

EDUARDO CESAR AMANCIO  
(Organizador)

# ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 2



EDUARDO CESAR AMANCIO  
(Organizador)

# ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 2



**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Engenharias: criação e repasse de tecnologias 2

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Eduardo Cesar Amancio

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57    Engenharias: criação e repasse de tecnologias 2 /  
Organizador Eduardo Cesar Amancio. – Ponta Grossa -  
PR: Atena, 2022.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-258-0200-8  
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.008223006>

1. Engenharia. I. Amancio, Eduardo Cesar  
(Organizador). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A coleção “Engenharias: Criação e repasse de tecnologias 2” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de trabalhos diversos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas, relatos de casos e/ou revisões que transitam nos vários caminhos das Engenharias e áreas afins.

A atual necessidade de informações e conhecimento de maneira rápida e eficiente leva a uma demanda de repasse de tecnologias mais eficaz. Neste cenário destaca-se o campo das engenharias, as quais são um dos principais pilares para o setor industrial. Entender os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa desta área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria continua de processos.

O aumento no interesse aos temas relacionados com a engenharia se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de engenharia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Deste modo a obra “Engenharias: Criação e repasse de tecnologias 2” apresenta uma teoria bem fundamentada nos resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que arduamente desenvolveram seus trabalhos que aqui serão apresentados de maneira concisa e didática. Sabemos o quão importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores exporem e divulguem seus resultados.

Eduardo Cesar Amancio




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANÁLISE EXERGÉTICA EM UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPOR COM APLICAÇÃO DA NEGUENTROPIA**

Fábio de Farias Cavalcante

Glauco Demóclito Tavares de Barros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230061>

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **ASPECTOS DAS VARIAÇÕES LINGUÍSTICAS NO CANTEIRO DE OBRA**

Iracira José da Costa Ribeiro


Lúcia de Fátima Araújo Souto Badú

Emerson Cordeiro de Lima

Ríusle Souza Nascimento

Ana Luzia Souza

Igor Jandson Feitosa da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230062>

### **CAPÍTULO 3..... 24**

#### **MEDIÇÃO INTELIGENTE DE DISTÂNCIA DE OBJETOS ESTÁTICOS PARA ROBÓTICA DE ENXAME**

Márcio Mendonça

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

Emanuel Ignacio Garcia

Michele Eliza Casagrande Rocha

Celso Alves Correa

Fábio Rodrigo Milanez

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Lucas Botoni de Souza


Mateus Cabral dos Santos

João Paulo Scarabelo Bertoncini

Marcos Antonio de Matos Laia

André Luís Shiguemoto

Kazuyochi Ota Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230063>


### **CAPÍTULO 4..... 38**

#### **MODERNIZAÇÃO DE PONTES ANTIGAS – PONTE SOBRE O RIO JUCU – BR101 – ES**

Jorge Martins Sarkis

Paulo Jorge Sarkis

Leonardo Borges Vargas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230064>

### **CAPÍTULO 5..... 52**


#### **PROGRAMA PILOTO Y CALIDAD DE SECADO DE MADERA *Apuleia leiocarpa* (Vogel)**

J.F. Macbr. EN HORNO CONVENCIONAL ELÉCTRICO, MADRE DE DIOS-PERÚ

Emer-Ronald Rosales-Solorzano

Roger Chambi-Legoas

Rosa-Norma Aguilar-Lozano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230065>

**CAPÍTULO 6..... 63**


**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM DINAMÔMETRO BASEADO EM MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA**

Felipe Costa Novo Malheiros

Nelson Henrique Bertollo Santana

Clara Luísa Pereira dos Santos Lima

Layane Rodrigues Monteiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230066>


**CAPÍTULO 7..... 74**

**PROPOSTA DE REQUALIFICAÇÃO DE EDIFÍCIO INDUSTRIAL PARA ESPAÇOS DE ARTE E CULTURA**

Margarida Ramos Silva

Jorge Ramos-Jular

João Carlos Lanzinha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230067>

**CAPÍTULO 8..... 91**

**SEISMIC STUDY OF ANOMALIES OF AVO (AMPLITUDE VERSUS OFFSET) THROUGH SIMULATIONS USING THE BACKDROP OF THE RIO DO PEIXE SEDIMENTARY BASIN**

