

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
JOÃO DALLAMUTA  
(Organizadores)

# ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
JOÃO DALLAMUTA  
(Organizadores)

# ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias



**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

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-Não-Derivativos 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

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57    Engenharia: criação e repasse de tecnologias /  
Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João  
Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0039-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.394222803>

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz  
(Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. 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

Na sociedade atual, onde cada vez mais se necessita de informações rápidas e eficientes, o repasse de tecnologias é uma das formas mais eficazes de se obter novas tendências mundiais. Neste cenário destaca-se as engenharias, as quais são um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria contínua de processos.

Estudar temas relacionados a engenharia é de grande importância, pois desta maneira pode-se aprimorar os conceitos e aplicar os mesmos de maneira mais eficaz. O aumento no interesse 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.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

ESTUDO DE NOVAS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS PARA AS HABITAÇÕES RIBEIRINHAS NO MUNICÍPIO DE AQUIDAUANA – MS

Vitória Barros de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228031>

### **CAPÍTULO 2..... 7**

ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE INFILTRAÇÃO ASSOCIADAS AO SISTEMA CONVENCIONAL DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL EM UM LOTEAMENTO DA CIDADE DE CATALÃO-GO

Eliane Aparecida Justino

Everton Vieira de Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228032>

### **CAPÍTULO 3..... 22**

ANÁLISE ESTRUTURAL EM FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Davidson de Oliveira França Júnior

Michele Martins Arruda

Jéssica Ferreira Borges

Paola Mundim de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228033>

### **CAPÍTULO 4..... 41**

ONDE O EDIFÍCIO E A CIDADE SE ENCONTRAM: CONEXÕES NA ORLA DE MACEIÓ-AL

Morgana Maria Pitta Duarte Cavalcante

Matheus Santana Correia

Luanne de Andrade Brandão

Sarah Pace

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228034>

### **CAPÍTULO 5..... 55**

GESTÃO DE OBRAS RESIDENCIAIS EM CONDOMÍNIO DE CASAS: ESTUDO DE CASO

Maria Aridenise Macena Fontenelle

Érica Karine Filgueira Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228035>

### **CAPÍTULO 6..... 63**

AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA SENSÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTE EXTERNO UNIVERSITÁRIO

Betty Clara Barraza de La Cruz

Lilian dos Santos Fontes Pereira Bracarense

Fernanda Martins Milhomem

Isabela Maciel Macedo  
Laís Carolina dos Santos Mota  
Eduardo Castro Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228036>

**CAPÍTULO 7..... 76**

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS DE UM PAINEL PRÉ-MOLDADO**

Aline Islia Almeida de Sousa  
Adeildo Cabral da Silva  
João Paulo Sousa Costa de Miranda Guedes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228037>

**CAPÍTULO 8..... 92**

**ESTUDO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS PARA A DETERMINAÇÃO DE <sup>226</sup>Ra E <sup>228</sup>Ra EM AMOSTRAS SÓLIDAS AMBIENTAIS**

Aluísio de Souza Reis Júnior  
Geraldo Frederico Kastner  
Renata Dias Abreu Chaves  
Roberto Pellacani Guedes Monteiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228038>

**CAPÍTULO 9..... 99**

**ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA, MÉTODO K<sub>0</sub>, NA DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM GRÃOS DE MILHO**

Wellington Ferrari da Silva  
Renata Priscila de Oliveira Paula  
Dayse Menezes Dayrell

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228039>

**CAPÍTULO 10..... 108**

**DATA SCIENCE PARA MULTI-PREVISÃO: APLICADO A PROTEÇÃO DE FURTO DO TRANSPORTE DUTOVIÁRIO DE PETRÓLEO E DERIVADOS**

Renivan Costa da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280310>

**CAPÍTULO 11 ..... 126**

**DYNAMIC FUZZY COGNITIVE MAPS DEVELOPMENT TECHNIQUE INSPIRED IN ANT COLONY OPTIMIZATIONS, SWARM ROBOTICS, AND SUBSUNCTION ARCHITECTURE**

Márcio Mendonça  
Marta Rúbia Pereira dos Santos  
Fábio Rodrigo Milanez  
Wagner Fontes Godoy  
Marco Antônio Ferreira Finocchio  
Carlos Renato Alves de Oliveira  
Mario Suzuki Junior  
Ricardo Breganon

Francisco de Assis Scannavino Junior  
Lucas Botoni de Souza  
Michele Eliza Casagrande Rocha  
Vicente de Lima Góngora

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280311>

**CAPÍTULO 12..... 140**

PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO DISTRIBUÍDA DE UM BANCO DE TRANSFORMADORES REGULADORES USANDO A NORMA IEC 61499

Marcos Fonseca Mendes  
Bruna Pletikoszits Andrade Parcianello

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280312>

**CAPÍTULO 13..... 155**

ANTENA DE MICROFITA COM *PATCH* EM ESPIRAL DE ARQUIMEDES *DUAL-BAND* EM 2,45 GHZ E 5,8 GHZ

Rafael Alex Vieira do Vale  
Idalmir de Souza Queiroz Júnior  
Humberto Dionísio de Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280313>

**CAPÍTULO 14..... 167**

REDUÇÃO DE CAPEX E OPEX COM A GESTÃO INTEGRADA DO INVENTÁRIO DE TELECOMUNICAÇÕES

Eduardo Camargo Langrafe  
Cristiano Henrique Ferraz  
Eduardo Vasconcelos Lopes Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280314>

**CAPÍTULO 15..... 179**

APLICAÇÃO DE ÁRVORES DE DECISÃO EM UM BANDO DE DADOS PARA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM MEDIDORES INTELIGENTES

Marcel Ayres de Araújo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280315>

**CAPÍTULO 16..... 195**

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO USO DE LÂMPADAS UV-C EM SERPENTINAS DE RESFRIAMENTO

Andressa Paes Pereira  
Alexandre Fernandes Santos  
Ariel Dov Ber Gandelman  
Eliandro Barbosa de Aguiar  
Heraldo José Lopes de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280316>

**CAPÍTULO 17.....203**

KILOMETRAJE RECORRIDO, DESGASTE DE RUEDAS Y FRENOS EN BOGÍES DE TRANSMISIÓN Y REMOLQUE EN TRENES ELÉCTRICOS

Gustavo David Valera Mendoza

Gianni Michael Zelada García

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280317>

**CAPÍTULO 18.....219**

NOVAS METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÕES ACÚSTICAS – INFRASSONS E RUÍDO DE BAIXA FREQUÊNCIA

Huub H.C. Bakker

Mariana Alves-Pereira

Richard Mann

Rachel Summers

Philip Dickinson

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280318>

**CAPÍTULO 19.....234**

PROPAGAÇÃO DE ONDAS EM UM CRISTAL FONÔNICO COM DEFEITOS

Hélio Vitor Cantanhede da Silva

Hudson Douglas Silva Morais

Edson Jansen Pedrosa de Miranda Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280319>

