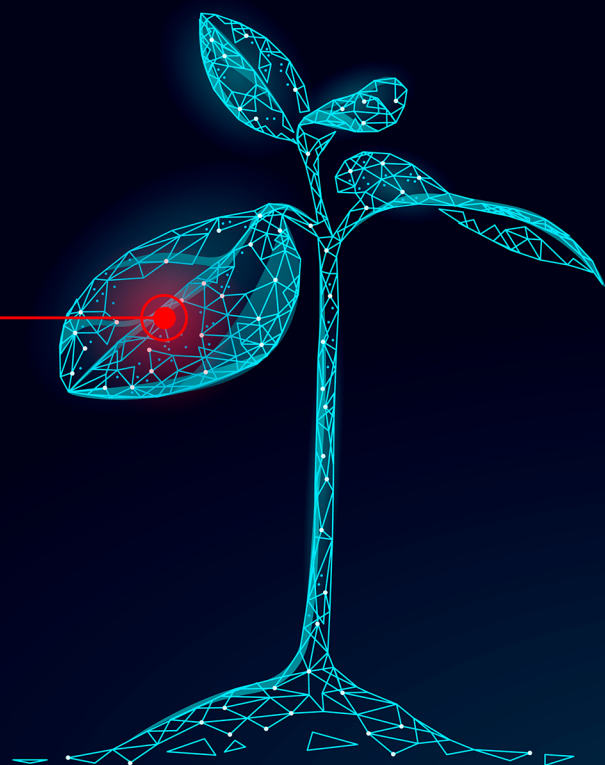
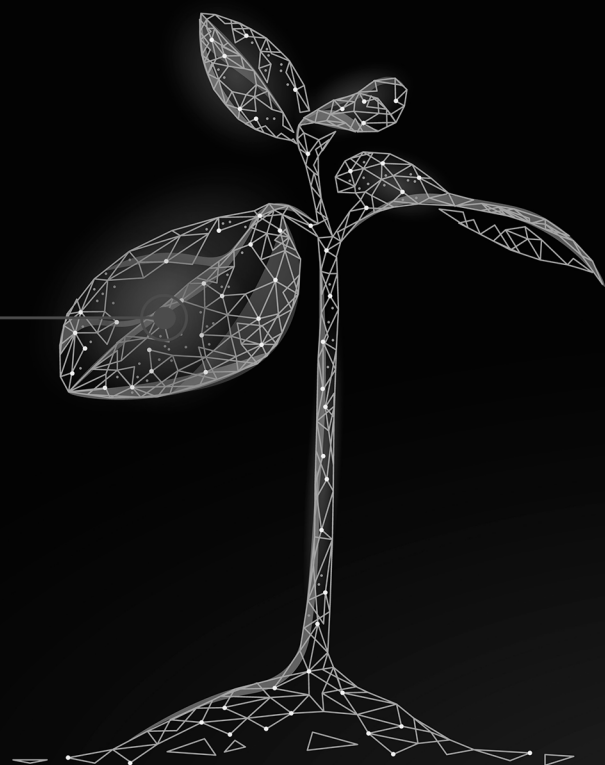


# Ciência e Engenharia de Materiais e o Desenvolvimento Socioambiental



Henrique Ajuz Holzmann  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia  
(Organizadores)

# Ciência e Engenharia de Materiais e o Desenvolvimento Socioambiental



Henrique Ajuz Holzmann  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia  
(Organizadores)

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Geraldo Alves  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
C569	<p>Ciência e engenharia de materiais e o desenvolvimento socioambiental [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-848-9 DOI 10.22533/at.ed.489191912</p> <p>1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Materiais – Análise. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Biscaia, Vinicius Bubna.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620.11299</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, vem cada vez mais ganhando espaço nos estudos das grandes empresas e de pesquisadores. Esse 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.

Neste contexto o tema socioambiental pode ser inserido, visto que devido à redução nas disponibilidades de matérias primas, a elevação de custos de descarte dos materiais, sua reciclagem vem ganhando cada vez mais destaque a nível mundial. Hoje optar por produtos reciclados bem como sustentáveis se torna uma vitrine as vendas.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de materiais e de sustentabilidade, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas. Pode-se dizer que a área de reciclagem está intimamente ligada ao estudo dos materiais, para que possam ser desenvolvidas técnicas e processos para um eficiente aproveitamento.

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.