Carlos Renato Gomes da Cunha

Gustavo Silva Vieira

Alice Dames Vieira

Letícia Kizuka Pereira

Ludmila Ravane Santos da Silva

Rayssa Barcellos Paiva

Brenda dos Santos Pereira


Hans Schmidt Santos

Kaio da Silva Pimentel Figueiredo

Rogério Manhães Soares

Ariane Raposo Nogueira Soares

Gabriel Fonseca Reiff Souto Vidigal

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230068>

**SOBRE O ORGANIZADOR ..... 104**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 105**

# CAPÍTULO 5

## PROGRAMA PILOTO Y CALIDAD DE SECADO DE MADERA *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr. EN HORNO CONVENCIONAL ELÉCTRICO, MADRE DE DIOS-PERÚ

Data de aceite: 01/06/2022

### **Emer-Ronald Rosales-Solorzano**

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Investigadores Forestales y Ambientales del Perú  
Puerto Maldonado, Perú

### **Roger Chambi-Legoas**

Universidad Nacional Autónoma de Chota, Departamento de Ciencias Forestales Chota, Perú

### **Rosa-Norma Aguilar-Lozano**

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Investigadores Forestales y Ambientales del Perú  
Puerto Maldonado, Perú

**RESUMEN:** Escasas investigaciones específicas sobre programas y calidad de secado dificultan un manejo apropiado de la madera para su óptimo uso como producto final. Por ello el estudio tuvo como objetivo generar un programa de secado eficiente y evaluar la calidad del secado convencional de la madera de *Apuleia leiocarpa* Vogel, J.F.Macbr (ana caspi). El método consistió en el análisis de 30 tablas con dimensiones de 2,5x16x300 cm provenientes de 3 árboles diferentes, mejorando el programa 32 del horno convencional eléctrico Imad Eko 02 - Controlador Nigos MC412 para generar un propio programa de secado para la especie. La calidad de secado se evaluó considerando la norma INACAL NTP 251.037; 251.102 y 251.118 y para conocer el índice y condición de secado se

utilizó la NCh 993-E Of.72. El programa piloto de secado desarrollado consistió en 4 etapas, con un presecado al aire bajo techo por 17 días para luego continuar en la cámara el secado por 7 días, programando parámetros en el tablero de control valores de 50 a 70 °C de temperatura, humedad de equilibrio de 15 % a 3%, resultando en una reducción de la humedad de la madera de 80 % a 14,7 %. El mejor modelo de ajuste encontrado fue la regresión logarítmica  $y = -35,89\ln(x) + 78,052$  con un coeficiente  $R^2$  de 0,9941. El factor e índice de secado del programa piloto fue de 0,583 que indica una calidad de secado buena y una condición de secado adecuada.

**PALABRAS CLAVE:** Cinética de secado; alabeos; defectos de secado; programas de secado; humedad de la madera.

### PILOT PROGRAM AND WOOD DRYING QUALITY *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr. IN CONVENTIONAL ELECTRIC OVEN, MADRE DE DIOS-PERU

**ABSTRACT:** The lack of specific research on drying programs and drying quality hinders the proper management of the wood for its optimal use as a final product. Therefore, the objective of this study was to generate an efficient drying program and to evaluate the quality of conventional drying of *Apuleia leiocarpa* Vogel JF Macbr (ana caspi) wood. The method consisted in the analysis of 30 boards with dimensions of 2.5x16x300 cm from 3 different trees, improving the program 32 of the conventional electric kiln Imad Eko 02 - Nigos MC412 Controller, to generate a drying program for the species. The drying quality was evaluated

considering INACAL NTP 251.037; 251.102 and 251.118 and NCh 993-E Of.72 was used to know the rate and condition of drying. The pilot drying program developed consisted of 4 stages, with an indoor air pre-drying for 17 days and then continued in the drying chamber for 7 days, programming parameters in the control panel values from 50 to 70 °C temperature, equilibrium humidity from 15% to 3%, resulting in a reduction of wood moisture from 80% to 14.7%. The best fit model found was the logarithmic regression  $y = -35.89\ln(x) + 78.052$  with an  $R^2$  coefficient of 0.99. The drying factor and index of the pilot program was 0.583 indicating good drying quality and adequate drying condition.

**KEYWORDS:** Drying kinetics; warping; drying defects; drying programs; wood moisture.

## INTRODUCCIÓN

El árbol, como todo ser vivo necesita del agua para transportar internamente los nutrientes y poder sobrevivir. La capacidad de retención de humedad en la madera varía de una especie a otra, y se relaciona con el valor de la densidad básica de cada especie. Además, un alto contenido de humedad de la madera no es deseable en los procesos de industrialización de la madera, por ello, se debe aplicar algún método de secado y disminuir el contenido de humedad de la madera a niveles óptimos para su procesamiento y puesta en servicio (Muñoz, 2008).

