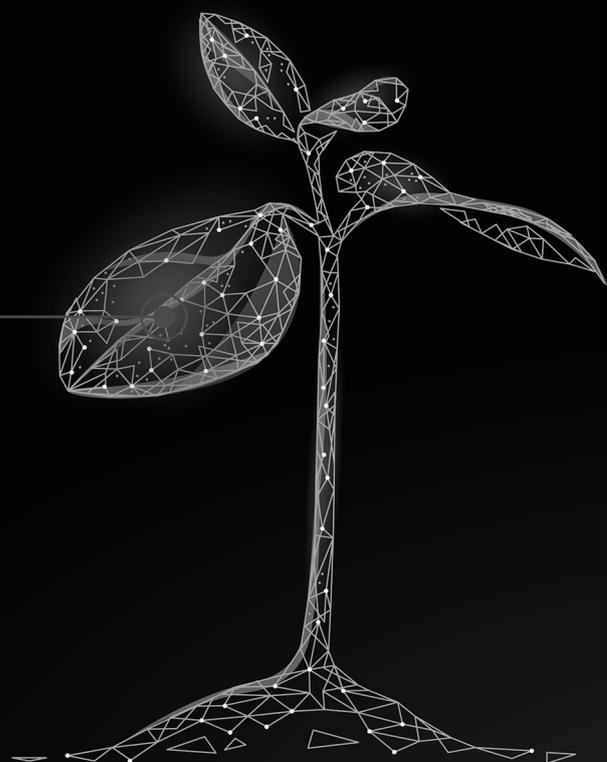


# Ciência e Engenharia de Materiais e o Desenvolvimento Socioambiental



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 Pietrobom – 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 BIOCAMPÓSITOS**

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 COMPÓSITOS 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 BIOCAMPÓSITES**

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**

## ESTUDO DA ADIÇÃO DE ADITIVOS NÃO CONVENCIONAIS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

*Data de aceite: 18/11/2019*

### **Antonio Dias de Lima Terceiro Neto**

Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa-PB

### **Daniel Baracuy da Cunha Campos**

Universidade Estadual da Paraíba  
Araruna-PB

### **Francisco Humberlânio Tavares de Araújo**

Universidade Estadual da Paraíba  
Araruna-PB

### **Júlio Lopes da Silva**

Universidade de Pernambuco  
Recife-PE

**RESUMO:** Argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo conter ainda aditivos. Os aditivos são adicionados em baixa porcentagem às argamassas visando melhoria nas propriedades reológicas, físicas, químicas e mecânicas, além de corrigir possíveis erros durante manuseio e execução da massa. O seu alto custo justifica a busca por novos materiais não-convencionais, que contribuam para o melhoramento e correção de traços de argamassas, possuindo também baixo custo. Este trabalho teve como objetivo estudar a

viabilidade técnica da utilização de aditivos não-convencionais de baixo custo, amaciante e desinfetante, na produção de argamassas. Os corpos de prova de argamassa, padrão e com aditivos, em diferentes proporções, foram moldados de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996), sendo avaliado por fim a resistência à compressão dos mesmos com 7, 14 e 21 dias de cura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Materiais de construção. Argamassas. Aditivos. Resistência à compressão.

### STUDY OF THE ADDITION OF NON-CONVENTIONAL ADDITIVES IN THE PRODUCTION OF MORTARS

**ABSTRACT:** Mortars are building materials with adhesion and hardening properties, obtained from the homogeneous mixture of one or more binders, aggregate and water, and may contain additives. The additives are added in a low percentage to the mortars aiming at improvement in the rheological, physical, chemical and mechanical properties, besides correcting possible errors during handling and execution of the mass. Its high cost justifies the search for new non-conventional materials, which contribute to the improvement and correction of traces of mortars, also having a low cost. This work aimed to study the technical feasibility of

the use of non-conventional additives of low cost, softener and disinfectant, in the production of mortars. The mortar specimens, standard and with additives, in different proportions, were molded according to NBR 7215: 1996, and the compressive strength of which was evaluated at 7, 14 and 21 days of cure.

**KEYWORDS:** Construction Materials. Mortar. Additive. Compressive strength.

## 1 | INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é responsável pela utilização de diversos recursos naturais e geradora de resíduos em larga escala. Os processos construtivos que são adotados atualmente acabam favorecendo o desperdício desses materiais que provocam sérios danos ao ambiente. É de fundamental importância ter um olhar voltado para a sustentabilidade, objetivando a redução dos índices de poluentes descartados diariamente no meio em que vivemos. Logo, é crucial elaborar estratégias que potencializem o uso de materiais de construção, para que se possam construir edificações de maneira eficiente, associando economia, sustentabilidade e segurança, além da durabilidade.

Conforme Mehta e Monteiro (1), a construção civil utiliza diversos materiais em suas atividades, dentre eles temos a argamassa, que tem uma ampla e diversificada utilidade, devido à sua capacidade de aderência e endurecimento.

Isaia (2), assinala que as argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais.

Os aglomerantes quando misturados com agregados e água, são amplamente utilizados na construção civil, na parte de assentamento (elevação da alvenaria), chapisco, emboço e reboco, além do uso no revestimento de pisos e rejuntamento.

Para modificar as propriedades físico-mecânicas das argamassas, a fim de melhorar e facilitar a sua produção, eliminando os efeitos indesejáveis, tais como a segregação, fissuras e bolhas, utiliza-se os aditivos.

De acordo com Scandolara (3), as argamassas devem ter custo reduzido, boa plasticidade, boa aderência, retenção de água, homogeneidade, compacidade, resistência à infiltração, à tração e à compressão, assim como apresentar alta durabilidade, contudo suas propriedades podem ser melhoradas com a inclusão de minerais e aditivos químicos.

Os aditivos são materiais adicionados durante o preparo da argamassa ou concreto em proporções que não ultrapasse, exceto em casos especiais, 5% do peso de cimento contido no traço, obtendo modificações específicas ou modificação de suas propriedades (4).

Os aditivos podem ser de vários tipos, dos quais pode-se citar: plastificante ou redutor de água, acelerador do tempo de pega, retardador do tempo de pega, incorporador de ar, superplastificante, entre outros. Esses, têm a finalidade de aumentar a trabalhabilidade da argamassa, reduzir o consumo de cimento, acelerar ou retardar o tempo de pega e aumentar a resistência.

Segundo Corrêa (5), os usos de aditivos podem propiciar uma redução no consumo de cimento gerando uma melhoria no fator ecológico, sendo assim deve ser estimulado no meio da construção civil, pois pode agregar em concretos e argamassas, melhora nas suas características de resistência mecânica e trabalhabilidade, tornando assim mais adaptáveis aos processos de aplicação. Esta melhoria na trabalhabilidade promove um grande incremento no nível de qualidade do concreto confeccionado em canteiro de obra, devido à melhor homogeneidade das misturas quando processadas com aditivos, o que proporciona também maior regularidade entre os traços do mesmo concreto.

Este trabalho trata da adição de aditivos não convencionais na produção de argamassas, presentes no cotidiano. Tendo como objetivo geral, avaliar a viabilidade técnica da utilização de aditivos não convencionais na produção de argamassas, através de ensaios de resistência à compressão, de modo que a relação água/cimento possa ser reduzida sem perda de trabalhabilidade, que também foi verificada. A ideia alternativa vem do fato que o uso desses materiais está facilmente disponível no mercado, tais como o amaciante e o desinfetante, que estão apresentados na forma de produtos comerciais, além de apresentarem um menor custo.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas desenvolvidas na realização do trabalho podem ser observadas no fluxograma da Figura 1.



Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.

Fonte: Autor.

## 2.1 Materiais

- Agregado: Foi utilizado um agregado miúdo (areia), comercializado no comércio da cidade de Araruna – PB.
- Cimento: Foi utilizado um cimento Portland CP II-Z-32, comercializado no comércio da cidade de Araruna - Paraíba.
- Água: A água deve ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento, como matérias orgânicas e sulfatos, ou seja, águas potáveis, sendo utilizada a água do poço do Campus VIII/UEPB.
- Aditivos não-convencionais: Amaciante e desinfetante, todos adquiridos no comércio local da cidade de Araruna - Paraíba.

## 2.2 Método

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa consiste nas etapas descritas a seguir, conforme atividades desenvolvidas e ensaios realizados. Tomou-se como base a NBR 7215 (6), que especifica o método de determinação da resistência à compressão de cimento Portland.

Inicialmente foram moldados corpos de prova cilíndricos de dimensões 5x10 cm no traço 1:3 sem aditivos. Posteriormente, moldou-se corpos de prova com adições de amaciante e desinfetante, para finalmente realizar o ensaio de resistência a compressão e comparar os resultados obtidos.

Na Figura 2, é apresentado um fluxograma com todos os procedimentos e variáveis utilizados na pesquisa.

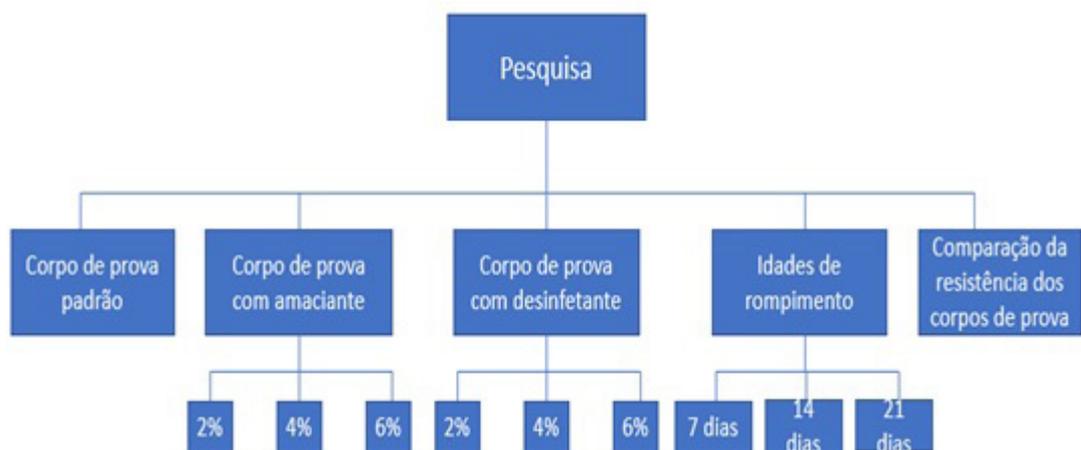


Figura 2 - Fluxograma com procedimentos utilizados na pesquisa.

Fonte: Autor.

## 2.3 Preparação das argamassas

Inicialmente foi realizada a etapa de mistura das argamassas conforme apresenta a Figura 3.



Figura 3 – Preparação para moldagem dos corpos de prova.

Fonte: Autor.

Foram moldados 9 corpos de prova cilíndricos 5x10 cm (Figura 4) de argamassa no traço de 1:3, sem adição dos aditivos não convencionais, que são os padrões.



Figura 4 - Corpos de prova cilíndricos convencionais de argamassa.

Fonte: Autor.

A quantidade de cada material utilizado está apresentada na Tabela 1.

Material	Massa para mistura (g)
Cimento Portland	624 ± 04
Água	300 ± 0,2
Areia Normal	
-Fração Grossa	468 ± 0,3
-Fração Média Grossa	468 ± 0,3
-Fração Média Fina	468 ± 0,3
-Fração Fina	468 ± 0,3

Tabela 1 – Quantidades de Materiais para produção da argamassa.

Fonte: Adaptada da NBR 7215 (ABNT, 1996).

Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram em processo de cura, imerso em água, até a idade de rompimento, daí realiza-se o ensaio de resistência à compressão. Os mesmos foram rompidos nas idades de 7, 14 e 21 dias, sendo

dividido três corpos de prova para cada idade, ou seja, o experimento foi realizado em triplicata.

A partir dos corpos de prova moldados como referência, foram moldados corpos de prova com adições de aditivos nas proporções de 2, 4 e 6% em relação a quantidade de cimento, de acordo com a Tabela 2. Vale salientar que para cada quantidade de aditivo, em gramas, adicionada na argamassa, era retirada a mesma quantidade de água do traço.

Experimentos	Aditivos (%)	Cura
1	2	7
2	2	14
3	2	21
4	4	7
5	4	14
6	4	21
7	6	7
8	6	14
9	6	21

Tabela 2- Porcentagem dos aditivos e idades de cura dos corpos de prova.

Fonte: autor.

De acordo com a Tabela 2, foram moldados 3 corpos de prova para cada experimento, totalizando 27 ensaios. A verificação da influência que os aditivos exercem sobre a argamassa, será constatada ao realizar os ensaios de resistência à compressão e verificada a trabalhabilidade da massa, cujos resultados obtidos serão comparados com os padrões.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 mostra a argamassa padrão quando produzida para moldagem dos corpos de prova, a mesma foi utilizada para fazer a verificação da trabalhabilidade da massa a olho nu, onde também se levou em consideração a facilidade do seu manuseio na etapa de produção.



Figura 5 – Argamassa padrão.

Fonte: Autor.

A Figura 6 apresenta a execução do ensaio de resistência à compressão, realizado no Laboratório de Materiais e Geotecnia da Universidade Estadual da Paraíba-Campus VIII.



Figura 6 – Corpos de prova após ensaio de resistência à compressão.

Fonte: Autor.

A Tabela 3 apresenta os valores referentes aos resultados de resistência à compressão simples dos corpos de prova padrão.

<b>CORPO DE PROVA PADRÃO</b>				
<b>Experimento</b>	<b>Traço</b>	<b>Porcentagem de Aditivo</b>	<b>Idade de Rompimento (Dias)</b>	<b>Resistência à Compressão (MPa)</b>
1	1:3	0	7	4,946 ± 0,38
2	1:3	0	14	5,590 ± 0,34
3	1:3	0	21	6,207 ± 0,24

Tabela 3- Resistência à compressão média dos corpos de prova convencionais.

Fonte: Autor.

De acordo com a NBR 5732 (7), a resistência à compressão mínima aos 7 dias para um cimento da classe de 32 MPa, é 20 MPa. Como observa-se na Tabela 4, a argamassa não obteve esse resultado, chegando a apenas 4,946 MPa ± 0,38 nessa mesma idade, isso pode ter ocorrido devido a utilização de um agregado miúdo (areia) não muito confiável ou por causa de um mal adensamento na etapa de moldagem.

Os valores expressos na Tabela 3, foram comparados com os resultados encontrados nos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova contendo aditivos.

Os corpos de prova com adição de amaciante, antes do rompimento, podem ser vistos na Figura 7.



Figura 7 – Corpos de prova com adição de amaciante.

Fonte: Autor.

A Tabela 4 apresenta os resultados de resistência à compressão para os corpos de prova contendo amaciante.

AMACIANTE				
Experimento	Traço	Porcentagem	Idade de Rompimento	Resistência à
Compressão		De aditivo	(Dias)	(MPa)
1	1:3	2	7	5,647 ± 0,69
2	1:3	2	14	6,085 ± 0,89
3	1:3	2	21	6,718 ± 0,28
4	1:3	4	7	6,815 ± 0,00
5	1:3	4	14	7,983 ± 0,28
6	1:3	4	21	10,466 ± 0,34
7	1:3	6	7	6,085 ± 0,76
8	1:3	6	14	6,766 ± 0,76
9	1:3	6	21	9,249 ± 0,83

Tabela 4 - Resistência à compressão média dos corpos de prova com adição de amaciante.

Fonte: Autor.

De acordo com Tabela 4, pôde-se constatar que a maior resistência à compressão encontrada de  $10,466 \pm 0,34$  MPa é com o percentual de 4% de amaciante, com 21 dias de cura, chegando a ser quase duas vezes maior que a resistência do corpo de prova padrão. Isso pode ter ocorrido devido a presença do quaternário de amônio na composição química do amaciante, pois essa substância também se encontra presente nos aditivos convencionais que têm essa função, como os aditivos plastificantes. Outro motivo, que deve ser frisado, para o aumento da resistência à compressão com a presença do aditivo, foi a diminuição do fator água cimento, entretanto, vale salientar também que, a trabalhabilidade da argamassa melhorou mesmo com a diminuição da água, quando comparada a padrão, como pode ser observada na Figura 8.



Figura 8 – Argamassa com adição de amaciante.

Fonte: Autor.

Os corpos de prova com adição de desinfetante, antes do rompimento, podem ser vistos na Figura 9.



Figura 9 – Corpos de prova com adição de desinfetante.

Fonte: Autor.

A Tabela 5, apresenta os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova contendo desinfetante.

DESINFETANTE				
Experimento Compressão	Traço	Porcentagem De Aditivo	Idade de Rompimento (Dias)	Resistência à (MPa)
1	1:3	2	7	6,377 ± 0,62
2	1:3	2	14	8,129 ± 1,17
3	1:3	2	21	8,738 ± 1,00
4	1:3	4	7	4,746 ± 0,38
5	1:3	4	14	7,448 ± 0,76
6	1:3	4	21	8,129 ± 0,96
7	1:3	6	7	4,990 ± 0,17
8	1:3	6	14	5,306 ± 0,76
9	1:3	6	21	5,720 ± 0,31

Tabela 5 - Resistência à compressão média dos corpos de prova com adição de desinfetante.

Fonte: Autor.

Conforme mostra-se na Tabela 5, a maior resistência à compressão obtida, para o desinfetante, é com o percentual de 2%, chegando a 8,738 ± 1 MPa. Também

é possível constatar que enquanto a porcentagem de aditivo aumenta, a resistência à compressão diminui.

O desinfetante apresentou-se como um bom aditivo, melhorando a trabalhabilidade (Figura 10) e aumentando a resistência à compressão quando comparado ao padrão, entretanto, ficou 16,51% abaixo do amaciante. A melhora nessas propriedades pode ser justificada pelos mesmos motivos expostos para o amaciante, que é a presença do quaternário de amônio e a diminuição do fator água cimento do traço convencional. Entretanto, para se ter resultados mais detalhados, seria necessário a realização de um estudo mais aprofundado, que levasse em consideração as composições e propriedades químicas dos aditivos presentes no mercado, e dos não-convencionais, além dos seus comportamentos nas argamassas.



Figura 10 - Argamassa com adição de desinfetante.

Fonte: Autor.

#### 4 | CONCLUSÃO

Os resultados de resistência à compressão e de verificação da trabalhabilidade da argamassa obtidos, na presença de aditivos, foram satisfatórios, confirmando assim a sua viabilidade na produção de argamassas.