**CAPÍTULO 20.....242**

OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS TÉRMICAS DE SOLIDIFICAÇÃO E ANÁLISE DE MICROESTRUTURA DA LIGA DE ALPACA 2 C/ Pb

Márcio Valério Rodrigues de Mattos

Rogério Teram

Maurício Silva Nascimento

Vinicius Torres dos Santos

Marcio Rodrigues da Silva

Antonio Augusto Couto

Givanildo Alves dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280320>

**CAPÍTULO 21.....256**

SÍNTESE DE FILMES DE ÓXIDO DE ZINCO DOPADOS COM NANOPARTÍCULAS DE PRATA APLICADOS EM SENSORES DE GÁS

Luana Martins de Carvalho

César Renato Foschini

Kléper Rocha

Carlos Eduardo Cava

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280321>

<b>CAPÍTULO 22.....</b>	<b>270</b>
THERMAL ANNEALING EFFECTS ON SOL-GEL SYNTHESIZED $\text{Cu}_2\text{O}$ NANOPARTICLES	
Angela Alidia Bernal Cárdenas	
José Pedro Mansueto Serbena	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280322">https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280322</a>	
<b>CAPÍTULO 23.....</b>	<b>276</b>
GESTÃO ESTRATÉGICA DAS TECNOLOGIAS COGNITIVAS: UMA PESQUISA EXPLORATÓRIA NA ÁREA DA SAÚDE	
Gerson Tolentino Galvão Leite Andrade	
Getúlio Kazue Akabane	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280323">https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280323</a>	
<b>CAPÍTULO 24.....</b>	<b>301</b>
CARACTERIZAÇÃO DO DESIGN COMO FACILITADOR DA INOVAÇÃO RADICAL	
Ruth Matovelle Villamar	
Manuel Lecuona Lopez	
Adriana Gonzalez Hernández	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280324">https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280324</a>	
<b>CAPÍTULO 25.....</b>	<b>314</b>
BANDEIRA TÊXTIL DA TECIDOTECA: ANÁLISE POR DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E ALONGAMENTO DO TECIDO JEANSWEAR	
Ronaldo Salvador Vasques	
Fabrício de Souza Fortunato	
Márcia Regina Paiva de Brito	
Natani Aparecida do Bem	
Elaine Regina Brito Maia	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280325">https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280325</a>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>326</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>327</b>

## OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS TÉRMICAS DE SOLIDIFICAÇÃO E ANÁLISE DE MICROESTRUTURA DA LIGA DE ALPACA 2 C/ PB

Data de aceite: 01/03/2022

Data de submissão: 19/01/2022

### Márcio Valério Rodrigues de Mattos

Instituto Federal de São Paulo  
São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/1894733442669273>

### Rogério Teram

Instituto Federal de São Paulo  
São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/4022090335939212>

### Maurício Silva Nascimento

Instituto Federal de São Paulo  
São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/0654610769101785>

### Vinicius Torres dos Santos

Termomecanica São Paulo S.A  
São Bernardo do Campo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/5999855342195422>

### Marcio Rodrigues da Silva

Termomecanica São Paulo S.A  
São Bernardo do Campo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/8275374225297308>

### Antonio Augusto Couto

Universidade Presbiteriana Mackenzie  
São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/2893737202813850>

### Givanildo Alves dos Santos

Instituto Federal de São Paulo  
São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/0046237693009702>

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho é determinar experimentalmente as variáveis térmicas de solidificação e analisar a microestrutura da liga Alpaca 2 c/ Pb, obtida após a solidificação unidirecional ascendente. A liga foi solidificada em uma lingoteira de aço inoxidável AISI 304 montada em um dispositivo de resfriamento unidirecional ascendente. O calor foi extraído direcionalmente através de refrigeração por água na chapa base fabricada em grafite.. As variáveis térmicas de solidificação velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* ( $V_L$ ), taxa de resfriamento ( $T_R$ ) e gradiente térmico ( $G_L$ ) foram avaliadas em função da distância da superfície de extração de calor. A microestrutura foi analisada por meio de microscopia óptica (MO). Como resultado, observou-se que maiores taxas de resfriamento e velocidades de deslocamento da isoterma *liquidus* são obtidas nas posições mais próximas da base de extração de calor, e a presença de chumbo disperso na microestrutura resultante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Alpaca 2 c/ Pb, Microestrutura, Variáveis térmicas de solidificação.

### SOLIDIFICATION THERMAL VARIABLES OBTAINING AND MICROSTRUCTURE ANALYSIS OF ALPACA 2 ALLOY C/PB

**ABSTRACT:** The objective of this work is to experimentally determine the thermal variables of solidification and analyze the microstructure of the Alpaca 2 w/Pb alloy obtained after the upward unidirectional solidification. The alloy was solidified in an AISI 304 stainless steel ingot

mold mounted on a unidirectional upward cooling device. The heat was extracted directionally through water cooling on the base plate made of graphite. The thermal variables of solidification tip growth rate ( $V_L$ ), cooling rate ( $T_R$ ) and thermal gradient ( $G_L$ ) were evaluated as a function of the distance from the heat extraction surface. The microstructure was analyzed using optical microscopy (OM). As a result, it was observed that higher cooling rates and displacement velocities of the *liquidus* isotherm are obtained in positions closer to the heat extraction base, and the presence of lead dispersed in the resulting microstructure.

**KEYWORDS:** Alpaca 2 w/ Pb, Microstructure, Solidification thermal variables.

## 1 | INTRODUÇÃO

A fundição de metais é um importante processo na obtenção dos mais variados itens do nosso dia a dia. Porém, controlar somente o processo de fusão dos metais não garante o resultado esperado ao produto final. Há que se ter também um controle durante o processo de solidificação desses metais. O estudo do processo de fusão aliado ao de solidificação assegura ao produto final melhores propriedades mecânicas em função de microestruturas resultantes (TERAM, 2019).