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>ESTUDO DA ADIÇÃO DE ADITIVOS NÃO CONVENCIONAIS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS</b>	
Antonio Dias de Lima Terceiro Neto Daniel Baracuy da Cunha Campos Francisco Humberlânio Tavares de Araújo Júlio Lopes da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4891919121</b>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>12</b>
<b>ESTUDO DA INFLUÊNCIA NA CONCENTRAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO NO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA</b>	
Wendel Melo Prudêncio de Araújo Thays Mabelly Bezerra e Silva Kássia Hellen Souza de Oliveira João Marcos Lima Veras Joaquim Lucas de Souza Paixão João Emmanuel Alves Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4891919122</b>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>24</b>
<b>TIJOLO PRODUZIDO POR COMPÓSITO DE EXOCARPO DE LICURI FRAGMENTADO</b>	
Bárbara Jane Martins Borges Rafael Santos de Sousa Silva Rúi Carlos de Sousa Mota	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4891919123</b>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>31</b>
<b>PRODUÇÃO DE AGREGADOS UTILIZANDO LAMA VERMELHA: O ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM</b>	
Bruno Marques Viegas Edílson Marques Magalhães Julia Alves Rodrigues Josiel Lobato Ferreira Diego Cardoso Estumano José Antônio da Silva Souza Emanuel Negrão Macêdo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4891919124</b>	
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>39</b>
<b>ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DO RESÍDUO DE FELDSPATO COMO MATERIAL PARA CAMADAS DOS PAVIMENTOS</b>	
Jonatas Kennedy Silva de Medeiros Larissa Santana Batista Giovanna Feitosa de Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4891919125</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 52**

**FÔRMAS: UTILIZAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE FÔRMAS REVESTIDAS COM POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEDB - SACOLAS PLÁSTICAS)**

Lucas Prestes Chize  
Léo Jaime de Amorim e Silva  
Aída Pereira Baêta  
Flávia da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.4891919126**

**CAPÍTULO 7 ..... 61**

**OBTENÇÃO DE UM COPO MAIS SUSTENTÁVEL: PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS E DE BIOCÓMPÓSITOS**

Emília Satoshi Miyamaru Seo  
Nicolle Silva da Silva  
Isabella Tereza Ferro Barbosa  
Alessandro Augusto Rogick Athiê  
Adriano Camargo de Luca

**DOI 10.22533/at.ed.4891919127**

**CAPÍTULO 8 ..... 74**

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E RESISTÊNCIA À CHAMA DE CÓMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE LAMA VERMELHA E CAULIM**

Mario Henrique Moreira de Moraes  
Diogo Pontes de Queiroz  
Luiz Gabriel da Silva Nascimento  
José Antônio Silva Souza  
Roberto Tetsuo Fujiyama  
Deibson Silva da Costa

**DOI 10.22533/at.ed.4891919128**

**CAPÍTULO 9 ..... 85**

**DISPERSÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA SOBRE PÓ POLIMÉRICO PARA PRODUÇÃO DE FILME PLÁSTICO**

Lucas Matono Casagrande  
Paulo Henrique Chulis  
Fabrício Antônio Moreno Zanetelli  
Márcia Silva de Araújo  
José Alberto Cerri

**DOI 10.22533/at.ed.4891919129**

**CAPÍTULO 10 ..... 99**

**INFLUENCE OF LIGNIN CONTENT IN MACADAMIA NUTSHELL ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HDPE BIOCÓMPÓSITOS**

Bruno Chaboli Gambarato  
Heitor Buzetti Simões Bento  
Ana Karine Furtado de Carvalho

**DOI 10.22533/at.ed.48919191210**

**CAPÍTULO 11 ..... 104**

**MÉTODOS DE SÍNTESE DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO**

Jardel Meneses Rocha

Reinaldo Nascimento Morais  
Fernando Pereira Lima  
Tiago Linus Silva Coelho  
Patrícia Santos Andrade  
Angélica de Brito Sousa  
Juracir Francisco de Brito  
José Milton Elias de Matos

**DOI 10.22533/at.ed.48919191211**

**CAPÍTULO 12 ..... 113**

**APLICAÇÕES DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO**

Jardel Meneses Rocha  
Reinaldo Nascimento Morais  
Fernando Pereira Lima  
Tiago Linus Silva Coelho  
Patrícia Santos Andrade  
Angélica de Brito Sousa  
Juracir Francisco de Brito  
José Milton Elias de Matos

**DOI 10.22533/at.ed.48919191212**

**CAPÍTULO 13 ..... 122**

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MECÂNICA E DA FRATURA DE TRILHOS PERLÍTICOS**

Beatriz Seabra Melo  
Vinicius Silva dos Reis  
Clóvis Iarlande Oliveira Santana  
Carlos Vinicius de Paes Santos  
Gregory de Oliveira Miranda  
Andrey Coelho das Neves  
José Maria do Vale Quaresma