Si el agua de la madera no es eliminada, la madera no puede ser usada para producir un producto terminado de buena calidad. La madera apropiadamente secada se vende por un precio más alto y tiene mejor trabajabilidad que la madera que no ha sido secada. El secado también mejora la resistencia de la madera, reduce el riesgo de infestaciones, preserva el color, reduce el peso y controla la contracción. La madera que no está seca bajo condiciones controladas es susceptible a fisuras, manchado, y otras degradaciones que rebajan su precio de venta y su viabilidad de ser trabajada (Martínez, 2013).

El secado artificial de la madera consiste en acelerar los mecanismos de transferencia de masa, optimizar el consumo energético para obtener un producto con mejores atributos de calidad (Sandoval, 2009), se mantienen las condiciones climáticas para hacer que el aire dentro de la cámara, este constantemente seco y arrastre la humedad superficial de la madera, suministrando calor (temperatura) y controlando la humedad relativa del aire en la cámara con el uso de ventiladores y rociadores de agua (Cáceres et al., 2008).

En los departamentos de Lima, Ucayali, Madre de Dios y Loreto se emplean hornos convencionales de distintas marcas y procedencias, ya sean nacionales o extranjeras, así mismo utilizan programas para el secado de especies tropicales africanas y asiáticas que se utilizan generalmente como referencia, pero no para especies tropicales peruanas (a excepción del cedro y de la caoba) (Moscoso et al., 2013).

La cinética del secado de madera es la representación de la evolución de las condiciones ambientales y de la madera en el transcurso del secado; la expresión gráfica de la cinética del secado son las curvas de secado: contenido de humedad de la madera

contra tiempo de secado, llamada propiamente curva de secado y la velocidad de secado contra contenido de humedad de la madera, llamada curva de velocidad de secado (Bolfor, 2008).

La especie *Apuleia leiocarpa* (ana caspi) tiene una densidad básica de 0,70 g/cm<sup>3</sup>, contracción volumétrica de 10,60 %, relación T/R 1,52, contracción tangencial 6,40 %, y contracción radial 4,20 % (Cáceres et al., 2008).

Chambi et al. (2013) encontraron en el secado convencional de *Dipteryx micrantha* Harms una ecuación de predicción:  $y = 0,0001x^2 - 0,0673x + 16,6430$  con un coeficiente r<sup>2</sup> de 0,997 para el ensayo 1,  $y = 26,5326 e^{0,0034x}$  con un coeficiente r<sup>2</sup> de 0,995 para el ensayo 2. El índice de calidad total de secado en el ensayo 1 y 2 fueron 1,77 y 1,92 respectivamente, correspondientes a una calidad de secado menos que regular y condiciones poco adecuadas de secado, y el CH% promedio final de ambos ensayos es alrededor del 7% y un EMC 6%.

En ese contexto el objetivo de este estudio fue generar un programa de secado para *Apuleia leiocarpa* Vogel, J.F.Macbr (ana caspi) en horno convencional eléctrico, y evaluar la calidad del secado convencional de la madera.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Aspectos generales:

#### *Ubicación de la especie*

La especie en estudio fue obtenida del sector Sabaluyoc-Pariamarca km 19,5 entrada margen derecha, concesión “Okinawa”.

#### *Ubicación del lugar de ejecución*

La planta piloto de tecnología de la madera – UNAMAD, se encuentra ubicado en el kilómetro km. 16.5, margen derecho carretera interoceánica Puerto Maldonado - Iñapari, distrito Las Piedras, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios.

#### *Materiales y equipos*

01 cámara de secado convencional eléctrica Imad Eko 02 - Controlador Nigos MC412 de capacidad para 1000 pies, higrómetro de pines, vernier, wincha métrica, cámara fotográfica, libreta de apuntes, lápiz, plumón indeleble, laptop.