O cobre e as ligas à base de cobre, que apresentam uma combinação desejável de propriedades físicas têm sido utilizados em uma grande variedade de aplicações desde a antiguidade. O cobre, sem elementos de liga, é tão dúctil que é muito difícil de ser usinado; além disso, ele tem capacidade quase ilimitada de ser trabalhado a frio. Adicionalmente, ele é altamente resistente à corrosão em diversos ambientes, que incluem a atmosfera ambiente, a água do mar e alguns produtos químicos industriais. As propriedades mecânicas e de resistência à corrosão do cobre podem ser melhoradas pela formação de ligas (CALLISTER, 2012, p.347). Os sistemas de ligas são classificados ou de acordo com seu metal básico ou de acordo com alguma característica específica que seja compartilhada por um grupo de ligas (CALLISTER, 2012, p.347).

Alpacas são ligas ternárias cobre-níquel-zinco, que eventualmente podem conter teores significativos de outros elementos, como o chumbo, por exemplo. Estas ligas contêm de 10 a 30% de níquel, em massa, porém comercialmente em geral contêm até 18% de níquel, 45 a 70% de cobre e o restante de zinco.

As Alpacas são soluções sólidas homogêneas que podem ser deformadas a frio e a quente, além de serem resistentes à corrosão. A adição de chumbo, além de aumentar a usinabilidade, permite o uso das Alpacas para a fabricação de materiais para gravação com fins decorativos. Além de serem trabalhadas na forma de produtos planos, arames e barras, as placas podem ser fundidas para outras aplicações, como válvulas hidráulicas. As Alpacas com chumbo fundidas em areia podem ser usadas na fabricação de equipamentos para a indústria de laticínios, válvulas e assentos de válvulas para temperaturas elevadas, instrumentos musicais, chaves, acessórios de construção naval, peças ornamentais e outros tipos de aplicações. Outras aplicações importantes das Alpacas estão na fabricação

de zíper e de contatos de equipamentos elétricos e telefônicos, componentes de aparelhos óticos e fotográficos, assim como arames de resistores elétricos (INFOMET, 2021).

Devido a trabalhos e estudos já desenvolvidos, sabe-se que o controle das variáveis térmicas de solidificação definirá as características do produto final através da microestrutura obtida após a solidificação (GOULART, 2005). As microestruturas que se formam durante a solidificação podem apresentar morfologias e dimensões diferentes que variam em função da taxa de resfriamento, influenciando diretamente nas propriedades mecânicas do material (MOREIRA, 2011).

Este trabalho tem como foco determinar experimentalmente variáveis térmicas de solidificação da liga Alpaca 2 c/ Pb e analisar a microestrutura resultante. A referida liga tem como elementos de liga Cu-Ni-Zn, sendo classificada segundo o sistema de numeração unificada UNS como C7XXXX.

A tabela 1 apresenta a composição química e limites percentuais da liga Alpaca 2 c/ Pb.

Liga	Norma	Elementos (% em massa)					
		Cu	Pb	Fe	Zn	Ni	Mn
Alpaca 2 c/ Pb C78200	ASM	63,0 a 67,0	1,5 a 2,5	0,35 máx.	restante	7,0 a 9,0	0,5 máx.

Tabela 1: Composição química e limites percentuais.

Fonte: Adaptado de ASM METALS HANDBOOK, 1992.

A tabela 2 apresenta as propriedades físicas e mecânicas da liga Alpaca 2 c/ Pb.

Propriedades	Valores
Temperatura <i>liquidus</i>	1.000 °C (1830 ° F)
Temperatura <i>solidus</i>	970 °C (1780 ° F)
Temperatura de recozimento	500 a 620 °C (930 a 1150 ° F)
Coeficiente de expansão térmica linear	18,5 m / m K (10,3 pol./pol. ° F) a 20 a 100 ° C (68 a 212 ° F)
Calor específico	380 J / kg K (0,09 Btu / lb ° F) a 20 ° C (68 ° F)
Condutividade térmica	48 W / m K (28 Btu / ft h ° F) a 20 ° C (68 ° F)
Massa específica	8,69 g/cm <sup>3</sup> (0,314 lb / pol. <sup>3</sup> ) a 20 ° C (68 ° F)

Tabela 2: Propriedades físicas e mecânicas da liga Alpaca 2 c/ Pb [6].

Fonte: adaptado de ASM METALS HANDBOOK, 1992.

## 2 | APARATO EXPERIMENTAL

Utilizado na solidificação da liga (Figura 1). Trata-se de um forno elétrico desenvolvido pelo grupo de pesquisa em solidificação do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), com

12 kW de potência e capaz de atingir temperaturas de até 1.100 °C.

O forno possui estrutura metálica com formato cilíndrico e resistências elétricas para aquecimento do forno, que estão embutidas no material refratário. No interior no forno há um termopar responsável pela medição da temperatura interna do dispositivo. Esse termopar está conectado ao painel de controle do equipamento, onde em um display indicativo da temperatura pode-se aumentá-la ou diminuí-la.

Na parte interna do equipamento há um arranjo tubular responsável em prover a refrigeração da lingoteira pela base. Essa base tubular tem como função apoiar a lingoteira além de permitir a saída da água após refrigeração. Dentro dessa estrutura, há um outro tubo que conduz a água que irá resfriar a chapa molde (base da lingoteira).

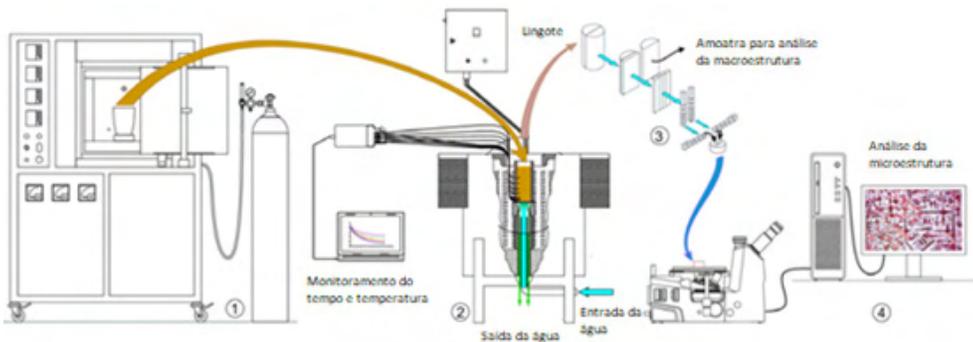


Figura 1 – Diagrama do Aparato Experimental: (1) Preparação da Liga no Forno de Fusão, (2) Solidificação Unidirecional com Monitoramento de Tempo e Temperatura, (3) Preparação de Amostras e (4) Análise da Microestrutura.

Fonte: Adaptado de CRUZ, 2020.

Na Figura 2 é apresentado o dispositivo utilizado no processo de solidificação unidirecional ascendente, que é o item 2 da figura 1.