**DOI 10.22533/at.ed.48919191213**

**CAPÍTULO 14 ..... 135**

**ANÁLISE DOS EFEITOS DA CORROSÃO EM ELETRODO DE ATERRAMENTO ELÉTRICO COBREADO**

Walter Leandro Cordeiro da Silva Filho  
Magda Rosângela Santos Vieira  
Ivanilda Ramos de Melo  
Roseana Florentino da Costa Pereira  
Severino Leopoldino Urtiga Filho

**DOI 10.22533/at.ed.48919191214**

**CAPÍTULO 15 ..... 145**

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS GASES DE PROTEÇÃO E PARÂMETROS DE SOLDAGEM NA MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DO AÇO SAE 1035 SOLDADO POR PROCESSO MAG**

Perla Alves de Oliveira  
Thiago Monteiro Maquiné  
Marcia Cristina Gomes de Araújo Lima  
José Costa de Macêdo Neto  
Suelem de Jesus Pessoa  
Efraim Ribas Linhares Bruno



Anne Gabrielle Mendes Xavier  
Josiel Bruno de Oliveira  
**DOI 10.22533/at.ed.48919191215**

**CAPÍTULO 16 ..... 155**

A RELAÇÃO ENTRE A LOGÍSTICA REVERSA E O *TRIPLE BOTTOM LINE* EM COOPERATIVAS DE RECICLAGEM

Alequexandre Galvez de Andrade  
Nélio Fernando dos Reis  
Jair Minoro Abe

**DOI 10.22533/at.ed.48919191216**

**CAPÍTULO 17 ..... 165**

A UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO E O SUBSÍDIO CRUZADO: CRÍTICA À PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DAS DIRETRIZES NACIONAIS

Joel de Jesus Macedo  
Leura Lucia Conte de Oliveira  
Marcus Venicio Cavassin

**DOI 10.22533/at.ed.48919191217**

**SOBRE OS ORGANIZADORES..... 185**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 186**

## PRODUÇÃO DE AGREGADOS UTILIZANDO LAMA VERMELHA: O ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM

Data de aceite: 18/11/2019

Naturais da Amazônia  
Belém - PA

### **Bruno Marques Viegas**

Universidade Federal do Pará - UFPA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia  
Belém – PA

### **Edílson Marques Magalhães**

Universidade Federal do Pará - UFPA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos  
Belém - PA

### **Julia Alves Rodrigues**

Universidade Federal do Pará - UFPA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química  
Belém - PA

### **Josiel Lobato Ferreira**

Universidade Federal do Pará - UFPA, Faculdade de Engenharia Química  
Belém - PA

### **Diego Cardoso Estumano**

Universidade Federal do Pará - UFPA, Faculdade de Biotecnologia  
Belém - PA

### **José Antônio da Silva Souza**

Universidade Federal do Pará - UFPA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia  
Belém - PA

### **Emanuel Negrão Macêdo**

Universidade Federal do Pará - UFPA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos

**RESUMO:** Este trabalho propõe a utilização da lama vermelha com uma mistura de argila e sílica para a produção de agregado leve (argila expandida). Foram confeccionados corpos de provas esféricos utilizando uma mistura de lama vermelha, sílica e argila em diferentes proporções. As misturas foram secas em um secador de leito fixo de convecção forçada na temperatura de 80°C, com velocidades do ar de 2,8 e 3,8 (m/s). Com os dados experimentais obtidos, realizou-se a modelagem matemática das curvas de secagem utilizando uma correlação linear e os modelos de Page, Logarítmico e Midilli. Após o processo de secagem, os corpos de provas foram submetidos à sinterização nas temperaturas de 1150 e 1250°C por um período de 120 min. Os resultados obtidos indicaram que a mistura contendo 60% de lama vermelha, 30% de sílica e 10% argila, sinterizada a 1250°C, possui potencial para ser utilizada na produção de agregado leve.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agregado leve, Lama vermelha, Secagem.

**AGGREGATE PRODUCTION USING RED MUD: THE STUDY OF DRYING KINETICS**

**ABSTRACT:** This paper proposes the use

of red mud with a mixture of clay and silica to produce light aggregate (expanded clay). Spherical specimens were made using a mixture of red mud, silica and clay in different proportions. The mixtures were dried in a forced convection fixed bed dryer at 80 °C, with air velocities of 2.8 and 3.8 (m/s). With the experimental data obtained, the mathematical modeling of the drying curves was performed using a linear correlation and Page, Logarithmic and Midilli models. After the drying process, the specimens were sintered at 1150 and 1250 °C for a period of 120 min. The results indicated that the mixture containing 60% red mud, 30% silica and 10% clay, sintered at 1250 °C, has the potential to be used in light aggregate production.

