = PCS - 600 \frac{9H}{100} \quad \text{Equação (3)}$$

Em que:

PCI = poder calorífico inferior, em MJ.kg;

PCS = poder calorífico superior, em MJ.kg;

H = teor de hidrogênio (%).

$$PCL = PCI \times \left[ \frac{100-W}{100} \right] - (6 \times W) \quad \text{Equação (4)}$$

Em que:

PCL = poder calorífico líquido em MJ.kg, em base úmida;

PCI = poder calorífico inferior a 0% de umidade;

W = umidade da madeira em MJ.kg, em base úmida.

#### 4.5.4 Densidade energética

A determinação da densidade energética não é exigida pela Norma ISO 17225-2, mas foi calculada por ser uma propriedade que influencia no custo de transporte dos pellets, visto que traduz a quantidade de energia que é transportada por unidade de volume. A densidade energética foi calculada de acordo com a Equação 5.

$$DE = \frac{DG \times PCI}{1000} \quad \text{Equação (5)}$$

Em que:

DE = densidade energética, em GJ.m<sup>3</sup>;

DG = densidade a granel, em kg.m<sup>3</sup>;

PCI = poder calorífico inferior, em MJ.kg.

#### 4.5.5 Durabilidade mecânica e teor de finos

O ensaio de durabilidade mecânica dos pellets foi realizado por meio de um tambor rotativo (Figura 13), numa velocidade de 50 rpm por 10 min, em conformidade a norma ISO 17831-1-15. Foram utilizadas amostras de 500 g de pellets e três repetições para cada ensaio.



**Figura 13.** Tambor rotativo.

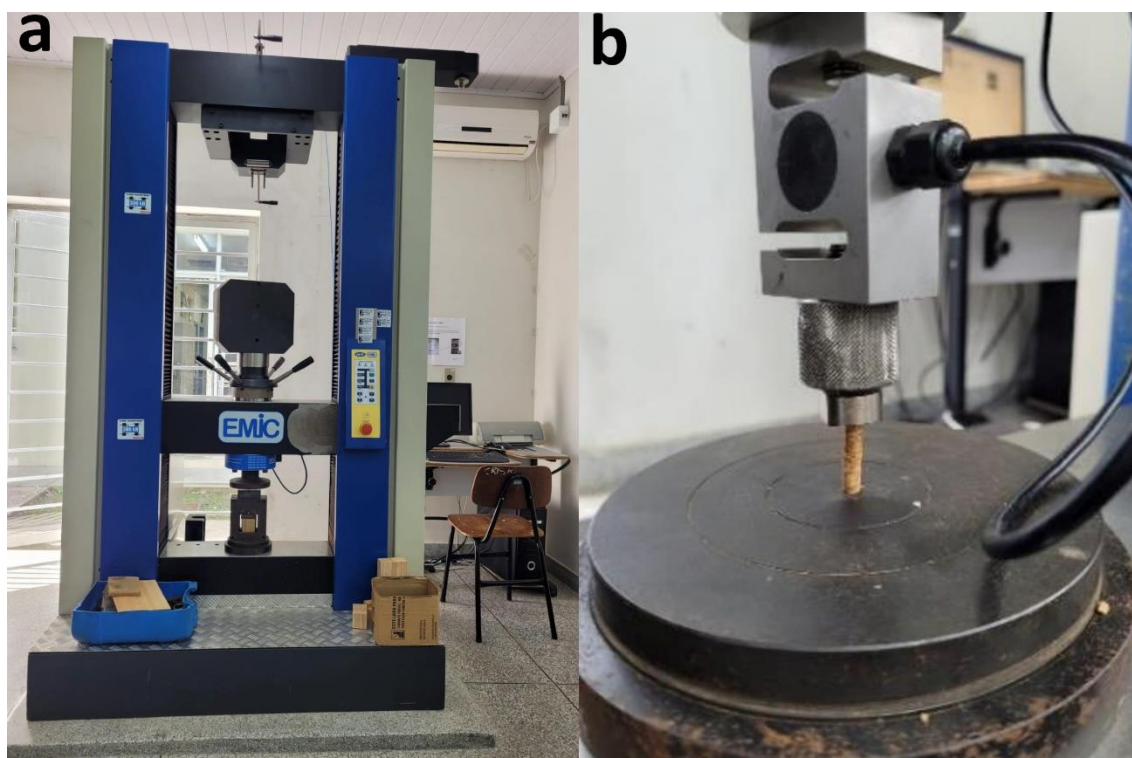
Fonte: Autor, 2023.

Para determinação do teor de finos, amostras de 125 gramas foram peneiradas em uma peneira com abertura de 3,35 mm para excluir partículas finas, as quais foram pesadas em seguida, conforme a norma ISO 18846-16.

#### 4.5.6 Ensaio de compressão

Foi realizado ensaio de compressão dos pellets segundo metodologia adaptada da norma ASTM D6108-19 (Método de teste padrão para propriedades compressivas de madeira plástica e moldes), utilizando uma máquina de Ensaio Mecânico EMIC DL 30000 N, com uma célula de carga 500 Kgf.

Foram seleccionados pellets de 22 a 26 mm de comprimento que foram submetidos à compressão no sentido do seu comprimento. Foram ensaiados seis pellets de cada tipo produzido, totalizando 42 ensaios com pellets, sendo determinados o Módulo de Elasticidade e a Resistência Máxima à Compressão (Figura 14).



**Figura 14.** a) Emic DL30000N e b) Ensaio de compressão no pellet.

Fonte: Autor, 2023.

#### **4.5.7 Classificação da qualidade dos pellets**

A classe de qualidade da EN Plus (2015) fundamentada na norma ISO 17225-2 (2014) para utilização residencial/comercial e industrial foi usada com intuito de comparar a qualidade (propriedades físico-químicas e mecânicas) dos pellets (Tabela 2).



**Tabela 2.** Propriedades físico-químicas e mecânicas dos pellets para uso residencial/comercial e industrial da norma ISO 17225-2.

<b>ISO 17225-2</b>			
<b>Uso residencial/comercial</b>			
	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>B</b>
Diâmetro (mm)	$\varnothing = 6\pm 1$ ou $8\pm 1$	$\varnothing = 6\pm 1$ ou $8\pm 1$	$\varnothing = 6\pm 1$ ou $8\pm 1$
Comprimento (mm)	L= 3,15 a 40	L= 3,15 a 40	L= 3,15 a 40
Densidade a granel (kg.m <sup>-3</sup> )	$\geq 600$	$\geq 600$	$\geq 600$
Teor de umidade (%) (base úmida)	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 10$
Teor de cinzas (%)	$\leq 0,7$	$\leq 1,2$	$\leq 2,0$
Poder calorífico líquido (MJ.kg <sup>-1</sup> )	$\geq 16,5$	$\geq 16,5$	$\geq 16,5$
Durabilidade mecânica (%)	$\geq 98,0$	$\geq 97,5$	$\geq 97,5$
Finos (%)	$\leq 1,0$	$\leq 1,0$	$\leq 1,0$
<b>Uso industrial</b>			
	<b>I1</b>	<b>I2</b>	<b>I3</b>
Tamanho (mm)	$\varnothing = 6\pm 1$ ou $8\pm 1$	$\varnothing = 6\pm 1$ ou $8\pm 1$	$\varnothing = 6\pm 1$ ou $8\pm 1$ ou $10\pm 1$ ou $12\pm 1$
Comprimento (mm)	L= 3,15 a 40	L= 3,15 a 40	L= 3,15 a 40
Densidade a granel (kg.m <sup>-3</sup> )	$\geq 600$	$\geq 600$	$\geq 600$

Teor de umidade (%) (base úmida)	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 10$
Teor de cinzas (%)	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	$\leq 3,0$
Poder calorífico líquido (MJ.kg <sup>-1</sup> )	$\geq 16,5$	$\geq 16,5$	$\geq 16,5$
Durabilidade mecânica (%)	97,5 a 99,0	97,0 a 99,0	96,5 a 99,0
Finos (%)	$\leq 4,0$	$\leq 5,0$	$\leq 6,0$

---

Ø: diâmetro; L: comprimento.

#### 4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foram avaliadas as médias das propriedades físico-químicas, mecânicas e energéticas dos pellets através de um delineamento inteiramente casualizado com cinco espécies: *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose (Ipê amarelo), *Hymenaea courbaril* L. (jatobá), *Manilkara elata* Huber (Maçaranduba), *Hymenolobium petraeum* Ducke (Angelim pedra), *Astronium lecointei* Ducke (muiracatiara), *Pinus taeda* (testemunha) e a mistura das biomassas. Com auxílio do Software Assistat 1.0, às médias decorreram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Foi utilizado o programa Microsoft Excel para realizar a Correlação de Pearson e a Regressão linear.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO RESÍDUOS DE MADEIREIROS

As madeiras utilizadas neste estudo já tinham sido submetidas ao processo de secagem, devido a produção de decks e pisos com controle de umidade de 6% a 8%. Porém, os resíduos coletados estavam em um pátio parcialmente coberto, dessa forma houve ganho de umidade, sendo necessária a secagem em estufa. Após esse processo, os resíduos foram condicionados em sala climatizada a temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa até estabilização da umidade de equilíbrio das espécies amazônicas (Tabela 3).