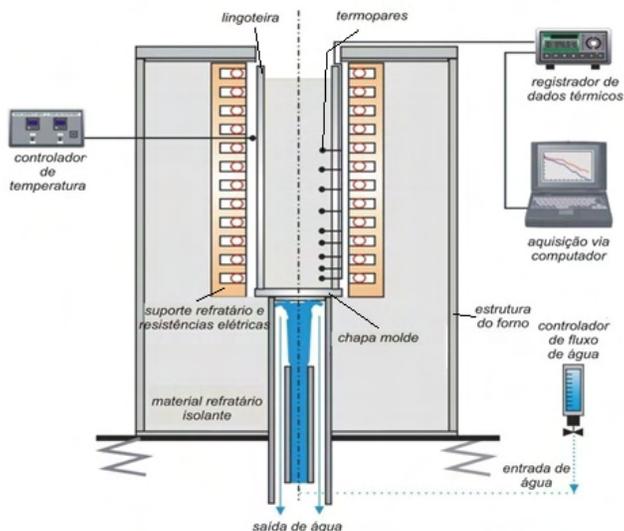


Fig. 2 - Esquemática do dispositivo de solidificação unidirecional ascendente.

Fonte: SANTOS, 2009.

A figura 3 traz o detalhamento do sistema de resfriamento da lingoteira.

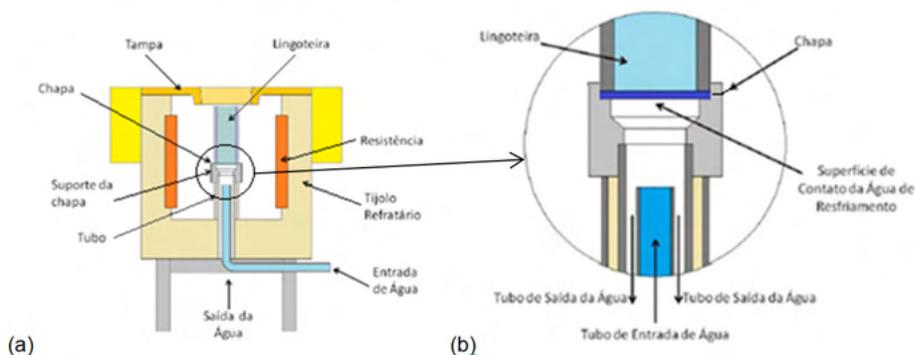


Figura 3 – (a) Esquema do dispositivo para solidificação unidirecional ascendente; (b) Detalhe da região de resfriamento da lingoteira.

Fonte: NASCIMENTO, 2016.

### 3 I METODOLOGIA

O planejamento da pesquisa experimental implica no desenvolvimento de uma série de passos (etapas):

- Preparação da lingoteira e demais componentes do experimento;
- Preparação da liga em estudo; e

- Processo de vazamento e realização da análise metalográfica: macrografia e microestrutura.

O lingote resultante do processo de solidificação sofreu dois cortes longitudinais, conforme Fig. 4, e perpendiculares aos termopares, resultando em três partes, uma central para obtenção de amostras para micrografia e mais duas outras, sendo que a parte do lado dos termopares foi utilizada para a macrografia.

A superfície plana do lingote destinada para a macrografia foi lixada com lixas d'água até 600 mesh e posteriormente atacada quimicamente por aproximadamente 12 segundos com uma solução composta por 50% de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e 50% de água (H<sub>2</sub>O).

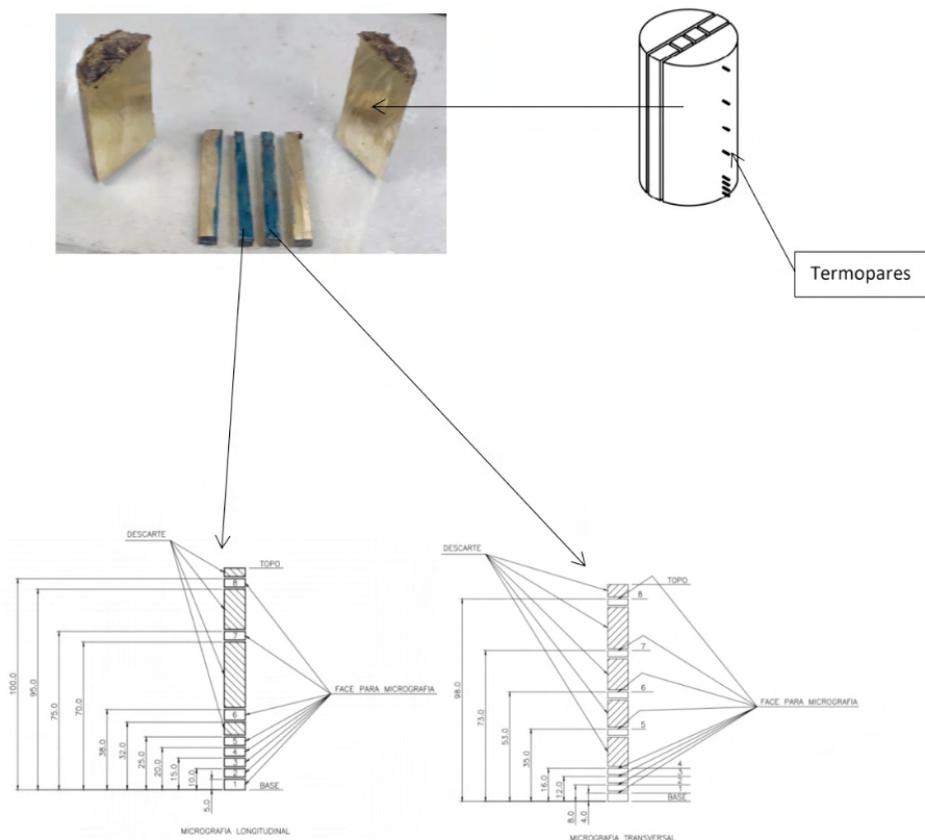


Fig. 4 – Esquema dos cortes realizados no lingote para confecção das amostras para análises.

### 3.1 Micrografia

Em relação às amostras para análise micrográfica (Figura 5), após corte e lixamento prévio da face a ser analisada foram embutidas em baquelite e identificadas na base, considerando-se uma fenda na parte inferior do embutimento e uma identificação na face

superior para as posições das amostras 1, 2, 3 e 4 do termopar, duas fendas na parte inferior do embutimento e uma identificação na face superior para as posições 5, 6, 7 e 8 do termopar, tanto para a micrografia transversal quanto para a micrografia longitudinal.