#### *Variables del control del secado*

CH: Contenido de humedad, °C: Temperatura, EMC: Humedad de equilibrio, P: Promedio de humedad de la madera y CH<sub>F</sub>: Contenido de humedad final

## Método:

### *Tamaño de la población y muestra*

El tamaño de la población fue 3 árboles, según norma INACAL NTP 251.008, de los cuales se usó 1 troza de la base de cada árbol, que representaron aproximadamente 900 pies tablares (2,12 m<sup>3</sup>) o 135 tablas con dimensiones de 1 pulgada de espesor, 8 pulgadas de ancho y 10 pies de largo. Quedando finalmente 90 tablas seleccionadas solo con corte radial y tangencial.

De las 90 tablas como población, el tamaño de la muestra se obtuvo mediante la siguiente fórmula basada en función al nivel de error, variabilidad y nivel de confianza:

$$n^{\circ} = (N p q Z^2) / (E^2(N - 1) + Z^2 p q)$$

N: Tamaño de la población

P: proporción de éxito o variabilidad positiva = 0,5 \* q: Variabilidad negativa = (1 - p)

E<sup>2</sup>: Error muestral = 0,1<sup>2</sup> = 0,01

Z = 1,96 (nivel de confianza al 95%)

Luego para obtener la muestra óptima se aplicó la formula siguiente:

$$n = \frac{n^{\circ}}{1 + \frac{n^{\circ}}{N}}$$

La muestra mínima evaluada en total fueron 30 tablas de *Apuleia leiocarpa* (Vogel) JF Macbr (ana caspi) para el proceso de secado, siendo 10 tablas por cada troza o árbol.

### **Procedimiento de secado:**

#### *Pre-secado*

Se realizó un pre-secado de 17 días, con apilado horizontal sobre separadores en filas y columnas de 4 por 8 tablas bajo techo con la finalidad de uniformizar la humedad inicial de la madera.



Figura 1 - Tablas de ana caspi en pre-secado.

### *Secado*

Consistió en realizar el calentamiento, el secado propiamente dicho y el enfriamiento. Aquí se apiló la madera, se colocó los 4 sensores en tablas seleccionadas al azar, luego se activó el horno convencional eléctrico y se inició el proceso de secado.

### *Programa de secado*

Para el horno convencional eléctrico Imad Eko 02 - Controlador Nigos MC412, se tomó como referencia el programa 32 de secado de la especie *Hymenaea sp.* (azúcar huayo), especie con densidad básica alta, programa que se registró solo para el inicio una temperatura de 50 °C y un contenido de humedad equilibrio (EMC) de 15% (Rosales, 2019), programándose luego en el tablero de control los parámetros de T° y EMC cada 24 horas por 7 días de acuerdo a la merma del contenido de humedad (CH) de la madera.

### *Cinética del secado convencional*

La curva de secado se realizó con los datos por día de EMC, T° y CH. La velocidad de secado diario se obtuvo empleando la fórmula de Vallejos (Figueroa, 1991):

$$\Phi_{\text{exp}} = \frac{\Delta\text{CH}}{\Delta t}$$

$\Delta\text{CH}$ : variación del contenido de humedad (%).

$\Delta t$ : intervalo de tiempo (h).

$\Phi_{\text{exp}}$ : Velocidad de secado experimental

### *Calidad del secado*

La calidad de secado de las tablas se evaluó de acuerdo a la norma INACAL NTP

251.037; 251.102 y 251.118. Clasificando la clase de madera en base a sus defectos y alabeos:

Abarquillado: la altura máxima del abarquillado se expresa como porcentaje del ancho total de la pieza.

$$\text{Abarquillado} = \frac{H}{a} \times 100$$

- H: altura máxima de la arista cóncava, en milímetros.
- a: ancho de la pieza, en milímetros.

Arqueadura: la altura máxima de la arqueadura se expresa como porcentaje de longitud total de la pieza.

$$\text{Arqueadura} = \frac{H}{L} \times 100$$

- H: altura máxima de la cara cóncava, en milímetros.
- L: longitud de la pieza, en milímetros.

Encorvadura: la altura máxima de la encorvadura se expresa como porcentaje de la longitud total de la pieza.

$$\text{Encorvadura} = \frac{H}{L} \times 100$$

- H: altura máxima del canto cóncavo de la pieza, en milímetros.
- L: longitud de la pieza, en milímetros.

Torcedura: la altura máxima de la torcedura, se expresa como porcentaje de longitud total de la pieza.

$$\text{Torcedura} = \frac{H}{L} \times 100$$

- H: altura máxima de la arista levantada, en milímetros.
- L: longitud de la pieza, en milímetros.