Os dois aditivos provocaram um aumento na resistência à compressão, apresentando-se melhor no percentual de 4% para amaciante e de 2% para o desinfetante, porém conforme se aumentou essa porcentagem para 6%, todos tiveram redução da sua resistência à compressão, provando assim o que está presente na literatura estudada, que recomenda a porcentagem máxima de 5 % para utilização de aditivos.

A argamassa com amaciante foi a mais resistente à compressão, mostrando-se melhor na proporção de 4%, aonde chegou a resistência de  $10,466 \pm 0,34$  MPa na idade de 21 dias, sendo quase duas vezes maior que o padrão, que teve resistência à compressão de  $6,207 \pm 0,24$  MPa na mesma idade.

A melhoria nas propriedades estudadas pode ser justificada devido a presença do

quaternário de amônio na composição química dos dois aditivos não-convencionais, essa mesma substância também se encontra nos aditivos presentes no mercado. Além disso, a redução do fator água cimento também teve grande influência nessa melhora, agindo diretamente na resistência à compressão da argamassa. Entretanto, devido à complexidade do tema, se vê necessário novos estudos que possam avaliar outras propriedades das argamassas, como: aderência, durabilidade, retenção de água, etc.

Contudo, este trabalho foi de grande relevância, gerando conhecimento na área de produção de argamassas, dando soluções para a utilização de aditivos mais baratos que podem ser facilmente encontrados no mercado e que causam menos impactos ao meio ambiente quando comparados aos convencionais.

## REFERÊNCIAS

- (1) MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M, **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais Propriedades e Materiais**, IBRACON, 2008.
- (2) ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. Volume 2 – 1ª. Edição. São Paulo, IBRACON, 2007.
- (3) SCANDOLARA, J. P. **Propriedades de argamassas obtidas pela substituição parcial de cimento portland por rejeitos particulados de tijolos**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas CCT. Joinville, 2010.
- (4) NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997.
- (5) Correa, A.C.A., 2010. **Estudo do desempenho dos aditivos plastificantes e polifuncionais em concretos de cimento portland tipo CPIII - 40**. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós - Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense. Niterói.
- (6) ABNT NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.
- (7) ABNT NBR 5732: **Cimento Portland comum**. Rio de Janeiro, 1991.

## ESTUDO DA INFLUÊNCIA NA CONCENTRAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO NO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA

Data de aceite: 18/11/2019

### Wendel Melo Prudêncio de Araújo

Centro de Ensino Unificado do Piauí, Teresina-Piauí.

### Thays Mabelly Bezerra e Silva

Centro de Ensino Unificado do Piauí, Teresina-Piauí.  
Teresina-Piauí.

### Kássia Hellen Souza de Oliveira

Centro de Ensino Unificado do Piauí, Teresina-Piauí.

### João Marcos Lima Veras

Centro de Ensino Unificado do Piauí, Teresina-Piauí.

### Joaquim Lucas de Souza Paixão

Centro de Ensino Unificado do Piauí, Teresina-Piauí.

### João Emmanuel Alves Oliveira

Centro de Ensino Unificado do Piauí, Teresina-Piauí.

**RESUMO:** O uso do concreto de alta resistência (CAR), além de proporcionar à construção civil um avanço tecnológico, pode ser mais vantajoso do ponto de vista econômico, o uso deste tipo de concreto na execução de edifícios permite reduzir as seções de pilares e vigas, o que conseqüentemente resulta em uma maior velocidade de execução, bem como na redução

da carga permanente da estrutura. Essas vantagens do concreto de alta resistência podem ser otimizadas adicionando, na mistura, fibras de polipropileno. Com isso, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas e a consistência do concreto de alta resistência com adição de fibras de polipropileno na mistura. Para tal foram moldados três corpos de prova cilíndricos, rompidos aos 28 dias para o ensaio de resistência à compressão e três para compressão diametral, para cada uma das seis dosagens com concentrações de 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% de fibras de polipropileno, em relação ao peso do cimento, além disso foi verificada a consistência do concreto através do slump test. Constatou-se através deste estudo que adicionando-se fibra de polipropileno no concreto de alta resistência pode-se acarretar em um aumento na resistência à compressão e compressão diametral, mas uma diminuição na trabalhabilidade com o aumento da concentração de fibra de polipropileno na mistura, verificado pelo slump test.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto de alta resistência; Resistência à compressão, Resistência à compressão diametral; slump test; Fibra de polipropileno.

STUDY OF THE INFLUENCE ON THE  
CONCENTRATION OF POLYPROPYLENE  
FIBERS IN HIGH STRENGTH CONCRETE

**ABSTRACT:** The use of high strength concrete (CAR), in addition to providing the construction industry with a technological advance, may be more economically advantageous, the use of this type of concrete in the execution of buildings reduces the sections of pillars and beams, which consequently results in a higher speed of execution as well as in the reduction of the permanent load of the structure. These advantages of high strength concrete can be optimized by adding polypropylene fibers in the blend. Therefore, the objective of this work is to evaluate the mechanical properties and consistency of high strength concrete with the addition of polypropylene fibers in the mixture. For this, three cylindrical specimens, ruptured at 28 days for the compression strength test and three for diametrical compression, were molded for each of the six dosages with concentrations of 0; 0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5% of polypropylene fibers, in relation to the weight of the cement, in addition the concrete consistency was verified through the slump test. It was verified through this study that adding polypropylene fiber in high-strength concrete can lead to an increase in the compressive strength and diametral compression, but a decrease in the workability with the increase of the concentration of polypropylene fiber in the mixture, verified by the slump test.

**KEYWORDS:** High-strength concrete; Compressive strength, Diametral compression strength; slump test; Polypropylene fiber.

## 1 | INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais antigos da humanidade, sendo também um dos mais utilizados na construção civil, pois possui baixo custo e a capacidade de se adaptar a várias condições de produção, contudo, ele ainda manifesta algumas dificuldades e preocupações para quem vai utiliza-lo, como o comportamento frágil e a baixa capacidade de deformação. Por esse motivo tem-se estudado novas tecnologias, para aumentar o desempenho do concreto, pois se necessita que o mesmo seja cada vez mais resistente aos esforços mecânicos causados na estrutura, portanto, surgiu-se uma nova possibilidade de reforço do concreto através do uso de adições minerais e fibras, sendo a fibra em questão, a de polipropileno (GOES, 2016).

O concreto com a adição de fibras vem sendo estudado nas últimas três décadas, estas fibras são produzidas com a finalidade de proporcionar ao concreto, a diminuição de fissuração nas primeiras idades e o reforço no estado endurecido. Percebemos que a fibra de polipropileno é eficiente no estado fresco e no início do processo de endurecimento do concreto. Essas fibras não eliminam a necessidade de realização de uma boa cura, mas atuam no sentido de minimizar o risco de fissuração plástica, além de dispensar as armaduras habituais. (FIGUEREDO, 2005).

Bentur e Mindess (2007) afirmam que a presença de fibras na argamassa promove ao concreto um ganho de resistência a tração, maior capacidade de

deformação e aumento da tenacidade. Além dessas propriedades, Choi e Yuan (2004) adicionaram o aumento da resistência ao impacto, resistência a flexão e do módulo de ruptura. Com isso, o objetivo desta pesquisa é analisar a influência, na adição de fibra de polipropileno, nas propriedades mecânicas e a consistência do concreto de alta resistência.

## 2 | CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA

De acordo com a ABNT NBR 8953:2015, para se obter um concreto de alta resistência (CAR), é necessário que o mesmo obtenha resistência a compressão de 50 Mpa aos 28 dias de idade, adequando-se na classe de resistência do Grupo II.

O emprego do concreto de alta resistência, além de possibilitar à construção civil um avanço tecnológico, pode ser mais benéfico ao ponto de vista econômico, ao ser relacionado com o concreto convencional. O uso deste tipo de concreto na execução de edifícios altos permite reduzir as seções de pilares tendo uma maior velocidade de execução, e uma redução da carga da estrutura e das fundações (MEHTA, 2014).

O concreto de alta resistência é fabricado usando uma diversidade de materiais, exigindo uma seleção de cada material, para assegurar boa trabalhabilidade e excelente resistência, a dosagem é mais criteriosa do que com o concreto convencional. De modo geral, são utilizadas adições minerais e aditivos químicos, para garantir um baixo fator água/cimento, que é essencial para este tipo de concreto. (SILVA, 1996).

### 2.1 Fibra de Polipropileno

As fibras de polipropileno estão entre as fibras mais utilizadas para reforços de concreto e vem ganhando bastante importância no mercado. Essas fibras são desenvolvidas a base de resina de polipropileno do tipo homopolímero em diversos tamanhos e formas, e com diferentes propriedades. Os principais benefícios dessa fibra é seu alto ponto de fusão (165 °C), resistência a álcalis e o seu baixo custo. Em compensação suas desvantagens são sua baixa resistência ao fogo, sensibilidade à luz do sol e oxigênio, baixo módulo de elasticidade e fraca aderência no material. (Bentur e Mindess, 2006).

As fibras de polipropileno usadas no reforço do concreto, podem ser demonstradas em três formas diferentes, sendo nomeadas por: monofilamentadas, multifilamentadas (filme fibrilado) e fita extrusada. Todas são usadas para reforço de argamassa e concreto, porém a mais satisfatória é a monofilamentada. Por possuir um peso específico baixo, essas fibras ainda auxiliam na redução do peso

do elemento estrutural (LUCENA, 2017).

Elas estimulam uma disposição homogênea das tensões no concreto, o que incentiva a melhora da sua resistência. Essas melhorias nas propriedades mecânicas do concreto são provenientes das fibras curtas, que além de melhorar a resistência, também previnem ou controlam a formação e proliferação de fissuras. (Gencel et al., 2011).

### 3 | MATERIAIS

#### 3.1 Cimento

Para a formulação dos traços utilizados na construção do concreto de alta resistência foi utilizado CII-E 32 (Cimento Portland, tipo dois e de resistência igual a 32 Mpa) de acordo com a NBR 16697:2018 (Cimento Portland – Requisitos).

#### 3.2 Agregado Miúdo

O material possui pouca variação na granulometria do agregado miúdo utilizado, sendo ideal para o concreto de alta resistência pois vai diminuir a demanda por água melhorando na trabalhabilidade do concreto. O valor de 2,88 para o módulo de finura está dentro do recomendado pela ABNT NBR NM 248:2003, onde os valores entre 2,50 e 3,00 são normais para o agregado miúdo. Verificou-se que a dimensão máxima característica do agregado miúdo é de 0,60 mm. A análise granulométrica é apresentada na tabela 1.

Abertura das Peneiras (mm)	Quantidade Retida Acumulada (%)
4,75	0
2,36	1
1,18	2
0,60	5
0,30	83
0,15	98
Fundo	100
Módulo de finura	2,88
Dimensão Máxima	0,60

Tabela 1 - Resultado do ensaio de análise granulométrica do agregado miúdo.

#### 3.3 Agregado Graúdo

Como agregado graúdo foi utilizado pedra britada de origem basáltica. Por meio do ensaio de granulometria, verificou-se que sua dimensão máxima característica é

de 9,50 mm. De acordo com a ABNT NBR NM 248:2003, o módulo de finura do agregado graúdo é de 3,60. A análise granulométrica é apresentada na tabela 2.

<b>Abertura das Peneiras (mm)</b>	<b>Quantidade Retida Acumulada (%)</b>
19,00	0
12,50	1
9,50	10
6,30	67
4,75	83
2,36	99
Fundo	100
Módulo de finura	3,60
Dimensão Máxima	9,50

Tabela 2 - Resultado do ensaio de análise granulométrica do agregado miúdo.

### 3.4 Fibra de Polipropileno

A fibra de polipropileno é produzida a partir de multifilamentos. (Figura 1). As propriedades físicas das fibras estão expostas na tabela 3.

<b>Propriedades Físicas</b>		
Diâmetro	$\mu\text{m}$	18
Seção		Circular
Comprimento	mm	12
Alongamento	%	80
Matéria-prima		Polipropileno
Peso Específico	$\text{g/cm}^3$	0,91

Tabela 3 Propriedades Físicas da Fibra de Polipropileno.



Figura 1 - Fibra de Polipropileno.

### 3.5 Sílica Ativa

Como adição mineral foi utilizado sílica ativa (Figura 2), que foi obtida através do processo de produção do silício metálico em fornos elétricos, onde, durante o processo, é gerado o gás SiO que ao sair do forno oxida-se formando partículas de SiO<sub>2</sub> captadas por um sistema de filtros coletores, este material é um tipo de pozolana formado de partículas esféricas amorfas (NBR 13956-1). Tabela 4 apresenta a composição química da sílica ativa, verificada no ensaio de fluorescência de raio-X.



Figura 2 – Sílica Ativa.

Óxidos	Teor (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,10
CaO	0,15
F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,21
K <sub>2</sub> O	1,66
Na <sub>2</sub> O	1,96
SiO <sub>2</sub>	90,33
Outros	3,59

Tabela 4 - Composição química da sílica ativa.

### 3.6 Aditivo

Foi utilizado aditivo superplastificante de terceira geração, que possui composição com base em uma cadeia de éter carboxílico modificado, para a produção do concreto de alta resistência.

## 4 | METODOLOGIA

Para a produção dos corpos de prova foi seguido o exposto na NBR 5738/2015, que mostra os procedimentos de moldagem e de cura dos corpos de prova de concreto. Para os ensaios de compressão e de tração por compressão diametral foram moldados corpos cilíndricos com diâmetro de 10cm e altura de 20cm. Após a

moldagem os corpos foram mantidos nas formas durante um período de 24 horas, que após este período foram desmoldados, identificados e colocados em cura submersa até 28 dias de idade.

A análise da consistência do concreto fresco, realizada no momento da produção dos corpos de prova, foi observada através do slump test, seguindo as normativas presentes na NBR NM 67:1998 que trata da determinação da consistência pelo abatimento do tronco do cone. (Figura 3).



Figura 3 - Slump Test.

Foram produzidos seis tipos de amostras, suas respectivas proporções estão fornecidas na tabela 5. A quantidade dos materiais utilizados cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, aditivo, sílica e água são constantes em todas as amostras. Já as quantidades de fibras de polipropileno foram adicionadas em diferentes porcentagens em relação ao peso do cimento.

Mistura	Cimento (g)	Agregado Miúdo (g)	Agregado Graúdo (g)	Aditivo (ml)	Água (ml)	Sílica (g)	Fibra de polipropileno (g)
CAR0	5500	6300	9600	80	1800	550	0
CAR0,5	5500	6300	9600	80	1800	550	28,5
CAR1,0	5500	6300	9600	80	1800	550	55
CAR1,5	5500	6300	9600	80	1800	550	82,5
CAR2,0	5500	6300	9600	80	1800	550	110
CAR2,5	5500	6300	9600	80	1800	550	137,5

Tabela 5 - Proporção dos materiais nas amostras

Após se completar a idade de 28 dias os corpos de prova foram submetidos

ao ensaio de resistência a compressão seguindo a NBR 5739:2007 e ao ensaio de resistência a tração por compressão diametral seguindo a NBR 7222:2011. Para o ensaio de compressão e compressão diametral, foi retirada a média de 3 resultados, para cada amostra.

## 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Consistência

A medida que a concentração de fibra de polipropileno aumentou na mistura, o abatimento do concreto sofreu alterações, conforme os resultados descritos na figura 4. O abatimento do concreto adotado foi de 120 mm, onde se enquadra na classe S160 (160 – 220mm), de acordo com a ABNT 8953:2015.

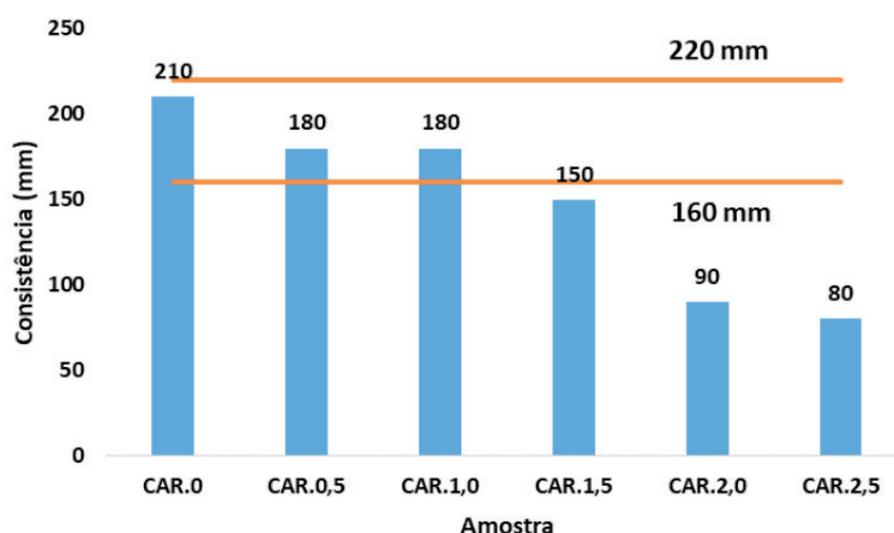


Figura 4 - Ensaio de Consistência.

As amostras CAR.0,50, CAR.1,00, CAR.1,50, CAR.2,00 e 2,50 obtiveram uma redução no abatimento do concreto de 19,04, 76,19, 92,82, 100 e 100% respectivamente, em relação a amostra CAR.0. Para a mesma relação água-cimento, a adição de fibra de polipropileno diminui a trabalhabilidade do concreto de alta resistência, sendo necessário, o aumento da relação água-cimento ou acréscimo na concentração de aditivo superplastificante para garantir sua consistência trabalhável.

A perda de trabalhabilidade nas misturas está atrelado ao aumento da necessidade da adição de mais água na para obter a mesma trabalhabilidade. De acordo com Nascimento (2015) o objetivo da adição de fibra no concreto é melhorar suas propriedades mecânicas e seu decréscimo pode não ser devido à adição de fibras ao concreto e sim à adição de mais água para aumentar a trabalhabilidade do mesmo.

## 5.2 Resistência à Compressão

Analisando a figura 5, observa-se um aumento na resistência à compressão apenas na amostra CAR0,5, as demais misturas apresentaram uma resistência menor que a amostra padrão, CAR0.