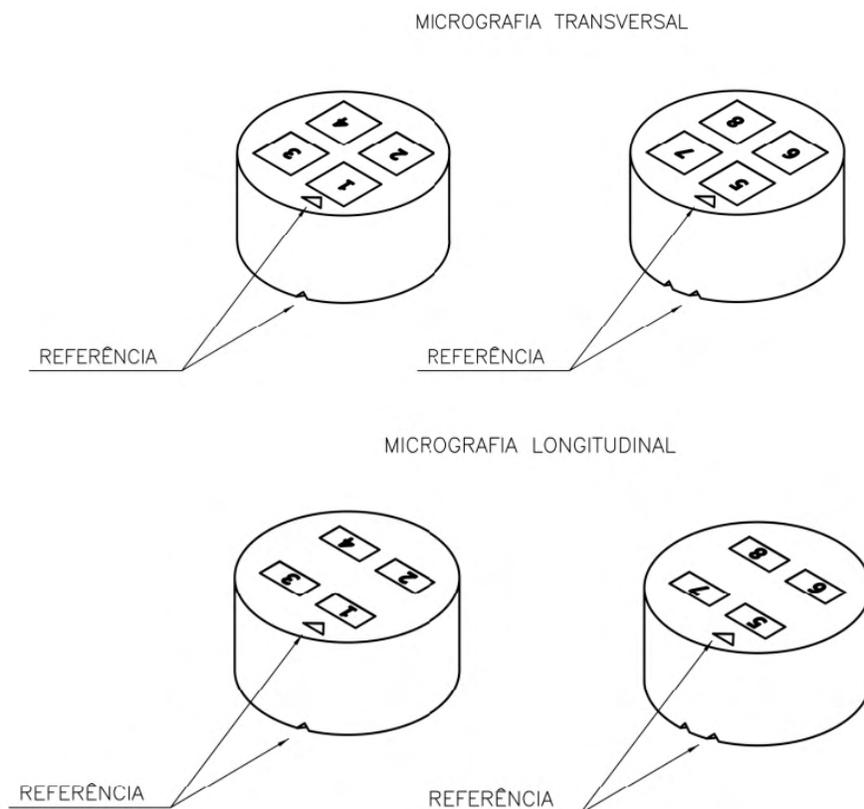


Figura 5 – Embutimento e identificação das amostras para micrografia.

Tanto para micrografia longitudinal quanto para a transversal, as amostras passaram por lixamento e polimento, seguido de ataque químico composto por 50% de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e 50% de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência são apresentados e discutidos os resultados obtidos em termos de variáveis térmicas de solidificação e estrutura (macro e micro) resultante nos experimentos de solidificação realizados na liga Alpaca 2 c/Pb.

## 4.1 Variáveis Térmicas de Solidificação

A partir do arquivo gerado pelo sistema de aquisição de dados durante o processo de solidificação da liga, pode-se obter a curva de resfriamento por termopar, mostrada na Fig. 6.

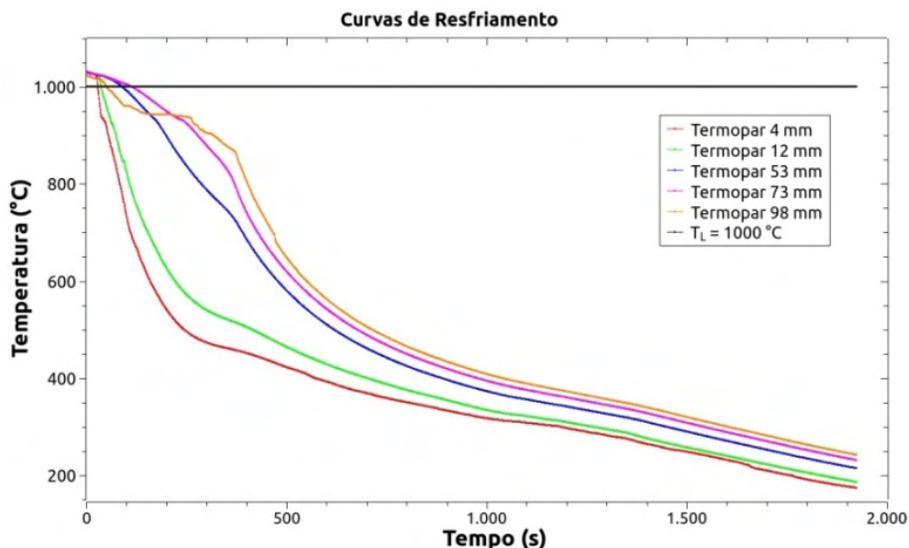


Fig 6 - Curvas de resfriamento por termopar: Temperatura em função do Tempo.

Os valores apresentados nos gráficos a seguir foram obtidos pelo método dos mínimos quadrados usando o software SCIDAVIS. Os termopares das posições 8 mm, 16 mm e 35 mm apresentaram dados anormais e não puderam ser analisados. Além desses, o termopar da posição 98 mm também apresentou uma curva atípica e não foi considerado nas análises das curvas de resfriamento, contudo, não comprometendo a análise dos resultados.

Com os registros das curvas de resfriamento é possível determinar os tempos de passagem da isoterma *liquidus* ( $t_L$ ) em função das posições dos termopares. Com isso, é possível obter equações experimentais que permitem a sua estimativa nos demais pontos do lingote e que pode ser representada pela equação 1:

$$P=C.(t_L)^n \quad (\text{Equação 1})$$

em que P é a posição em relação ao ponto de resfriamento (mm), C é a constante para a liga em estudo, resultante de coeficientes da equação,  $t_L$  é o tempo de passagem da isoterma *liquidus* na posição em relação ao ponto de resfriamento (s) e n é o expoente com

valor sempre menor que uma unidade.

Por meio dos dados obtidos durante a solidificação do lingote e tendo como referência a temperatura *liquidus* da liga de 1.000 °C, obteve-se o gráfico e a equação mostrados na Fig. 7.