Niveles	Intensidad
A = sin alabeo	0
B = alabeo leve	0,5
C = alabeo leve intenso	1
D = alabeo intenso	1,5

Tabla 1 - Nivel de clasificación de los alabeos.

Fuente: Figueroa, 1991 y NCh 993-E Of.72



Así entonces, en base al cuadro 1, se calculó el índice de alabeos mediante la simple expresión:

$$IA = \frac{nA \times 0 + nB \times 0,5 + nC \times 1 + nD \times 1,5}{N}$$

IA: Índice de alabeos

nA: Número de piezas sin alabeo

nB: Número de piezas con alabeo leve

nC: Número de piezas con alabeo leve - fuerte

nD: Número de piezas con alabeo intenso

N: Número total de piezas evaluadas

#### *Determinación de la calidad y condiciones de secado:*

Para la determinación de la calidad de secado de la madera y programa de secado, se empleó la metodología propuestas por Muñoz (1972), Bravo (1977), Figueroa (1991) y Sepúlveda (2007), la cual se basa en el índice de alabeos, el valor del índice obtenido determinó la calidad y condiciones de secado tabla 2.

CALIDAD DEL SECADO	INDICE	CONDICIONES DE SECADO
Excelente	0	Adecuadas
Muy buena	0,0 a 0,50	
Buena	0,51 a 1,00	
Regular	1,01 a 1,50	Poco adecuadas
Menos que regular	1,51 a 2,00	
Defectuosa	2,01 a 3,0	Inadecuadas
Mala	3,01 a 5,0	
Muy mala	Más de 5,0	

Tabla 2 - Determinación de la calidad y condiciones de secado.

Fuente: Figueroa, 1991 y NCh 993-E Of.72

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la tabla 3 se aprecia el programa piloto de secado generado para la madera de ana caspi. El programa consistió en 4 etapas: Presecado, acondicionamiento, secado, y enfriamiento. El presecado se realizó al aire bajo techo por 17 días; posteriormente la madera se introdujo en el horno eléctrico por 7 días, donde se programaron las etapas de acondicionamiento, secado, y enfriamiento, usando el tablero de control del horno. En la etapa de secado se aplicaron incrementos progresivos de temperatura desde 50 hasta 70 °C, conllevando a una variación de la humedad de la madera desde 80 % a 14,7 %. De igual manera el EMC inició con 15 % y culminó en 3%. Ello difiere del programa de secado para

el shihuahuaco (tablillas) que se secó hasta una humedad final 7% y un EMC 6% (Chambi et al. 2013). Este programa de secado generado comenzó con una disminución fuerte de la humedad de la madera que se dio durante los 3 primeros días, llegando rápidamente por debajo del punto de saturación de las fibras, indicando que este método de secado disminuye el contenido de humedad de la madera a niveles óptimos para su procesamiento y puesta en servicio (Muñoz 2008).

DÍA	ETAPA	DURACIÓN días	TEMPERATURA °C	CH %	EMC %
	Presecado	17	31	80	-
1	Acondicionamiento	0,5	31	80	-
1	Secado	1	50	80	15
2	Secado	1	55	50,5	10
3	Secado	1	65	37,7	6,3
4	Secado	1	70	28	5
5	Secado	1	70	20,5	4
6	Secado	1	70	16,5	3
7	Secado	1	70	< 14,7	3
7	Enfriamiento	0,1	-	-	-

Nota: Duración: Duración de la etapa en horas. T°: Temperatura dentro de la cámara en °C. CH%: Contenido de humedad de la madera en porcentaje. EMC: Contenido de humedad de equilibrio de la cámara en porcentaje.

Tabla 3 - Programa de secado generado para la especie ana caspi.

En la figura 2 se muestra la curva de secado. El CH% promedio final del programa fue alrededor de <14,7 %, siendo el mejor ajuste una regresión logarítmica y  $= -35,89\ln(x) + 78,052$  con un coeficiente  $R^2$  de 0,9941, modelo que predice casi perfectamente el CH% versus el tiempo de secado. Esta ecuación logarítmica es diferente al modelo matemático cuadrático y exponencial encontrado por Chambi et al. (2013) para la especie shihuahuaco, sin embargo, tienen un coeficiente de ajuste semejante, indicando que se puede predecir perfectamente con la regresión encontrada para la especie ana caspi.