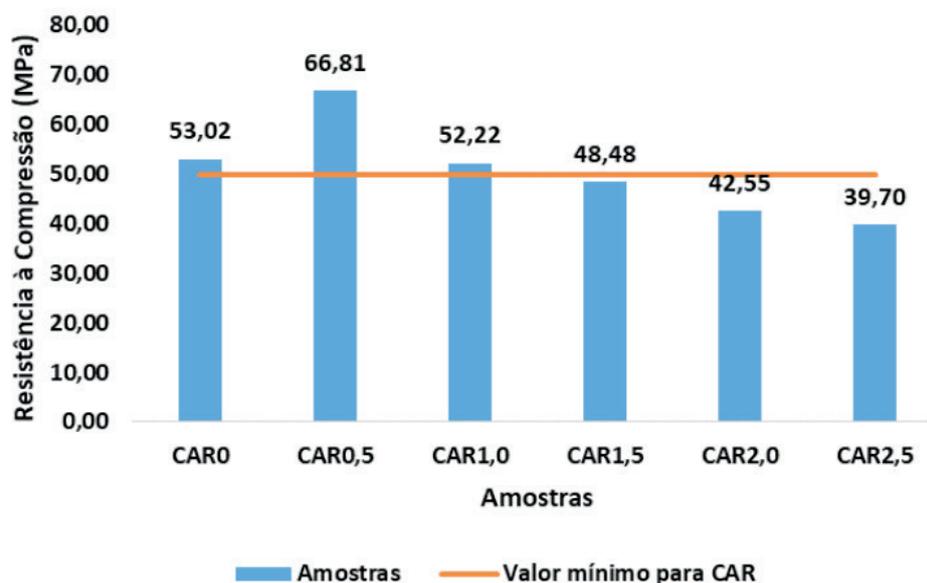


Figura 5 - resistência à compressão das amostras de concreto de alta resistência com fibras de polipropileno.

A baixa resistência à compressão, verificado nas amostras com concentração de fibra de polipropileno superior a 0,5%, pode estar atrelado a baixa trabalhabilidade da mistura. De acordo com Rehman (2012), o aumento da proporção de fibra no concreto tende a prejudicar sua trabalhabilidade, influenciando de forma negativa as suas propriedades mecânicas. Esta mesma verificação foi observada nesta pesquisa, como pode ser visto na figura 4.

A melhora nessa característica mecânica do compósito, pode ser devido à adesão que o material fibroso realiza na matriz do concreto permeável causando um efeito de Inter travamento, gerando, dessa forma, um aumento à compressão axial.

## 5.3 Resistência à compressão diametral

Observando a figura 6, constata-se um aumento na resistência por compressão diametral em relação a amostra padrão. As amostras CAR.0,50, CAR.1,00, CAR.1,50, CAR.2,00 e 2,50 obtiveram um aumento na resistência à compressão de 34,92, 34,33, 35,88, 6,33 e 4,90%, respectivamente, em relação a amostra CAR0. Ensaio pode ser visto na figura 7.

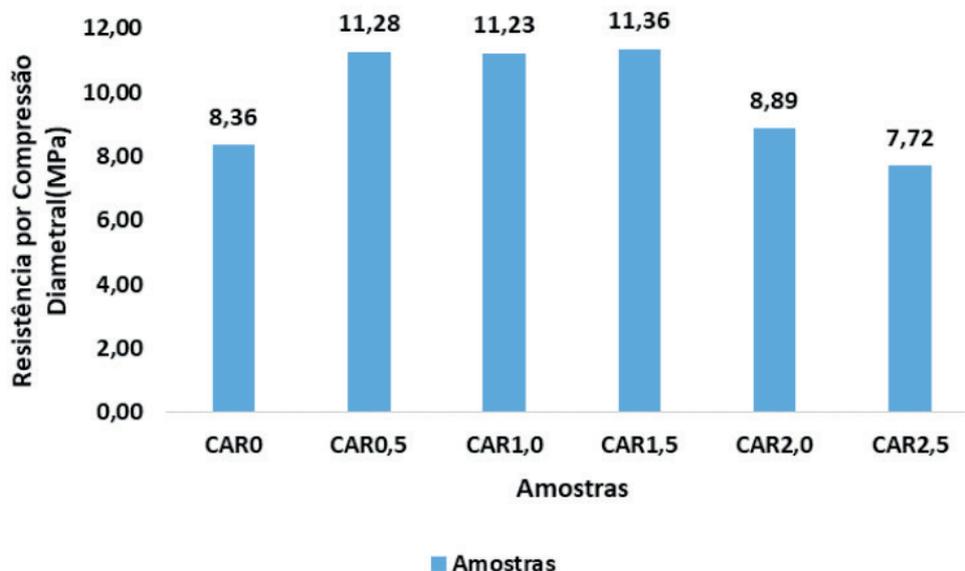


Figura 6 - Resistência à Compressão Diametral.

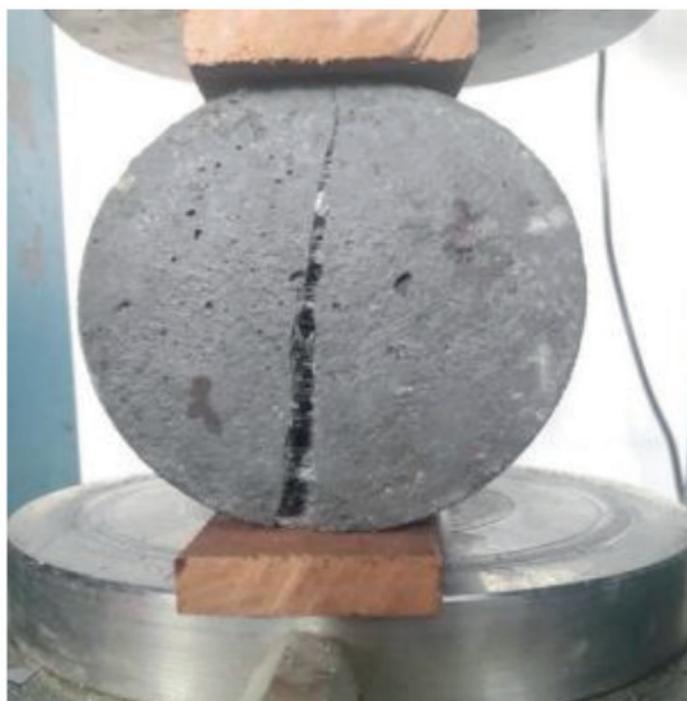


Figura 7 - Ensaio de compressão diametral.

Para El- Din (2017), é necessário que haja uma boa ligação entre a fibra e a matriz. Se o volume crítico de fibra para fortalecimento for atingido, então é possível obter múltiplas fissuras. Esta é uma situação desejável porque muda um material basicamente frágil com uma única superfície de fratura para fraturar em um material pseudo-dúctil que pode absorver sobrecarga secundária transitória e choques com pouco dano visível. Caso esse volume crítico seja atingido, as fibras de polipropileno prejudicaram a trabalhabilidade, contribuindo para diminuir a resistência mecânica do concreto.

## 6 | CONCLUSÃO

Esta pesquisa estudou a adição de fibra de polipropileno no concreto de alta resistência para avaliar sua influência na resistência a compressão, compressão diametral e consistência do concreto no estado fresco. Foram produzidos seis traços variando a concentração de fibra.

Com os resultados dos ensaios de compressão e compressão diametral, analisou-se que houve aumento da resistência do concreto com o aumento a adição de fibra de polipropileno. O melhor resultado, para a resistência à compressão foi com uma adição de 0,5% de fibra de polipropileno, já para compressão diametral, o melhor resultado foi para uma concentração de 1,5% de fibra na mistura.

Na análise da consistência das amostras produzidas, com o aumento da concentração de fibra de polipropileno, constatou-se uma diminuição significativa na trabalhabilidade. A partir de 1,5% de fibra de polipropileno na mistura, a mistura necessita de adição de água para ser possível moldá-la.

O concreto de alta resistência com adição de fibra de polipropileno apresentou-se eficiente para o aumento da resistência mecânica, mas é necessário controlar a sua adição para não comprometer, de forma considerável, a trabalhabilidade podendo influenciar de forma negativa as propriedades mecânicas e durabilidade do concreto de alta resistência.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **NM 67**: Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados-Determinação da composição granulométrica. 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222**: Concreto e argamassa — determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR. 8953**: Concreto para fins estruturais-Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 16697**: Cimento Portland - requisitos. 2018.

BENTUR, Arnon; MENTE, Sidney. Compósitos cimentícios reforçados com fibras . **Crc Press**, 2006.

CHOI, T.; YUAN, R.L.. Experimental relationship between splitting tensile strength and compressive strength of GFRC and PFRC. **Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 1587 – 1591, 2005.

DE FIGUEIREDO, Antonio Domingues. **Concreto com fibras**. 2005.

DE GOES, Caroline Marção Wolf et al. ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE MACROFIBRAS ESTRUTURAS SINTÉTICAS E MICROFIBRAS DE VIDRO ANTI-CRACK AR EM PISOS. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 12, n. 1, 2016.

EL-DIN, Hamdy K. Shehab et al. Mechanical performance of high strength concrete made from high volume of Metakaolin and hybrid fibers. **Construction and Building Materials**, v. 140, p. 203-209, 2017.

LUCENA, Júlio César Tavares de. **Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MARTINEZ-BARRERA, G. et al. Concretos poliméricos: uma descrição e métodos para modificação e melhoria. **Journal of Materials Education**, v. 33, n. 1, p. 37, 2011.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. Ibracon, 2014.

NASCIMENTO, Felipe Bomfim Cavalcante. **Concreto reforçado com fibras de aço**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, v. 3, n. 1, p. 43-56, 2015.

SILVA, Inês Santana da. **Concreto de alta resistência: composição, propriedades e dimensionamento**. 1995. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

## TIJOLO PRODUZIDO POR COMPÓSITO DE EXOCARPO DE LICURI FRAGMENTADO

Data de aceite: 18/11/2019

### **Bárbara Jane Martins Borges**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia.  
Simões Filho – BA.

### **Rafael Santos de Sousa Silva**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia.  
Simões Filho – BA.

### **Rúi Carlos de Sousa Mota**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia.  
Simões Filho – BA.

**RESUMO:** Este trabalho tem por finalidade analisar a viabilidade técnica da fabricação e utilização do tijolo solo-cimento reforçado com exocarpo (casca) de licuri (*Syagrus Coronata*) fragmentado. Estes tijolos foram produzidos de forma manual em uma máquina simples, sendo que em cada batelada é produzido 01 tijolo. O exocarpo é aplicado nas proporções de 10%, 14% e 18% do peso total de todos os materiais necessário para a produção, totalizando 3 quilos. Quando o tijolo agrega a proporção de 10% de exocarpo de licuri, deve agregar também a mesma proporção de 10% de areia e cimento Portland Cinza, somando-se a essa proporção 300ml de água e 70% de argila oriunda da Cova

da Gia (localidade próxima ao nosso instituto). Os testes de compressão e de flexão em três pontos foram executados em nosso laboratório de tecnologias sociais nos tijolos tradicionais e nos tijolos feitos por compósitos nas três diferentes proporções anteriormente citadas, com o objetivo de conhecer e comprovar a eficiência do reforço proposto a fim de, a partir dos resultados obtidos, estabelecer qual das alternativas possui melhor viabilidade técnica. O processo de secagem do tijolo solo-cimento reforçado com o exocarpo do licuri leva, no máximo, uma semana. Esse tempo pode variar de acordo com as condições climáticas do local da secagem. A compensação é totalmente ambiental e financeira, já que não é necessária a queima de árvores para o processo de secagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** compósito; licuri; tijolo

### **BRICK PRODUCED BY FRAGMENTED LICURI EXOCARPO COMPOSITE**

**ABSTRACT:** This work aims to analyze the technical feasibility of manufacturing and use of reinforced soil-cement brick with exocarp (bark) licuri (*Syagrus Coronata*) fragmented. These bricks will be produced in manual form of a simple machine, and in each batch is produced 01 brick. The exocarpo is applied in the proportions 10%, 14% and 18% of the total

weight of all the materials required for the production, total 3 kg. When the brick adds the proportion of 10% exocarpo licuri also adds the same proportion of 10% sand and cement portland gray, adding 300ml of water and 70% clay coming from the Cova da Gia, town close to our institute. Compression and bending tests were performed in 3 points of traditional bricks and bricks made by composites in three different proportions previously mentioned, in order to know and prove the strengthening of efficiency proposed in order, from the results, establish which of the alternatives has better technical feasibility. The drying process of the soil-cement reinforced brick with the exocarpo licuri takes a maximum of one week. This time can vary depending on climate conditions of the place of drying. The compensation is totally environmental and financial, since it is not necessary for the burning of trees drying process.

**KEYWORDS:** brick, composite, environmental, licuri, soil-cement.

## 1 | INTRODUÇÃO

O homem está devastando cada vez mais a natureza e o meio ambiente para suprir-se de combustíveis sólidos, por exemplo o carvão. O uso de lenha no processo produtivo dos tijolos tem liberado gases causando o chamado efeito estufa, que aumenta a temperatura da terra tendo como consequência o aquecimento global, responsável pela maioria dos desastres climáticos atuais. Além disso, a devastação ocorre com a desertificação de vários lugares do Brasil, ocasionada pela retirada de árvores para a queima de carvão na fabricação de tijolos e construção de casas de taipa. As casas de taipa por serem feitas de barro e varas de árvores são construídas com fissuras que abrigam roedores e insetos como o barbeiro, causador do mal de chagas. O tijolo feito por compósito de argila e exocarpo de licuri fragmentado é uma ótima alternativa para a sustentabilidade, deixando de lançar anualmente toneladas de dióxido de carbono na atmosfera, podendo assim oferecer um modo viável e seguro de construir moradias de baixo custo para o desenvolvimento sustentável e para a mitigação das mudanças climáticas. Foi com a problemática apresentada e com os resultados que poderão ser obtidos com a implantação de tecnologias limpas e sustentáveis, que foi elaborado o projeto do tijolo solo-cimento reforçado com exocarpo do licuri fragmentado, produzido com o objetivo de trazer à sociedade uma alternativa de construção de moradias com menores impactos ambientais e com redução da quantidade de GEE's (gases de efeito estufa) produzidos pela decomposição dos resíduos descartados, após a quebra e retirada da amêndoa. O aproveitamento do exocarpo de licuri fragmentado torna os tijolos mais resistentes ao mesmo tempo em que reduz a poluição atmosférica, já que o processo de secagem do tijolo ocorre com a temperatura solar e não pela queima de carvão. Este tijolo é viável e útil para as classes menos favorecidas e de área rural, unindo economia e ecologia em uma solução para o problema habitacional de baixa renda.

## 2 | METODOLOGIA

Para realização desse trabalho, foram utilizados os seguintes materiais: exocarpo do licuri fragmentado, argila, areia, cimento e água. De posse desses materiais, o primeiro passo foi fragmentar o exocarpo do licuri em um pilão para depois peneirá-lo, separando as partes por tamanho. Em seguida mediu-se a quantidade necessária dos materiais para a produção do tijolo, conforme cada uma das proporções adotadas, que foram: 10%, 14% ou 18%. A mistura de argila com os demais materiais, depois de homogeneizado foi levado para a máquina de fabricação de tijolo manual, onde foi prensado e retirado para secagem. Depois de fabricados, os tijolos foram levados para a máquina de compressão e de flexão em três pontos para a realização dos testes.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do teste de compressão e de flexão em três pontos foi possível analisar a força que cada tipo de tijolo pode suportar. No teste de flexão em três pontos, o tijolo na proporção de 10% rompeu com a força de 0,674kN, o de 14% rompeu com 1,12kN e já o de 18% com 0,745kN. No ensaio de compressão os resultados aferidos foram: o tijolo de 10% suportou até 1,2 toneladas, o de 14% até 1,6t e o de 18% aguentou até 1,8t. A partir dessa análise demonstrou que dos três tijolos trabalhados (10%, 14% e 18%), o mais viável para construção foi o de 14% de exocarpo de licuri fragmentado, pois nos testes realizados na prensa hidráulica e na máquina universal de ensaios obtiveram excelentes resultados, evidenciando assim as suas vantagens. Vale salientar que a fabricação de mil tijolos tradicionais necessita da queima de três árvores adultas, mas a fabricação de mil tijolos solo-cimento reforçado com 14% de licuri fragmentado não há a queima de árvore. Além disso, a obtenção do exocarpo não é difícil já que a Bahia é a maior produtora do Brasil desse produto, sendo esta uma palmeira nativa da caatinga e do semiárido baiano.

O crescimento e a utilização de materiais de baixo custo, que diminuam cada vez mais o gasto de energia e que degradem cada vez menos o meio ambiente, nos setores econômicos e principalmente na construção civil, beneficiam a humanidade em geral. A seguir é apresentado a “Tab. 1” e o gráfico que foi elaborada a partir dos testes desenvolvidos na máquina de ensaios. Em seguida contém as imagens da realização dos processos, em sequência, para a fabricação do tijolo.

%	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Carga máxima (kN)	Módulo Elástico (GPa)	Deformação máxima (mm)	Material
10	60	125	220	0,674	0,01675	1,054	ECO-TJ10
14	60	125	220	1,12	0,04743	0,704	ECO-TJ14
18	60	125	220	0,745	0,01273	1,195	ECO-TJ18

Tabela 1. Resultado do ensaio de flexão em três pontos. IFBA, 2015.

(mm) = Milímetro; (kN) = Quilo Nilton; (GPa) = Giga Pascal



Figura 1. Gráfico ilustrando a variação da deformação máxima (mm) pela carga máxima (kN) a partir do ensaio de flexão em três pontos produzido com os três tijolos (10%, 14%, 18%)



Figura 2. Moagem do exocarpo



Figura 3. Materiais sólidos utilizados



Figura 4. Mistura dos materiais



Figura 5. Carregamento da máquina



Figura 6. Compactação do tijolo



Figura 7. Ensaio em três pontos



Figura 8. Prensagem

#### 4 | CONCLUSÃO

O uso do tijolo solo-cimento reforçado com exocarpo (casca) de licuri torna-se mais viável do que o tijolo tradicional, tanto do ponto de vista econômico como ambiental. Isso porque o consumo de energia utilizado na preparação da argila é reduzido pela diminuição do número de máquinas utilizadas. Além disso, quando comparado com o tijolo tradicional, observa-se que o custo da matéria prima (argila, areia, exocarpo de licuri) e o consumo de água utilizado é significativamente menor. Atrelado a esses fatores, nota-se que esse produto é aproximadamente 5 vezes mais resistente, de acordo com testes realizados no campus Simões Filho do Instituto Federal da Bahia. Outrossim, um único cacho de licuri adulta produz por volta de 10kg de casca (passada por todos os processos). Atrelado esses benefícios, não há queima de carvão e nem consumo de energia elétrica no processo de secagem do tijolo, causando grande economia em relação ao tijolo tradicional. Essas características são insumos que produzem grandes possibilidades de atrair financiadores e fabricantes desse tipo de material.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao nosso Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, campus Simões Filho que viabilizou a elaboração deste projeto, disponibilizando os seus laboratórios equipados. Ao professor Rui Mota pela paciência, compreensão e fundamental orientação acadêmica. Por fim, agradecemos também a todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta durante a construção deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS COMPÓSITOS. “**Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenho e Tendências**”. São Paulo, 2009. 623 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS COMPÓSITOS. “**Compósitos 2: Tecnologia de**

**processos**". São Paulo, 2009. 355 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS COMPÓSITOS. "**Compósitos 3: Mercado**". São Paulo, 2009. 133 p.