**Tabela 3.** Médias do teor de umidade (TU) e densidade aparente (DA) do resíduo antes da peletização.

<b>Resíduo madeireiro</b>	<b>TU (%)</b>	<b>DA (kg.m<sup>3</sup>)</b>
<i>Handroanthus serratifolius</i> Vahl S. Grose	9.39 a	1050 ab
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	11.15 a	1020 abc
<i>Manilkara elata</i> huber	8.77 a	1130 a
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	11.43 a	830 bcd
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	9.62 a	750 cd
<i>Pinus taeda</i>	8.95 a	620 d
Média geral	9.88	900
C.V. (%)	11.70	11.06

Notas: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). Teor de Umidade (TU %), Densidade Aparente (DA kg.m<sup>3</sup>) e o Coeficiente de Variação (C. V. %).

De acordo com GLASS & ZELINKA (2010) o teor de umidade da madeira é influenciado pela umidade relativa do ar e temperatura local, como é considerado um material higroscópico tem a facilidade de perda e ganho d'água.

Em um trabalho de caracterização da madeira de espécies da Amazônia, foi encontrado teor de umidade de equilíbrio e densidade aparente da *Manilkara huberi* (maçaranduba) de 9,86% e 960 kg.m<sup>3</sup> (MEDEIROS *et al.*, 2021). Neste trabalho a maçaranduba apresentou menor teor de umidade com 8,77% e maior densidade aparente com 1130 kg.m<sup>3</sup>.

Na região de Alta Floresta, Mato Grosso foram avaliadas as propriedades físicas (teor de umidade e densidade aparente) de madeiras para produção de pisos, encontrando valores da *Hymenaea* sp. (jatobá) de 14,30% e 1030 kg/cm<sup>3</sup> e para *Handroanthus* sp. (Ipê) de 10,40% e 1120 kg.m<sup>3</sup> (EVANGELISTA & COSTA, 2018). Os valores de densidade aparente foram próximos aos verificados neste estudo para *Hymenaea courbaril* L. (1020 kg.m<sup>3</sup>) e para *Handroanthus serratifolius* Vahl S. Grose (1050 kg.m<sup>3</sup>), enquanto os teores de umidade foram menores para essas duas espécies (11,15 e 9,39 %).

Baumann *et al.* (2020) estudando as propriedades físicas de madeira *Astronium lecointei* Ducke, evidenciaram a influência da presença de água nos poros das amostras a densidade

aparente úmida, que foi de 810 kg.m<sup>3</sup>. A densidade aparente seca (0% de umidade) foi de 720 kg/m<sup>3</sup>, e a densidade básica de 650 kg.m<sup>3</sup>. Nessa pesquisa a densidade aparente da madeira de muiracatiara foi de 750 kg.m<sup>3</sup>, assim notam-se próximo da literatura.

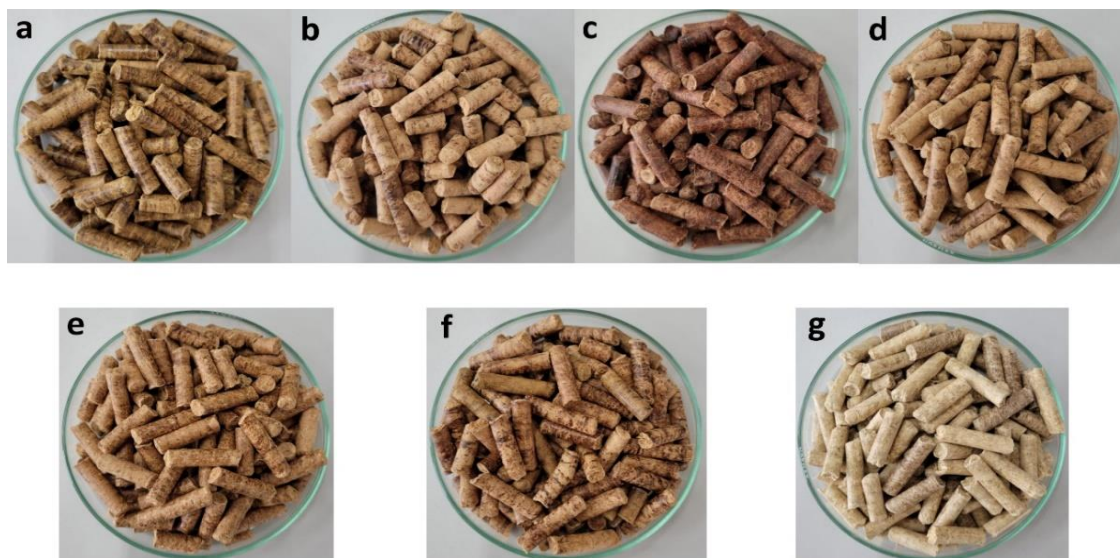
Ferreira *et al.* (2019) realizaram o estudo com madeira de *Hymenolobium petraeum* Ducke (angelim-pedra) através de ensaios com tratamento térmico entre faixas de temperaturas (0°, 180° a 200°) e de tempo (0, 2 horas a 4 horas), verificando teores de umidade equilíbrio entre 11,28 a 11,49% para a madeira natural, próximos ao deste estudo. Com aumento da temperatura e do tempo de exposição ao tratamento térmico evidenciou menor umidade de equilíbrio higroscópico em comparação à madeira não tratada.

O teor de umidade auxilia na aglutinação, eleva a ligação entre as forças de van der Waal, diminui a temperatura de transição vítrea e proporciona estruturação sólida, o que acarreta em melhor qualidade do pellet quando ocorre a produção. Além disso, facilita a passagem das partículas durante o atrito nos furos da matriz com melhor fluência, entretanto, em oposto de baixa umidade pode acontecer o entupimento da matriz. Por outro lado, em alta umidade, podem ser produzidos pellets sem resistência e quebráveis (TUMULURU *et al.*, 2011; CHEW *et al.*, 2018).

Nesse estudo, durante o processo de peletização houve a necessidade de umidificar as partículas, pois o teor de umidade ideal para esse processo foi em média 15%. Se o material estiver mais seco pode ocorrer entupimento da matriz ou a produção de pellets com baixa adesão, pois a umidade e a temperatura contribuem para plastificação da lignina que favorece para consistência dos pellets.

## 5.2 PROPRIEDADES DOS PELLETS

Houve variação de cores (escuras e claras) entre os diferentes tipos de pellets produzidos, todos com textura lisa e pequenas fissuras em menor proporção (Figura 15). A coloração castanho-avermelhada da *Manilkara elata* Huber e a pardo-acastanhada do *Handroanthus serratifolius* Vahl S. Grose são devidas às características sensoriais das espécies (IPT, 1983; IPT, 1989a), da mesma forma para as demais espécies.



**Figura 15.** Pellets de *Handroanthus serratifolius* Vahl S. Grose (a), *Hymenaea courbaril* L. (b), *Manilkara elata* Huber (c), *Hymenolobium petraeum* Ducke (d), *Astronium lecointei* Ducke (e), Mix (f) e *Pinus taeda* (g).

Fonte: Autor, 2023

Durante o processo de peletização, a ação da temperatura e pressão podem ocasionar essas variações de coloração e textura. Isso ocorre pela ação da lignina que atua como aglutinante, ocorrendo transição de sua característica vítrea para plástica, que pode diferir entre espécies (WHITTAKER & SHIELD, 2017). Em temperaturas menores à transição vítrea quando o efeito térmico for considerado insuficiente para o amaciamento da lignina, criando pellets bastantes fissurados, por consequência, menos duráveis (STELTE, *et al.*, 2011b; FERREIRA, 2017).

### 5.2.1 Propriedades Físicas

Os pellets atingiram os padrões normativos de Teor de Umidade  $\leq 10\%$ , com exceção do *Hymenaea courbaril* L. (11,03%) e do *Hymenolobium petraeum* Ducke (11,28%) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Propriedades físicas dos pellets.