**KEYWORDS:** Light Aggregate, Red Mud, Drying.

## 1 | INTRODUÇÃO

Em 1888, Karl Josef Bayer desenvolveu e patenteou o processo hoje internacionalmente conhecido como Processo Bayer (HIND *et al.*, 1999). O processo Bayer representa um marco na história da metalurgia, sendo considerado, ao lado do processo de cianetação para tratamento de ouro e prata, o marco do nascimento da hidrometalurgia moderna em 1887 (HABASHI, 2005).

O processo Bayer é utilizado para o refino da bauxita (denominada assim devido à primeira mineração comercial ter ocorrido no distrito de Les Baux, França) na produção de alumina (SILVA FILHO *et al.*, 2007). Estima-se que a cada tonelada de alumina produzida, são geradas entre 1 – 1,5 toneladas de resíduos. Esse resíduo, também conhecido como lama vermelha (LV), é composto principalmente pelos óxidos de ferro, titânio, alumínio, sódio e silício (MAGALHÃES *et al.*, 2015; EVANS, 2016; MYMRIN *et al.*, 2017).

Resíduos como a lama vermelha, gerados em grande quantidade pela indústria de alumina e com características físico-químicas importantes para a sinterização de agregado sintético, com resistência mecânica superior a agregados naturais, podem substituir, do ponto de vista técnico, esses agregados extraídos diretamente da natureza, evitando a lavra predatória desse material das reservas naturais (SOUZA, 2010). Dentro desse contexto, este trabalho visa estudar a possibilidade de utilizar a lama vermelha junto com uma mistura de argila e sílica para a produção de agregados leves.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Antes da preparação dos corpos de prova, realizou-se um pré-tratamento das matérias-primas, que consistiu em um processo de secagem em estufa a 105°C durante 24 h, cominuição em moinho de bolas durante 30 min e ajuste da

granulometria. A granulometria da argila e sílica foram ajustadas para partículas menores que 37 e 150  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Após o pré-tratamento das matérias-primas, essas foram misturadas (com o auxílio de um moinho de bolas) de acordo com as porcentagens estabelecidas na Tabela 1.

Mistura	Lama vermelha (%)	Sílica (%)	Argila (%)
1	80	10	10
2	70	20	10
3	60	30	10

Tabela 1: Composição das misturas.

Após a homogeneização das misturas, foram confeccionados os corpos de prova em formato esférico. Em seguida, os corpos de prova foram colocados no secador tipo túnel de convecção forçada, Figura 1.



Figura 1: Vista frontal do secador tipo túnel com convecção forçada. (a) soprador; (b) resistências; (c) termopar.

Conforme apresentado na Figura 1, a velocidade do ar de secagem foi ajustada através de um soprador centrífugo com valores de 2,8 e 3,8 (m/s). Ao passar pelas resistências, o ar foi aquecido a 80°C. Ao término do processo de secagem, os corpos de prova foram sinterizados a 1150 e 1250°C por um período de 120 min.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a análise de fluorescência de raios X realizada na lama vermelha.

Compostos	Composição química (%)
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	29,54
$\text{SiO}_2$	17,24
CaO	1,08

$\text{Al}_2\text{O}_3$	22,54
$\text{TiO}_2$	4,56
$\text{Na}_2\text{O}$	12,51
$\text{V}_2\text{O}_5$	0,28
$\text{MgO}$	0,15
$\text{K}_2\text{O}$	0,03
Perda ao fogo	12,04

Tabela 2: Composição química da lama vermelha.

Verifica-se na Tabela 2 que a lama vermelha apresenta consideráveis valores de óxidos de ferro (29,54%), alumínio (22,54%) e silício (17,24%). Conforme observado por TAKAHASHI e MUCCILLO (2007), esses compostos são essenciais para que ocorra diversas reações de estado sólido, as quais impedem a saída dos gases do interior dos agregados, ocasionando a expansão pirolástica e a formação de um material com baixa massa específica (agregado leve).

A Figura 2 apresenta o teor de umidade ( $X/X$ ) em função do tempo de secagem para a mistura contendo 60% de lama vermelha; 30% de sílica e 10% de argila para as velocidades do ar de secagem de 2,8 e 3,8 (m/s).