BARBOSA, N.P. "**Transferências e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. In: Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional**". Porto Alegre: Ibsn, 2003. (coletânea Habitare – vol 2).

CABALA, G.V.E.; ACCHAR, W. "**Estudo do comportamento mecânico de estruturas de solo-cimento reforçado com fibra de coco e hastes de bambu. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)**." Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

GARCIO, A.; SPIM, J.A.; SANTOS, C.A. "**Ensaio dos Materiais**". Rio de Janeiro: S.A, 247 p. 1 v.

MOTA, R.C.S.; SILVA, J.U. "**Análise de viabilidade técnica de utilização da Fibra de bananeira com resina sintética em Compósitos**". 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

NETO, F.L.; PARDINI, L.C. "**Ciência e Tecnologia: Compósitos Estruturais**". São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

SECRETARIA de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária. Cultura Licuri. Disponível em: < <http://epocanegocios.globo.com>>. Acesso em: 29 set.2014.

## 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).

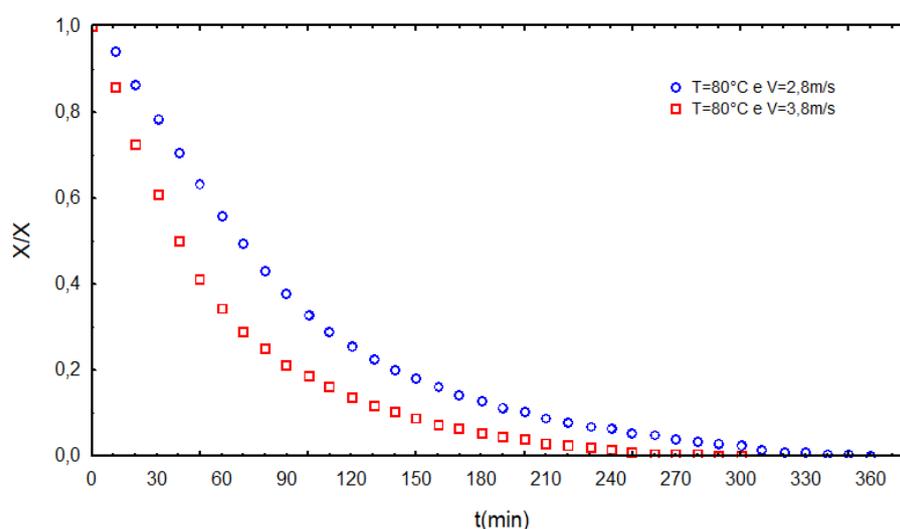


Figura 2: Curva de secagem para a mistura de LV (60%), sílica (30%) e argila (10%).

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.

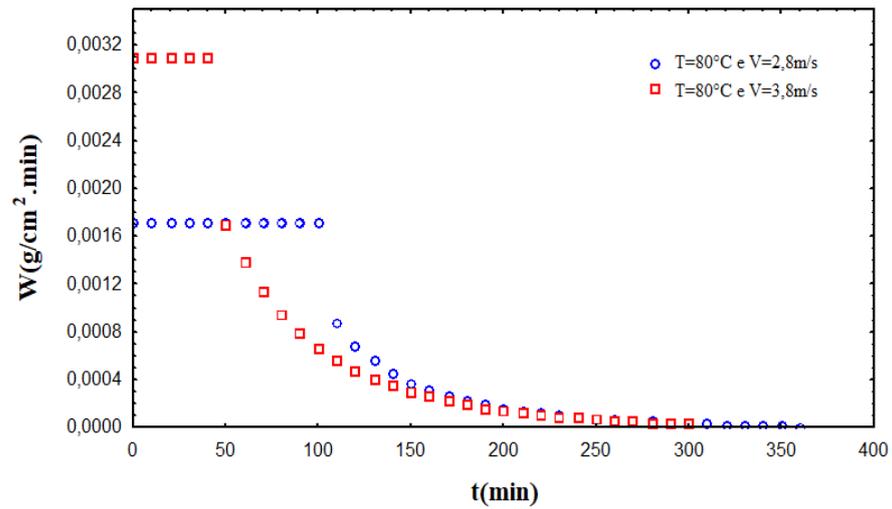


Figura 3: Curva da taxa de secagem utilizando o modelo de Midilli para a mistura de LV (60%), sílica (30%) e argila (10%).

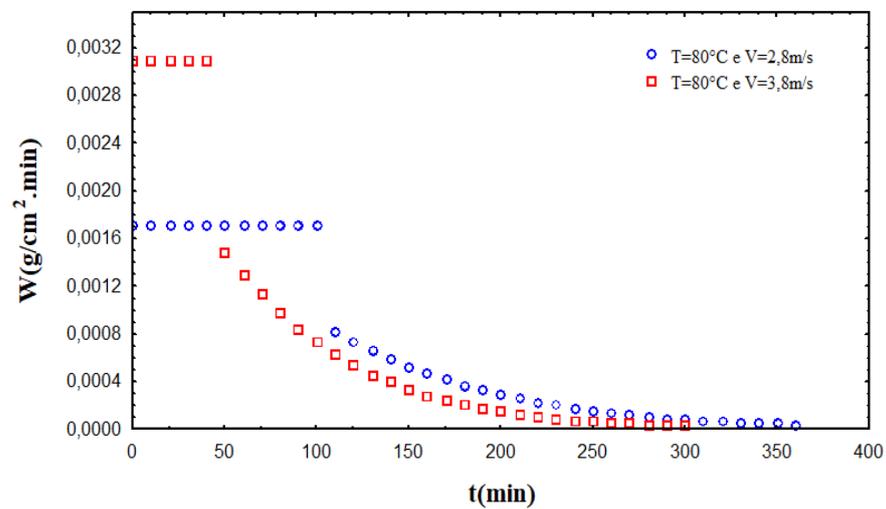


Figura 4: Curva da taxa de secagem utilizando o modelo de Page para a mistura de LV (60%), sílica (30%) e argila (10%).

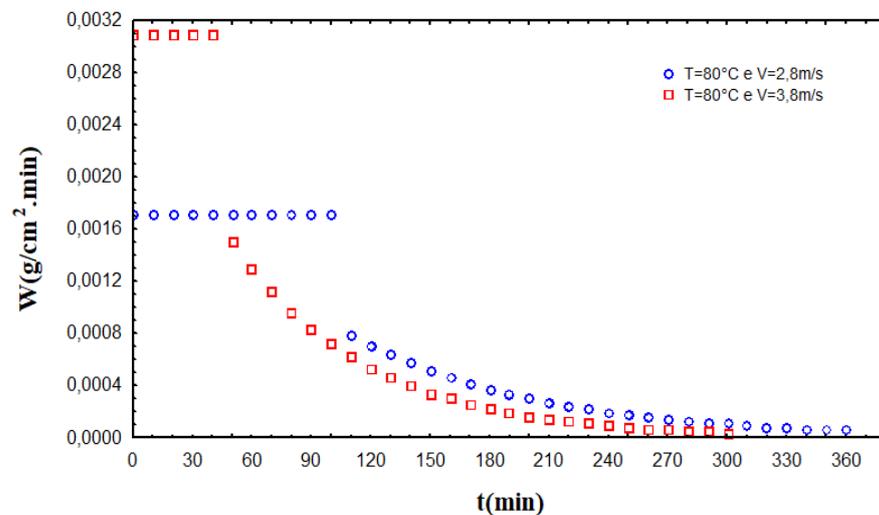


Figura 5: Curva da taxa de secagem utilizando o modelo Logarítmico para a mistura de LV (60%), sílica (30%) e argila (10%).

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., GROCOTT, 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.

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DO RESÍDUO DE FELDSPATO COMO MATERIAL PARA CAMADAS DOS PAVIMENTOS

Data de aceite: 18/11/2019

**Jonatas Kennedy Silva de Medeiros**

Universidade Federal de Campina Grande  
Pombal - Paraíba

**Larissa Santana Batista**

Universidade Federal de Campina Grande  
Pombal - Paraíba

**Giovanna Feitosa de Lima**

Universidade Federal de Campina Grande  
Pombal - Paraíba

**RESUMO:** A indústria mineral se destaca pela contribuição significativa com a economia do Brasil, contudo, possui um baixo índice de desenvolvimento sustentável, pois produz uma grande quantidade de resíduos. Dentre eles, pode-se mencionar os provenientes do beneficiamento do feldspato, que são abundantes na natureza e apresentam características com diversas aplicações industriais. Assim, devido à crescente preocupação com a questão ambiental, surge então, a possibilidade de incorporação desses rejeitos como novos produtos ou componentes dos diversos fins, como por exemplo, a pavimentação. Pavimento é uma superestrutura formada por camadas de espessuras finitas, assentes sobre o subleito, admite-se ainda uma camada de reforço de subleito, além das camadas de sub-base, base

e revestimento. Nessa perspectiva, este artigo teve por objetivo analisar o comportamento físico e mecânico do resíduo de feldspato, verificando suas prováveis utilizações como material alternativo na pavimentação. Para tanto, efetuou-se a caracterização física através dos ensaios de granulometria, limite de liquidez e de plasticidade e permeabilidade. Por sua vez, a caracterização mecânica se deu através dos ensaios de compactação, *California bearing ratio* e cisalhamento direto. Os resultados demonstraram que o resíduo possui areia como maior fração granulométrica, não apresentando plasticidade e possuindo coeficiente de permeabilidade mediano. Além disso, exibiu comportamento mecânico satisfatório frente às exigências das camadas dos pavimentos. Logo, é possível concluir que o resíduo de feldspato pode ser aplicado em camadas como reforço de subleito, sub-base e como o próprio subleito do pavimento, colaborando assim, para a redução das pilhas de rejeitos e desenvolvimento de um setor mais sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mineração, Sustentabilidade, Pavimentação.

**ANALYSIS OF PHYSICAL AND MECHANICAL BEHAVIOR OF FELDSPATO WASTE AS PAVEMENTS LAYER MATERIAL**

**ABSTRACT:** The mineral industry stands out

for its significant contribution to the Brazilian economy, however, has a low index of sustainable development, as it produces a large amount of waste. Among them, we can mention those derived from the processing of feldspar, which are abundant in nature and have characteristics with various industrial applications. Thus, due to the growing concern about the environmental issue, the possibility of incorporating these tailings as new products or components of various purposes, such as paving, arises. Pavement is a superstructure formed by layers of finite thickness, resting on the subgrade, and a subgrade reinforcement layer is allowed, in addition to the sub-base, base and coating layers. From this perspective, this article aimed to analyze the physical and mechanical behavior of feldspar residue, verifying its probable uses as an alternative paving material. To this end, the physical characterization was performed through the tests of grain size, liquidity limit and plasticity and permeability. In turn, the mechanical characterization occurred through the compaction, California bearing ratio and direct shear tests. The results showed that the residue has sand as the largest particle size fraction, without plasticity and having a median permeability coefficient. In addition, it exhibited satisfactory mechanical behavior against the demands of the floor layers. Therefore, it can be concluded that the feldspar residue can be applied in layers as subgrade reinforcement, subfloor and as the pavement subgrade itself, thus contributing to the reduction of tailings piles and development of a more sustainable sector.

**KEYWORDS:** Mining, Sustainability, Paving.

## 1 | INTRODUÇÃO

Entre os setores que mais contribuem para alavancar a economia brasileira está a indústria de mineração. De acordo com a Agência Nacional de Mineração (2018), estima-se que o Valor da Produção Mineral (VPM) brasileira cresceu 0,73% no 1º semestre de 2018 em relação ao 2º semestre de 2017. Se a referência para a análise for o 1º semestre de 2017, então registrou-se um acréscimo de 5,88%. Sendo assim, o VPM no primeiro semestre de 2018 aproximou-se de R\$ 57,7 bilhões.

No entanto, como consequência dessa contribuição, há também um crescimento notório na produção de resíduos. Dentre esses resíduos pode-se encontrar os provenientes do feldspato, que pertencem ao grupo dos aluminossilicatos de potássio, sódio, cálcio e mais raramente bário, formam um dos mais importantes grupos de minerais, estando presentes em cerca de 60% da crosta terrestre, podendo ser encontrados em quase todas as rochas eruptivas e metamórficas, assim como em algumas rochas sedimentares (LIRA; NEVES, 2013).

Paralelo a isso, o elevado tráfego nas rodovias provoca, de forma mais significativa, o crescimento da pavimentação. Com essa expansão, surge uma maior demanda pelo consumo de grande parte dos recursos naturais, pois os mesmos

são utilizados para compor as camadas do pavimento. Nesse sentido, nota-se a importância da incorporação desses rejeitos como novos produtos ou componentes para as mais variadas finalidades, dentre elas, observa-se a aplicação alternativa na pavimentação, uma estratégia viável para o reaproveitamento dos resíduos, como também uma opção menos onerosa para garantir a qualidade dos pavimentos.

Assim, a reutilização desses rejeitos como possíveis materiais constituintes das camadas dos pavimentos é uma oportunidade de diminuir os gastos com deposição e consumo exacerbado de recursos naturais, contribuindo para eliminar a necessidade de armazenamento da grande quantidade de resíduos, além de favorecer o desenvolvimento sustentável dos setores.

Dessa forma, este artigo tem como finalidade analisar as propriedades físicas e mecânicas do resíduo de feldspato como material constituinte das camadas dos pavimentos rodoviários, visando a redução dos impactos ambientais ocasionados pela má disposição desse rejeito e o desenvolvimento de material alternativo para a pavimentação.

## **2 | REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Resíduos da mineração**

Na atividade de mineração existem dois tipos principais de resíduos sólidos: os estéreis e os rejeitos. Os estéreis são os materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapeamento da mina, não têm valor econômico e ficam geralmente dispostos em pilhas. Os rejeitos são resíduos resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidas as substâncias minerais (IPEA, 2012).

O IBRAM (2016) enfatiza que um desafio premente da sociedade é a redução dos resíduos gerados mantendo o mesmo patamar de qualidade de vida. Para tanto, a eficiência no uso dos recursos e o desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento de resíduos devem ser estratégicos.

### **2.2 Feldspato**

Segundo Caputo (2015), feldspatos são duplos de Al e de um metal alcalino ou alcalino terroso (K, Na ou Ca). Os principais são ortoclasita, anortita e albita. Há ainda combinações dos dois últimos, chamados de plagioclásios. Eles sofrem decomposição mais ou menos acentuada pelos agentes da natureza e constituem quase a metade dos minerais da crosta terrestre.

O beneficiamento de feldspato geralmente fundamenta-se na flotação e separação magnética para remover os minerais acessórios, tais como a mica, granada, ilmenita e quartzo. No caso de pegmatito e de areia feldspática, o quartzo é

aproveitado como co-produto. Em algumas aplicações, a existência de sílica (quartzo) é vantajosa, no entanto em outras requer um feldspato bastante puro (BARBATO; OGASAWARA; SAMPAIO, 2008).

## 2.3 Pavimentação rodoviária

Pavimento de uma rodovia é a superestrutura formada por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semiespaço considerado teoricamente como infinito - o terreno de fundação, designado de subleito. Além disso, é uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocadas em contato (DNIT, 2006).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (2006) estabelece algumas exigências para esses materiais. Os empregados como subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio de *California Bearing Ration* (CBR)  $\leq 2\%$  e um CBR  $\geq 2\%$ . As características geotécnicas para o reforço de subleito devem ser superiores a do subleito, demonstrados pelo ensaio de CBR e de caracterização, com expansão  $\leq 1\%$ . Para sub-base é necessário CBR  $\geq 20\%$ , índice de grupo (IG) = 0 e expansão  $\leq 1\%$ , para qualquer tipo de tráfego. Por fim, os materiais para base devem se enquadrar em uma das faixas granulométricas das especificações, além de apresentar CBR  $\geq 60\%$  para número N  $\leq 5 \times 10^6$ , CBR  $\geq 80\%$  para qualquer tipo de tráfego e expansão  $\leq 0,5\%$ , LL  $\leq 25\%$  e IP  $\leq 6\%$ .

## 3 | MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 exibe o fluxograma das atividades desenvolvidas na fase experimental.

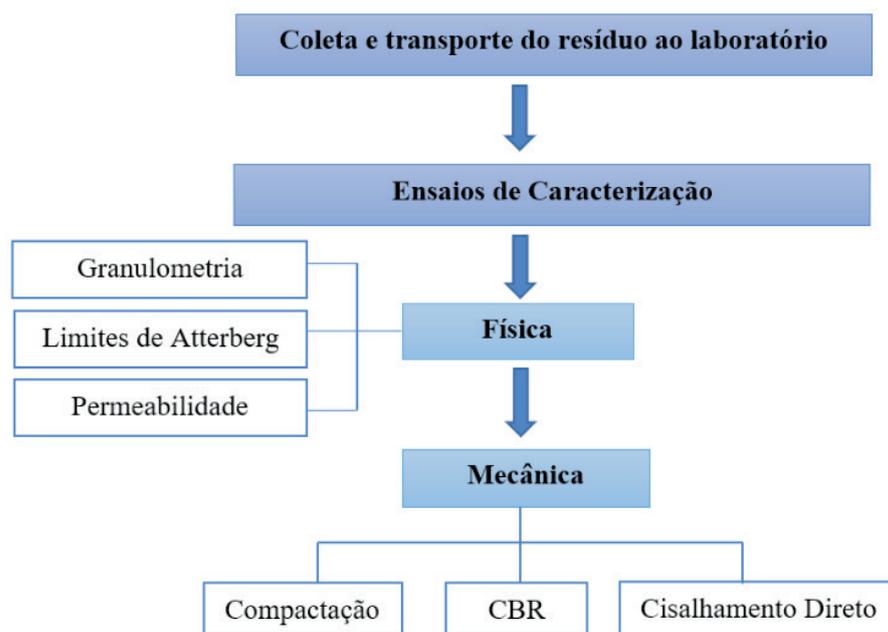


Figura 1 - Fluxograma da metodologia.

