

**Avaliação do processo de secagem ao ar livre da madeira de jatobá na Amazônia**  
**Evaluation of the outdoor drying process of jatoba wood in the Amazon**  
**Evaluación del proceso de secado al aire libre de la madera de jatoba en la Amazonía**

Recebido: 02/08/2020 | Revisado: 07/08/2020 | Aceito: 12/08/2020 | Publicado: 17/08/2020

**Sherellyn Daphnee Alves Moretti**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3197-5305>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: [sherellynmoretti@gmail.com](mailto:sherellynmoretti@gmail.com)

**Cássio Marques Moquedace dos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7673-4524>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: [cassiomoquedace@gmail.com](mailto:cassiomoquedace@gmail.com)

**Adriano Reis Prazeres Mascarenhas**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7554-3590>

Universidade Federal de Rondônia, Brasil

E-mail: [adriano.mascarenhas@unir.br](mailto:adriano.mascarenhas@unir.br)

**Juliana Padovan de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2443-5960>

Universidade Federal de Rondônia, Brasil

E-mail: [ju\\_padovan@hotmail.com](mailto:ju_padovan@hotmail.com)

**Sídna Primo dos Anjos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7825-6781>

Universidade Federal de Rondônia, Brasil

E-mail: [sidnaprimo@gmail.com](mailto:sidnaprimo@gmail.com)

**Resumo**

Objetivou-se avaliar o processo de secagem da madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) ao ar livre. Para determinar a umidade inicial da madeira confeccionaram-se amostras das extremidades de tábuas. Para o acompanhamento da umidade da madeira utilizou-se quatro amostras controle, distribuídas de forma sistemática na pilha de madeira construída com dimensões de 150 cm x 25 cm x 85 cm (comprimento x altura x largura). O acompanhamento foi realizado entre outubro e novembro, este período foi definido com base no tempo médio

entre a estocagem da madeira e sua comercialização nas serrarias da região. Na madeira verde, observou-se umidade inicial média de 50,02% e ao final do período de avaliação (46 dias) as peças estavam com 13,75% de umidade. Em relação as taxas de secagem, os maiores valores foram encontrados para a madeira com umidade acima de 30%, resultado esperado devido a fácil movimentação da água livre presente no lume. Foram observados os seguintes defeitos: encurvamento; torcimento; arqueamento em ordem de maior intensidade de defeitos por peça. Apresentaram ainda, rachaduras de topo e superfície, sendo 93,33% de topo, e as de superfície foram avaliadas apenas em quantidade de rachaduras por peça, nas quais 33,33% não foram observadas este defeito. Os resultados obtidos no estudo são ferramentas que contribuem para o planejamento da secagem ao ar livre na madeira de jatobá.

**Palavras-chave:** *Hymenaea courbaril*; Madeira tropical; Física da madeira; Umidade de equilíbrio da madeira.

### **Abstract**

The objective was to evaluate the drying process of jatoba wood (*Hymenaea courbaril* L.) in the open air. To determine the initial humidity of the wood samples of the board ends were made. To monitor the wood moisture, four control samples were used, systematically distributed in the built wood pile with dimensions of 150 cm x 25 cm x 85 cm (length x height x width). The monitoring was carried out between October and November, this period was defined based on the average time between the storage of the wood and its commercialization in the sawmills of the region. In the green wood, an average initial humidity of 50.02% was observed and at the end of the evaluation period (46 days) the pieces were 13.75% moisture. Regarding drying rates, the highest values were found for wood with humidity above 30%, an expected result due to the easy movement of free water present in the fire. The following defects were observed: curving; twisting; bending in order of greater intensity of defects per part. They also presented top and surface cracks, 93.33% of which were top, and the surface cracks were evaluated only in the number of cracks per piece, in which 33.33% were not observed this defect. The results obtained in the study are tools that contribute to the planning of outdoor drying on jatoba wood.

**Keywords:** *Hymenaea courbaril*; Tropical wood; Wood physics; Balancing humidity of the wood.

## Resumen

El objetivo fue evaluar el proceso de secado de madera de jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) al aire libre. Para determinar la humedad inicial de la madera se tomaron muestras de los extremos del tablero. Para monitorear la humedad de la madera se utilizaron cuatro muestras de control, distribuidas sistemáticamente en el pilote de madera construido con dimensiones de 150 cm x 25 cm x 85 cm (largo x alto x ancho). El monitoreo se realizó entre octubre y noviembre, este período se definió en base al tiempo promedio entre el almacenamiento de la madera y su comercialización en los aserraderos de la región. En la madera verde se observó una humedad inicial promedio de 50.02% y al final del período de evaluación (46 días) las piezas tenían 13.75% de humedad. En cuanto a las tasas de secado, los valores más altos se encontraron para la madera con humedad superior al 30%, resultado esperado debido al fácil movimiento del agua libre presente en el fuego. Se observaron los siguientes defectos: curvatura; retortijón; flexión en orden de mayor intensidad de defectos por pieza. También presentaron grietas superiores y superficiales, 93,33% de las cuales fueron superiores, y las fisuras superficiales se evaluaron solo en el número de grietas por pieza, en las que 33,33% no se observó este defecto. Los resultados obtenidos en el estudio son herramientas que contribuyen a la planificación del secado al aire libre sobre madera de jatoba.

**Palabras clave:** *Hymenaea courbaril*; Madera tropical; Física de la madera; Equilibrio de humedad de la madera.

## 1. Introdução

Na Amazônia, a biodiversidade e abundância da natureza desperta interesse de empreendimentos nacionais e internacionais, haja vista que a produção da região é expressiva na economia brasileira e exerce grande impacto socioambiental em sua população, em função da exploração de minério, pesca e recursos florestais madeireiros e não madeireiros (Rodrigues et al., 2018; Reis et al., 2019; Souza Neto et al., 2020).

Com isso, há grande preocupação do setor público, pois muitas vezes ocorre a exploração de caráter deletério e ilegal como, por exemplo, a conversão da cobertura florestal para implantação da agropecuária e a exploração madeireira fora dos moldes técnicos e legais (Lima et al., 2018), isso faz com que a paisagem seja descaracterizada de forma irreversível prejudicando a dinâmicas das comunidades naturais (Sonter et al., 2017; Pereira et al., 2020).

Dentre as possibilidades para atenuar estes efeitos, a implementação de planos de manejo florestal sustentáveis (PMFS) é uma alternativa viável (Pacheco et al., 2016). Martins

& Mascarenhas (2018) explicaram que ao se conhecer o potencial produtivo e os parâmetros ecológicos das florestas e realizando-se a extração de madeira com técnicas para redução do impacto é possível manter o fluxo gênico na comunidade vegetal e animal, estimula-se o incremento de árvores remanescentes pela redução da competição inter e intraespecífica e se mantém a floresta em pé mitigando desequilíbrios ecológicos (Ângelo et al., 2016; Silva et al., 2018).