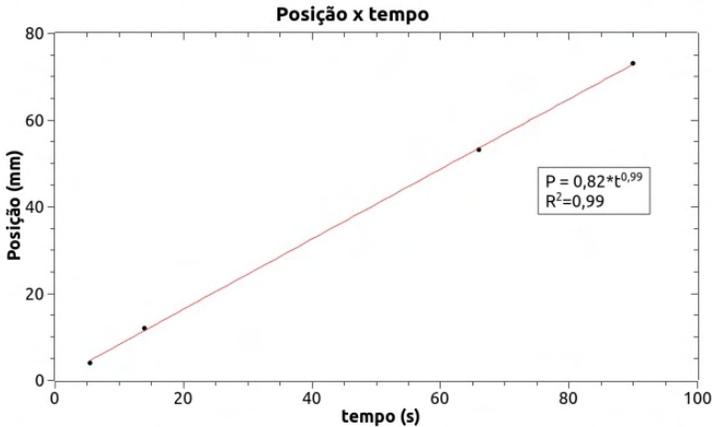


Fig. 7 – Posição em função do tempo de passagem da isoterma *liquidus*.

A velocidade experimental de deslocamento da isoterma *liquidus* ( $V_L$ ) pode ser determinada derivando-se a função  $P = f(t)$  obtida experimentalmente e mostrada na Fig. 8, ou seja,  $V_L = dP/dt$ . Relacionando-se a função  $V_L = f(t)$  com  $P = f(t)$  pode-se obter a velocidade em função da posição,  $V_L = f(P)$ . A curva da Fig. 8 mostra que nas posições iniciais houve uma velocidade maior de extração de calor.

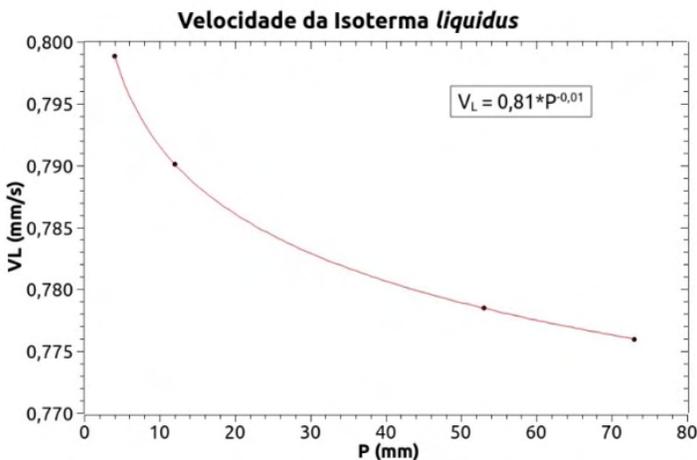


Fig. 8 – Velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* em função da Posição.

A taxa de resfriamento ( $T_R$ ) pode ser obtida por meio do quociente das temperaturas e tempos inferiores e superiores ao ponto da temperatura liquidus, ou seja,  $TR = dT/dt$ . Portanto, obtém-se:

$$T_R = \quad \quad \quad \text{(Equação 2)}$$

A Fig. 9 mostra uma diminuição progressiva da taxa de resfriamento para as posições mais afastadas da interface metal/molde.

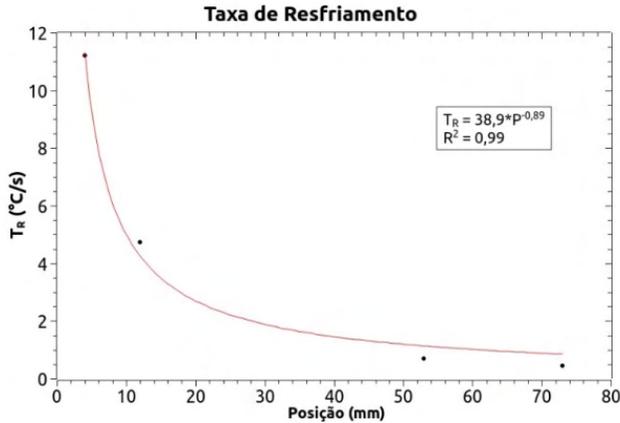


Fig. 9 – Taxa de resfriamento em função da Posição.

O gradiente térmico ( $G_L$ ) pode ser obtido por meio dos valores de velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* ( $V_L$ ) e da taxa de resfriamento experimental ( $T_R$ ), conforme a equação experimental  $G_L = T_R/V_L$  (Fig.10).

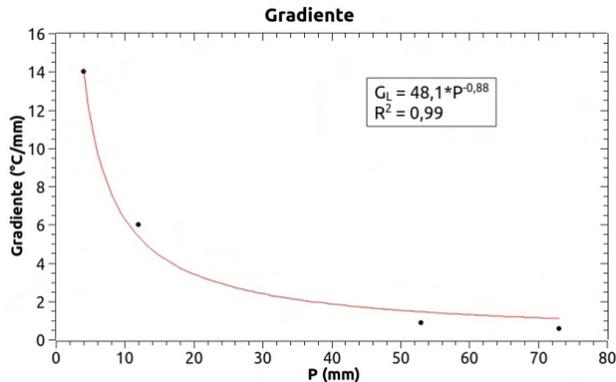


Fig. 10 – Gradiente térmico em função da Posição.

Com o avanço do processo de solidificação e o aumento da camada solidificada aumenta também a resistência térmica nos pontos mais distantes da interface metal/molde. A Fig. 10 ratifica essa relação, observando-se a redução dos valores de gradiente térmico em função do distanciamento do ponto de resfriamento.

## 4.2 Macrografia

Em análise macroscópica, pode-se observar a formação de uma estrutura colunar predominante ao longo do lingote, conforme mostrado na Figura 11.

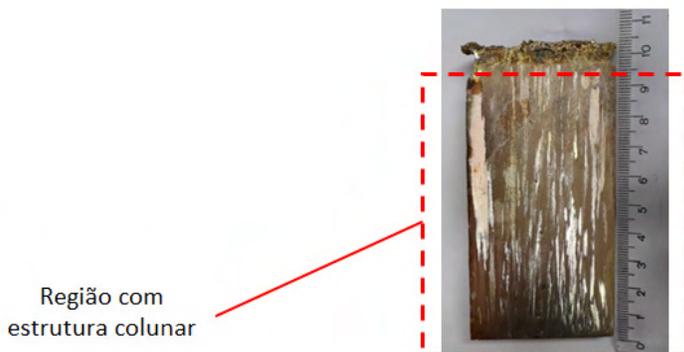


Fig. 11 – Macrografia da amostra.

## 4.3 Micrografia longitudinal

Nas micrografias na direção longitudinal mostradas na Figura 12, a posição adotada utiliza a base de resfriamento do lingote como referência. No momento das análises, o laboratório estava com as seguintes condições ambientais, temperatura de 22,3°C e umidade de 45%. Nota-se a formação de estrutura dendrítica com orientação colunar e a presença de chumbo disperso na microestrutura resultante.