Fonte: Autor, 2019.

Primeiramente realizou-se a coleta do resíduo de feldspato na Arnil Mineração do Nordeste, cidade de Parelhas, região do Seridó do Rio Grande do Norte (RN). Em seguida, transportou-se o material em sacos plásticos até o Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Posteriormente, o resíduo de feldspato foi disposto em bandeja metálica para secagem ao ar e realização dos ensaios.

Os ensaios de caracterização física consistiram na análise granulométrica, através do peneiramento e sedimentação, dos limites de liquidez e plasticidade, como também do ensaio de permeabilidade a carga variável. Por sua vez, a caracterização mecânica foi realizada por meio do ensaio de compactação na energia intermediária (cilindro e soquete grande, com 26 golpes e 5 camadas), do ensaio de *California Bearing Ratio* (CBR) e cisalhamento direto (na condição não drenada, velocidade de 0,3 mm/min e tensões de 50, 100 e 200 kPa). Todos os ensaios foram realizados conforme as normas vigentes, sendo essas apresentadas na Tabela 1.

Ensaio	Normas
Granulometria	ABNT - NBR 7181/2018
Determinação do Limite de Liquidez	ABNT - NBR 6459/2017
Determinação do Limite de Plasticidade	ABNT - NBR 7180/2016
Permeabilidade – Carga Variável	ABNT – NBR 14545/2000
Compactação	ABNT - NBR 7182/2016
Determinação do Índice de Suporte Califórnia	DNIT – ME 172/2016
Cisalhamento Direto	ASTM - D3080/2004

Tabela 1 - Ensaio realizados e suas respectivas normas.

Fonte: Autor, 2019.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização física

Os resultados da caracterização física subdividiram-se em tópicos referentes a cada ensaio, como granulometria, limites de Atterberg e permeabilidade.

#### 4.1.1 Granulometria

A partir dos dados dos ensaios de peneiramento e sedimentação, tornou-se possível elaborar a curva granulométrica do resíduo de feldspato, conforme exibido na Figura 2. Além disso, a fim de enquadrá-lo em uma das faixas granulométricas propostas pela norma do DNIT ES 141/2010, para materiais utilizados em bases granulares, estabeleceu-se a curva granulométrica do rejeito com os limites da faixa F ( $N < 5 \times 10^6$ ), tendo em vista que essa foi a classificação mais aproximada para a

sua granulometria.

Verifica-se que o resíduo de feldspato poderá ser utilizado de forma direta como material de base granular, para a faixa F do DNIT. No entanto, somente a composição granulométrica não é suficiente para confirmar a sua aplicação como material para camada de base, tornando-se necessário avaliar os demais parâmetros, que serão apresentados no decorrer dessa pesquisa.

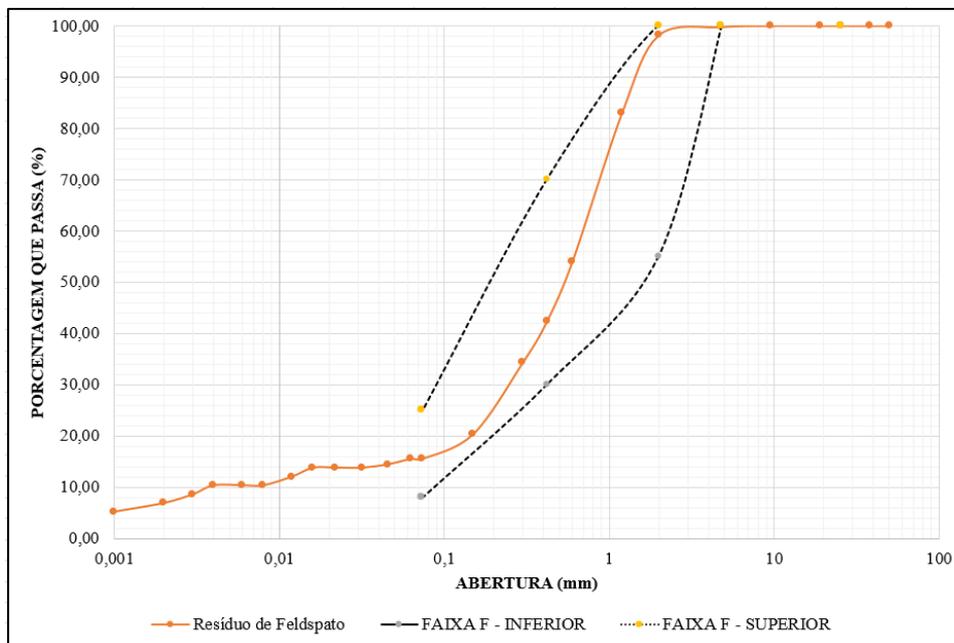


Figura 2 - Curva granulométrica com limite da faixa F proposta pelo DNIT.

Fonte: Autor, 2019.

Os parâmetros de diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ), coeficiente de uniformidade (Cu) e coeficiente de curvatura (Cc), foram extraídos da Figura 2 e estão expostos na Tabela 2 a seguir.

Resíduo	Diâmetro efetivo ( $D_{10}$ )	Coeficiente de uniformidade (Cu)	Coeficiente de curvatura (Cc)
Feldspato	0,004	175	22,32

Tabela 2 – Parâmetros determinados para o resíduo de feldspato.

Fonte: Autor, 2019.

Analisando os dados obtidos através da curva granulométrica do resíduo, nota-se que o mesmo possui  $Cu > 15$ , revelando uma desuniformidade nos grãos, característica positiva para abordagem na mecânica dos solos e dos pavimentos, porém, não se encaixou no intervalo de bem graduado proposto pelo coeficiente de curvatura, em que varia de 1 a 3, segundo Caputo (2016). Além disso, espera-se que a água possua uma certa facilidade de se movimentar entre as partículas desse resíduo, tendo em vista que seu diâmetro efetivo é pequeno.

Abaixo, na Tabela 3, é possível visualizar a composição granulométrica do resíduo, segundo a classificação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Granulometria (mm)	Resíduo de Feldspato (%)
Pedregulho ( $4,8 < \phi < 7,6$ )	0,25
Areia grossa ( $2 < \phi < 4,8$ )	1,62
Areia média ( $0,42 < \phi < 2$ )	55,85
Areia fina ( $0,05 < \phi < 0,42$ )	27,98
Silte ( $0,005 < \phi < 0,05$ )	4,3
Argila ( $\phi < 0,005$ )	10

Tabela 3 - Composição granulométrica segundo ABNT.

Fonte: Autor, 2019.

Nota-se que o resíduo de feldspato possui em sua constituição uma grande proporção de areia, sendo composto por 85,45% de partículas dentro dessa faixa granulométrica. De forma mais específica, contém 55,85% de grãos equivalentes à areia média. Apesar desse material ter areia em maior porcentagem, ainda há presença de finos ( $\phi < 0,074$ ). Analisando essas partículas, percebe-se que o resíduo possui 15,48% de grãos passante, na peneira ABNT de nº 200, sendo 10% de suas frações granulométricas do tamanho da argila. Esses grãos menores ocupam os espaços vazios deixados pelos maiores, criando um bom entrosamento.

#### 4.1.2 Limites de Atterberg e classificação dos solos

Ao realizar os ensaios de LL e LP observou-se que o resíduo apresentou fissuras que dificultaram a realização da ranhura, como também a moldagem do cilindro com 3 mm de diâmetro. Assim, notou-se que não há características plásticas e/ou líquidas, tendo em vista que a maior fração dos grãos corresponde a areia, conforme visto através da curva granulométrica.

A partir dos resultados da granulometria e dos limites de Atterberg, torna-se possível classificar o resíduo. De acordo com a metodologia da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) o resíduo de feldspato encaixa-se no subgrupo A-1-b possuindo a areia como material constituinte, demonstrando qualidade geral como subleito de excelente a boa. Quanto à classificação proposta pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), tem-se que o resíduo analisado foi classificado como SM, ou seja, areia siltosa.

#### 4.1.3 Permeabilidade

O coeficiente de permeabilidade do resíduo de feldspato está apresentado na

Tabela 4, corrigido para a temperatura de 20°C.

Resíduo	Coefficiente de permeabilidade (cm/s)
Feldspato	$8,66 \times 10^{-5}$

Tabela 4 - Coeficiente de permeabilidade.

Fonte: Autor, 2019.

O valor do coeficiente de permeabilidade do resíduo de mineração estudado está dentro do intervalo de variação de  $k$ , apresentado por Caputo (2016), para areias muito finas, que corresponde à faixa de  $10^{-3}$  a  $10^{-7}$  cm/s. Nessa perspectiva, o resíduo de feldspato apresentou características medianas quanto a permeabilidade, favorecendo sua possível aplicação nas camadas dos pavimentos.

## 4.2 Caracterização mecânica

Os dados dos ensaios de caracterização mecânica estão apresentados em subtópicos que detalham mais especificadamente os resultados da compactação, do CBR e cisalhamento direto.

### 4.2.1 Compactação

Após realizar a compactação do resíduo, sob condições diferentes de teores de umidade na energia de compactação Proctor intermediário, obteve-se a curva apresentada na Figura 3.

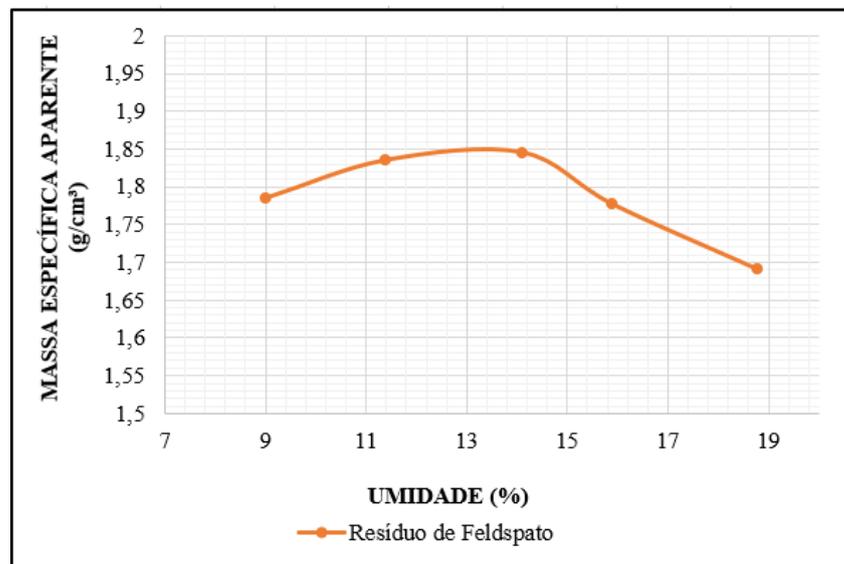


Figura 3 - Curva de compactação.

Fonte: Autor, 2019.

Avaliando a curva de compactação, verifica-se para o resíduo de feldspato uma massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{s, \text{máx}}$ ) de  $1,858 \text{ g/cm}^3$  e umidade ótima

( $h_{ot}$ ) de 13,01%. Embora cada material seja diferente, as curvas de compactação demonstram semelhança quanto à forma para uma mesma energia. Segundo as características propostas por Pinto (2006), a classificação mais próxima para a curva do resíduo de feldspato é de areia fina argilosa laterítica, exibindo umidades ótimas de 12 a 14% com densidades secas máximas de 1,9 g/cm<sup>3</sup>.

O teor de umidade elevado e massa específica aparente baixa do resíduo de feldspato pode ser justificado pela sua caracterização física, pois demonstrou possuir a maior parte de finos correspondente ao tamanho das frações de argila. Por isso, torna-se necessário adicionar mais água para lubrificar suas partículas, conforme explica Senço (2007), nessas condições, a água não encontrará lugar nos vazios, e parte da energia de compactação será absorvida pelo excesso de água, que desenvolverá pressões que tendem a separar as partículas de solo e, por conseguinte, reduzir a massa específica aparente seca pelo aumento de vazios.

#### 4.2.2 CBR

O resultado do CBR e expansão do resíduo de mineração está exibido na Tabela 5.

Resíduo	CBR (%)	Expansão (%)
Feldspato	24,21	0,03

Tabela 5 - Valor de CBR e expansão.

Fonte: Autor, 2019.

Senço (2007) apresentou tabelas que mostram correlações entre o CBR e a Classificação de solos da AASHTO e do CBR e a Classificação Unificada de Solos. O objetivo é estimar, a partir dos sistemas de classificação de solos, os resultados de CBR. Analisando isso, vê-se que o resíduo de feldspato, pela sua classificação no subgrupo A-1-b pode exibir CBR mais provável entre 20 e 80% e CBR na faixa de 10 a 40%, tendo em vista que foi classificado pelo Sistema Unificado como SM. Nesta pesquisa, o resíduo de feldspato apresentou valor de CBR igual a 24,21%, que se enquadra nesses limites.

Diante disso, pode-se confirmar a consistência dos resultados, como também, verificar que tanto a classificação AASHTO como SUCS, tem se mostrado aptas a preverem o potencial de utilização do resíduo de mineração no que se refere aos valores de CBR (SOBREIRA, 2014).

Quanto ao resultado de expansão, verifica-se que o resíduo de feldspato demonstrou uma expansão de 0,03%, valor de baixa magnitude, favorecendo sua utilização como material de construção para a pavimentação. Ao analisar a expansão, Silva (2015) expressa que sua ocorrência é função da mineralogia, da estrutura e

da textura do solo. Em geral, acredita-se que a expansão esteja associada ao tipo e quantidade de finos que estão presentes nos solos, sendo maior a expansão, quanto maior for a quantidade de finos. Dessa forma, justifica-se o menor valor de expansão para o resíduo de feldspato, pois de acordo com sua composição granulométrica, há uma porcentagem menor de grãos passantes na peneira ABNT nº 200.

Diante do exposto, verifica-se que o resíduo de feldspato, não possui CBR suficiente para aplicação na camada de base, porém, pode ser empregado como material de sub-base, reforço do subleito e subleito de pavimentos, pois se enquadra nas especificações preconizadas pelo Manual de Pavimentação do DNIT.

#### 4.2.3 Cisalhamento direto

Os resultados do ensaio de cisalhamento direto estão apresentados a seguir, podendo-se verificar primeiramente, na Figura 4, as curvas de tensões cisalhantes versus deslocamentos horizontais e, na Figura 5, a envoltória de ruptura do resíduo de feldspato.

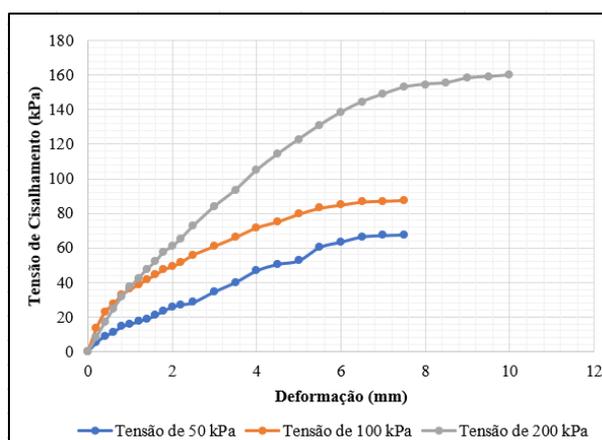


Figura 4 -Curvas de tensão cisalhante vs deformação.

Fonte: Autor, 2019.

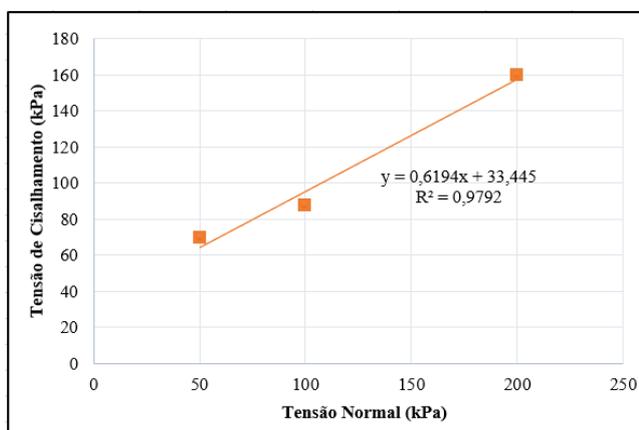


Figura 5 - Envoltória de ruptura.

Fonte: Autor, 2019.

A curva tensão de cisalhamento vs deformação do resíduo estudado é não-linear, sem exibir pico bem definido. Marangon (2018) estabelece para essa situação, a ruptura do tipo plástica, cujo esforço máximo é mantido com a continuidade da deformação, comportamento típico de areias fofas ou pouco compactas, em que pode-se obter assim, a resistência residual.

Por outro lado, a partir do ajuste da envoltória de ruptura, tornou-se possível obter os parâmetros de resistência ao cisalhamento de Mohr-Coulomb para o resíduo. Esses parâmetros estão apresentados na Tabela 6, são o ângulo de atrito interno ( $\phi$ ), e a coesão ( $c$ ).

Resíduo	Ângulo de atrito interno ( $^{\circ}$ )	Coesão (kPa)
Feldspato	31,77	33,44

Tabela 6 - Valor do *ângulo* de atrito interno e coesão.

Fonte: Autor, 2019.

Observando esses parâmetros, vê-se que o resíduo de feldspato demonstrou valores consideráveis de  $\phi$  e  $c$ , correspondendo à análise granulométrica, tendo em vista que possui em sua composição tanto frações granulares quanto finas.

Das (2007) estabelece alguns valores de  $\phi$  para solos granulares com grãos angulares, sendo o intervalo para areia fofa, variando de 30 a 35°. De acordo com o autor, pode-se enquadrar o resíduo de feldspato nessa faixa, confirmando a análise realizada pelas curvas de tensão de cisalhamento x deformação. O maior valor de coesão no resíduo de feldspato pode ser justificado pelas partículas correspondentes ao tamanho de frações argilosas em sua granulometria, que conferem a esse material maior aglutinação entre as partículas.

Marangon (2018) alerta que chegar a valores próximos da máxima tensão cisalhante que o solo suporte pode ocasionar a ruptura do material. Diante disso, o comportamento do resíduo apresenta-se mais favorável à estabilidade das obras civis, visto que, sua maior resistência ao cisalhamento contribuirá para evitar problemas de estabilidade de aterros e de cortes.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização dos ensaios de caracterização física e mecânica, possibilitou o conhecimento dos constituintes e das propriedades do resíduo de feldspato, obtendo maior clareza quanto à possível aplicação desse material nas camadas dos pavimentos.