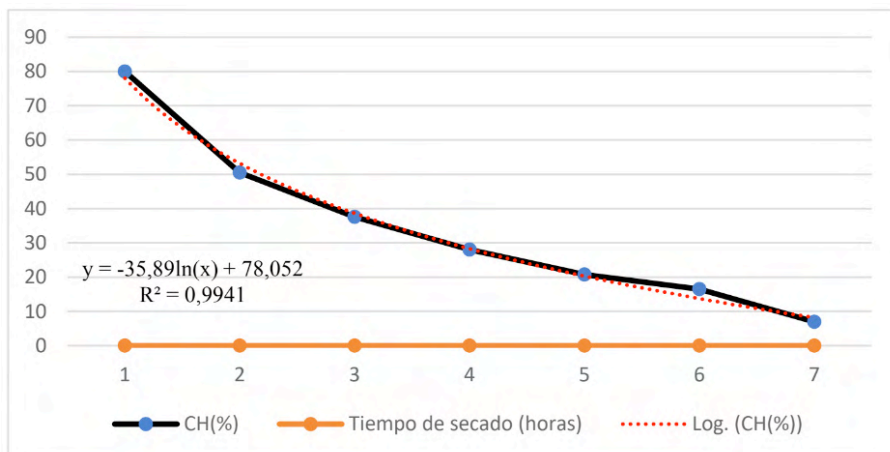


Figura 2 - Curva de secado do programa.

En la tabla 4 se muestra el factor e índice de secado según el programa piloto generado, índice de 0,583 que indica una calidad de secado buena y una condición de secado para la especie *ana caspi* adecuada, el mismo que comparado con la especie *shihuahuaco* la calidad de secado fue menos que regular y una condición poco adecuada (Chambi et al. 2013). Los alabeos más frecuentes fueron clasificados dentro de los leves y leve intenso básicamente para el defecto encorvadura, ello significaría que el secado a altas temperaturas redujo significativamente la formación de alabeos y por ende el tiempo de secado tal como afirman Fuentes (1991); Guerrero (1980); y Pérez et al. (2007), quienes también mencionan que el defecto común en madera es la encorvadura.

Alabeos	Sin defecto	Leve	Leve intenso	Intenso	Total
Abarquillado	30	0	0	0	30
Arquedura	23	7	0	0	30
Encorvadura	16	7	7	0	30
Torcedura	23	7	0	0	30
Total	92	21	7	0	120
Factor	0	10,5	7	0	17,5
Índice	0,583				

Tabla 4 - Calidad de secado según factor e índice de alabeos.

## CONCLUSIONES

La humedad final menor de 14,7 % generada por el programa de secado piloto para madera de la especie *A. leiocarpa*, es una humedad relativamente óptima tomando en

cuenta los 7 días de secado en el horno eléctrico Imad Eko 02 - Controlador Nigos MC412.

El modelo matemático que se ajustó mejor generado por el programa de secado piloto para la madera *A. leiocarpa* fue la regresión logarítmica, ecuación que también predice casi perfectamente el CH%.

La calidad del secado que generó el programa para tablas de la especie *A. leiocarpa* tuvo una calidad de secado buena y una condición de secado adecuada.

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a los estudiantes del curso de secado de la madera semestre 2021-II de la UNAMAD, por su apoyo para realizar esta investigación.

## REFERENCIAS

BOLFOR. (1998). Guía para el secado de la madera en hornos. Recuperado de: <http://bolfor.chemonics.net/DOCUMENT/dt69.pdf>.

Bravo, A. (1977). Comportamiento de *Pino Insigne (Pinus Radiata D DON)*, Bajo dos condiciones de secado por vapor recalentado. (Tesis Profesional). Universidad Austral de Chile. Chile.

Cáceres, N., Moscoso, J., & Lanfranco, L. O. (2008). *Compendio de informacion tecnica de 32 especies forestales tomo II*. Recuperado de: <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/125.pdf>

Chambi Legoas, R., Rosales E., Quispe Gómez, I., Hilares Pimente, V. M. y Casilla A. (2013).

Estudio del secado convencional y rendimiento de *Dipteryx micrantha* Harms, en el aserradero forestal río Piedras S.A.C -Tambopata, Madre de Dios. Recuperado de: <https://journal.ceprosimad.com/index.php/ceprosimad/article/view/8/8>

Figueroa, R. (1991). Secado artificial de madera de coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst), previa aplicación de un pretratamiento de inmersión en agua caliente. (Tesis Ingeniería Forestal). Universidad Austral de Chile. Valdivia Chile.