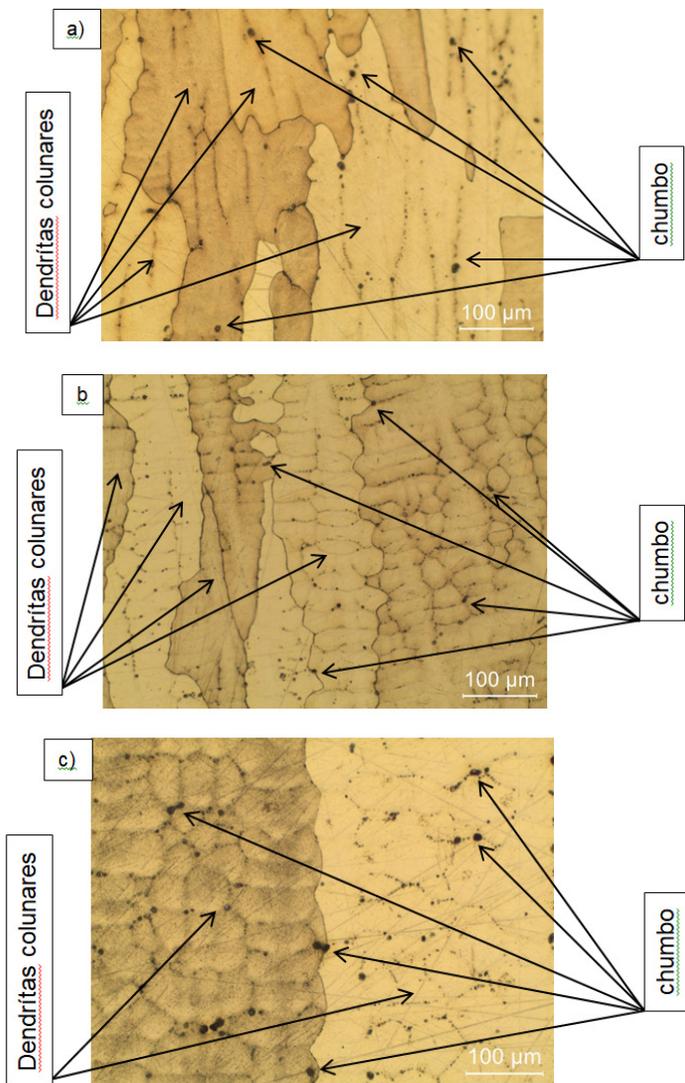


Figura 12 – Micrografia longitudinal, a) Amostra 1, Pos. 0 – 5mm; b) Amostra 3, Pos. 10 – 15mm e c) Amostra 7, Pos. 70 – 75mm, onde observa-se estrutura bruta de fusão com dendritas colunares e presença de chumbo dispersos na estrutura.

#### 4.4 Micrografia transversal

Na Figura 13 são mostradas micrografias na direção transversal. A posição mostrada utiliza a base de resfriamento do lingote como referência. No momento das análises o laboratório estava com as seguintes condições ambientais, temperatura de 23,4°C e umidade de 54%. Nota-se a formação de estrutura dendrítica com orientação equiaxial e a presença de chumbo disperso na microestrutura resultante.

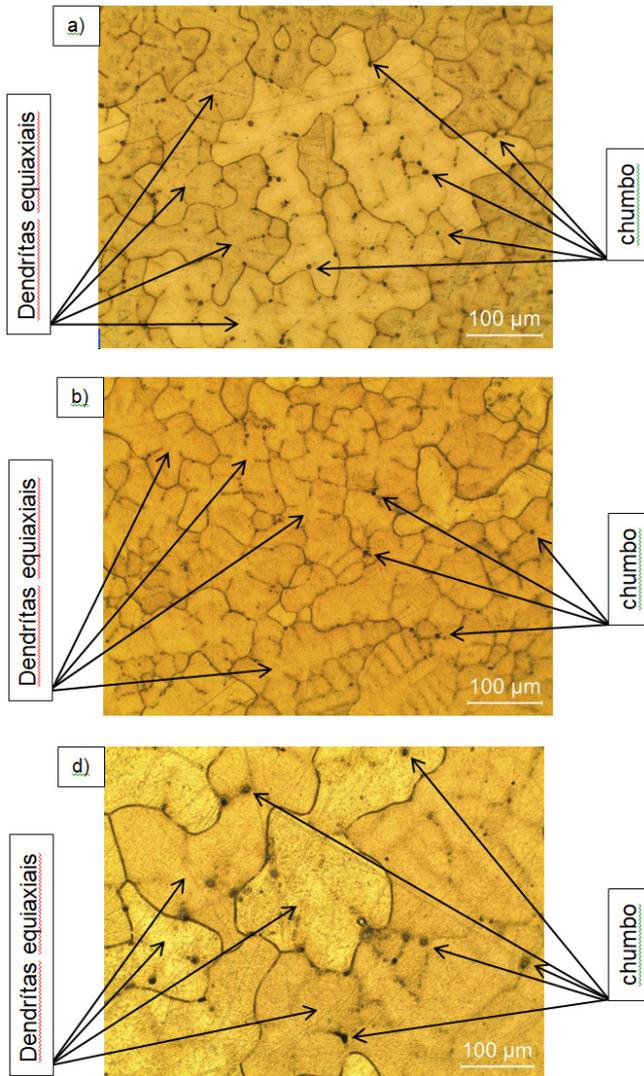


Figura 13 – Micrografia transversal, a) Amostra 1, Pos. 4mm; b) Amostra 3, Pos. 12mm e d) Amostra 7, Pos. 73mm, onde observa-se estrutura bruta de fusão com dendritas equiaxiais e presença de chumbo dispersos na estrutura.

## 5 | CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, nota-se que os valores da velocidade de deslocamento da isoterma  $liquidus$  ( $V_l$ ), da taxa de resfriamento ( $T_R$ ), do gradiente térmico ( $G_l$ ) são maiores para as posições mais próximas da superfície de troca de calor.

As amostras na direção longitudinal apresentaram estrutura bruta de fusão com dendritas colunares e presença de chumbo disperso na microestrutura e na direção transversal apresentaram estrutura bruta de fusão com dendritas equiaxiais e presença de

chumbo também disperso na microestrutura.

## AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP; à Universidade Presbiteriana Mackenzie; e à Termomecânica São Paulo S.A. pelo apoio às atividades de pesquisa desenvolvidas.

## REFERÊNCIAS

ASM METALS HANDBOOK. **Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials**. Vol. 2. ASM International: Novaty, OH, USA, 1992.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 912 p

CRUZ, R. A. DA. **Microstructural Characterization and Mathematical Modeling for Determination of Volume Fraction of Eutectoid Mixture of the Cu-8.5wt% Sn Alloy Obtained by Unidirectional Upward Solidification**. *Materials Science Forum*, 2020.