<b>Tipo de pellet</b>	<b>TU (%)</b>	<b>DT (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>DU (kg.m<sup>3</sup>)</b>	<b>DG (kg.m<sup>3</sup>)</b>
<i>Handroanthus serratifolius</i> Vahl S. Grose	7.05 cd	5.90b	26.08 a	1.31 a	723 a
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	11.03 a	6.06 a	24.48 a	1.19 ab	676 c
<i>Manilkara elata</i> Huber	7.70 c	5.98 ab	25.53 a	1.17 ab	703 b
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	11.28 a	6.00 ab	22.58 a	1.15 b	700 b
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	9.54 b	6.08 a	25.36 a	1.30 a	670 c
Mix	9.27 b	5.96 ab	25.51 a	1.27 ab	653 d
<i>Pinus taeda</i>	7.04 d	5.85 b	25.08 a	1.25 ab	623 e
Média geral	8.99	5.97	24.95	1.23	678
C. V. (%)	2.62	1.54	9.27	6.56	0.72

Notas: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). Teor de Umidade (TU %), Diâmetro (DT mm), Comprimento (L mm), Densidade Unitária (DU kg.m<sup>3</sup>), Densidade a Granel (DG kg.m<sup>3</sup>) e o Coeficiente de Variação (C. V. %).

Neste trabalho a umidade dentre os sete tipos de pellets o *Pinus taeda* (7,04%), *Handroanthus serratifolius* Vahl S. Grose (7,05%) e a *Manilkara elata* Huber (7,70) apresentaram menores teores de umidade assim contribuirão nas propriedades mecânicas, químicas e energéticas. Da mesma maneira os pellets do mix reduziu a umidade ao comparar com pellets de *Hymenolobium petraeum* Ducke (11,28%) *Hymenaea courbaril* L. (11,03%) e *Astronium lecointei* Ducke (9,54%).

Brand *et al.* (2018) avaliando a qualidade de pellets de biomassa florestal verificaram diferentes teores de umidade em função do tipo de biomassa. Para acículas de araucária foi identificado um teor de umidade de 11,84%, enquanto para maravalha de Pinus o teor foi de 9,94%. Quando as duas biomassas foram misturadas na proporção de 25% de acículas de araucária e 75% de maravalha de pinus 9,34% e para 50% de acículas de araucária e 50% de maravalha de pinus 7,64% de teores de umidade. Assim demonstrando que o pellet de *Pinus taeda* deste trabalho apresentou menor teor de umidade 7,04% ao comparar a literatura.

Conforme Costa *et al.* (2020), ao produzirem pellets de bagaço de cana de açúcar verificaram teores de umidade entre 7,94% e 8,05%. A umidade age na concentração de energia presente depois da combustão, dessa maneira, um maior teor de umidade provoca consumo de energia para o processo de evaporação (SPANHOL *et al.*, 2015). Caso não se alcance o teor de umidade desejado, pode-se proceder nova secagem de ajustamento para o pellet alcançar os padrões normativos. Menores teores de umidade melhoram o poder energético e também prorrogam a duração de armazenamento, evitando a proliferação de insetos e fungos e a degradação do pellet (GARCIA *et al.*, 2013; GARCIA *et al.*, 2019).

Em relação ao diâmetro, os pellets de todas as madeiras da Amazonia atenderam os padrões normativos, devido à norma estipular valores de  $6\pm 1$  mm, no entanto, os pellets de pinus tiveram diâmetro menor. A uniformidade do diâmetro proporciona constância na queima dos pellets em residências que utilizam esse biocombustível para aquecimento (NADIAH; ABD 2016).

Na produção de pellets, o vapor de água pode estar relacionado com o aumento ou diminuição do diâmetro dos pellets, devido ao aquecimento e a quantidade de água que flui do centro para as bordas, influenciando na união entre as partículas no decorrer da peletização. Assim, quanto maior o teor de umidade, maior o diâmetro dos pellets, mesmo que a matriz perfuradora tenha abertura de orifício com 6 mm exigido pela norma (MAHAPATRA *et al.*, 2010; FARIA *et al.*, 2016).

De acordo com Costa *et al.* (2020) ao produzir pellets de bagaço de açúcar o diâmetro ficou entre 6,02 a 7,01 mm. Os diâmetros dos pellets comerciais apresentaram valores de 6,1 mm para madeira de *Pinus* sp. e *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose de 6,0 mm e para o bagaço de cana de açúcar, com comprimento de 20,30 mm, 21,70 mm e 18,42 mm, respectivamente (GARCIA *et al.*, 2018a). Nessa pesquisa constatou-se que os pellets do mix (25,51 mm) aumentaram o comprimento dentre o estudo, mesmo até o menor em tamanho dos pellets de *Hymenolobium petraeum* Ducke (22,58 mm) foram maiores a trabalhos da literatura comparados.

O comprimento de todos os pellets produzidos nesse estudo adequou-se aos padrões normativos, dando destaque ao *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose (26,08 mm). Afirma-se que caso o comprimento dos pellets seja pequeno podem comprometer a durabilidade mecânica e aumentar os fins (AKDENIZ *et al.*, 2017).

Não há padrão normativo para densidade unitária aparente do pellet, mas é um parâmetro avaliativo quanto a densificação, o que facilita no espaço de armazenamento e transporte a distantes trajetos, desse modo diminuindo custos. Nesse estudo, a densidade aparente unitária dos pellets foi satisfatória, com mínimo de 1,19 kg.m<sup>3</sup> e máximo de 1,31 kg.m<sup>3</sup>, assim mostrando que a peletização contribuiu para aumento da densificação. Por outro lado, verifica-se que existe relação inversa entre a densidade da madeira e a densidade do pellet, dessa forma, mostrando que menor densidade da madeira favorece a densificação.

Jacinto *et al.* (2017), verificou densidade aparente unitária dos pellets de falha de pinhão de 1,31 kg.m<sup>3</sup> e de pinus de 1,15 kg.m<sup>3</sup>. O aumento da adição de lignina kraft resultou em aumento da densidade unitária dos pellets, já que o uso de 1, 2, 3 e 5% resultou em 1,117, 1,118, 1,137 e 1,163 kg. m<sup>3</sup>, respectivamente, de densidade aparente dos pellets (PEREIRA *et al.*, 2016).

Em relação a densidade a granel, todos os pellets produzidos nesse trabalho alcançaram o padrão da norma ISO 17225-2, dando destaque ao *Handroanthus serratifolius* Vahl S. Grose (723 kg.m<sup>3</sup>), *Manilkara elata* Huber (703 kg.m<sup>3</sup>) e *Hymenolobium petraeum* Ducke (700 kg.m<sup>3</sup>). Scatolino *et al.* (2018) produziram pellets de soja encontrando 698 kg.m<sup>3</sup> de densidade a granel, próximos dessa pesquisa. Num estudo com pellets produzidos 100% de acículas de araucária com 548 kg.m<sup>3</sup>, como também verificado que a mistura em partes iguais com pinus aumentou a densidade a granel para 691 kg.m<sup>3</sup> (BRAND *et al.*, 2018).

Em relação ao mix (espécies nativas) o valor de 653 kg.m<sup>3</sup>, não surtiu esse efeito, podendo ser considerado que as madeiras desse trabalho possuem densidade alta, mas não comprometendo a eficiência do pellet, já que atingiu a padronização e foi superior ao pellet de *Pinus taeda* de 623 kg.m<sup>3</sup>, assim apontada madeira de baixa densidade.

A densidade a granel é um dos requisitos na avaliação dos pellets, pelo fato de serem considerados granulados de forma cilíndrica e facilidade de armazenamento, em pacotes enfardados, assim obtendo-se dados quantificados para logística de armazenamento e transporte (GARCIA *et al.*, 2013; GARCIA *et al.*, 2018a).

### 5.2.2 Propriedades Mecânicas

Para a durabilidade mecânica (Tabela 5) todos tipos de pellets produzidos atenderam o padrão exigido pela norma ISO 17225-2 para classificação (A1) que exige  $\geq 98,0$ , exceto os pellets de *Manilkara elata* Huber (97,66%) e os de *Pinus taeda* (97,13%), que atenderam os



padrões para uso industrial (I2 e I3). O teor de finos apresentou resultados satisfatórios entre 0,006 a 0,12%, a normativa exige de  $\leq 1,0$  a  $\leq 6,0$ .

**Tabela 5.** Análise das propriedades de resistência mecânica.

<b>Tipo de pellet</b>	<b>DM (%)</b>	<b>TF (%)</b>	<b>RC (Mpa)</b>	<b>EC (Mpa)</b>
<i>Handroanthus serratifolius</i> Vahl S. Grose	99.40 a	0.05 a	22.80a	589.86 ab
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	99.40 a	0.06 a	26.08 a	638.61 a
<i>Manilkara elata</i> Huber	97.6 bc	0.11 a	22.55 ab	470.92 bc
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	98.86 ab	0.12 a	27.93 a	362.96 cde
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	99.06 ab	0.05 a	15.48b	257.23 e
Mix	99.46 a	0.006 a	20.90 ab	411.58 cd
<i>Pinus Taeda</i>	97.13 c	0.02 a	23.01 a	312.6 de
Média geral	98.71	0.06	23.10	453.82
C. V. (%)	0.53	138.6	17.65	18.59

Notas: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). Durabilidade mecânica (DM %), Teor de Finos (TF %), Resistência à compressão (RC Mpa), Módulo de Elasticidade em Compressão (EC Mpa) e o Coeficiente de Variação (C. V. %).