O resíduo de feldspato foi classificado segundo a AASHTO como integrante do grupo A-1-b e de acordo com o SUCS como SM, possuindo a areia como material

constituente e comportamento como subleito de excelente a bom. Além disso, possui granulometria que satisfaz a faixa F do DNIT. Quanto à permeabilidade, o resíduo de mineração exibiu k mediano, o que contribuirá para que a água percole com certa facilidade todas as camadas do pavimento.

Por fim, o resíduo demonstrou comportamento mecânico satisfatório, sendo possível utilizá-lo, segundo as exigências do DNIT, como material constituinte das camadas de reforço de subleito e sub-base, além de empregá-los como o próprio subleito dos pavimentos, porém, para aplicá-lo como material de base, o valor de CBR não é suficiente. Desse modo, verifica-se ao final do estudo, a viabilidade técnica de utilizar o resíduo de feldspato nas camadas dos pavimentos, corroborando para uma diminuição dos rejeitos dispostos inadequadamente no meio ambiente como também para a aplicação de material alternativo na pavimentação.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Informe mineral**: Janeiro - Junho de 2018. Brasília: DNPM, 2018. 16 p.
- BARBATO, C. N.; OGASAWARA, T.; SAMPAIO, J. A. **Série Rochas e Minerais Industriais**: Aproveitamento de feldspato pegmatítico da região Borborema-Seridó para produção de vitrocerâmica feldspática reforçada com leucita. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 41 p.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 256 p.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: Mecânica das rochas, fundações e obras de terra. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 2 v.
- DAS, B. M. **Fundamentos da engenharia geotécnica**. 6. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 577 p. Tradução de: AllTasks.
- DNIT. **ES 141**: Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010. 9 p.
- DNIT. **Manual de Pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006. 274 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**. Brasília: IBRAM, 2016. 128 p.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas**. Brasília: IPEA, 2012. 46 p.
- LIRA, H. L.; NEVES, G. A.. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 8, n. 3, p.110-117, nov. 2013.
- MARANGON, M. **Mecânica dos Solos II**. Resistência ao cisalhamento dos solos. Juíz de Fora: UFJF, 2018. 40 p.
- PINTO, C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 368 p.

SENÇO, W. de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2007. 1 v.

SILVA, A. M. da. **Estudo de parâmetros de compactação proctor no comportamento mecânico do solo**. 2015. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

SOBREIRA, D. S. V. **Comparação entre os métodos de compactação de solos por impacto e por amassamento**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

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

Data de aceite: 18/11/2019

### Lucas Prestes Chize

Centro Universitário Augusto Motta  
Rio de Janeiro – RJ

### Léo Jaime de Amorim e Silva

Centro Universitário Augusto Motta  
Rio de Janeiro – RJ

### Aída Pereira Baêta

Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ

### Flávia da Silva

Centro Universitário Augusto Motta  
Rio de Janeiro – RJ

**RESUMO:** As fôrmas são peças provisórias e componentes fundamentais para o suporte de elementos estruturais de concreto até sua solidificação. Atualmente os tipos mais comuns são as fôrmas metálicas, mistas e de madeira, sendo ela resinada ou plastificada. O objetivo deste projeto foi implementar nas formas de compensado um novo tipo de material cuja finalidade foi melhorar sua durabilidade levando em consideração o custo-benefício do processo. Primeiramente foi avaliada a utilização de politereftalato de etileno (pet) como revestimento, entretanto os resultados obtidos não foram satisfatórios. Sendo assim, a garrafa pet foi substituída por sacolas plásticas

(polietileno de baixa densidade - PEDB). A técnica utilizada foi o revestimento das formas com sacolas plásticas, como substituto as resinas utilizadas atualmente. Para desenvolver o processo de aprimoramento ou inovação foram realizadas as seguintes etapas: a coleta de sacolas plásticas em ambientes domésticos, a prensagem desse material utilizando temperatura de vapor acima de seu ponto de fusão, a adesão do material a chapa de compensado e o teste prático da nova fôrma no processo de concretagem. Observando os resultados produzidos verificou-se que foi possível desenvolver um produto de baixo custo e maior durabilidade que os produtos ofertados no mercado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compensado. Sacolas plásticas. Substituto. Fôrmas.

### FORMS: USED AND REUSED FOR COVERED SHAPES WITH POLYETHYLENE OF BAIXA DENSIDADE (PEDB - SACOLAS PLÁSTICAS)

**ABSTRACT:** The forms are temporary pieces and fundamental components for the support of concrete structural elements until their solidification. Currently the most common types are metallic, mixed and wooden forms, being it resinated or plastified. The objective of this project was to implement in the forms of plywood

a new type of material whose purpose was to improve its durability taking into account the cost-benefit of the process. Firstly, the use of polyethylene terephthalate (PET) as a coating was evaluated, however the results obtained were not satisfactory. Thus, the pet bottle was replaced by plastic bags (low density polyethylene - PEDB). The technique used was the coating of the forms with plastic bags, as a substitute for the resins currently used. In order to develop the process of improvement or innovation the following steps were performed: the collection of plastic bags in domestic environments, the pressing of this material using vapor temperature above its melting point, the adhesion of the material to the plywood plate and the practical test of the new form in the concreting process. Looking at the results, it was found that it was possible to develop a product of low cost and greater durability than the products offered in the market.

**KEYWORDS:** Compensated. Plastic bags. Surrogate. Shapes.

## 1 | INTRODUÇÃO

Alguns dos temas mais debatidos atualmente são sustentabilidade e responsabilidade ambiental. Ambos os assuntos, intrigam a sociedade, fazendo com que esta busque novos valores, e entre eles encontra-se a consciência ambiental. Em meio a essa discussão surge a ideia de que é possível existir o desenvolvimento sustentável, ou seja, o equilíbrio entre crescimento econômico e preservação ambiental.

A utilização de materiais de polietileno (plástico) é um exemplo a ser apresentado. Em um primeiro momento este material foi visto como uma inovação tecnológica devido as suas propriedades como, resistência mecânica, flexibilidade a baixa temperatura, associados ao baixo custo. Entretanto, sua capacidade de degradação natural demonstrou ser um grave problema ambiental. Atualmente, 10% do lixo brasileiro são compostos por sacolas plásticas e cada brasileiro utiliza 19 quilos de sacolas por ano. No Brasil são produzidas 210 mil toneladas anuais de plástico filme, que tem como destino os aterros, impedindo a decomposição dos materiais biodegradáveis. (Oliveira, et al., 2009).

Com a deflagração da Primeira Guerra Mundial foi necessário o desenvolvimento industrial e conseqüentemente o aumento e a melhoria no processo de produção de lâminas e compensados, pois estas eram utilizadas nos setores militares tais como, a construção dos aviões utilizados na guerra entre outros materiais bélicos. (Albuquerque, 2015), contudo a presente utilização dos produtos de madeira e compensado encontra-se bem diversificada, como nas peças componentes de uma casa de madeira moderna (forros, pisos e telhados), na construção de embarcações e na construção civil, que muito emprega o compensado, além de outras possíveis e

prováveis aplicações. (Albuquerque, 2015).

Sendo assim, não demorou muito para que as fôrmas fossem utilizadas como moldes para estruturas em concreto armado. O concreto armado é um material heterogêneo formado pela combinação de dois elementos básicos: o aço e o concreto. Os elementos estruturais em concreto armado são produzidos nas diversas formas a partir de moldes específicos chamados fôrmas. (Maranhão, 2000).

Na engenharia civil a confecção das fôrmas de madeira, mesmo com alguns sistemas que empregam o aço, como na fôrma metálica, torna-se mais atraente devido à facilidade no manuseio e na utilização de máquinas para corte quando necessária a adaptação. Com a evolução destes sistemas foi introduzido no mercado de fôrmas à chapa compensada, substituindo progressivamente as tábuas de pinho muito utilizadas nas décadas de 40, início dos anos 50. (ASSAHI, 2010).

Considerando-se as inúmeras possibilidades de reutilização e o fácil manuseio do produto, vem sendo realizado, desde a década de 60, estudos que viabilizam melhorar sua capacidade de reuso. Através do desenvolvimento de novas tecnologias e mão de obra qualificada foram definidas novas dimensões para o produto final visando minimizar os custos e o tempo necessário para a montagem dessas fôrmas. (ASSAHI, 2010).

Levando em consideração os argumentos apresentados, o presente trabalho tem como objetivo principal inovar a chapa de compensado utilizada na construção civil como fôrmas, para a confecção de elementos estruturais como pilares, vigas e lajes. Diminuindo o custo do processo e proporcionando qualidade igual ou superior das chapas plastificadas existentes no mercado.

Para alcançar esse objetivo foram utilizadas sacolas plásticas (Polietileno de Baixa Densidade – PEDB) sobre a chapa crua, formando uma fina lâmina deste polietileno de baixa densidade. A partir dessas lâminas foram realizados estudos comparando as fôrmas revestidas com PEDB e as fôrmas utilizadas atualmente no mercado. Este estudo levou em consideração o custo entre elas, as vantagens e desvantagens do novo produto e o reaproveitamento de um material, que a princípio, seria inserido ao meio ambiente.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Para confecção da fôrma revestida com PET foram utilizados os seguintes materiais:

- 1 chapa de compensado – 15 x 180 x 350 mm (chapa inteira).
- 3 sacolas plásticas

- Prensa a vapor com temperatura controlada
- 1 folha de papel vegetal utilizada entre a prensa e o PEDB
- Uma fôrma com medidas internas iguais a 6,5 x 10 x 14,5 cm.

O traço de concreto foi confeccionado utilizando um copo de vidro, com o volume de 330 ml (0,33 L) como medida e o Traço 1:1:1 (cimento: areia: pedra - levando em consideração a proporção do experimento):

- $\frac{1}{4}$  do copo cimento.
- $\frac{1}{4}$  do copo de areia.
- $\frac{1}{4}$  do copo de pedra.

## 2.2 Metodologia

A fôrma plastificada foi feita com uma chapa crua de compensado e sacolas plásticas.

O processo de fabricação da fôrma ocorreu através da fixação de polietileno de baixa densidade (sacola plástica) sobre a chapa de compensado utilizando uma prensa com temperatura em torno de 100 °C. A fusão do PEDB ocorreu de forma gradativa durante a utilização do equipamento sobre o plástico, tendo sido colocada uma folha de papel vegetal como intermediária para evitar a aderência do plástico ao equipamento e garantir a aderência apenas ao compensado que servirá como molde para a construção da fôrma.

Uma fôrma pequena foi confeccionada com as medidas internas iguais a 14,5 cm x 10 cm x 5,5 cm (Figura 1), foram considerados apenas os resultados provenientes da reutilização da fôrma e não com relação ao concreto utilizado no teste. Assim, foi preparado um traço 1:1:1 (cimento: areia: pedra). A eficiência do produto será avaliada de acordo com os números de reutilizações desta fôrma revestida com a resina. Na Figura 1 é possível verificar a fôrma revestida internamente com o PEDB.



Figura 1. Fôrma de Compensado Revestida em seu Interior (PEDB).

Fonte: AUTORES.

Após ter sido preparado o concreto o mesmo foi colocado dentro da fôrma. Aguardou-se um período de 5 a 7 dias para desenformar. É importante ressaltar que os estudos foram desenvolvidos ao longo de quatro meses e preparados quatro moldes. Todos os moldes foram reaproveitados por 4 vezes cada.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Primeiro experimento

A ideia inicial deste trabalho era construir uma fôrma de compensado revestida com Politereftalato de etileno (PET), reutilizando garrafas usadas. Mas devido este polímero possuir características termoplásticas e ponto de fusão elevado, comparado ao PEDB, parte da madeira entrou em combustão dentro da prensa utilizada (Figura 2), destacando-se, inclusive, da chapa utilizada (Figura 3). E parte do “PET” também entrou em combustão, não obtendo sucesso (Figura 4). Seria necessário um equipamento indisponível na instituição onde este estudo foi desenvolvido. Sendo assim, o PET foi substituído pelo PEDB, polímero de cadeia linear e baixa densidade, comumente conhecido como sacolas plásticas.



Figura 2 - Estufa - Temperatura 245 °C.

Fonte: AUTORES.



Figura 3 - Pedaco da Madeira que Entrou em Combustão.

Fonte: AUTORES.



Figura 4 - Teste com Garrafa Pet.

Fonte: AUTORES.

### 3.2 Segundo experimento

Foram realizados testes utilizando como cobertura na chapa a sacola plástica, e estes se mostraram eficientes. Nas Figuras 5 e 6, é possível verificar as fotos demonstrando as faces da chapa de compensado recoberta pelo PEDB, e uma peça de concreto usando a forma para teste de eficiência.

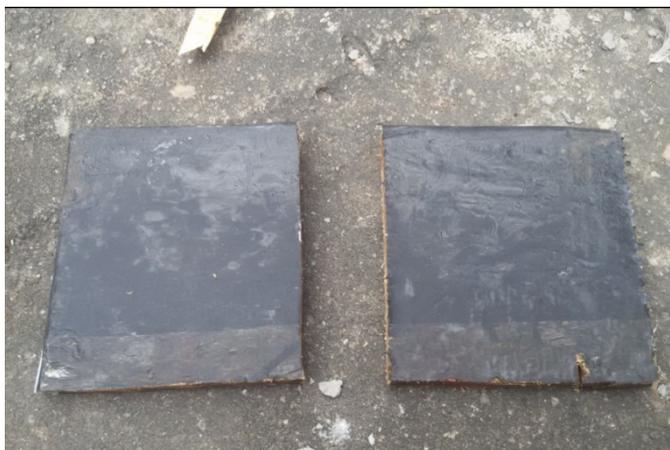


FIGURA 5 - Fotos ilustrando a resina aderida a chapa de compensado

Fonte: AUTORES.



Figura 6 - Teste com Concreto.

Fonte: AUTORES.

É possível notar a perfeita adesão da resina à chapa de compensado, onde a partir deste ponto, iniciaram-se os testes com o concreto.

As fôrmas foram reutilizadas por quatro vezes sendo observado que a partir deste período era necessário descartá-las. Este teste demonstra que em pequena escala a fôrma tem resultado aceitável e poderia ser utilizada sem nenhum inconveniente como qualquer outra fôrma resinada. Entretanto, sua faixa de reaproveitamento é considerada inferior a outras placas de compensado resinadas comercializadas (Tabela 1).

Considerando as observações supracitadas foram realizados novos testes neste caso, levando em consideração a viabilidade econômica da fôrma. Para isso, foi realizado o levantamento de preços das fôrmas mais comuns utilizadas comercialmente. Na Tabela 1 é possível verificar os dados das chapas de compensado

encontradas no mercado, e na Tabela 2, o custo de cada chapa, resinada e crua, encontradas no mercado. É importante ressaltar que a chapa utilizada neste estudo foi a crua.

MATERIAL	DIMENSÕES		INFORMAÇÕES TÉCNICAS	
Chapa	Espessura (mm)	Comprimento x Largura (m)	Nº de Lâminas	Número de Reutilizações
Plastificada	15	2,44 x 1,22	5	10 - 12
Resinada	15	2,44 x 1,22	5	10 - 12
Resina Vegetal	15	2,44 x 1,22	5	11 - 12
Super - Resinada	15	2,44 x 1,22	5	08 - 10
Crua	15	2,44 x 1,22	5	00 - 01

Tabela 1. Dados dos tipos de chapas de compensado

MATERIAL	CHAPA - TIPO	R\$ MÉDIO
Compensado	Plastificada	68,15
	Resinada	54,10
	Resina Vegetal	92,90
	Super resinada	58,50
	Crua	51,00

Tabela 2. Preço Médio dos Tipos de Chapas Comercializada.

Na Tabela 3 é possível verificar os valores mercadológicos da chapa feita segundo as especificações deste artigo. Comparando os preços médios em reais da chapa deste artigo e as resinadas, pode-se concluir que o número de reutilizações da chapa resinada supera o da fôrma confeccionada com sacolas plásticas, porém o baixo custo da segunda compensa seu baixo reaproveitamento. Além disso, considerando o impacto ambiental causado pelo PEDB o projeto torna-se atrativo para empresas que tenham enfoque ambiental em sua cadeia produtiva.

MATERIAL	TIPO	R\$ MÉDIO
Compensado	Chapa Crua	51,00
Sacola Plástica	Reciclado 5kg	0,40
<b>TOTAL</b>		51,40

Tabela 3. Preço médio da chapa proposta neste trabalho.

## 4 | CONCLUSÃO

Com este estudo foi possível propor uma forma inovadora na construção de chapas de compensado utilizadas como fôrmas para estruturas de concreto armado. Os resultados demonstraram que a aparente desvantagem das chapas recobertas por PEDB ou sacolas plásticas é compensada pelo seu baixo custo e pelo fato de retirar do meio ambiente um material que atualmente é considerado um grave problema para a flora e a fauna, principalmente a marinha. Obviamente são necessários estudos para aperfeiçoar o método de fabricação melhorando o reaproveitamento das fôrmas.

## REFERÊNCIAS

Oliveira, L. L.; Lacerda, C. S.; Alves, L. J. B. R.; Santos, E. D.; Oliveira, S. A.; Batista, T. S. A. **Impactos Ambientais Causados Pelas Sacolas Plásticas: O caso Campina Grande – PB**. ISSN 1983-4209, vol.7. N°01, 2012;

Albuquerque C. Eng. Florestal, Revista da Madeira, **A História do Compensado-Da madeira dos sarcófagos à moderna indústria**, ed.1ª, ano 5.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Catálogo de teses da Universidade de São Paulo. São Carlos: Engenheiro Civil (EPUSP-74), 2000. 226p. BRASIL. Maranhão G. M. **Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190/97**. São Paulo: São Carlos, 2000. 226p;

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Centro de Tecnologia. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL. Assahi, P. N. **Sistema de Fôrma para estrutura de concreto**, 2010. 23p.