GOULART, P. R. **Variáveis térmicas de solidificação, microestrutura e propriedades mecânicas de ligas hipoeutéticas Al-Si**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP-FEM-DEMA, Campinas, 2005.

INFOMET. Metais e Ligas – Cuproníquel e Alpaca. Disponível em: <https://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=66> Acessado em: 13/07/2021.

MOREIRA, P. S. **Efeito da taxa de resfriamento e dos tratamentos térmicos sobre as propriedades mecânicas da liga Al-Si-Mg (A356.0) fundida**. Dissertação (Mestrado) – REDEMAT, Ouro Preto, 2011.

NASCIMENTO, M. S. **Análise microestrutural da liga Al-10Si-2Cu (%p) e a correlação com variáveis térmicas de solidificação e resistência mecânica**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2016.

SANTOS, G. A. **Correlação entre variáveis térmicas de solidificação, microestrutura e comportamento mecânico de ligas Al-Zn e Al-Cu-Li**. Tese (Doutorado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, 2009.

TERAM, R. **Influência das variáveis térmicas de solidificação na microestrutura e dureza da liga Cu-14Al-5Ni-5Fe**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2019.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aerogeradores 219  
Agentes de navegação cooperativos 127  
Alpaca 242, 243, 244, 248, 255  
Análise por ativação neutrônica 99, 100, 105, 106  
Antena de Microfita 155, 158  
Antena Espiral 155, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 164  
Arquitetura de subsunção 127  
Árvores de decisão 109, 111, 117, 125, 179, 180, 181, 182, 189  
Assinatura acústica 219, 228, 229, 230  
Automação distribuída 140, 142

### B

Bandeiras têxteis 314, 324, 325

### C

Capex 167, 168  
Cidade 1, 2, 3, 5, 6, 7, 20, 21, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 53, 54, 55, 56, 58, 63, 64, 65, 66, 73, 75, 80, 99, 315  
Conexão 41, 42, 43, 48, 175, 176, 177, 183, 296  
Conexões 41, 66, 142, 149, 167, 172, 174, 175, 176, 177  
Conforto térmico 63, 64, 65, 66, 69, 70, 71, 73, 74, 75  
Construção 1, 3, 26, 42, 44, 50, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 76, 77, 79, 80, 84, 88, 89, 90, 91, 150, 168, 169, 243, 294, 295, 324  
Construção Civil 55, 56, 57, 58, 61, 62, 76, 77, 80, 88, 89, 90, 91  
Controladores lógicos programáveis 140, 141  
Controle 7, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 109, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 150, 151, 152, 153, 154, 170, 180, 243, 244, 245, 260, 281, 287  
Cristais fonônicos 234, 236  
Custos 55, 62, 108, 167, 168, 169, 170, 171, 181

### D

Defeitos 234, 235, 261, 262, 315

### E

Edifício 3, 4, 41, 42, 43, 44, 45, 50, 51, 52

Eficiência 92, 95, 99, 104, 156, 195, 197, 200, 264, 292

Enchentes 1, 2, 3, 4, 5

Espaços abertos 49, 63, 66, 74, 75

Espectrometria gama 92, 94, 95, 96, 97, 104

## **F**

Filmes finos de óxido de zinco 256, 268

## **G**

Gerenciamento de risco 276, 277, 278, 285, 287

Gestão 5, 55, 56, 58, 59, 62, 73, 75, 78, 88, 113, 154, 167, 168, 169, 171, 178, 276, 283, 299, 326

## **I**

Inteligência artificial 111, 276, 278

Interação solo-estrutura 22, 23, 26, 27, 29, 35, 36, 39, 40

Inventário 78, 79, 83, 85, 167, 168, 169, 170, 171, 177

## **J**

Jeanswear 314, 315, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324

## **L**

Lâmpada UV-C 195, 196, 197, 198, 199, 200

Localização de faltas 179, 180, 182, 183, 191, 193

## **M**

Mapas cognitivos dinâmicos 127

Medidores inteligentes 179, 180, 182, 183, 184, 185, 189, 191, 192

Método dos elementos finitos 22, 23, 27, 32, 39, 40, 234, 235

Microestrutura 242, 244, 245, 247, 252, 253, 254, 255

Milho 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107

## **N**

Nanopartículas de prata 256, 257, 258, 261, 264, 265, 267, 268

Norma IEC 61499 140, 141, 142, 143, 144, 153, 154

Nutrientes 99, 100

## **O**

Obras 42, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62

Opex 167, 168

## **P**

Percepção térmica 63, 70, 72

Planejamento 21, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 79, 168, 171, 172, 246

Polarização 155, 156, 163, 164

População Ribeirinha 1, 2, 4

Processo 7, 26, 27, 45, 57, 58, 76, 78, 79, 84, 86, 94, 109, 110, 112, 113, 114, 115, 124, 141, 144, 145, 153, 171, 172, 182, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 191, 192, 193, 231, 243, 245, 247, 249, 252, 268, 276, 279, 280, 289, 290, 299, 316, 317

## **R**

Recall 276, 277, 283, 284, 285, 286, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 299

Redes 7, 14, 17, 18, 19, 20, 109, 111, 138, 141, 142, 143, 155, 159, 167, 169, 170, 171, 172, 177, 179, 180

Redes elétricas inteligentes 169, 179, 180

Redução 7, 18, 20, 92, 94, 167, 168, 169, 197, 252, 268, 276, 278, 316

Rendimento 122, 195, 202

Robótica de enxame 127

Ruído 219, 220, 223, 225, 228, 229, 231, 234

## **S**

Sapata 22, 24, 25, 28, 29, 31, 33, 34, 35, 38, 39

Saúde Pública 8, 219, 224, 231, 281

Sensores de gás 256, 258

Simulação estrutural 22, 23

Sistema Multiagentes 127

Sistemas de distribuição 179, 180

Sonogramas 219, 226, 228

## **T**

Tecidoteca 314, 315, 324, 325

Técnicas construtivas 1, 5

Tecnologias cognitivas 276, 278

Telecomunicações 167, 168, 169, 170, 177, 326

Transformadores reguladores de tensão 140, 141

Turbinas eólicas 219, 230

## V

Variáveis térmicas de solidificação 242, 244, 248, 249, 255

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

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

📷 @atenaeditora

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

# ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias



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

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

📷 @atenaeditora

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

# ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias