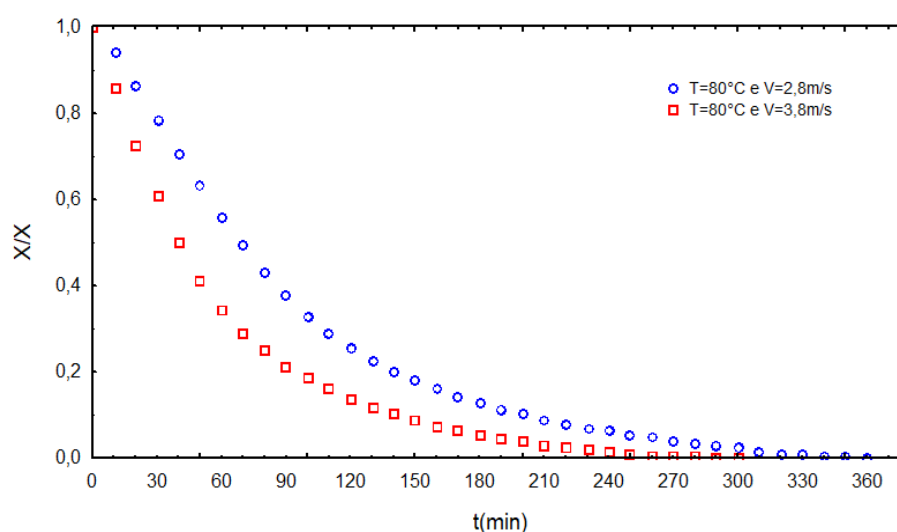


Figura 2: Curva de secagem para a mistura de LV (60%), sílica (30%) e argila (10%).

Verifica-se na Figura 2 que para a secagem realizada com velocidade do ar de 3,8 (m/s), alcançou-se o equilíbrio do teor de umidade em aproximadamente 250 (min), enquanto que para a velocidade do ar de secagem de 2,8 (m/s), o equilíbrio foi alcançado após 320 (min).

As Figuras 3, 4 e 5 apresentam as curvas de taxa de secagem ( $W$ ) ajustadas aos modelos de Midilli, Page e Logarítmico (MAGALHÃES, 2008), projetados em função do tempo, com valores de velocidades do ar de secagem iguais a 2,8 e 3,8

m/s.

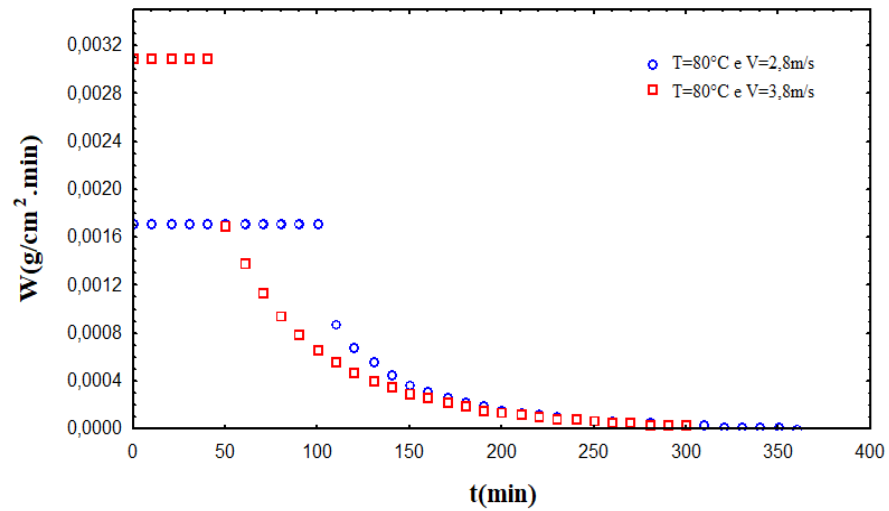


Figura 3: Curva da taxa de secagem utilizando o modelo de Midilli para a mistura de LV (60%), sílica (30%) e argila (10%).

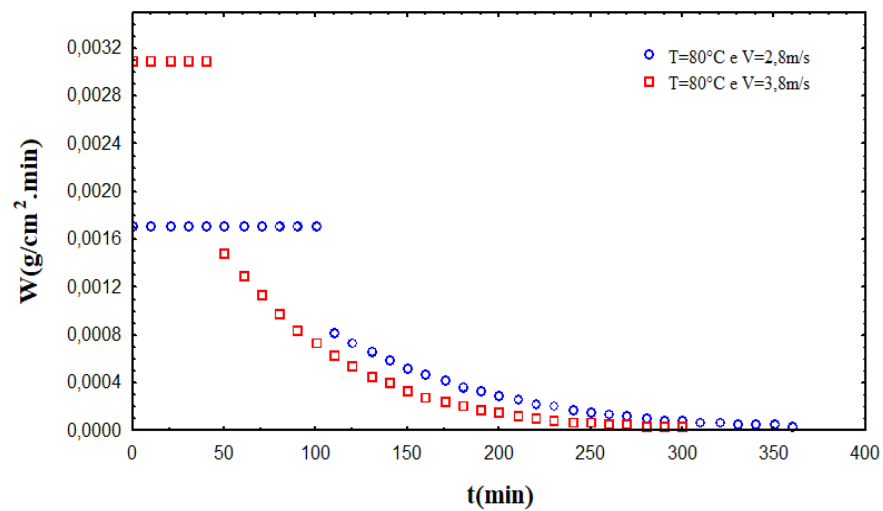


Figura 4: Curva da taxa de secagem utilizando o modelo de Page para a mistura de LV (60%), sílica (30%) e argila (10%).