Foram encontrados valores de durabilidade mecânica dos pellets de madeira *Pinus* sp. de 98,6%, para madeira de *Handroanthus serratifolius* Vahl S. Grose de 97,7% e para bagaço de cana de açúcar de 97,5% (GARCIA *et al.*, 2018).

Em outro trabalho sobre a durabilidade mecânica de pellets de grimpá de araucária a 100% (98,69%) sendo menor valor e o maior (99,52%) para 75% de grimpá e 25% de pinus, ao mesmo tempo que o teor de finos foram 1,33 e 0,48%, nesta ordem (BRAND *et al.*, 2018). O teor de umidade irá influenciar diretamente na durabilidade dos pellets, sendo que o teor a baixo diminui a resistência e maior o produto tornasse quebradiço, podendo realizar o ajustamento da umidade de cada matéria prima (WHITTAKER & SHIELD, 2017).

A durabilidade mecânica é um ensaio importante para avaliação da resistência do pellet considerado biocombustível sólido, em relação ao manuseio, transporte na movimentação em

resistir longo tempo de estrada e o espaço de armazenamento. Como também estimar o teor finos gerados, quanto menor, maior a durabilidade. Destacando-se o pellet ser um produto de baixa chance de acarretar poeira e partículas menores, diminuindo a possibilidade de acidentes e explosões no espaço delimitado do carregamento (TUMULURU, 2014; BRAND *et al.*, 2018).

Ao realizar o ensaio de compressão adaptado aos pellets desse estudo, o módulo de elasticidade em compressão (EC) foi maior para a *Hymenaea courbaril* L. (638,61 MPa) e o *Handroanthus serratifolius* Vahl S. Grose (589,86 MPa). O ensaio de compressão apresenta-se como parâmetro de avaliação para resistência dos pellets à força aplicada a carregamentos, como também ao ensaio de durabilidade mecânica no tambor rotativo exigidos pela normativa.

Nessa pesquisa os pellets foram produzidos em temperaturas de 70° a 90° celsius, por meio da observação apresentavam consistência ao manusear, assim finalizava o processo. No trabalho de Stelte *et al.* (2011) ao realizarem o ensaio em pellet em faixa de temperatura (20° e 100°), dessa forma aplicaram a força de compressão que forneceu resultados melhores a temperatura maior. A prensagem a 100° produziu pellets mais fortes de *Fagus sylvatica* L. (faia europeia) em comparação *Picea abies* Karst. (conífera), desse modo evidenciando que os pellets de madeira apresentam maior resistência ao comparar com *Triticum aestivum* L. (palha de trigo) tanto a 20° quanto a 100°. A força de compressão média de ruptura para os pellets de *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* Karst. e *Triticum aestivum* L. para 100° expressaram (1,53 kN), (1,27 kN) e (0,37 kN), enquanto a 20° indicaram (0,93 kN), (1,09 kN) e (0,24 kN) respectivamente.

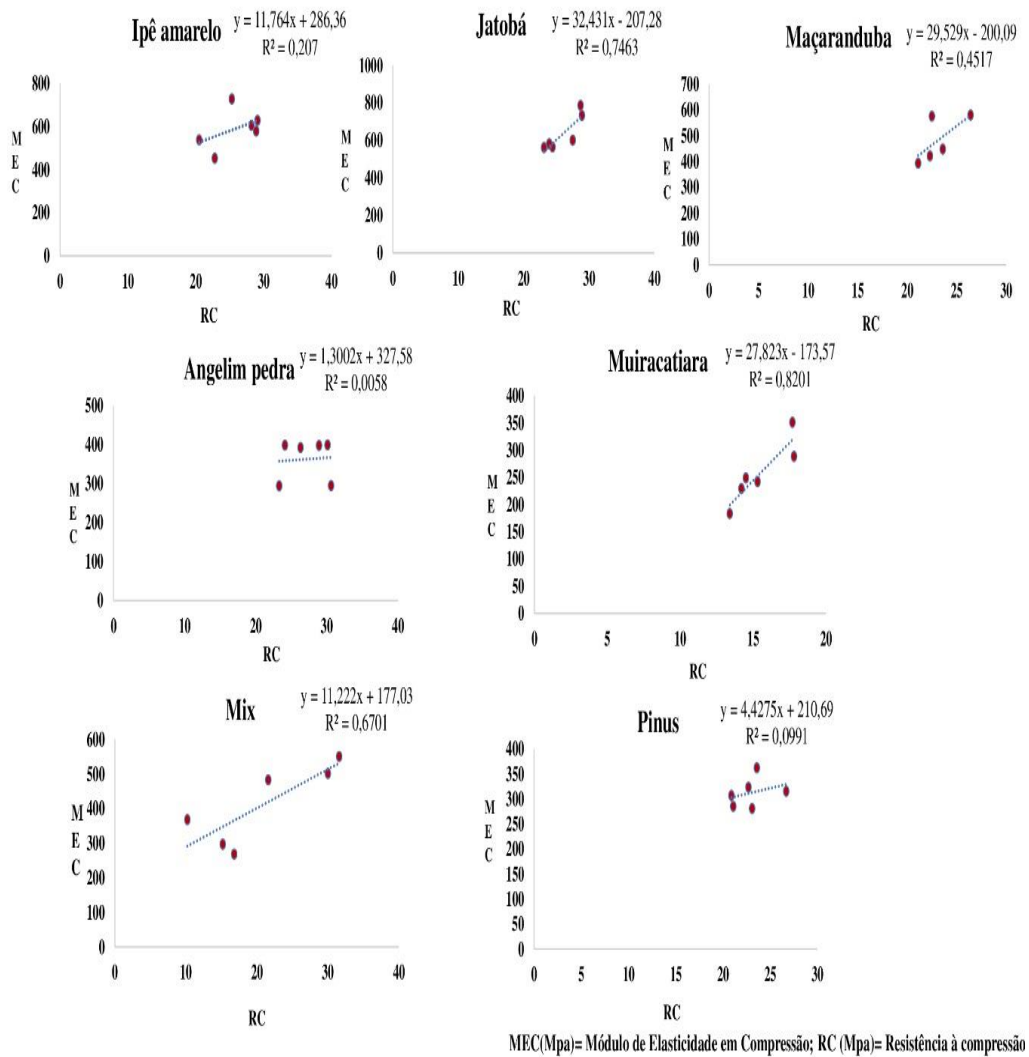
Em fase de peletização as partículas são reagrupadas de forma a completar os espaços da matriz e exercer força ao compactar o ar situado é retirado dentre elas. Apesar da proximidade entre partículas ainda é fraca a ligação através de forças de Van der Waals e forças eletrostáticas, dessa forma possibilita agregação (STELTE *et al.*, 2012; PEREIRA *et al.*, 2016). Pelo fato das elevadas temperaturas atingidas no tempo de peletização, de 100 °C, desse modo a lignina atua como plastificante no processo de união das partículas, com isso ocorre devido agitação macromolecular entre as ramificações e reestruturação, logo advém a sua solidificação e rigidez (KALIYAN & MOREY, 2010; CARROLL & FINNAN, 2012).

**Tabela 6.** Interpretação do coeficiente de determinação entre o Módulo de elasticidade em compressão e a Resistência à compressão.

<b>Tipo de pellet</b>	<b>Valor do R<sup>2</sup></b>	<b>Classificação R<sup>2</sup></b>
<i>Handroanthus serratifolius</i> Vahl S. Grose	0.207	Média
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	0.746	Forte
<i>Manilkara elata</i> Huber	0.451	Média
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	0.005	Fraca
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	0.820	Fortíssima
Mix	0.670	Forte
<i>Pinus Taeda</i>	0.099	Fraca

Nota: coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

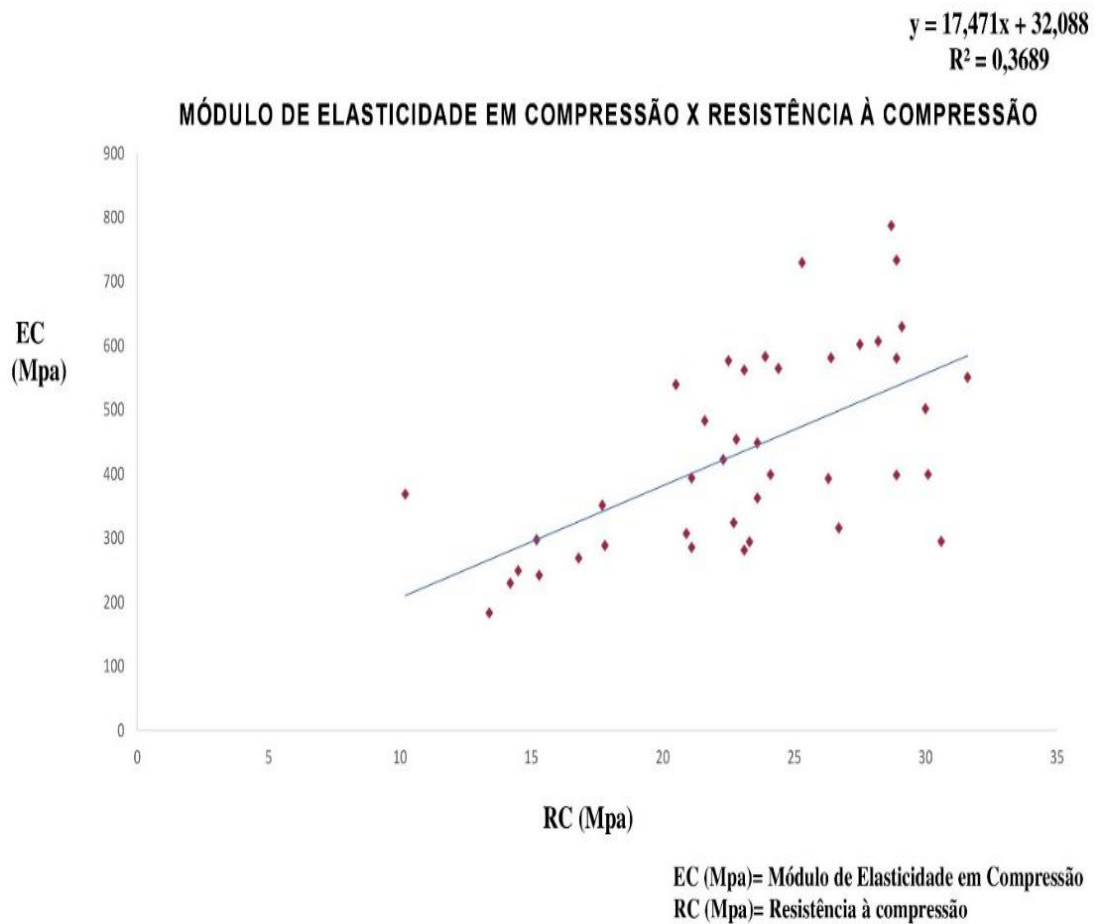
Através da classificação do coeficiente de determinação o pellet de *Astronium lecointei* Ducke (0,82) apresentou-se fortíssima, em seguida *Hymenaea courbaril* L. (0,74) e mix (0,67) como fortes, enquanto os demais tipos de pellets foram observados uma correlação média e fraca (Figura 16) para a resistência a compressão e o módulo de elasticidade em compressão.



**Figura 16.** Regressão linear entre o Módulo de elasticidade em compressão x Resistência à compressão para cada tipos de pellets.

Fonte: Autor, 2023

Sobre os 7 tipos de pellets a correlação de Pearson resultou (0,60), assim sendo classificada como moderada por meio da resistência a compressão e o módulo de elasticidade em compressão a figura 17.



**Figura 17.** Relação entre o Módulo de elasticidade em compressão x Resistência à compressão de todos os tipos de pellets.

Fonte: Autor, 2023.

### 5.2.3 Análise química imediata

Em relação à análise química imediata, o teor de cinzas é um importante parâmetro avaliativo da qualidade de pellets, dessa forma os resultados encontrados entre 0,35 a 0,86% mostram que os pellets podem ser utilizados tanto em residências, comércio e indústria, assim produzindo o mínimo de cinzas na queima do biocombustível (Tabela 7).

**Tabela 7.** Composição da análise imediata.

Tipo de pellet	TMV (%)	TC (%)	TCF (%)
<i>Handroanthus serratifolius</i> Vahl S. Grose	88.21 a	0.65 abc	11.11 ab
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	86.54 a	0.65 abc	12.81 ab

<i>Manilkara elata</i> Huber	85.29 a	0.47 bc	14.22 a
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	87.99 a	0.35 c	11.63 ab
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	85.26 a	0.86 a	13.85 ab
Mix	86.35 a	0.67 ab	12.96 ab
<i>Pinus Taeda</i>	88.69 a	0.62 abc	10.66 b
Média geral	86.90	0.61	12.46
C. V. (%)	1.44	18.38	10.21

Notas: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). O Teor de Voláteis (TMV %), Teor de Cinzas (TC %), Teor de Carbono Fixo (TCF %) e o Coeficiente de Variação (C. V. %).

De acordo com Garcia *et al.* (2018), os teores de cinzas para pellet de *Pinus* sp. (0,60%), pellet de madeira de *Handroanthus serratifolius* Vahl S. Grose (0,77%) e pellet de bagaço de cana de açúcar (1,95%). Em outro estudo realizado por Jacinto *et al.* (2017) com 100% de falha de pinhão (2,64%), 50% de falha de pinhão mais 50% de pinus (1,72%) e 100% de pinus (0,87%). Nesta pesquisa os teores de cinzas não alcançaram 1%, demonstrando resultados promissores ao comparar a essa literatura.

O conhecimento do teor de cinzas da matéria prima que foi produzido o pellet previne a deterioração, formação de crosta e manutenção periódica dos queimadores. Tais fatores elevam custos na cadeia de produção, como também prejudicam a eficiência energética, devido a existência de substâncias minerais nas cinzas, reduzindo o desempenho da ignificação (PROTÁSIO *et al.*, 2012; TOSCANO *et al.*, 2013).

O teor de carbono fixo deste trabalho ficou na faixa de 10,66% para o *Pinus taeda* e 14,22% para a *Manilkara elata* Huber, enquanto o teor de materiais voláteis entre 88,68% e 85,29%, respectivamente. No trabalho de Protásio *et al.* (2015) o teor de carbono fixo dos pellets de *Pinus in natura* foi de 15,2%, torrificados a 220° de 16,6% e torrificados a 250° de 20,1%, dessa maneira verificando-se que o aumento de temperatura de torrefação concentra o carbono fixo. De modo inverso, para o teor de voláteis houve um decréscimo (84,5%), (83,1%) e (79,5), respectivamente, e no teor de cinzas refletiram de forma mínima (0,3 a 0,4%).

#### 5.2.4 Propriedades energéticas

O poder calorífico líquido (PCL) dos pellets é exigido  $\geq 16,5$  MJ.kg pela norma ISO 17225-2, assim os pellets que atingiram os valores estão o *Handroanthus serratifolius* Vahl S. Grose (17,17 MJ/kg) e a *Manilkara elata* Huber (16,97 MJ/kg), enquanto os demais apresentaram valores abaixo da normativa (Tabela 8).

**Tabela 8.** Propriedades energéticas.

Tipo de pellet	PCS (MJ.kg)	PCL (MJ.kg)	DE (GJ.m <sup>3</sup> )
<i>Handroanthus serratifolius</i> Vahl S. Grose	20.18 ab	17.17 a	13.93 a
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	19.42 abc	15.09 d	11.89 d
<i>Manilkara elata</i> Huber	20.23 a	16.97 ab	13.97 a
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	19.36 abc	15.05 d	12.40 cd
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	19.27 bc	15.54 cd	12.90 bc
Mix	19.38 abc	15.77 cd	12.82 c
<i>Pinus Taeda</i>	18.98 c	16.12 bc	13.55 ab
Média geral	19.53	15.96	13.06
C. V. (%)	1.72	1.92	1.94

Notas: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). O Poder Calorífico Superior (PCS kcal.kg), Poder Calorífico Líquido (PCL MJ.kg), Densidade Energética (DE GJ.m<sup>3</sup>) e o Coeficiente de Variação (C. V. %).

De acordo com Brand *et al.* (2018) ao calcularem o PCL dos pellets encontraram para maravalha de pinus (15,52 MJ.kg) e a grimpia de araucária (14,92 MJ.kg). No trabalho de Faria *et al.* (2016) os valores resultaram para os pellets de casca de café (17,81 MJ.kg), casca de café e madeira de eucalipto (18,04 MJ.kg) e casca de café e película prateada (18,06 MJ.kg).

Quanto a densidade energética os resultados ficaram entre 11.89 GJ.m<sup>3</sup> para a *Hymenaea courbaril* L a 13,97 GJ.m<sup>3</sup> para a *Manilkara elata* Huber. Em comparação ao trabalho de Pereira *et al.* (2016) da inserção de lignina em percentuais em pellets de eucalipto, desse modo apresentaram a 1% (10,23 GJ.m<sup>3</sup>), 2% (10,23 GJ.m<sup>3</sup>) 3% (10,52 GJ.m<sup>3</sup>) e 5% (10,54 GJ.m<sup>3</sup>). Na região de Santa Catarina em várias empresas do ramo energético foram coletados

pellets de biomassa florestal, assim apresentando a densidade energética de 13,00 a 13,92 GJ.m<sup>3</sup> (SPANHOL *et al.*, 2015).