## OBTENÇÃO DE UM COPO MAIS SUSTENTÁVEL: PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS E DE BIOCAMPÓSITOS

Data de aceite: 18/11/2019

### **Emília Satoshi Miyamaru Seo**

Centro Universitário Senac – Grupo de Pesquisa em Sustentabilidade. São Paulo – São Paulo

### **Nicolle Silva da Silva**

Centro Universitário Senac – Grupo de Pesquisa em Sustentabilidade. São Paulo – São Paulo

### **Isabella Tereza Ferro Barbosa**

Centro Universitário Senac – Grupo de Pesquisa em Sustentabilidade. São Paulo – São Paulo

### **Alessandro Augusto Rogick Athiê**

Centro Universitário Senac – Grupo de Pesquisa em Sustentabilidade. São Paulo – São Paulo

### **Adriano Camargo de Luca**

Centro Universitário Senac – Grupo de Pesquisa em Sustentabilidade. São Paulo – São Paulo

**RESUMO:** O presente trabalho tem como objetivo contribuir apresentando tanto as características de fibras naturais de cana-de-açúcar e de coco verde, como avaliar a resistência à compressão dos biocompósitos. No processo de mercerização foram testadas as concentrações de hidróxido de sódio e na fabricação de copos de polietileno, foram adicionadas fibras com concentrações de 3%, 5% e 7% em massa. Na fabricação de copos por processo de injeção foram adicionadas fibras como reforço do polímero de alta

densidade. As fibras naturais foram tratadas por processo de mercerização e caracterizadas por meio das técnicas de picnometria por gás hélio, fluorescência por raios X, análise termogravimétrica e microscopia eletrônica de varredura, evidenciado que o processo é adequado para obtenção de fibras sem a presença de celulose ou hemicelulose. Verificou-se que as fibras naturais com concentrações de 5% em massa apresentaram maiores resistência a tração.

**PALAVRAS-CHAVE:** fibras de cana-de-açúcar, fibras de côco verde, compósito, mercerização.

### **OBTAINING A MORE SUSTAINABLE CUP: PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF NATURAL FIBERS AND BIOCAMPÓSITS**

**ABSTRACT:** The present article aims to contribute by presenting both the characteristics of natural fibers of sugarcane and green coconut, and to evaluate the compressive strength of the biocomposites. In the mercerization process, the concentrations of sodium hydroxide were tested and in the manufacture of polyethylene cups, fibers with concentrations of 3%, 5% and 7% by mass were added. In the manufacture of glasses by injection process fibers were added as a reinforcement of the high density polymer. The natural fibers were treated by

mercerization process and characterized by the techniques of helium gas picnometry, X - ray fluorescence, thermogravimetric analysis and scanning electron microscopy, evidencing that the process is suitable to obtain fibers without the presence of cellulose or hemicellulose. It was found that natural fibers with concentrations of 5% by mass presented higher tensile strength.

**KEYWORDS:** sugarcane fibers, green coconut fibers, composite, mercerization.

## 1 | INTRODUÇÃO

A importância de soluções para os problemas ambientais faz cada vez mais parte da preocupação e interesse não só das pessoas, mas principalmente de setores industriais e agrícolas. Neste sentido, os resíduos gerados por meio de suas atividades têm imenso potencial de danos ambientais e se não houver união nas buscas por soluções e reduções dessas atividades, os problemas referentes ao meio ambiente se tornarão cada vez maiores.

Um dos segmentos mais importantes da economia brasileira é a agroindústria, tanto no desempenho exportar do Brasil como no abastecimento interno. Normalmente situadas próximas a centros urbanos, as agroindústrias produzem consideráveis quantidades de resíduos líquidos e sólidos, desde as primeiras etapas dos processos de produção, como extração de matéria-prima, até a finalização do ciclo. Estes resíduos são estocados próximos às próprias áreas de produção, sem nenhum destino final definido, o que pode causar problemas ambientais e sanitários ou são dispostos em aterros sanitários, o que reduz a sua vida útil (LEUCENA, CHERNICHARO, 2005).

Para o Straus e Menezes (1993), o aumento da produção de resíduos pode ser mitigado fazendo a redução, reciclagem e reaproveitamento dos mesmos, tendo como objetivo a recuperação de energia e também de matéria.

Já os autores Gioffoni e Lange (2005), destacam que a reciclagem ou reutilização dos resíduos representam alternativas capazes de contribuir para a utilização de matérias-primas alternativas, preservação do meio ambiente e também diminuição de alguns custos dos setores industriais.

Assim sendo, governo, indústria, sociedade civil, institutos de pesquisa e áreas acadêmicas se deparam obrigados a buscarem juntos por soluções cada vez mais eficientes e eficazes para tornar melhor a relação entre o meio ambiente e os setores produtivo, devido à crescente preocupação com a escassez de recursos naturais, e faz-se necessária a introdução desta preocupação em diversos segmentos das cadeias produtivas. Neste contexto, Kiperstok (2000) reforça que além de abrir incontáveis oportunidades de negócios, o entendimento desta realidade passa a ser um fator de bastante competitivo entre empresas e países.

O setor de agroindústria no Brasil gera por volta de 5,9% do Produto Interno Bruto (PIB), o mesmo é responsável por transformar matérias primas originárias da agricultura e agropecuária em produtos que são comercializados em todo o Brasil e no mundo. Um diagnóstico preliminar realizado pelo Ministério no Meio Ambiente (MMA), mostra o resumo de produção total, os resíduos, efluentes e potencial energético gerados no ano de 2009 pelo setor agroindustrial associado à agricultura, como apresentado na Tabela I.

Setor	Produto	Produção total	Resíduos	Efluentes	Potencial
Agroindústria associada à agricultura	Culturas	Produção industrializada (t)	Total de Resíduos (t/ano)	Efluentes (m <sup>3</sup> /ano)	Potencial Energético (MW/ano)
	Soja	57.345.382	41.862.129	0	3.422
	Milho	50.745.996	29.432.678	0	2.406
	Cana-de-açúcar (bagaço e torta de filtro)	671.394.957	201.418.487	0	16.464
	Cana-de-açúcar (vinhaça)		-	604.255.461	-
	Feijão	3.486.763	1.847.984	0	143
	Arroz	12.651.774	2.530.355	0	175
	Trigo	5.055.525	3.033.315	0	238
	Mandioca	23.786.281	0	0	-
	Café	2.440.057	1.220.029	0	97
	Cacau	218.487	83.025	0	7
	Banana	199.282	99.640	0	-
	Laranja	16.944.529	8.825.276	0	-
	Coco-da-baía	675.012	405.009	0	39
	Castanha de caju	110.253	80.484	0	8

Tabela I - Culturas produzidas, industrializadas; resíduos, efluentes e potencial energético gerados no ano de 2009 pelo setor agroindustrial associado à agricultura.

Fonte: MMA, 2011

Investigações por novas tecnologias, melhorias de desempenhos sociais, econômicos, ambientais, técnicos e inovações para fabricação de novos materiais a partir de fibras naturais se tornaram frequentes nestas últimas décadas. E, dentre estes novos materiais, os compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais,

vem sendo o foco de estudo, desenvolvimento e interesse das indústrias (LEÃO, 1998, KIM e PAL, 2011). As fibras naturais vêm sendo bastante utilizadas devido ao baixo custo, baixa densidade, não abrasividade, não-toxicidade facilidade de modificação por agentes químicos, bem como o fato de ser gerada a partir de fontes renováveis (JOSEPH, MEDEIROS e CARVALHO, 1999).

A importância deste trabalho se justifica sobre a realização de estudos aprimorados quanto à reciclagem e descarte de bagaço de cana-de-açúcar e de côco verde, estudos sobre suas propriedades químicas, físicas, mecânicas, para contribuição no desenvolvimento de compósitos poliméricos para fabricação de um copo mais sustentável.

O Brasil possui recursos naturais em abundância devido à suas condições climáticas favoráveis e solo fértil e, portanto uma grande variedade de fibras naturais é produzida no país, tais como as provenientes da produção de banana, algodão, côco, sisal, cana-de-açúcar, piaçava, buriti, abacaxi, curauá, entre outras (ARAÚJO, 2009). De acordo com Fernandes (2008), as fibras lignocelulósicas têm sido estudadas pela característica de conferir reforço aos componentes, baixo custo e, geralmente ser provenientes de reaproveitamento. O comportamento mecânico das fibras lignocelulósicas é afetado por diversos fatores: proporção de seus componentes (celulose, hemicelulose e lignina), diâmetro da fibra, orientação molecular (ângulo espiral entre fibrilas), proporção de regiões cristalinas e não-cristalinas, morfologia (porosidade e imperfeições), além das condições de plantio (RAZERA, 2006).

A celulose determina a propriedade mecânica da fibra natural, um polisacarídeo semicristalino que confere o caráter hidrofílico das fibras vegetais devido ao grupo hidroxila presente na sua estrutura, acarretando na baixa compatibilidade da fibra com a matriz polimérica hidrofóbica, além da tendência a formar agregados durante o processamento e uma baixa resistência à umidade reduzindo as propriedades mecânicas em geral, o grupo hidroxila é responsável pelo empacotamento cristalino e as propriedades físicas de celulose (JOHN e THOMAS, 2008; SPINACE, 2009; TOMCZAK, 2010, ALAMRI e LOW, 2012).

Face as considerações apresentadas, o objetivo deste trabalho é contribuir apresentando tanto as características de fibras naturais de cana-de-açúcar e de côco verde, como avaliar a resistência à compressão e a tração dos copos fabricados a base de biocompósito, mistura de polietileno e fibra natural.

## **2 | MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Materiais**

Neste estudo foram utilizadas como matérias primas bagaço da cana-de-açúcar

e de coco verde, conforme apresentadas na figura 1 (a, b).

A matriz foi o polietileno de alta densidade verde (PEAD 4950 SGF) fornecida pela empresa Braskem S/A (Brasil). Principais características da matriz a ser utilizada na presente pesquisa são apresentadas por Braskem (2013). O polímero é 100% feito a partir de etanol renovável da cana-de-açúcar.



Figura 1 – Matérias primas utilizadas no presente estudo: bagaço de cana-de-açúcar seco (a) e coco verde seco (b)

## 2.2 Preparação de fibras e particulados

Inicialmente, as matérias primas foram secas em estufa a  $\sim 60^\circ\text{C}$  e na sequência, o bagaço de cana-de-açúcar seco e o coco verde seco foram triturados em moinho de facas da marca RONE modelo RA 1553 (figura 2).

O bagaço de cana-de-açúcar e coco triturados foram submetidos a classificação granulométrica com uso de vibrador de peneiras por 20-30 minutos de peneiramento afim de obter fibras abaixo de 48 malhas Tyler.

Na sequência, as fibras de cana-de-açúcar e de coco foram submetidas ao processo de mercerização, utilizando o JarTest da marca Nova Ética, conforme apresentado na figura 3. O procedimento de mercerização foi desenvolvido para as três variações de concentração de NaOH (3%, 5% e 7% em massa).



Figura 2 – Triturador utilizado para moagem do bagaço de cana-de-açúcar e do coco verde

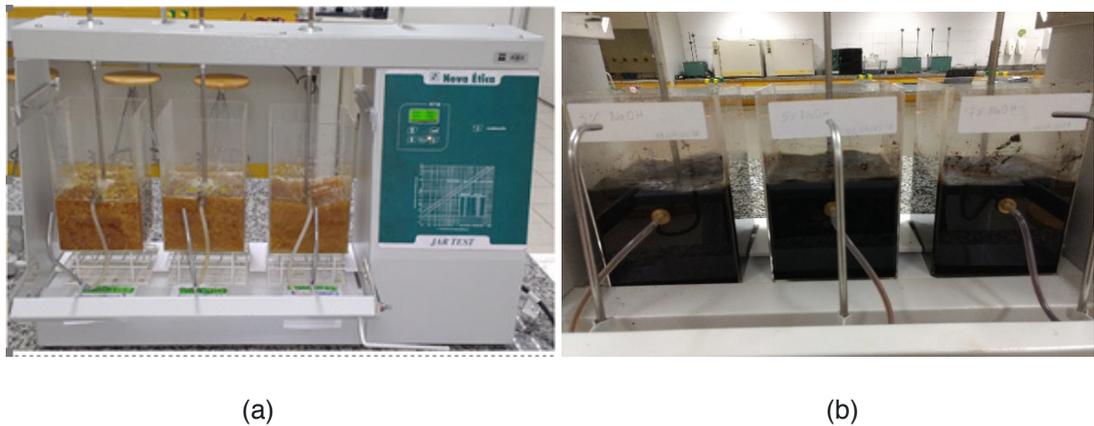


Figura 3 – Jar Test utilizado no processo de mercerização: bagaço de cana-de-açúcar (a) e coco (b).

Attingido as condições otimizadas de extração da polpa, as fibras foram lavadas em água corrente e friccionadas em uma peneira para limpeza e remoção do excesso de polpa de bagaço de cana-de-açúcar e também de coco. Em seguida, as duas fibras, separadamente foram submetidas à solução de ácido acético 4 (% v.v.) sob agitação por 1 hora. Em seguida, as duas fibras foram novamente lavadas, separadamente, com água corrente; e por fim, após o processo de mercerização, foram levadas para secagem em estufa a  $60 \pm 2$  °C durante 48 h e classificadas em fibras curtas e particulados.

As fibras tratadas e secas foram caracterizadas quanto à densidade, composição química, estabilidade térmica e aspectos morfológicos, utilizando-se técnicas como picnometria por gás hélio, fluorescência por raios X (FRX), análise termogravimétrica (TGA) e microscopia de varredura eletrônica (MEV), respectivamente.

Após a caracterização e obtenção de fibras necessárias tanto as fibras curtas como particulados foram conduzidos ao processo de injeção. Na etapa de injeção, a matriz de polietileno verde de alta densidade foi misturada com diferentes concentrações de fibras, sendo 0%, 3%, 5% e 7% em massa seja de coco ou de cana-de-açúcar. A matriz da injetora fabricada de alumínio foi para a obtenção de um copo. A mistura de fibra e polietileno foi levada a injetora a uma temperatura de aproximadamente 180° C. Os copos produzidos foram levados para ensaios de compressão e de tração.

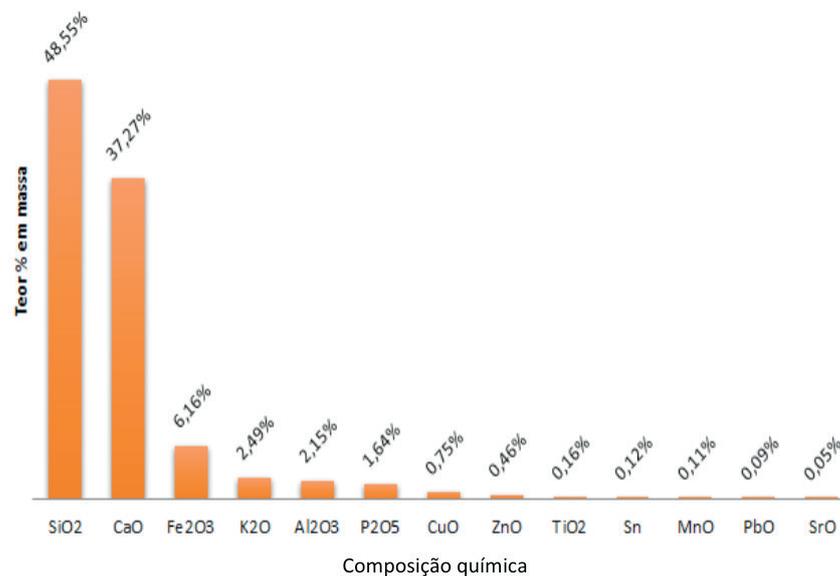
### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação das densidades das fibras vegetais é apresentada na tabela II. As fibras de cana de açúcar e de coco, obtiveram resultados semelhantes, em torno de  $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$ , dentro dos parâmetros para fibras vegetais, ou seja, matéria prima de baixa densidade, como esperado.

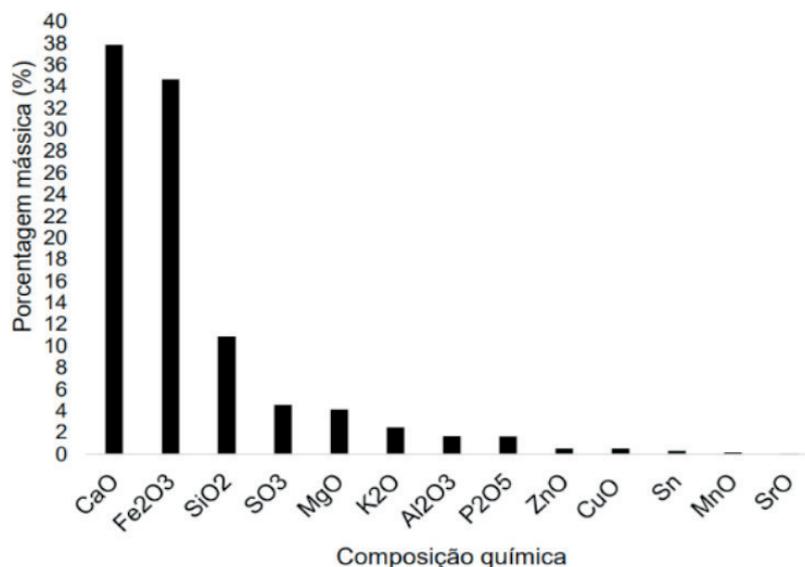
Cana de açúcar (g cm-3)	Coco (g cm-3)
1,54 (± 0,001)	1,720 (± 0,008)

Tabela II – Densidades das fibras tratadas por mercerização.

Os resultados da composição química das fibras tratadas de cana-de-açúcar e de coco obtidos por FRX estão apresentados na figura 4 (a, b). Observa-se concentrações mássica de silício (48,55%) e cálcio (37,27%). As demais porcentagens mássicas pertencem à presença de ferro (6,16%), potássio (2,49%), alumínio (2,15%), fósforo (1,64%) e cobre (0,75%) nas fibras de cana-de-açúcar. Na composição química das fibras de coco foi evidenciada maior de óxidos de cálcio, ferro e silício, em menores quantidades, óxidos de magnésio, potássio, zinco, alumínio, fósforo e traços de óxidos de cobre, manganês, estrôncio e estanho elementar.



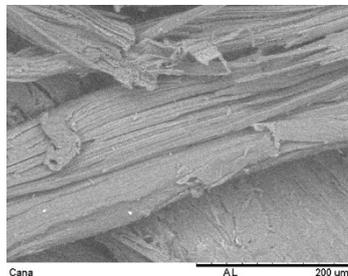
(a)



(b)

Figura 4 - Composição química por FRX da fibra de cana-de-açúcar (a) e de coco (b).

A partir das imagens obtidas pelo MEV, as fibras tratadas pelo processo de mercerização, apresentaram microestruturas típicas de fibras vegetais. São constituídas por microfibrilas, microcavidades superficiais, entrâncias e outras peculiaridade (MARINHO, 2012). Entretanto, nota-se que a cobertura da fibra mercerizada foi removida, expondo-a diretamente, como mostram as figuras 5 (a, b) com as de cana-de-açúcar e a figura 6 (a, b) com as de coco.