Por outro lado, pouco adianta realizar a exploração de impacto reduzido se a industrialização da madeira e os aspectos operacionais não atendem os quesitos de melhor aproveitamento e rendimento da matéria-prima. Para que o processamento da madeira serrada seja adequado para as aplicações a que se destina, é necessário considerar uma série de fatores, tais como: o conhecimento da espécie e técnicas de secagem, para se obter controle efetivo do processo, maximizar o aproveitamento e aumentar a fixação de carbono atmosférico (Susin et al., 2014; Araújo et al., 2020; Delatorre et al., 2020; Farias & Melo, 2020).

A madeira da Amazônia é amplamente utilizada na construção civil em diversas locais do mundo (Ramage et al., 2017; Araújo et al., 2020; Costa et al., 2020), dentre as espécies mais utilizadas pode-se destacar o jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), cuja madeira é valorizada no mercado por apresentar características desejáveis para uso em telhados, esquadrias, pisos e outras peças estruturais de uso interno e externo (Zenid, 2009; IPT, 2011; Costa et al., 2011).

Para que a madeira apresente todas essas características no momento da aplicação, a secagem é determinante na qualidade final do produto, pois proporciona melhoria da trabalhabilidade e estabilidade dimensional, aumento da resistência mecânica e redução da ação de organismos xilófagos (Priadi et al., 2020).

A secagem racional da madeira consiste em reduzir o teor de água da madeira até um valor correspondente a umidade de equilíbrio média do local onde a peça será utilizada. Dentre os diversos métodos, a secagem ao ar livre é muito comum na Amazônia, pois é de fácil instalação e de custos reduzidos, carecendo de cautela no empilhamento adequado, padronização da madeira e acomodação em local seco, ensolarado e protegido das intempéries (Talgatti et al., 2018; Zen et al., 2019).

No intuito de contribuir com informações a respeito deste tema, objetivou-se caracterizar o processo de secagem ao ar livre da madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) e sua influência na ocorrência de defeitos.

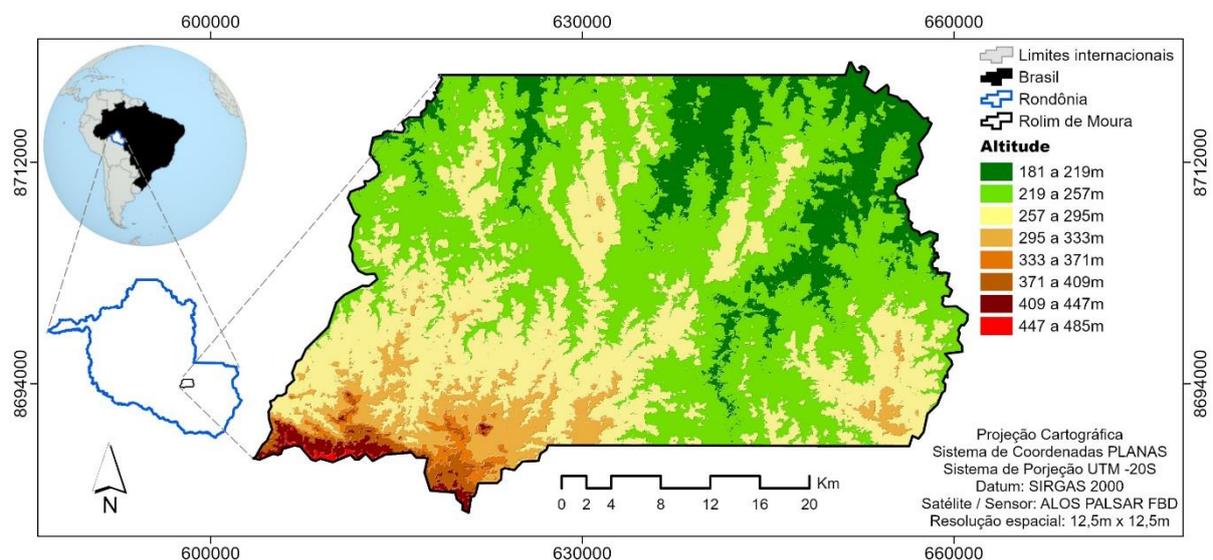
## 2. Metodologia

O estudo em questão contempla a área de recursos florestais e engenharia florestal com ênfase em ciência e tecnologia da madeira. Para sua realização utilizou-se técnicas qualitativas (Pereira et al., 2018). O estudo foi realizado ao ar-livre com monitoramento das condições climáticas ambientais e umidade da madeira de jatobá de acordo com o estabelecido pela literatura específica.

### 2.1. Caracterização da região de execução do experimento

O estudo foi conduzido na Universidade Federal de Rondônia, localizada no município de Rolim de Moura (Figura 1). O clima da região se enquadra no tipo Am (tropical de monção), com estação de seca bem definida que compreende os meses de maio a outubro. As chuvas são mais intensas entre meados de outubro até o início de abril totalizando precipitação anual média de 2.300 mm, a umidade relativa do ar na região é entre 80% e 90% e a temperatura média é em torno de 26 °C (Alvares et al., 2013).

**Figura 1.** Mapa de altitude e localização do município de Rolim de Moura, Rondônia, Brasil.

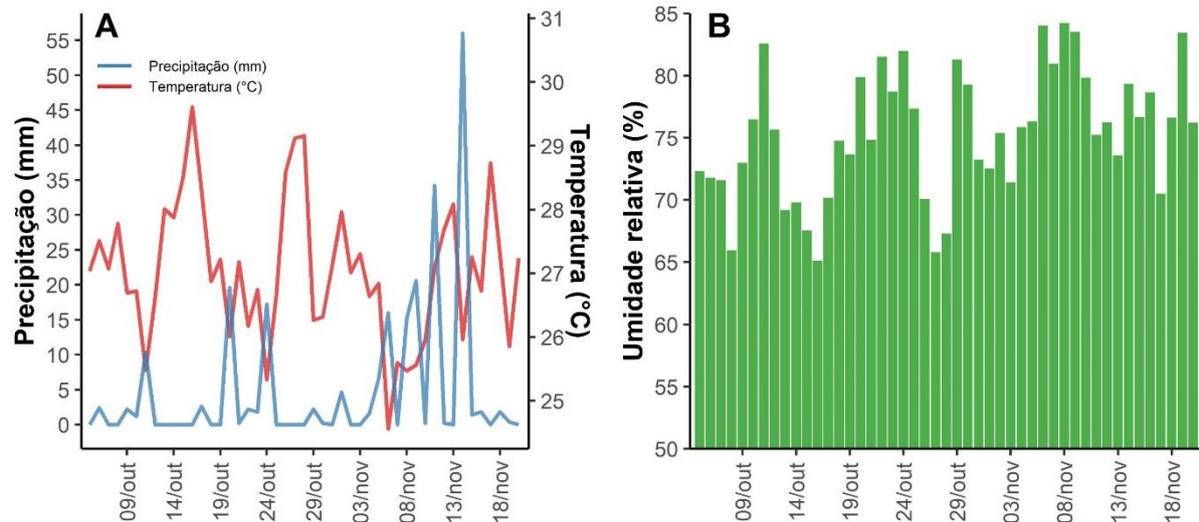


Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

A duração do experimento foi definida levando-se em conta o tempo médio compreendido entre a estocagem da madeira desdobrada e sua comercialização, com base em informações das serrarias locais. Desse modo, avaliou-se a secagem da madeira entre 05 de

outubro e 20 de novembro de 2018. Na Figura 2, encontram-se os dados meteorológicos da região de estudo obtidos da estação automática mais próxima da área, instalada no município de Cacoal, Rondônia, referente ao período de execução do experimento (INMET, 2018a).

**Figura 2.** Dados meteorológicos da região próxima à Rolim de Moura, Rondônia obtidos para o período de realização do experimento de secagem da madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), sendo: **A.** Precipitação (mm) e temperatura (°C); **B.** Umidade relativa (%).



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

## 2.2. Seleção e processamento da madeira

A madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) utilizada neste experimento foi obtida em uma indústria madeireira na cidade de Rolim de Moura. A madeira possuía cadeia de custódia, haja vista que foi proveniente da exploração em Plano de Manejo Florestal Sustentável conduzido sob as diretrizes da legislação ambiental vigente. A cadeia de custódia trata-se de uma categoria de certificação florestal, em que, a madeira pode ser rastreada em todas as fases de processamento e/ou abastecimento, permitindo alcançar até sua origem como matéria prima na floresta (VIDAL et al., 2005).

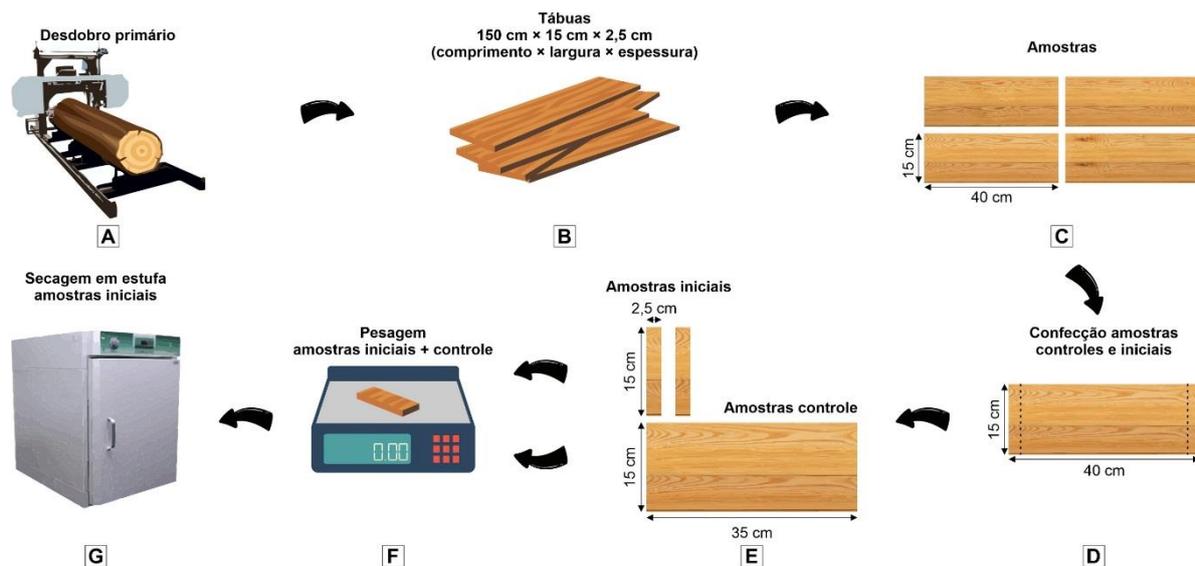
Para preparação do material realizou-se o desdobro primário das toras de árvores recém abatidas (umidade de saturação das fibras) utilizando-se serra de fita para execução de cortes, predominantemente, no sentido tangencial das toras (Figura 3A). Foram selecionadas peças oriundas da região intermediária da tora no sentido base-topo. Após o desdobro secundário (refilo e canteagem), obteve-se tábuas com dimensões comerciais de 150 cm × 15 cm × 2,5 cm

(comprimento  $\times$  largura  $\times$  espessura) (Figura 3B).

Com isso, obteve-se 34 peças livres de defeitos (*clean wood*), a partir das quais foram retiradas quatro peças para confecção de amostras controle, com dimensões de 40 cm  $\times$  15 cm  $\times$  2,5 cm (comprimento  $\times$  largura  $\times$  espessura) (Figura 3C). Das amostras controle, foram retiradas duas peças de cada extremidade com dimensões de 2,5 cm  $\times$  15 cm  $\times$  2,5 cm (comprimento  $\times$  largura  $\times$  espessura) (Figura 3E), que foram armazenadas em sacos plásticos hermeticamente fechados para determinação da umidade inicial da madeira (Galvão & Jankowsky, 1985).

Para isso, foram aferidas as massas das amostras iniciais e controle em estado úmido, utilizando balança semianalítica (Figura 3F). Posteriormente as amostras iniciais foram submetidas a secagem em estufa a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  até se obter massa constante (Figura 3G).

**Figura 3.** Esquema de obtenção das amostras controle e iniciais para secagem da madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.).

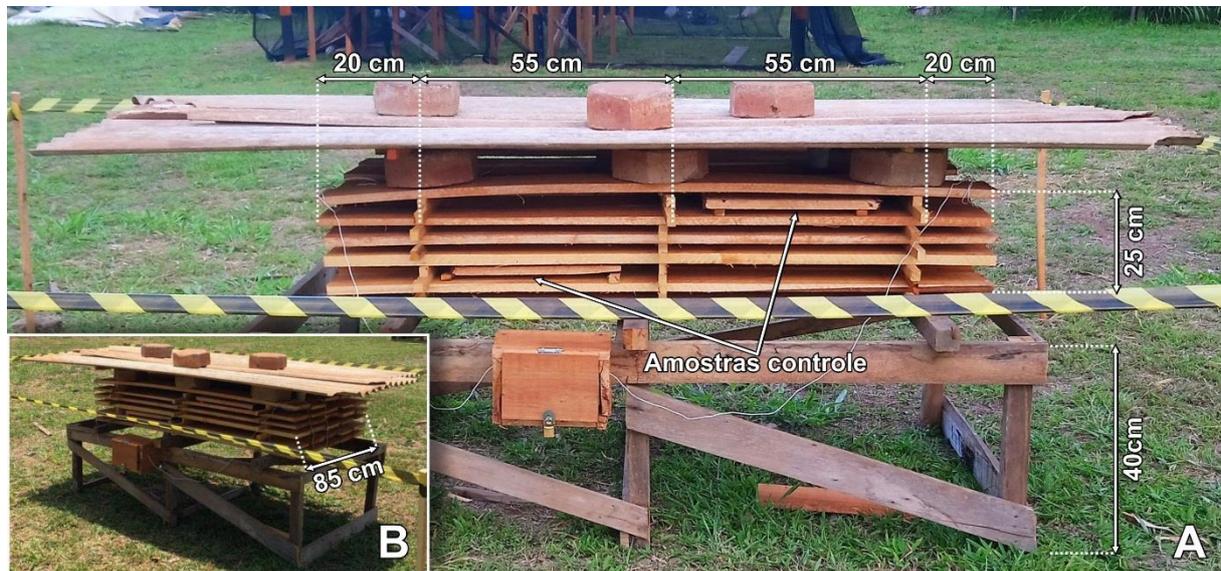


Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

### 2.3. Implantação do experimento e monitoramento da secagem

As tábuas foram empilhadas juntamente com as amostras controle que foram distribuídas de forma sistemática na pilha, contemplando a base-topo e as duas faces da pilha, sob uma base de 40 cm de altura do solo, formando uma pilha de cinco colunas com seis tábuas (Figura 4). Acresce-se que a disposição das tábuas juntamente com as peças controle na face oposta da pilha seguiu distribuição análoga.