O processo de densificação contribui para o aumento da densidade energética do pellet, sendo influenciado pela relação massa e volume, além de estar correlacionado a densidade a granel. Dessa maneira proporcionando mais energia em contêiner de navio ou caminhão, assim diminuindo os gastos de combustível e tempo ao comparar outros biocombustíveis, como a lenha e o cavaco, o tornando mais atraente ao mercado (FARIA *et al.*, 2016; GARCIA *et al.*, 2018a).

Em relação ao poder calorífico superior (PCS), os pellets deste estudo apresentaram êxito, assim dando destaque a *Manilkara elata* Huber (20,23 MJ.kg), *Handroanthus serratifolius* Vahl S. Grose (20,18 MJ.kg) e o menor *Pinus taeda* (18,98 MJ.kg). O pellet visto como produto com dimensões padronizadas, baixo teor de umidade e alto poder calorífico, posto isto tem potencial de serem alimentados na linha automatizada sem dificuldade (LIU *et al.*, 2010). Conforme Jacinto *et al.* (2017) na pesquisa com pellet resultaram de PCS para falha de pinhão a 100% (16,48 MJ.kg), falha de pinhão a 75% mais 25% de pinus (19,70 MJ.kg) e o maior com falha de pinhão a 25% mais 75% de pinus (20,46 MJ.kg), à vista disso apresentando valores próximos desta pesquisa.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização dos resíduos de decks e pisos de madeira de espécies nativas da Amazônia mostrou-se viável para produção dos pellets, visto que, atenderam os parâmetros de qualidade da Norma ISO 17225-2, obtendo-se resultados de diâmetro e comprimento, teor de umidade, densidade a granel, durabilidade mecânica, teor de finos, teor de cinzas e poder calorífico inferior (PCI).

Através das propriedades físicas dos pellets evidenciou viabilidade nos teores de umidade, com exceção a *Hymenaea courbaril* L. (11,03%) e a *Hymenolobium petraeum* Ducke (11,28%), entretanto não comprometeu suas qualidades energéticas. Desse modo a umidade pode ser um fator limitante para algumas espécies, demandando mais estudos e estabelecendo padrões de secagem, mesmo assim sugere-se secagens periódicas até chegar ao padrão



normativo dos pellets. Sobre o comprimento todos aceitáveis, assim como diâmetro, apenas o *Pinus taeda* (5,85 mm) não atingiu a norma. Por conseguinte, tanto a densidade unitária e a granel alcançaram o aumento da densificação dos resíduos madeireiros mediante a peletização.

Em relação a durabilidade mecânica e o teor de finos dos pellets podem ser utilizados em escala residencial, comercial e industrial. Sobre o ensaio de compressão para os pellets desse estudo o método de relacionar a resistência ao teste de durabilidade mecânica apresentou relevância, dessa forma amplia possibilidades de outros estudos e métodos para correlacionar.

Acerca das propriedades energéticas dos pellets todos apresentaram viabilidade de acordo com a norma e a literatura, dando destaque ao *Handroanthus serratifolius* Vahl S. Grose (ipê amarelo) com poder calorífico superior de 20,18 MJ.kg, assim como o poder calorífico líquido de 17,17 MJ.kg, como também a densidade energética de 13,93 GJ.m<sup>3</sup>. Portanto, dentre as espécies que apresentaram melhor desempenho energético dos pellets nesta pesquisa foi o ipê amarelo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Ano base 2018**. Curitiba-PR, p. 161, 2019. Disponível em: Estudo setorial - ABIMCI. Acesso em: 04/03/2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 17031-1**. Pellets – Requisitos e classificação – Parte 1: Madeira de Pinus. 2022. 5 p.

ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico ano base 2012**. Brasília, p. 148. 2013. Disponível em: Biblioteca Florestal - Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2012 (ufv.br). Acesso em: 04/03/2023.

ALAKANGAS, E. European standards for solid biofuels. **Fuel specification and classes, multipart standard Case – wood pellets & chips**. VTT. Convenor of the CEN/TC 335 WorkingGroup2. [s. l.: s. n.], 2009.

ALMEIDA, A. T. S.; XAVIER, J. S.; CALFAS, J. F.; SANTOS, N. C.; TAVARES, S. D. Caracterização de quatro espécies florestais comercializadas nas serrarias de Itacoatiara –AM. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 3, n. 3, p.918-925, jul./set. 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D240**: Standard Test Method

for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter. S. l.: ASTM International, 2017. 10 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D1762-84**: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. S.l: ASTM International, 2013. 2 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Compressive Properties of Plastic Lumber and Shapes, **D6108-19**; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2019.

AKDENIZ, C.R. ESMER, O. Effects of length on mechanical durability of various wood pellets. **Hungarian Agricultural Engineering**. v.32. p.62-71. 2017.

AUGUSTA, S.; CHAGAS, F. das; LINS, F. S.; SILVA, V. de A.; ABREU, F.; CRUZ, N. N. R.; BARROS, E.; MORAES, W. W. C. de; LIMA NETO, E. M. de. Espécies florestais comercializadas em serrarias do município de Rorainópolis. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 66–72, 2016.

BARAÚNA, E. E. P.; VIEIRA, R. da S.; MONTEIRO, T. C.; ARANTES, M. D. C.; CARVALHO, D. M.; LIMA, M. T. Tratamento térmico de madeira serrada de angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke) com boro. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 2, n. 1, p. 30-36, 2011.

BAUMANN, S. S. R. T.; BRIGIDA, C. A. S.; RABELO, L. K. L.; MAESTRI, M. P.; AQUINO, M. C. Determinação das propriedades físicas da madeira de *Astronium lecontei* Ducke. **Nature and Conservation**, v.13, n.3, p.122-128, 2020.

BIASI, C.P.; ROCHA, M. P. Rendimento em Madeira Serrada e Quantificação de Resíduos para Três Espécies Tropicais. **Floresta**, v. 37, n.1, 2007.

BRAND M. A.; MUÑIZ, G. I. B; SILVA, D. A.; UMBERTO, K. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Floresta**. v. 32, p. 247-259, 2002.

BRAND, M. A. Energia de Biomassa Florestal, 1ª Ed. Rio de Janeiro: **Editora Interciência**, 2010.

BRAND, M. A.; JACINTO, R. C.; CUNHA, A. B. Qualidade de pellets de galhos secos de araucária e partículas de pinus. **ENERGIA NA AGRICULTURA**, v. 33(4), p. 303–312, 2018.

BRASIL, Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 - **Política Nacional de Resíduos Sólidos** (PNRS).

CASTRO, T. C; CARVALHO, J. O. P. Dinâmica da população de *Manilkara huberi* (Ducke)

A. Chev. durante 26 anos após a exploração florestal em uma área de Terra Firme na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, p. 161-169, 2014.

CARROLL, J. P.; FINNAN, J. Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws. **Biosystems Engineering**, v. 112, n. 2, p. 151 - 159, 2012.

CERQUEIRA, P. H. A.; VIEIRA, G. C.; BARBERENA, I. M.; MELO, L. C.; FREITAS, L. C. Análise dos resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis – BA. **Scientific Journal Floresta e Ambiente**, v. 19, p. 506-510, 2012.

CHEW, K.W.; CHIA, S.R.; YAP Y.J.; LING, T.C.; TAO, Y.; SHOW, P.L. Densification of food waste compost: effects of moisture content and dairy powder waste additives on pellet quality. **Process Saf Environ Prot.**v. 116, p.780-786. 2018.

CHIPAIA, F. C. Descrição anatômica macroscópica de madeira de oito espécie florestais comercializadas no município de Altamira-PA, Brasil. **Journal of Bioenergy end Food Science**, Macapá, v. 2, p. 18-24, 2015.

COSTA, A. C. L. A.; EUFRADE JUNIOR, H. J.; SPADIM, E. R.; SILVA, J. M. S.; GUERRA, S. P. S. Caracterização física, química e mecânica de pellets de bagaço de cana-de-açúcar. **Energia na agricultura**, v. 35, p. 38–45, 2020.

COUTO, L; MULLER, D.M; SILVA JÚNIOR, G.A; CONDE, N.J.L. Produção de pellets de madeira – o caso da Bio-Energy no Espírito Santo. **Revista Biomassa & Energia**, v.1. n.1. p.45- 52. 2004

DELMIRO, L. B.; PEREIRA, K.; PINTO, C. V. Diagnóstico das serrarias no Município de Alta Floresta- MT. **Nativa**. v. 4, n. 2, p. 0–10, 2015.

DIAS, J. M. C. D. S.; SOUZA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. Produção de briquetes e peletes a partir de resíduos agrícolas, adroindustriais e florestais. **EMBRAPA**. p. 132, 2012.

DUCA, D.; RIVA, G.; PEDRETTI, E. F.; TOSCANO, G. Wood pellet quality with respect to EN 14961-2 standard and certifications. **Fuel**, v. 135, p. 9-14, 2014.