Fuentes-Salinas, M. 1991. Secado de madera de *Pinus radiata* S. Don impregnada con sales hidrosolubles CCA. Tesis de maestría Universidad Austral de Chile Valdivia, Chile, p 162.

Guerrero, M. G. 1980. Comportamiento de tablas de *Eucaliptos globulus* labill, crecido en Culcura, sometidas a un programa de secado australiano. Convenio UACH/Sociedad Agrícola y Forestal Colcura S. A. Facultad de Ingeniería Forestal. Informe de Convenio No. 25.

INACAL NTP 251.008. (2012). Selección y colección de muestras. Lima, Perú.

INACAL NTP 251.037. (2011). Madera aserrada y cepillada. Dimensiones nominales y requisitos. Lima Perú.

INACAL NTP 251.102. (2012) Madera aserrada. Defectos. Métodos de medición. Lima, Perú.

INACAL NTP 251.118. (2012). Requisitos y clasificación por defectos para madera aserrada. Lima, Perú.

Instituto Nacional de Normalización (INN), NCh 993 E Of. 72. (1972). Madera, procedimiento y criterios de evaluación para Clasificación. Santiago. Chile.

Martínez Poma, D. J. (2013). *Sistema de Automatizado y control del secado de madera para el mercado nacional*. Recuperado de: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/447>

Moscobo, J., & Gutiérrez, C. (2009). *Técnicas de secado de la madera*. Recuperado de: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/571600/03.\\_Técnicas\\_de\\_secado.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/571600/03._Técnicas_de_secado.pdf)

Muñoz Acosta, F. (2008). *Secado de madera aserrada*. Recuperado de: <https://revistas.unapiquitos.edu.pe/ojs-2.4.8-5/index.php/Conocimientoamazonico/article/view/36/60>

Muñoz, R. (1972). Ensayo con tres programas de secado artificial en cinco especies nativas latifoliadas. (Tesis de Ingeniería Forestal). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Pérez P., R.A. Ananías y G. Hernández. 2007. Estudio experimental del secado de renovales de canelo *Drymis winteri*. Maderas, Ciencia y tecnología 9(1):59- 70

Rosales, E. (2019). Manual de horno de secado convencional eléctrico Imad Eko 02 controlador Nigos MC 412. Primera versión. Escuela profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente – UNAMAD. Puerto Maldonado. 15 p.

Sandoval Torres, S. (2009). *Mathematical modeling of the conventional drying of wood*. April, 5–24. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712009000100006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712009000100006&script=sci_arttext)

Sepúlveda, C. (2007). Aplicación de un programa de secado convencional en base a pérdida de humedad para madera de Aromo australiano (*Acacia melanoxylon* R. Brown). (Tesis Ingeniero en maderas). Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alabeos 52, 57, 58, 60

Algoritmo 29, 30, 63, 64, 66, 70, 71, 72

Aparelho de apoio 38

Arte 38, 74, 84, 87, 88

AVO 91, 92, 93, 94, 95, 102, 103

### C

Canteiro de obra 14, 15, 18

Cinética de secado 52

Covilhã 74, 75, 76, 79, 83, 88, 89, 90

Cultura 23, 74, 88

### D

Defectos de secado 52

Dinamômetro 63, 64, 66, 68, 72

### F

Fibra de carbono 38, 44, 48, 49, 50

### H

Humedad de la madera 52, 53, 54, 58, 59

### I

Indústria 2, 24, 74, 75, 78, 79, 80, 83, 88, 90

### L

Linguagem 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 63, 64, 68, 71

### M

Módulo de controle 63, 64, 66, 68, 70

Monteiro-PB 14, 15

### N

Neguentropia 1, 2, 7, 9, 12, 13

### P

Petróleo 92, 96, 102, 103

Ponte 38, 39, 41, 42, 44, 45, 50, 51

Programas de secado 52, 62

Protensão externa 38, 44, 45, 50, 51

## **R**

Redes neurais artificiais 25, 28, 29, 30, 36, 37

Reforço 38, 39, 42, 44, 48, 49, 50, 51

Refrigeração 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13

Requalificação 74, 87, 89, 90

Robótica 24, 25, 26, 27, 29, 30, 36

## **S**

Sísmica 92

Sociolinguística 14, 15, 17, 18

## **T**

Termoeconomia 1, 5, 7, 13

## **V**

Visão computacional 25, 26, 27, 30, 36


# ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 2

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 







# ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 2

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 