**Figura 4.** Esquema geral da disposição da pilha de madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) submetida à secagem ao ar livre, sendo: **A.** Visão frontal da pilha de madeira. **B.** Visão diagonal da pilha de madeira.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Nas amostras utilizadas para monitoramento da umidade as extremidades foram impermeabilizadas com esmalte sintético, para que não houvesse perda excessiva de umidade, a fim de reduzir o surgimento de defeitos ou gradientes de umidade que não fossem representativos a pilha de madeira. Essas, foram utilizadas no monitoramento da umidade da madeira durante a secagem, mediante pesagens diárias.

A disposição da pilha foi realizada objetivando-se manter a incidência dos raios solares no sentido transversal das tábuas, evitando-se a incidência direta nas extremidades das peças. As tábuas foram separadas por tabiques (separadores) com dimensões de 200 cm × 2,5 cm × 2,5 cm (comprimento × largura × espessura), com espaçamento de 55 cm entre tabiques distanciados 20 cm das extremidades da pilha (Figura 4), esses parâmetros foram definidos com base nos estudos realizados por Martins (1988) e Mendes et al. (1997).

A pilha de madeira foi coberta com telhas de fibrocimento para proteção contra precipitações e raios solares diretos. No topo das pilhas utilizou-se blocos de concreto como restrição mecânica aos empenamentos, haja vista que as peças de madeira da base da pilha estavam sob aplicação de massa das camadas superiores da pilha.

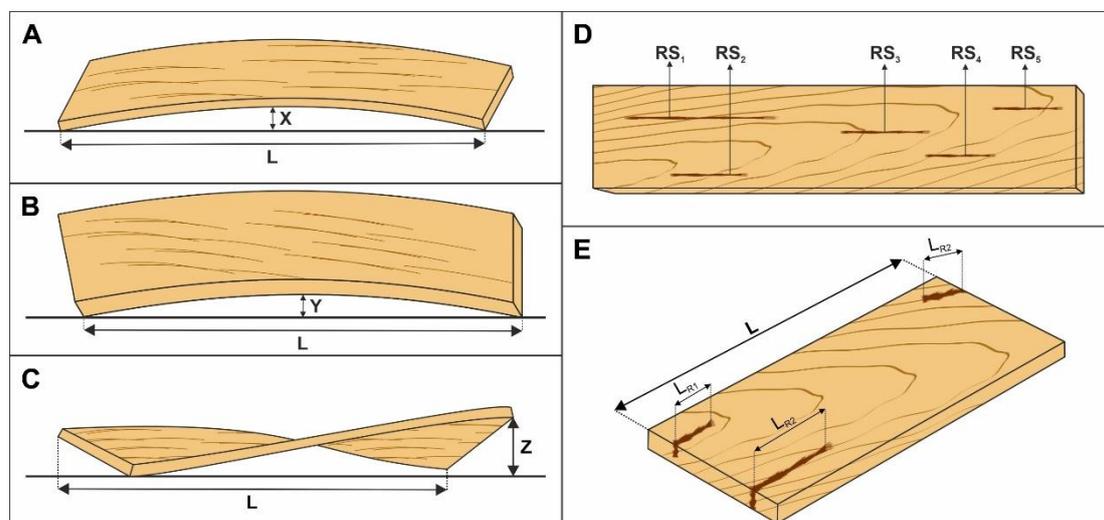
## 2.4. Avaliação dos defeitos de secagem na madeira

Para a avaliação dos defeitos ocasionados no processo de secagem ao ar livre, foram mensuradas as seguintes variáveis: arqueamento, encurvamento, torcimento, rachadura de topo e superfície (Figura 5). Os defeitos de empenamentos foram mensurados com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, sendo que o defeito foi determinado a partir da flecha central formada entre as bordas da madeira e uma linha de náilon fixada nas extremidades, e as rachaduras foram mensuradas com um paquímetro. Após a realização dos cálculos, os empenamentos e as rachaduras de topo foram classificados adaptando os critérios determinados pela NBR 14806 para madeira serrada de eucalipto (ABNT, 2002).

$$A = \frac{Y}{L} \quad E = \frac{X}{L} \quad T = \frac{Z}{L} \quad RT = \frac{L_{R1} + L_{R2} + L_{R3} + L_n}{L} \quad RS = RS_1 + RS_2 + RS_3 + RS_n$$

Em que: A = Arqueamento ( $\text{mm m}^{-1}$ ); Y = Flecha de arqueamento (mm); E = Encurvamento da tábua ( $\text{mm m}^{-1}$ ); X = Flecha de encurvamento (mm); T = Torcimento ( $\text{mm m}^{-1}$ ); Z = Flecha de torcimento (mm); Distância RT = Rachadura de topo ( $\text{mm m}^{-1}$ );  $L_{R1} + L_{R2} + L_{R3} + L_n$  = Comprimento individual das rachaduras (mm); L = comprimento total da peça (m); RS = Rachadura de superfície ( $\text{und peça}^{-1}$ );  $RS_1 + RS_2 + RS_3 + RS_n$  = Quantidade de rachaduras de superfície (und).

**Figura 5.** Esquema de mensuração dos defeitos avaliados após a secagem da madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **A.** Arqueamento; **B.** Encurvamento; **C.** Torcimento; **D.** Rachadura de superfície; **E.** Rachadura de topo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

## 2.5. Análises estatísticas

A partir dos valores de massa da madeira das amostras controles mensurados em seus respectivos tempos de secagem ao longo do processo, foram calculados os decréscimos de umidade e taxas de secagem. Sequencialmente, verificou-se os pressupostos estatísticos e ajustou-se modelos de regressão linear para ambas variáveis. Para melhorar o ajuste preditivo no modelo de regressão linear ajustado para os decréscimos de umidade, foi aplicado logaritmo neperiano na variável tempo.

Para a avaliação dos defeitos foram utilizadas as médias de cada defeito seguida pelo seu respectivo intervalo de confiança a 5% de probabilidade. Todas as análises e construção dos gráficos foram realizadas no *software* estatístico livre R (R Core Team 2020).