DUTRA, R. I. J. P.; NASCIMENTO, S. M. DO; NUMAZAWA, S. Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. **Revista Científica Eletrônica De Engenharia Florestal**, v. 5, p. 1678–3867, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA Amazônia Oriental**. Espécies arbóreas da Amazônia. Brasília, Embrapa, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA Amazônia**

**Oriental.** Espécies arbóreas da Amazônia. Nº 8: Jatobá, *Hymenaea courbaril*. Brasília, Embrapa, 2004.

EUROPEAN PELLET COUNCIL. **Handbook for Certification of Wood Pellets for Heating Purposes.** Version 2.0. 2013. 46 p.

EN PLUS. EN Plus Handbook Quality Certification Scheme for Wood Pellets: **Part 3:** Pellet Quality Requirements Version 3.0. Brussels: European Pellet Council (EPC), 2015. 10 p.

EVANGELISTA, W. V.; COSTA, E. D. Avaliação de propriedades físico-anatômicas de duas madeiras usadas na produção de pisos. **Revista De Ciências Agro-Ambientais.** V. 15, p. 132–138, 2018.

FARIA, W. S.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; ANDRADE, C. R. GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Transformação dos resíduos lignocelulósicos da cafeicultura em Pellets para geração de energia térmica. **Coffee Science**, v. 11, p. 137–147, 2016.

FEITOSA, B. DA C. Aproveitamento dos resíduos de madeira no Pará. **Revista da Madeira**, n. 144, 2008.

FERREIRA, M. D. *et al.* Propriedades físicas e mecânicas da madeira de Angelim-pedra submetida a tratamento térmico. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 16, n. 1, p. 3-7, 2019.

FERNÁNDEZ, R. G.; GARCIA, C. P.; LAVÍN, A. G.; HERAS, J. L. B.; PIS, J. J. Influence of physical properties of solid biomass fuels on the design and cost of storage installations. **Waste Management**, v. 33, p. 1151-1157, 2013.

FRANZEN, D. C.; MENDOZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M.; MADI, J. P. S.; B, D. S. Estudo das propriedades físicas e químicas de madeiras provenientes de espécies nativas da Amazônia legal. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15 n.27; p. 2018.

FREITAS, P.C.E., SETTE JR. C.R., CASTRO V.R., TOMAZELLO FILHO M., CHAIX G, LACLAU JP. Efeito da disponibilidade hídrica e da aplicação de potássio e sódio nas características anatômicas do lenho juvenil de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, 39 (2): 405-416. 2015.

FURTADO, T.S.; VALIN, M.; BRAND. A.M.; BELLOTE, J.F.A. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo. v.30. n.62. p.101- 106. .2010.

GALBIATTI, J. A.; LUI, J. J.; SABONARO, D. Z.; BUENO, L. F.; SILVA, V. L. Formação de mudas de eucalipto com utilização de lixo orgânico e níveis de irrigação calculados por dois métodos. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 445-455, 2007.

GALLIO, E.; SANTINI, E. J.; GATTO, D. A.; SOUZA, J. T.; RAVASI, R.; MENEZES, W. M.; FLOSS, P. A.; BELTRAME, R. Caracterização tecnológica Da Madeira De Eucalyptus Benthamii Maiden Et Cambage. **Rev. Sci. Agr. Paranaensis**, v. 15, p. 244-250, 2016.

GARCIA, P.D; CARASCHI, C.J; VENTORIM, G. Caracterização energética de pellets de madeira. **Revista da Madeira**. n.2. v.135. p.18-54. São Paulo. 2013.

GARCÍA, R.; PIZARRO, C.; ÁLVAREZ, A.; LAVÍN, A G.; BUENO, J. L. Study of biomass combustion wastes. **Fuel**, v. 148, p. 152-159, 2015.

GARCÍA-MARAVÉ, A.; RODRIGUEZ, M. L; SERRANO-BERNARDO, F; DIAZ, L. F; ZAMORANO, M. Factors affecting the quality of pellets made from residual biomass of olive trees. **Fuel Processing Technology**, v.129, p. 1-7. 2015.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G.; VIEIRA, F.H.A. Trends and challenges of origin brazilian agroforestry pellets industry. **Cerne**, v. 22, n. 3, p. 233-240, 2016.

GARCIA, P.D. CARASCHI, C.J. VENTORIM, G. PRATES, A.G. PROTÁSIO, P.T. Qualidade dos pellets de biomassas brasileiras para aquecimento residencial: padrões da norma ISO 17225. **Ciência da Madeira**. v.9. n.1. pg.45-53. 2018a.

GARCÍA, R.; GIL, M.V.; RUBIERA, F.; PEVIDA, C. Pelletization of wood and alternative residual biomass blends for producing industrial quality pellets, **Fuel**, v. 251, p.739-753, 2019.

GARRIDO FILHA, I. Potencial de expansão com uso racional. **Revista da Madeira**, v. 108, 2007.

GIACOMO, G.; TAGLIERI, L. Renewable energy benefits with conversion of woody residues to pellets, **Energy**, v. 34, Issue 5, 2009.

GLASS, S.V.; ZELINKA, A. L. 2010. Moisture relations and physical properties of wood. **General Technical Report FPL- GTR**. 190: 20 p, 2010.

HELMINGER, W, MARTINS. C.; HENDERYCKX, E, S. B. Agriculture, forestry and fishery statistics. **Luxemburg: Publication Office of the European Union**, 2016.

HERNANDEZ, L. C.; FORERO, C. A.; SIERRA, F. E. Biomass Densification: a Review of the Current State-of-the-Art of the Pellet Market and Analysis of New Research Trends, **TECCIENCIA**, Vol. 12 No. 23, 81-92, 2017.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2022**. São Paulo. p. 96, 2022. Disponível

em: [relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf](#). Acesso em: 04/03/2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - **Manual de identificação das principais madeiras comerciais brasileiras**. São Paulo: IPT, 1983. 241p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - **Fichas de Características das Madeiras Brasileiras**. 2ª ed. São Paulo: IPT, 1989. 418p

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 17225-2**: Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2: Graded wood pellets. S.L: ISO, 2014. 9 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 18134-2**, 2017. Solid Biofuels-Determination of Moisture Content—Oven Dry Method-Part. 2: Total Moisture-Simplified Method; ISO: Geneva, Switzerland, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **ISO 17828**, 2015 Solid Biofuels, Determination of Bulk Density, German, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 17829**, 2015. Solid Biofuels-Determination of Length and Diameter of Pellets. The British Standards Institution: London, UK, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 17831-1**: Solid Biofuels-Determination of Mechanical Durability of Pellets and Briquettes -Part 1: Pellets; ISO: Geneva, Switzerland, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 18846**, 2016. Solid Biofuels-Determination of Fines Content in Quantities of Pellets; ISO: Geneva, Switzerland, 2016.

JACINTO, R. C.; BRAND, M. A.; CUNHA, A. B.; SOUZA, L. D.; SILVA, M. V. Utilização de resíduos da cadeia produtiva do pinhão para a produção de pellets para geração de energia. **Floresta**. Curitiba- PR, v. 47, n. 3, p. 353 - 363, 2017.

KALIYAN, N.; MOREY, R. V. Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 3, p. 1082 - 1090, 2010.

KRISTÖFEL, C.; STRASSER, C.; SCHMID, E.; MORAWETZ, U. B. The wood pellet market in Austria: A structural market model analysis. **Energy Policy**, [s. l.], v. 88, [s. n.], p. 402–412, jan. 2016.

- LI, Y.; LIU, H. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. **Biomass & Bioenergy**, Amsterdam, v. 19, p. 177-186, 2000.
- LIU, H.; QIU, G.; SHAO, Y.; RIFFAT, S. B. Experimental investigation on flue gas emissions of a domestic biomass boiler under normal and idle combustion conditions. **International Journal of Low- Carbon Technologies**, v. 5, n. 2, p. 88–95, 2010.
- LEEUEWESTEIN, J. M.; MONTEIRO, R. A. Procedimento técnico para enquadramento de corpos de água documento orientativo. Brasília: MMA, 2000.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002. 512p.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**, vol. 2. 4ª ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2013.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. v 1. 7ª ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 2016, p.384.
- LUZ, C. L. S.; MITCHELL, J. D.; PIRANI, J. R.; PELL, S. K. Anacardiaceae. **In: Flora do Brasil em construção**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020.
- MAHAPATRA, A. K. *et al.* Effects of moisture change on the physical and thermal properties of sericea lespedeza pellets. **International Agricultural Engineering Journal**, v. 19, n. 3, p. 23–29, 2010.
- MARCHESAN, R.; ROCHA, M.P.; SILVA, J.B.; KLITZKE, R.J. Eficiência Técnica no Desdobro Principal de Toras de Três Espécies Tropicais. **Floresta**.v.44, 4:629-636, 2014.
- MEDEIROS, D. T.; MELO, R. R.; CADEMARTORI, P. H. G.; Caracterização da madeira de espécies da Amazônia, **Madera y Bosques**, vol. 27, n. 2, e2722209, 2021.
- MELO, L. E. L. *et al.* Resíduos de Serraria no Estado do Pará: Caracterização, Quantificação e Utilização Adequada. **Scientific Journal Floresta e Ambiente**, v. 19, p.113-116, 2012.
- MIGLIORINI, J.A. Densificação de biomassa florestal. **Série Técnica IPEF**. Piracicaba. v.1. n.2. pgs.C.1 – C.9. 1980.
- NADIAH, F.; ABD, B. Production and characterization of bamboo fibre reinforced. **Bioscience Journal**, v. 2012, p. 922- 930, 2016.
- NOBRE. J, R, C., CASTRO, J. P.; BIANCHI, M. L.; BORGES, W. M. S.; TRUGILHO, P. F.; MOULIN, J. C.; NAPOL, A. Caracterização do carvão ativado produzido a partir de serragens de maçaranduba. **Cientia Forestalis**. Piracicaba, 2015.
- NUMAZAWA, S.; CARVALHO, M. S. P.; CARDOSO, E. G.; BRITO, T. N.; BATALHA, I.