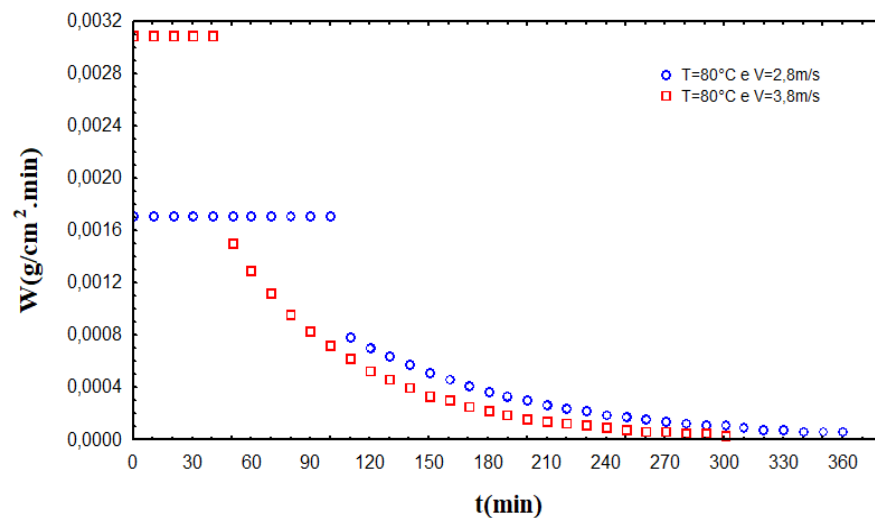


Figura 5: Curva da taxa de secagem utilizando o modelo Logarítmico para a mistura de LV (60%), sílica (30%) e argila (10%).

Observa-se nas Figuras 3, 4 e 5 que o processo de secagem ocorreu em dois períodos diferentes: primeiro período com uma taxa constante e no segundo

período com uma taxa decrescente. No primeiro período, ocorre uma transferência simultânea de calor e massa convectiva da superfície para o meio. Essa perda de umidade corresponde à evaporação da água adsorvida fisicamente na superfície do corpo de prova. Por apresentar uma pequena resistência à evaporação, essa etapa não necessita de grandes quantidades de energia.

Ao final da primeira etapa, inicia-se o período de secagem com taxa decrescente, onde a umidade encontra-se nos interstícios do material, difundindo-se para a superfície. Nessa etapa, o processo necessita de uma maior quantidade de energia, visto que a resistência à difusão do líquido é maior.

Através das análises dos coeficientes de determinação, verificou-se que o modelo que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais foi o Logarítmico. As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores das constantes e dos coeficientes de determinação, obtidos a partir do ajuste com os dados experimentais, utilizando o modelo linear e o modelo Logarítmico para o primeiro e segundo período, respectivamente.

Composição	1º período: modelo linear		
	A	Bx10 <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
LV (60%); 80°C e 2,8 (m/s)	0,20	-0,14	0,99
LV (60%); 80°C e 3,8 (m/s)	0,20	-0,26	0,99
LV (70%); 80°C e 2,8 (m/s)	0,24	-0,15	0,99
LV (70%); 80°C e 3,8 (m/s)	0,24	-0,26	0,99
LV (80%); 80°C e 2,8 (m/s)	0,21	-0,08	0,99
LV (80%); 80°C e 3,8 (m/s)	0,25	-0,17	0,99

Tabela 3: Valores das constantes e dos coeficientes de determinação para o primeiro período de secagem.

Composição	2º Período: modelo Logarítmico			
	C	K	Nx10 <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>
LV (60%); 80°C e 2,8 (m/s)	0,19	0,01	-0,03	0,99
LV (60%); 80°C e 3,8 (m/s)	0,18	0,01	-0,01	0,99
LV (70%); 80°C e 2,8 (m/s)	0,33	0,01	-0,05	0,99
LV (70%); 80°C e 3,8 (m/s)	0,36	0,02	-0,03	0,99
LV (80%); 80°C e 2,8 (m/s)	0,31	0,01	-0,07	0,99
LV (80%); 80°C e 3,8 (m/s)	0,37	0,01	-0,06	0,99

Tabela 4: Valores das constantes e dos coeficientes de determinação para o segundo período de secagem (modelo Logarítmico).