## 3. Resultados e Discussão

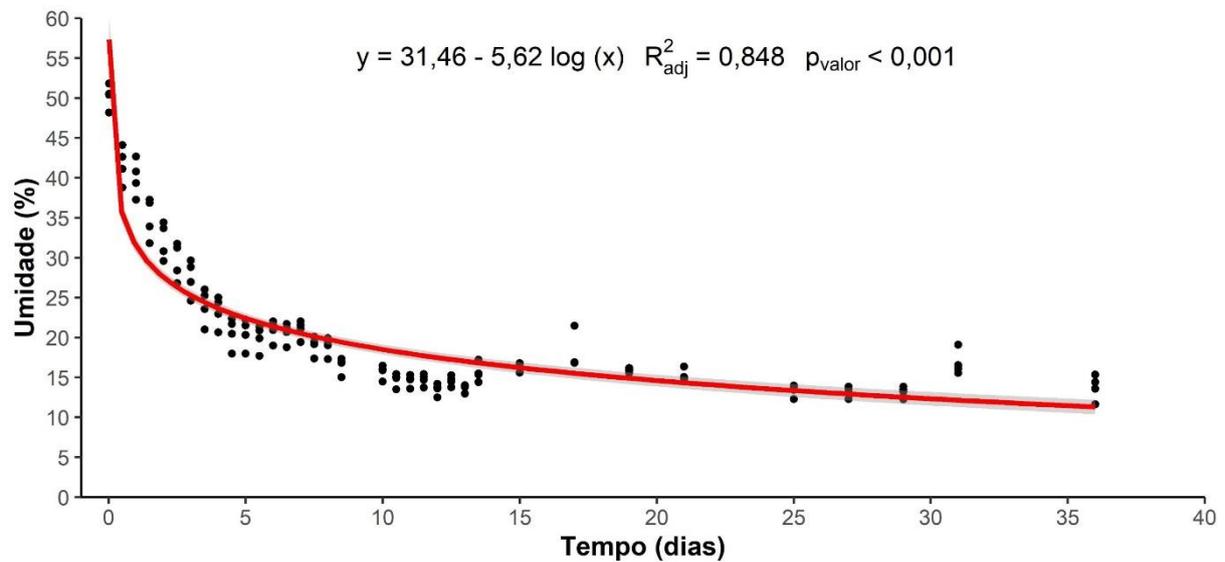
### 3.1. Avaliação dos parâmetros de secagem

Na madeira verde de jatobá verificou-se que a umidade inicial média foi em torno de 50,23% com desvio padrão de  $\pm 3,01\%$ , e após 36 dias de secagem ao ar livre, observou-se umidade final média de 13,75% e desvio padrão de  $\pm 11,53\%$ .

A realização da transformação estatística na variável independente condicionou um melhor ajuste no modelo para predição da umidade ao longo do tempo na secagem ao ar livre da madeira de jatobá. Isto evidencia que, ao início da secagem a redução da umidade é mais acentuada, ao passo que, ao final da secagem as variações são mais tênues. Com isso a transformação logarítmica aplicada foi eficiente (acurácia maior que 80%) em descrever tal fenômeno (Figura 6).

Entre o 16° e 35° dia de secagem, a umidade da madeira oscilou, porque já havia atingido umidades em torno de 15%, neste período ocorreram chuvas esporádicas. Como pode ser observado na Figura 2, os picos de umidade relativa do ar e precipitação entre 21 a 24 de outubro e 6 a 13 de novembro explicam o ganho de umidade pela madeira (Jankowsky & Galina, 2013).

**Figura 6.** Decréscimo da umidade da madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) submetida a secagem ao ar livre em Rolim de Moura, Rondônia, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

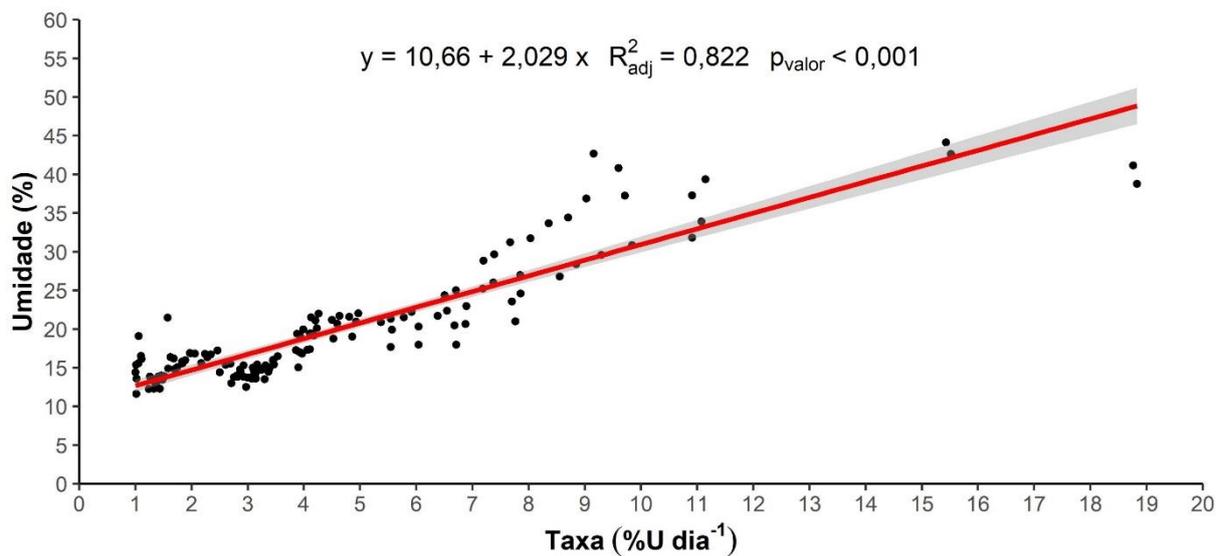
A explicação para as variações encontradas é devido a secagem ao ar livre apresentar alguns inconvenientes, por conta da dependência das características climáticas locais, devido a heterogeneidade na recepção do vento, na incidência de luz e nas massas de fluxo de ar entre as peças de madeira e em relação a sua posição na pilha, resultando em umidades finais com maior variação quando comparado as iniciais (Verdet et al., 2017; Bekkioui et al., 2020).

As condições climatológicas do estado de Rondônia no período em que se realizou o estudo (outubro e novembro), auxiliam no entendimento deste raciocínio, pois é o período antecedente ao período de maior concentração de chuvas (dezembro, janeiro e fevereiro) as quais resultam em valores de umidade relativa do ar superiores a 80% (Alvares et al., 2013).

Dessa forma, para secagem natural mais eficiente e menor variabilidade da umidade da madeira, é adequado a condução desta técnica na estação seca de Rondônia (junho, julho e agosto), na qual as condições ambientais são mais favoráveis à secagem ao ar livre, pois a umidade relativa do ar é em torno de 50% e a temperatura é de 28,1 °C (Franca & Ribeiro, 2012; INMET, 2018b). Ainda, Jesus et al. (2016) ao realizarem a secagem ao ar livre da madeira no estado de Rondônia, encontraram para o período retrocitado menores valores de precipitação e os menores valores de umidade da madeira, sendo o mês de agosto o mais propício para realização desta técnica de secagem.

Para a taxa de secagem (Figura 7), o ajuste do modelo linear alcançou elevado coeficiente de determinação, indicando grande potencial preditivo do modelo para taxa de secagem nas diferentes condições de umidade da madeira de jatobá.

**Figura 7.** Taxa de secagem da madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) submetida a secagem ao ar livre em Rolim de Moura, Rondônia, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Os maiores valores de taxa de secagem foram registrados quando a madeira se encontrava com umidade entre 30% e 50%, havendo queda acentuada na taxa ao atingir o ponto de saturação de fibras ( $PSF \cong 28\%$ ). Este resultado no início da secagem explica-se devido a fácil remoção da água livre localizada no lume das células, esse fenômeno de transferência de massa no início da secagem ocorre pelas cavidades celulares dos elementos vasculares da madeira e por evaporação, uma vez que esta água é mantida na madeira por ligações capilares muito fracas, entre a madeira e as moléculas de água, tendo assim maior facilidade em sua remoção, manifestando altas taxas de secagem (Zanuncio et al., 2013; Zanuncio et al., 2016; Liebl et al., 2017).

O contrário ocorre com a água higroscópica, que é mais difícil de ser removida da madeira, ficando impregnada nos espaços submicroscópicos da parede celular em camadas polimoleculares, ligadas por forças elétricas polares, como ligações de pontes de hidrogênio aos grupos hidroxílicos nas cadeias de celulose, hemicelulose e lignina. Portanto, oferecendo maior resistência de remoção da madeira, ocasionando baixas taxas de secagem quando se

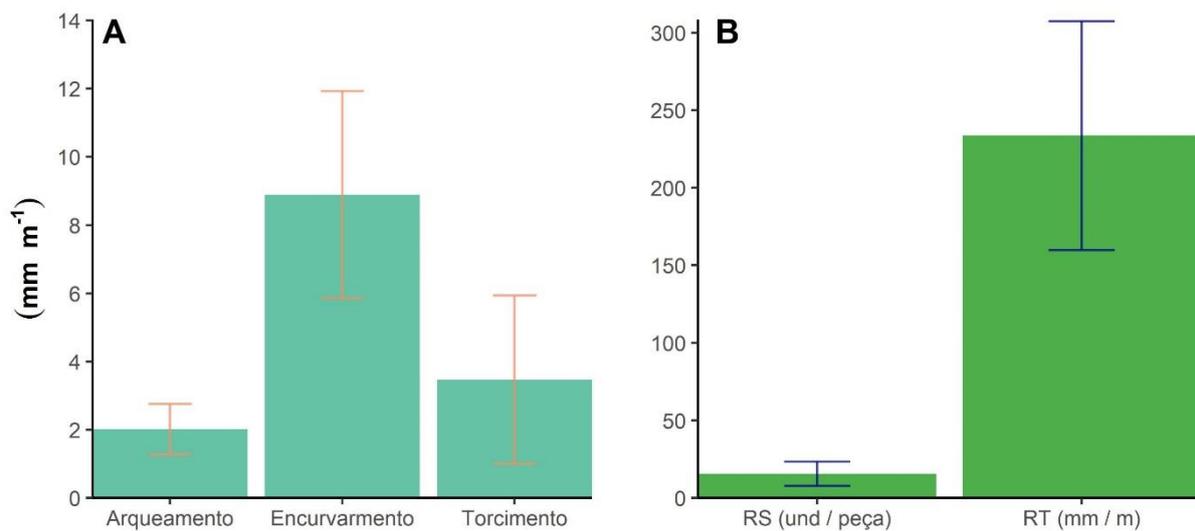
atinge o PSF, momento em que resta apenas água higroscópica e água de constituição (Menezes et al., 2014; Silva et al., 2020).

### 3.2. Avaliação dos defeitos de secagem

Ao final do processo de secagem verificou-se que dentre os empenamentos ocorridos, para o encurvamento obteve-se a maior intensidade, seguida de torcimento e arqueamento (Figura 8). Em relação a classificação de qualidade preconizada pela NBR 14806 (ABNT, 2002), para o arqueamento, encurvamento e torcimento a madeira foi enquadrada na classe IV. Apesar de ter sido encontrado defeitos de arqueamento menores que  $5 \text{ mm m}^{-1}$ , estes ocorreram em 86,76%, superando o limite máximo da norma que é 10% das peças do lote de madeira. Quanto ao encurvamento, as peças apresentaram defeitos menores que  $15 \text{ mm m}^{-1}$ , limite aceito na IV classe.

Conforme a NBR 14806, nas classes I, II e III não se admite o defeito de torcimento, independentemente da intensidade, por isso a madeira de jatobá foi classificada na classe IV, uma vez que este defeito ocorreu em 23,33% das peças.

**Figura 8.** Intensidade dos defeitos avaliados na madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) após a secagem ao ar livre. **A.** empenamentos; **B.** rachaduras. Em que: RS = Rachadura de superfície; RT = Rachadura de topo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

O encurvamento é um dos defeitos mais difíceis de controlar, uma vez que durante a secagem as tábuas ficam dispostas sem qualquer restrição lateral que as impeçam de deformar, este defeito é um dos mais incidentes na madeira seca ao ar livre, corroborando com os resultados deste trabalho (Susin et al., 2014). As proporções de lenho tardio e juvenil, a orientação do corte no desdobro e as tensões ocasionados pelo desdobro também podem influenciar na magnitude deste defeito, visto que este é um defeito que se manifesta no desdobro e pode ser intensificado pelo processo de secagem (Liebl et al., 2017; Zen et al., 2019).

Já o encurvamento não é considerado um defeito problemático na madeira, uma vez que pode ser facilmente eliminado aplicando-se métodos adequados de empilhamento da carga de madeira, por meio da adição de pesos sobre a pilha ou colocação de peças potencialmente defeituosas na parte de baixo da carga, assim possibilita a redução significativa do defeito (Rocha & Trugilho, 2006). Apesar disso, foi observado alto percentual de peças com esse defeito, acredita-se pelo fato das tábuas apresentarem uma predominância de cortes tangenciais, houve condição propícia para este tipo de empenamento (Touza, 2001).

Quanto ao torcimento, sua ocorrência é devido a presença de madeira juvenil ou madeira de reação, muito comum em madeiras oriundas de florestas nativas, como a madeira de jatobá utilizada no estudo (Jankowsky & Galina, 2013).

A grande frequência de defeitos encontrados no jatobá foi explicada por Klitzke et al. (2008), quando ele explica que na maioria das vezes esta madeira quando processada em indústrias possui grande volume de alburno, representando até 30% do volume serrado.