M.; SILVA, L. F. F.; SILVA, R. P. F.; SOUZA, G. C.; CARVALHO, A. C. Determinação do Coeficiente de Rendimento Volumétrico da tora em madeira serrada, de dez espécies forestais processadas na indústria. **UFRA/ FUNPEA/LAMAPA**. 2017.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. Fatos Florestais da Amazônia. Belém: **IMAZON**; 2010. 122 p, 2013.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; VITAL, R. B.; OLIVEIRA, A. C.; CANAL, W. D. influência da adição de lignina kraft nas propriedades de pellets de eucalipto. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 46, n. 2, p. 235 - 242, 2016.

PEREIRA, E. G.; MARTINS, M. A.; PECENKA, R.; CARNEIRO, A. C. O. Pyrolysis gases burners: Sustainability for integrated production of charcoal, heat and electricity. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p.592-600, 2017.

PIOVESAN, P. R. R.; REIS, A. R. S.; SOUZA, D. V. Rendimento na produção de madeira serrada de Ipê (*Handroanthus* sp). **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 2315–2329, 2013.

PROTÁSIO, T.P.; BUFALINO, L.; MENDES, R.F.; RIBEIRO, M.X.; TRUGILHO, P.F.; LEITE, E.R. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, p. 1252-1258, 2012.

PROTÁSIO, T. de P.; TRUGILHO, P. F.; DE SIQUEIRA, H. F.; DE MELO, I. C. N. A.; ANDRADE, C. R.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Caracterização energética de pellets in natura e torreficados produzidos com madeira residual de Pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 35, n. 84, p. 435–442, 2015.

PARAENSE, V.C.; MENDES, T. S.; SANTANA, A. C.; FREITAS, A. D. D.; SERRA, A. B.; ALMEIDA, M. N. F. Desempenho operacional no desdobro de espécies nativas em serrarias na Amazônia. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.9, n.1, p. 1003-1015, jan., 2023.

QUÉNO, L. R. M.; SOUZA, A. N.; COSTA, A. F.; VALLE, A. T.; JOAQUIM, M. S. Aspectos técnicos da produção de pellets de madeira. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1478–1489, 2019.

RAKOS, C. Argus questions and answers: European Pellet Council. Argus Biomass Markets, **Weekly Biomass Market News and Analysis**, London, n. 15-002, 2015.

REVISTA DA MADEIRA (REMADE) – **Edição nº 133**. Caxias do Sul-RS, 2012. Disponível em: REMADE: Revista da Madeira. Acesso em: 04/03/2023.



RIBEIRO, D. S.; GONÇALVES, A. L.; MELO, C. F.; REIS, A. R. S. Reação da densidade e das propriedades mecânicas de três espécies amazônicas submetidas a ensaio de campo. **Ciência da Madeira**, v. 10, n. 1, p. 18-28, 2018.

RIUL, M.; RIBEIRO, E. L. Diagnóstico e diretrizes para a gestão de resíduos no APL de móveis de João Pessoa-PB. **UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 11, n. 1, p. 15-24, nov. 2012.

SANTOS, R.C; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA A. S.; CASTRO R. V. O.; MARINHO I. V.; TRUGILHO P. F. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no Estado do Rio Grande do Norte. **Ciência Florestal**, v. 23, p. 491-502, 2013.

SANTOS, A. T. L.; HENRIQUE, N. S.; SHHLINDWEIN, J. A.; FERREIRA, E.; STACHIW, R. Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos para produção de composto orgânico. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 3, n. 1, p. 15-28, 2015.

SCATOLINO, M.V.; CABRAL NETO, L.F.; PROTÁSIO, T.P.; CARNEIRO, A.C.O.; ANDRADE, C.R.; GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.; MENDES, L.M. Options for Generation of Sustainable Energy: Production of Pellets Based on Combinations Between Lignocellulosic Biomasses, **Waste Biomass Valor**, v.9, p.479–489, 2018.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO- SFB. FLORESTAS DO BRASIL em resumo 2013: **dados de 2007-2012**. Brasília. 2013.

SILVA, M. G.; NUMAZAWA, S.; ARAUJO, M. M.; NAGAISHI, T. Y. R.; GALVÃO, G. G.; Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. **Acta Amazônica**. v. 37, p. 61 – 70, 2007.

SILVA, C. P.; VIEIRA, R. S.; SILVA, I. C.; DORNELAS, A. S. P.; BARAÚNA, E. E. P. Quantificação de Resíduos Produzidos nas Indústrias Madeireiras de Gurupi, TO. **Floresta e Ambiente**, vol. 24, e00065613, 2017.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A. **Madeira Tropicais Brasileiras IBAMA/Laboratório de Produtos Florestais**, Brasília. 152p. 1997.

SOUZA J., C., ROBERTS, D., MONTEIRO, A. Multitemporal Analysis of Degraded Forests in the Southern Brazilian Amazon. **Earth Interactions**, v. 9, 19, 2005.

SPANHOL, A.; NONES, D. L.; KUMABE, F. J. B.; BRAND, M. A. Qualidade dos pellets de biomassa florestal produzidos em santa catarina para a geração de energia. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 833-843, 2015.

STELTE, W.; CLEMONS, C.; HOLM, J.K.; AHRENFELDT, J.; HENRIKSEN, U.B.; SANADI, A.R. Fuel Pellets from Wheat Straw: The Effect of Lignin Glass Transition and Surface Waxes on Pelletizing Properties. **BioEnergy Research**, v.5(2). p.450–458. 2011a.

STELTE, W.; HOLM, J.K.; SANADI, A.R.; BARSBERG, S.; AHRENFELDT, J.; HENRIKSEN, U. B. A study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources. **Biomass and Bioenergy**, v.35(2). p.910–918. 2011b.

STELTE, W.; SANADI, A. R.; SHANG, L.; HOLM, J. K.; AHRENFELDT, J.; HENRIKSEN, U. B. Recent developments in biomass pelletization - a review. **Bioresources**, v. 7, n. 3, p. 4451 - 4490, 2012.

SUN, L.; NIQUIDET, K. Elasticity of import demand for wood pellets by the European Union. **Forest Policy and Economics**, [s. l.], v. 81, [s. n.], p. 83–87, ago. 2017.

TOSCANO, G. RIVA, G. PEDRETTI, F.E. CORINALDESI, F. MENGARELLI, C. DUCA, D. Investigation on wood pellet quality and relationship between ash content and the most important chemical elements. **Biomass and Bioenergy**. v.56. p.317-322. 2013.

TRØMBORG, E. *et al.* Economic sustainability for wood pellets production: a comparative study between Finland, Germany, Norway, Sweden and the US. **Biomass & Bioenergy**, Amsterdam, v. 57, p. 68-77, 2013.

TUMULURU, J. S.; WRIGHT, C. T.; HESS, J. R.; KENNEY, K. L. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 5, n. 6, p. 683-707, 2011.

TUMULURU, S.J. Effect of process variables on the density and durability of the pellets made from high moisture corn stover. **Biosystems Engineering**, v. 119, p. 44–57, 2014.

VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., MATTOS, M., TARIFA, R., UHL, C. ‘Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas’. **Forest Ecology and Management**, 55:169-199, 1992.

WHITTAKER, C.; SHIELD, Ian. Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 1-11, 2017.

WOLF, A.; VIDLUND, A.; ANDERSSON, E. Energy-efficient pellet production in the forest industry - a study of obstacles and success factors. **Biomass & Bioenergy**, Amsterdam, v. 30, n. 1. p. 38-45, 2006.

ZHANG, X., CAI, Z., CHEN, L., ZHANG, D., ZHANG, Z. Effects of Moisture Content and Temperature on the Quality of Water Hyacinth Pellets. **BioResources**, 11, 1407-1416, 2018.