Os resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4 indicam que houve um bom ajuste do modelo aos dados experimentais em todas as condições experimentais



avaliadas. A Tabela 5 apresenta os valores da porosidade aparente (PA) e da massa específica aparente (MEA) para todas as condições experimentais estudadas.

Condições experimentais	PA (%)	MEA (g/cm <sup>3</sup> )
LV (60%); 80°C; 2,8 (m/s) e 1150°C	1,37	2,50
LV (60%); 80°C; 2,8 (m/s) e 1250°C	1,26	1,26
LV (60%); 80°C; 3,8 (m/s) e 1150°C	1,39	2,49
LV (60%); 80°C; 3,8 (m/s) e 1250°C	1,22	1,28
LV (70%); 80°C; 2,8 (m/s) e 1150°C	0,46	2,52
LV (70%); 80°C; 2,8 (m/s) e 1250°C	0,76	1,64
LV (70%); 80°C; 3,8 (m/s) e 1150°C	0,52	2,51
LV (70%); 80°C; 3,8 (m/s) e 1250°C	0,43	1,70
LV (80%); 80°C; 2,8 (m/s) e 1150°C	7,51	2,35
LV (80%); 80°C; 2,8 (m/s) e 1250°C	0,62	2,42
LV (80%); 80°C; 3,8 (m/s) e 1150°C	7,06	2,37
LV (80%); 80°C; 3,8 (m/s) e 1250°C	0,75	2,41

Tabela 5: Valores médios da porosidade aparente (PA) e massa específica aparente (MEA).

Verifica-se na Tabela 5 que, para as misturas contendo 60 e 70% de lama vermelha, ao aumentar a temperatura de sinterização de 1150 para 1250°C, ocorre uma diminuição nos valores da massa específica aparente. Isso está relacionado com o conjunto de reações químicas que ocorre nesse intervalo de temperatura, levando à formação de uma camada vítrea na superfície do material que impede a saída dos gases gerados com as reações químicas, ocasionando a expansão do corpo de prova e diminuição da sua massa específica aparente.

Os menores valores de massa específica encontrados foram de 1,26 e 1,28 (g/cm<sup>3</sup>), utilizando uma mistura contendo 60% de lama vermelha, sinterizada a 1250°C, com velocidades do ar de secagem de 2,8 e 3,8 (m/s), respectivamente.

Os valores de massa específica encontrados no presente trabalho estão próximos aos obtidos por TAKAHASHI e MUCCILLO (2006), cujos autores utilizaram escória de alumínio para a fabricação de argila expandida, obtendo um valor de massa específica aparente de 1,6 (g/cm<sup>3</sup>).

#### 4 | CONCLUSÃO

A utilização da lama vermelha em misturas com sílica e argila, mostrou um grande potencial para ser utilizado como matéria-prima alternativa na fabricação de agregado leve (argila expandida), sobretudo porque consiste em um material de baixo custo, gerado em grande quantidade, com granulometria e composição



definida.

O modelo Logarítmico apresentou o ajuste mais adequado aos dados experimentais de secagem da mistura de lama vermelha, argila e sílica. Os resultados mostraram também que, através do controle do teor de sílica e da temperatura de sinterização, é possível produzir diferentes tipos de agregados com diferentes valores de massas específicas.

Os resultados apresentados indicaram que para uma temperatura de sinterização de 1250°C, utilizando uma mistura contendo 60% de lama vermelha, 30% de sílica e 10% argila, pode-se obter um agregado leve com massa específica de 1,26 (g/cm<sup>3</sup>).