As rachaduras de topo na madeira de jatobá foram encontradas em 93,33% das peças (Figura 8), sendo que em 63,33% as rachaduras foram maiores que 150 mm m<sup>-1</sup>, com isso, a madeira foi classificada na classe V, conforme a norma NBR 14806 (ABNT, 2002).

Este defeito pode ter sido ocasionado em função da maior velocidade de secagem da madeira e baixa umidade final observados no experimento. Esses fatores interligados ocasionam aumento no gradiente de umidade nas regiões contíguas da madeira, fazendo com que as fibras mais externas atinjam umidade menores do que as das fibras mais internas da madeira, resultando em tensões de secagem, conseqüentemente ocasionando as rachaduras de topo expressivas (Marchesan, 2012).

As rachaduras de superfície foram avaliadas de acordo com a quantidade de rachaduras por peça. E verificou-se que 66,67% das peças apresentaram rachaduras superficiais, essas rachaduras tendem a ocorrer quando existe elevada dissimilitude de teores de umidade entre a superfície e a região mais interna da peça durante o processo de secagem.

Esse comportamento também está associado as altas taxas de secagem no início do experimento. Entretanto, a presença deste defeito não causa grandes prejuízos na qualidade da madeira para uso estrutural, em função das pequenas dimensões (Stangerlin et al., 2009), e o dano estético é insignificante, não causando rejeição no mercado local.

De modo geral, a madeira de jatobá seca ao ar livre sob condições climáticas amazônicas alcançou umidades finais desejáveis com baixa incidência de defeitos segundo preconizado pela NBR 14806 (ABNT, 2002), considerando o custo monetário e operacional de aplicação desta técnica de secagem. Isso pode resultar em agregação de valor à madeira e redução de custos com frete, pois devido a remoção de água reduz-se a massa da madeira.

#### **4. Considerações Finais**

Na caracterização do processo de secagem ao ar livre da madeira de jatobá realizado em período chuvoso na região, foi possível alcançar baixos valores de umidade final da madeira (13,75%) com tempo satisfatório (36 dias). Recomenda-se ter cautela com as elevadas taxas de secagem ao início do processo (Condição verde até PSF) a fim de evitar maior incidência de defeitos.

O defeito com maior intensidade observado (encurvamento) no estudo pode ser facilmente corrigido com empilhamento mais adequado. A técnica de secagem ao ar livre para madeira de jatobá nas condições climáticas amazônicas é potencialmente adequada para otimizar o processo de industrialização e agregar valor à madeira.

Necessita-se experimentos mais voltados a secagem ao ar livre em períodos com menor umidade relativa do ar e menor precipitação para verificar tempo de secagem, umidade final e ocorrência de defeitos no jatobá e em outras madeiras amazônicas.

#### **Referências**

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes, G., Leonardo, J., Sparovek, G. (2013). Köppen s climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507

Ângelo, H., de Almeida, A. N., Matricardi, E. A. T., Rosetti, C. F., de Oliveira Gaspar, R., Miguel, E. P., & de Andrade Vasconcelos, P. G. (2016). Determinants of profit in sustainable

forest management in the Brazilian Amazon. *African Journal of Agricultural Research*, 11(44), 4498-4503. doi: 10.5897/AJAR2016.11764

Araújo, V., Vasconcelos, J., Cortez-Barbosa, J., Morales, E., Christoforo, A., Gava, M., ... & Garcia, J. (2020). Wood consumption and fixations of carbon dioxide and carbon from timber housing techniques: A Brazilian panorama. *Energy and Buildings*, 109960. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109960

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2002). *NBR- 14806: madeira serrada de eucalipto*. Rio de Janeiro.

Bekkioui, N., Hakiki, S. E., Rachadi, A., Ez-Zahraouy, H. (2020) One-year simulation of a solar wood dryer with glazed walls in a Moroccan climate. *Renewable Energy*, 155, 770-782. doi: 10.1016/j.renene.2020.03.131

Costa, A. A., Mascarenhas, A. R. P., Santos, C. M. M., Faria, C. E. T., Duarte, P. J., & Cruz, T. M. (2020). Technological characterization of engineered panels produced with paricá wood. *Research, Society and Development*, 9(8), e786986089. doi: 10.33448/rsd-v9i8.6089

Costa, W. S., Souza, A. L., Souza, P. B. (2011). Ecologia, manejo, silvicultura e tecnologia de espécies nativas da Mata Atlântica. *Viçosa: UFV*.

Delatorre, F. M., Cupertino, G. F. M., Junior, A. J. Dos S., Silva, A. M. Da, Júnior, A. F. D., & Carvalho, A. M. (2020). Behavior of Ingá wood (*Inga edulis* Mart) against machining tests. *Research, Society and Development*, 9(8), e352985119. doi: 10.33448/rsd-v9i8.5119

Farias, D. T., & Melo, R. R. (2020). Caracterização macroscópica da madeira de cinco espécies da Caatinga. *Research, Society and Development*, 9(8), e200985614-e200985614. doi:10.33448/rsd-v9i8.5614

Franca, R. R., & Ribeiro, A. F. A. (2012). O fenômeno da estiagem em Rondônia: Estudo de caso sobre agosto de 2010 em Porto Velho. *Revista Geonorte*, 3(8),1070-1078.

Galvão, A. P. M., & Jankowsky, I. P. (1985). *Secagem racional da madeira*. São Paulo: Nobel, 55p.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (2018a) *Banco de dados meteorológicos*. Recuperado de <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. (2018b). *Banco de dados meteorológicos*. Recuperado de <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>.

IPT – Instituto De Pesquisas Tecnológicas Do Estado De São Paulo. (2011). *Informações sobre madeiras*. Recuperado de <[http://www.ipt.br/consultas\\_online/informacoes\\_sobre\\_madeira](http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira)>.

Jankowsky, I. P., & Galina, I. C. M. (2013). Secagem de madeiras. *Curso Técnico. Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira*. Recuperado de <<http://www.pimads.org>>.

Jesus, A. G., Modes, K. S., Santos, L. M. H., Bento, A. R., Gusmão, M. (2016). Comportamento das madeiras de três espécies amazônicas submetidas à secagem ao ar. *Nativa*, 4(1), 31-35. doi: 10.14583/2318-7670.v04n01a07

Klitzke, R. J., Savioli, D. L., Muniz, G. I. B., Batista, D. C. (2008). Caracterização dos lenhos de cerne, alburno e transição de jatobá (*Hymenaea* spp.) visando ao agrupamento para fins de secagem convencional. *Scientia Florestalis*, Piracicaba,36(80), 279-284.

Liebl, O. A., Loiola, P. L., Zen, L. R., Klitzke, R. J., & Rocha, M. P. D. (2017). Influência dos Parâmetros Dimensionais da Pilha na Qualidade da Madeira de Eucalyptus spp. Submetida à Secagem ao Ar. *Floresta e Ambiente*, 24. doi: 10.1590/2179-8087.105514

Lima, S. L., Merry, F., Soares-Filho, B., Oliveira Rodrigues, H., dos Santos Damaceno, C., & Bauch, M. A. (2018). Illegal logging as a disincentive to the establishment of a sustainable forest sector in the Amazon. *Plos one*, 13(12), e0207855.

Marchesan, R. (2012). *Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais*. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR.

Martins, C. V., & Mascarenhas, A. R. P. (2018). Uso de imagens multiespectrais na análise da cobertura vegetal em área de concessão florestal em Rondônia. *Anuário do Instituto de Geociências*, 41(2), 104-116.

Martins, V. A. (1988). *Secagem de madeira serrada*. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Brasília (Brasil). Dept. de Pesquisa.

Mendes, L., Silva, J. D., Trugilho, P., Lima, J. (1997). Técnicas corretas de secagem da madeira do eucalipto ao ar livre. In: Conferência iufro sobre silvicultura e melhoramento de eucaliptos, 1997. *Anais...* Embrapa, 3, 373-380.

Menezes, W. M., Santini, E. J., De Souza, J. T., Gatto, D. A., & Haselein, C. R. (2014). Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. *Ciência Rural*, 44(6), 1019-1024. doi: 10.1590/s0103-84782014000600011

Pacheco, P., Mejía, E., Cano, W., & De Jong, W. (2016). Smallholder forestry in the Western Amazon: Outcomes from forest reforms and emerging policy perspectives. *Forests*, 7(9), 193.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).

Pereira, E. J. D. A. L., de Santana Ribeiro, L. C., da Silva Freitas, L. F., & de Barros Pereira, H. B. (2020). Brazilian policy and agribusiness damage the Amazon rainforest. *Land Use Policy*, 92, 104491.

Priadi, T., Orfian, G., Cahyono, Tekat, D., Iswanto, A. H. (2020). Dimensional Stability, Color Change, and Durability of Boron-MMA Treated Red Jabon (*Antocephalus macrophyllus*) Wood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 48(3), 315-325. doi:10.5658/WOOD.2020.48.3.315

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de <<http://www.R-project.org>>.

Ramage, M. H., Burridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., ... & Allwood, J. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 333-359. doi: 10.1016/j.rser.2016.09.107

Reis, P. C. M. D. R., Reis, L. P., Souza, A. L. D., Carvalho, A. M. M. L., Mazzei, L., Reis, A. R. S., & Torres, C. M. M. E. (2019). Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia com base em propriedades físicas e mecânicas. *Ciência Florestal*, 29(1), 336-346. doi: 10.5902/1980509828114

Rocha, M. P., Trugilho, P. F. (2006). Qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade. *Cerne*, Lavras, 12(4), 314-231.

Rodrigues, B. L., Santos, L. G., Reis, C. R., Moraes, G. C., Schorr, B., Gama, R. V., & Silva Ribeiro, B., Oliveira, M. L. R. (2018). Availability and Potential Use of Non-Wood Forest Products (Nwfps) in a Traditional Community of the Amazon. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 12(6), 17-22.

Silva, J. G. M., Neto, P. N. M., Soranso, D. R., Tinti, V. P., Oliveira, J. T. S., Oliveira, J. G. L. (2020). Influência da anatomia no desempenho da adesão de quatro espécies madeireiras. *Research, Society and Development*, 9(4), e31942727. doi: 10.33448/rsd-v9i4.2727

Silva, P. H. D., Gomide, L. R., Figueiredo, E. O., Carvalho, L. M. T. D., & Ferraz-Filho, A. C. (2018). Optimal selective logging regime and log landing location models: a case study in the Amazon forest. *Acta Amazonica*, 48(1), 18-27. doi: 10.1590/1809-4392201603113

Sonter, L. J., Herrera, D., Barrett, D. J., Galford, G. L., Moran, C. J., & Soares-Filho, B. S. (2017). Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. *Nature Communications*, 8(1), 1-7. doi: 10.1038/s41467-017-00557-w

Souza Neto, H. F., Silveira Pereira, W. V., Dias, Y. N., Souza, E. S., Teixeira, R. A., Lima, M. W., Ramos, S.J., Amarante, C. B. & Fernandes, A. R. (2020). Environmental and human health

risks of arsenic in gold mining areas in the eastern Amazon. *Environmental Pollution*, 114969. doi:10.1016/j.envpol.2020.114969

Stangerlin D.M., Santini, E. J., Melo, R. R., Gatto, D. A., Haselein, C. R. (2009). Uso de estufa solar para secagem de madeira serrada. *Ciência Florestal*. 19(4), 461-472.

Susin, F., Santini, E. J., Stangerlin, D. M., Morais, W. W. C., Melo, R. R. (2014). Secagem e qualidade da Madeira serrada de *Hovenia dulcis* submetida a dois métodos de secagem. *Floresta e Ambiente*, 21(2), 243-250. doi: 10.4322/floram.2014.016

Talgatti, M., DA Silveira, A. G., Baldin, T., De Souza, J. T., Santini, E. J. (2018). Secagem ao ar livre e qualidade de serrados de clones de *Eucalyptus grandis*. *Scientia Agraria Paranaensis*, 17(2), 197-204.

Touza, M. C. (2001). Proyecto de investigación sobre sistemas de aserrado adecuados para procesar *Eucalyptus globulus* com tensiones de crecimiento. *Revista Del Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera de Galicia, Orense*, 6, 8-37.

Verdet, M., Coureau, J., Cointe, A., Salenikovich, A., Galimard, P., Delisée, C., Toro, W. M. (2017). Creep performance of glued-in rod joints in controlled and variable climate conditions. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 75, 47-56. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2017.02.012

Vidal, N., Kozak, R., & Cohen, D. (2005). Chain of custody certification: an assessment of the North American solid wood sector. *Forest Policy and Economics*, 7(3), 345-355.

Zanuncio, A. J. V., Carvalho, A. G., Damásio, R. A. P., Oliveira, B. Da S., Carneiro, A. C. O., Colodette, J. L. (2016). Relação entre a anatomia e a secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. *Rev. Árvore*, 40(4). doi: 10.1590/0100-67622016000400016

Zanuncio, A. J. V., Lima, J. T., Monteiro, T. C., Carvalho, A. G., Trugilho, P. F. (2013). Secagem de toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* para uso energético. *Scientia Florestalis*, 41(99), 353-360.

Zen, L. R., Monteiro, T. C., Schaeffer, W., Kaminski, J. M., Klitzke, R. J. (2019). Secagem ao ar livre da madeira serrada de eucalipto. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 7(2). doi: 10.20873/jbb.uft.cemaf.v7n2.zen

Zenid, G. J. (2009). Madeira: uso sustentável na construção civil. São Paulo: *Instituto de Pesquisas Tecnológicas–SVMA*.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Sherellyn Daphnee Alves Moretti – 30 %

Cássio Marques Moquedace dos Santos – 30 %

Adriano Reis Prazeres Mascarenhas – 15 %

Juliana Padovan de Oliveira – 12,5 %

Sídna Primo dos Anjos – 12,5 %