## REFERÊNCIAS

- EVANS, K. **The History, Challenges, and New Developments in the Management and Use of Bauxite Residue**, *Journal of Sustainable Metallurgy*, v. 2 (4): 316-331, 2016.
- FILHO, S. E. B., ALVES, M. C. M., MOTTA, M. **Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas**, *Revista Matéria*, v. 12 (2): 322-338, 2007.
- HABASHI, F. **A short history of hydrometallurgy**, *Hydrometallurgy*, v. 79 (1-2): 15-22, 2005.
- HIND, R. A., BHARGAVA, S. K., GROCCOTT, S. C. **The surface chemistry of Bayer process solids: a review**, *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, v. 146 (1-3): 359-374, 1999.
- MAGALHÃES, Edilson Marques. **Estudo da cinética de secagem de agregados produzidos a partir de resíduo do processo Bayer**. Belém: PA, 2008. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.
- MAGALHÃES, E. M., PASSOS, K. L. M., VIEGAS, B. M., MACÊDO, E. N., SOUZA, J. A. S. **Mathematical modeling of leaching process of red mud in order to obtain the kinetics parameters**, *Thermal Engineering*, v. 14 (2): 90-94, 2015.
- MYMRIN, V., ALEKSEEV, K., FORTINI, O. M., AIBULDINOV, Y. K., PEDROSO, C. L., NAGALLI, A., WINTER, E., CATAI, R. E., COSTA, E. B. C. **Environmentally clean materials from hazardous red mud, ground cooled ferrous slag and lime production waste**, *Journal of Cleaner Production*, v. 161: 376-381, 2017.
- SOUZA, José Antônio da Silva. **Estudo e avaliação do uso de resíduos do processo Bayer como matéria-prima na produção de agregados sintéticos para a construção civil**. Belém: PA, 2010. 148 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.
- TAKAHASHI, E. A. N., MUCCILLO, E. N. S. **Estudo da possibilidade de incorporação de resíduo da indústria de reciclagem de alumínio em argila expandida**. In: *Anais do 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica*, Salvador, Brasil, Junho, 2007.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Henrique Ajuz Holzmann** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**Ricardo Vinicius Bubna Biscaia** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acesso ao saneamento 168  
Aditivos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 14  
Agregado leve 31, 34, 37, 38  
Análise da fratura 122, 126, 130  
Análise de variância 99  
Aplicações biomédicas 113, 119  
Argamassas 1, 2, 3, 4, 10, 11

### B

Baterias de lítio 106, 113, 118  
Biomassa 99

### C

Características 3, 29, 32, 38, 39, 42, 45, 46, 47, 56, 61, 64, 65, 74, 83, 84, 88, 89, 97, 110, 118, 122, 127, 128, 129, 134, 136, 146, 147, 150, 151, 153, 164, 168  
Caulim 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84  
Células combustível 113  
Compensado 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 170  
Compósito 20, 24, 25, 61, 75, 76, 77, 79, 80, 84  
Compósitos 22, 24, 29, 30, 63, 64, 72, 74, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 84, 99, 119, 135  
Concreto de alta resistência 12, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23  
Cooperativas 155, 156, 157, 158, 159, 162, 163, 164  
Corrosão 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 144, 185  
Cristalização hidrotérmica 104

### D

Dispersão 82, 85, 86, 89, 90, 91, 92, 94, 95

### E

Economia solidária 155, 162, 163, 164

### F

Fadiga 122, 124, 129, 134  
Fibra de polipropileno 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22  
Fibras de cana-de-açúcar 61  
Fibras de côco verde 61  
Filme plástico 85  
Fôrmas 52, 54, 58, 60  
Fotocatálise 113, 114

## I

Instalações elétricas 135, 144

italic 105

## L

Lama vermelha 31, 32, 33, 34, 37, 38, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 81, 82, 83, 84

Licuri 24, 25, 26, 29, 30

## M

Marco regulatório do saneamento 165, 166, 181, 183

Materiais conjugados 74

Materiais de construção 1, 2, 11

Mercerização 61, 65, 66, 67, 68, 71

Microemulsão 104

Mineração 32, 39, 40, 41, 43, 46, 47, 50, 75, 84

## N

Nanoestruturas de titânio 113

Nanopartículas de prata 85, 86, 87, 89, 91, 96

## P

Pavimentação 39, 40, 41, 42, 47, 48, 50, 51

Polietileno 52, 53, 54, 55, 61, 64, 65, 66, 72, 85, 88, 89

Propriedades mecânicas 12, 14, 15, 19, 20, 22, 64, 81, 82, 83, 99, 124, 132, 134, 147, 148, 151, 152, 153

## R

Resina poliéster 74

Resistência à compressão 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 20, 22, 61, 64

Resistência à compressão diametral 12, 20

Riscos do fim do subsídio 166

## S

Sacolas plásticas 52, 53, 54, 55, 56, 59, 60

Secagem 24, 25, 26, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 43, 66, 76, 93, 105, 107, 117

Síntese TiO<sub>2</sub> nanoestruturado 104

Sistemas de aterramento 135, 136, 144

Slump test 12, 13, 18

Sobrecarga 21, 122

Sol-gel 104, 105, 111, 112

Subsídio cruzado 165, 166, 168, 169, 170, 174, 175, 180, 182

Substituto 52

Sustentabilidade 2, 25, 39, 53, 61, 155, 156, 159, 160, 161, 163, 164, 169

## T

Técnicas eletroquímicas 135, 144

Tijolo 24, 25, 26, 28, 29

Trilho ferroviário 122

Triple bottom line 155, 156, 157, 159

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-848-9



9 788572 478489