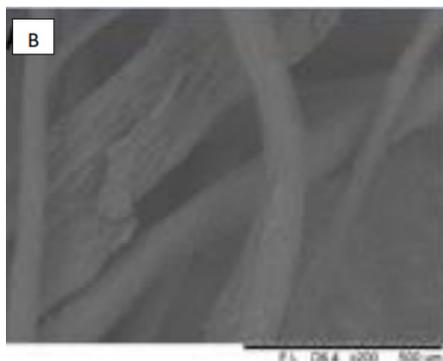


(a)



(b)

Figura 5 – Microscopia eletrônica de varredura das fibras de cana-de-açúcar tratadas por mercerização - 7% NaOH (a) e fibras de cana-de-açúcar secas (b).



(a)

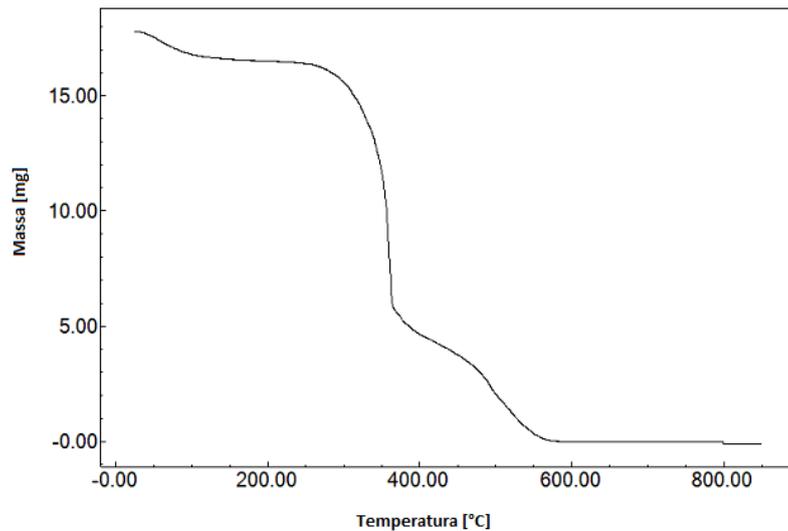


(b)

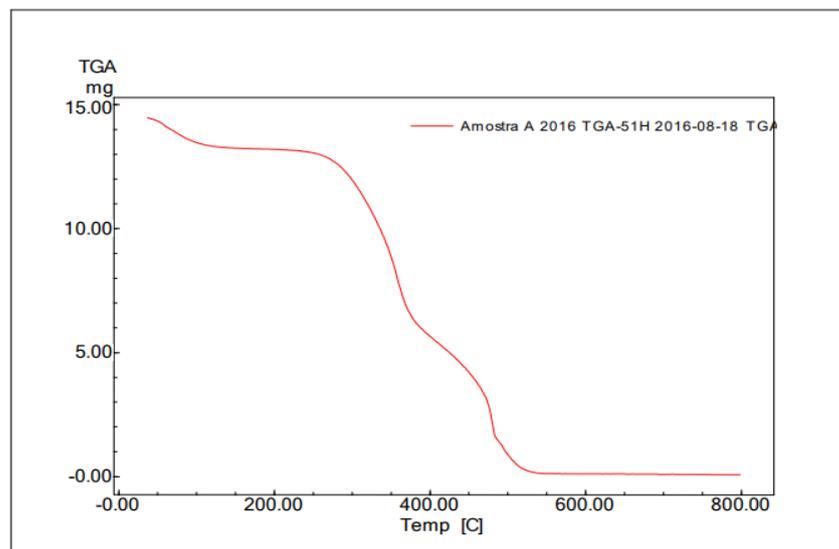
Figura 6 – Microscopia eletrônica de varredura das fibras de coco tratadas por mercerização - 7% NaOH (a) e fibras de coco secas (b).

As curvas de termogravimetria apresentadas nas figuras 7 (a, b), mostram que as fibras estudadas possuem estabilidade térmica até aproximadamente 200°C, quando ocorre o início de termo oxidação, correspondente ao princípio da decomposição de hemiceluloses, seguida da celulose. Vale ressaltar que a perda de massa inicial, se refere à perda de substâncias voláteis e, majoritariamente, umidade contida nas amostras. Para as fibras de cana-de-açúcar, verificou-se que em torno de 350°C observa-se o início do processo de decomposição, envolvendo ligações de lignina, prosseguindo com o aumento de temperatura até ocorrer a perda de massa total de voláteis após a 500°C, estabilizando - a, (figura 7a). As fibras de coco foram analisadas por termogravimetria conforme os resultados apresentados na figura 7b. Entre 0°C a 100°C observa-se liberação de umidade, no intervalo entre 250° C a 400°C a decomposição de celulose e hemicelulose, entre 400°C e 550°C a

degradação associada a lignina e a cima de 550°C a formação de cinzas, ocorrendo a estabilização do material.



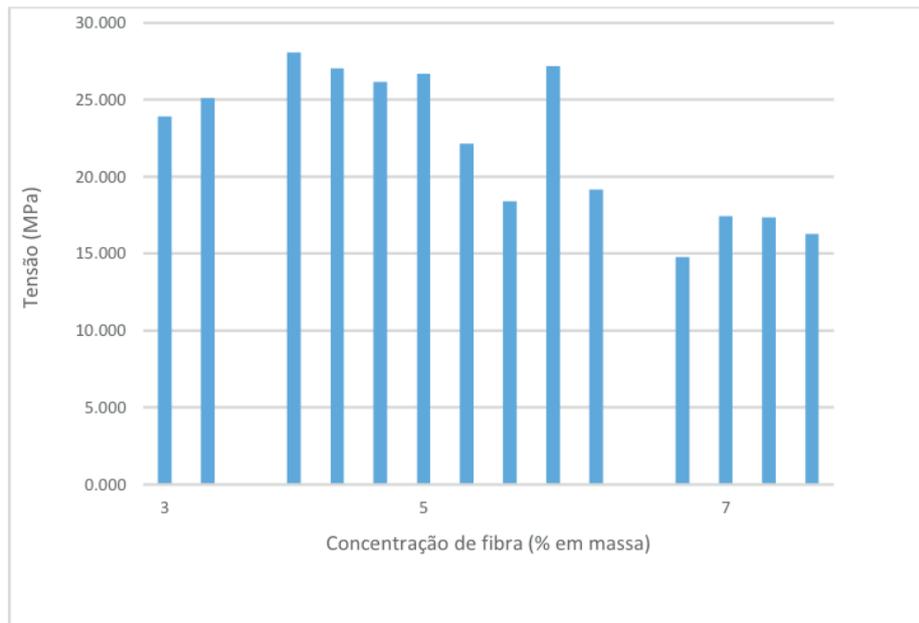
(a)



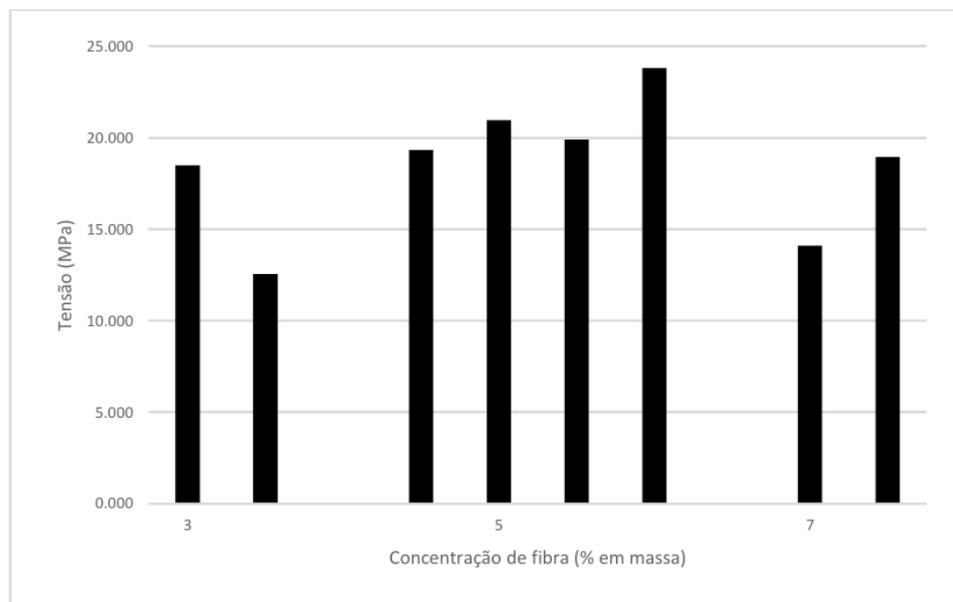
(b)

Figura 7 - Análise termogravimétrica das fibras de cana-de-açúcar (a) e de coco (b).

Nas figuras 8 (a, b) estão apresentados os resultados dos ensaios de tração, cujos mostram que as fibras de 5% em massa de concentração de fibra de cana-de-açúcar (8a) e de coco (8b) apresentaram maiores tensões a tração do biocompósito.



(a)

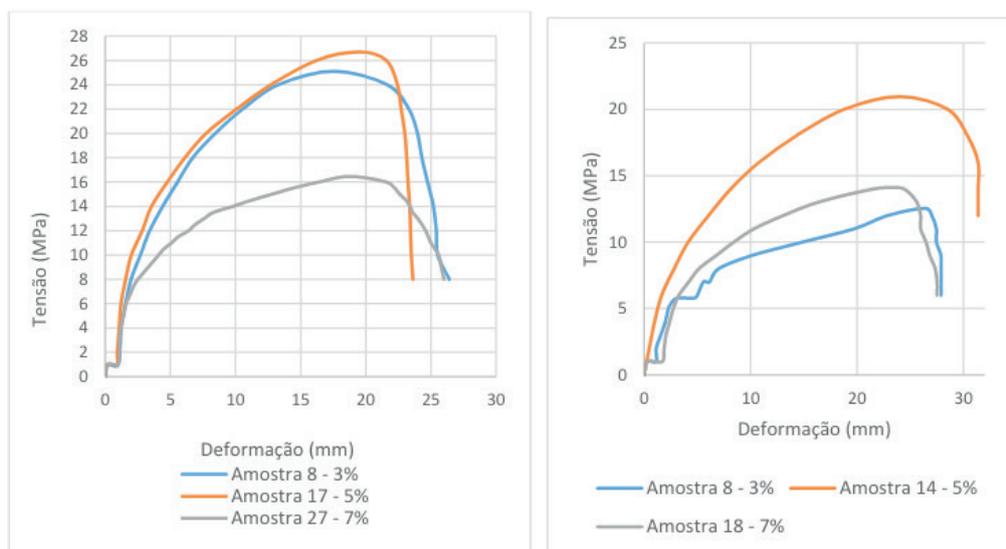


(b)

Figura 8 – Resultados dos ensaios de tração das fibras de cana-de-açúcar (a) e de coco (b).

As Figuras 9 (a, b) mostram as curvas de tensão e deformação, evidenciando que o limite máximo de tensão é em média 24,5 Mpa para com concentrações de 3% e 5% em massa.

A partir dos resultados dos ensaios de tração, realizaram-se ensaios de compressão em copos contendo concentrações de 3% e 5% de fibras de cana-de-açúcar e de coco (tabela III).



(a)

(b)

Figura 9 – Ensaio de tração para copos com fibras de cana-de-açúcar (a) e para copos com fibras de coco (b)

Fibras	Carga máxima (Kgf)	
	3 % em massa	5 % em massa
Cana-de-açúcar	781,200±82,116	792,625±73,873
Coco	925,000±12,832	670,000±00,000

Tabela III – Resultados dos ensaios de compressão

Os copos com concentração de 5% em massa de fibras de cana-de-açúcar apresentaram maiores resistência à ruptura enquanto que para os copos de fibras de coco foram para concentrações de 3% em massa.

#### 4 | CONCLUSÃO

Foi avaliada a técnica de mercerização, obtendo-se um resultado efetivo, pois de acordo com as imagens de MEV, observou-se que a cobertura da fibra tratada foi removida, obtendo-se as fibras isenta de lignina, celulose e hemicelulose. As fibras tratadas com 7% de NaOH, apresentam mais soltas e com condições favoráveis para aderência ao polímero, conseqüentemente adequadas para o processo de moldagem por injeção. Os copos obtidos por este processo apresentaram maiores tensões para ambas as fibras estudadas com concentração de 5% em massa e nesta concentração os copos que apresentaram maiores resistência à ruptura foram para as fibras de cana-de-açúcar.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa concedida à aluna de IC, Nicolle; e, as análises realizadas pelo SENAI Suíço-Brasileira, SENAC e IPEN.

## REFERÊNCIAS

ALAMRI H.; LOW I.M. Mechanical properties and water absorption behavior of recycled cellulose fibre reinforced epoxy composites, **Poly. Test.**, 2012, vol.31, issue 5, pages 620-628.

ARAÚJO, J. R. **Compósitos de Polietileno de Alta Densidade reforçados com fibra de curauá obtidos por extrusão e injeção**. 2009. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Campinas Instituto de Química, Campinas, 2009.

BRASKEM. Folha de dados Braskem l'm Green™ Polietileno de Alta Densidade SGF450, 2013, rev.06

FERNANDES T.F. **Preparação e caracterização de novos materiais compósitos baseados em fibras de celulose**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestre em Materiais Derivados de Recursos Renováveis) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008.

GIOFFONI, P.O, LANGE, L.C., **A utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos**. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol.10, nº2, p. 128-136, 2005.

JOHN, M.J.; THOMAS, S. Biofibres and biocomposites, **Carb. Pol.**, 2008, 71, 343-364p.

JOSEPH, K., MEDEIROS, E.S., CARVALHO, L.H., Compósitos de Matriz Poliéster Reforçados por Fibras Curtas de Sisal, **Polímeros: Ciência e Tecnologia** – Out/Dez, 1999, v9 n4, 136-141p.

KIM J.K., PAL K., Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites. 1ª ed., Berlin; Springer, 2011.

KIPERSTOK, A. Tendências ambientais do setor automotivo: prevenção da poluição e oportunidades de negócio, **Revista NEXOS**, do Curso de Mestrado em Economia da UFBA, 2000.

LEÃO A., O aproveitamento industrial de resíduos, **Revista Pesquisa Fapesp**, 1998, ed.33, Disponível em: <<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/extras/imprimir.php?id=436&bid=1>> Acesso em 12 de junho de 2016.

LEUCENA, M.V., CHERNICHARO.C.A.L., **Avaliação experimental da compostagem de RSU submetidos a etapa prévia de tratamento anaeróbico**. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. Campo Grande/MS, p.09, 2005

RAZERA, I.A.T. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Físico-Química) – Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

SPINACE M.A.S.; LAMBERT C.S.; FERMOSELLI K.K.G.; DE PAOLI M.A. Characterization of lignocellulosic curaua fibres, **Carb. Poly.**, 2009, vol.77, page 47-53.

STRAUS, E.L.; MENEZES, L.V.T. **Minimização de resíduos**. In: 17 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais, p. 212-225, 1993.

TOMCZAK, F. **Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil**. 2010. 150p. Tese (Doutorado) – Engenharia e Ciência dos Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Paraná, 2010.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Resíduos Agrosilvopastoris I – Resíduos Sólidos.** 2011. Disponível em: <[http://sinir.gov.br/images/cadernos\\_de\\_diagnostico/08\\_CADDIAG\\_Res\\_Agrosilvopastoril\\_Org.pdf](http://sinir.gov.br/images/cadernos_de_diagnostico/08_CADDIAG_Res_Agrosilvopastoril_Org.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2017.

## CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E RESISTÊNCIA À CHAMA DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE LAMA VERMELHA E CAULIM

Data de aceite: 18/11/2019

### Mario Henrique Moreira de Moraes

Universidade Federal do Pará - Campus de Ananindeua, FEMat, UFPA.

Belém – Pará. Contato: demoraesmario@gmail.com.

### Diogo Pontes de Queiroz

Universidade Federal do Pará - Campus de Ananindeua, FEMat, UFPA.

Belém – Pará.

### Luiz Gabriel da Silva Nascimento

Instituto Federal do Pará, Campus Belém, IFPA.

Belém – Pará.

### José Antônio Silva Souza

Universidade Federal do Pará - Campus Belém, FEQ, UFPA.

Belém – Pará.

### Roberto Tetsuo Fujiyama

Universidade Federal do Pará - Campus Belém, FEM, UFPA.

Belém – Pará.

### Deibson Silva da Costa

Universidade Federal do Pará - Campus de Ananindeua, FEMat, UFPA.

Belém – Pará.

**RESUMO:** Confeccionaram-se compósitos de matriz polimérica, utilizando-se os seguintes resíduos industriais: lama vermelha e caulim.

As proporções em massa utilizadas variaram entre 0 %, 5 %, 15 %, 25 % e 35 %, com granulometria de 100 mesh. Utilizou-se resina poliéster isoftálica com acelerador e catalisador nas respectivas proporções: 1,5 % e 1 % em v/v. A confecção seguiu o método de laminação manual "hand lay-up". As análises dos resíduos foram realizadas pela técnica de DRX. Em adição, realizaram-se ensaios físicos e de flamabilidade, conforme as normas NBR 12766 e ASTM 635, além de ensaios mecânicos de tração (ASTM 3039) e flexão (ASTM 790). As propriedades físicas (AA, PAe MEA) aumentaram conforme elevou-se as composições. Os materiais ensaiados apresentaram capacidade de retardo à chama quando comparados com as recomendações da norma. Mecanicamente, obtiveram-se resultados semelhantes à matriz plena para flexão e notou-se uma tendência de aumento da resistência à tração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Materiais Conjugados; Resina Poliéster; Lama Vermelha; Caulim; Características.

### FLAME RESISTANCE AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES WITH RED MUD AND KAOLIN WASTE ADDITIONS

**ABSTRACT:** Polymer matrix composite materials were made using the following

industrial wastes: red mud and kaolin. The mass proportions used ranged from 0 %, 5 %, 15 %, 25 % and 35 %, with granulometry of 100 mesh. Isophthalic polyester resin was used with accelerator and catalisator in proportions of 1.5 % and 1 % in v / v. The preparation followed the hand lay-up method. Waste analysis was performed using the XRD technique. In addition, physical and flammability tests were performed in accordance with standards NBR 12766 and ASTM 635, as well as mechanical tensile tests (ASTM 3039) and flexure (ASTM 790). Tested materials showed flame retardancy when compared to the recommendations. The physical properties (WA, AP and BD) increased as the compositions increased. Mechanical results were not expressive for flexure tests and expressive for tensile tests.

**KEYWORDS:** Conjugated materials; Polyester resin; Red mud; Kaolin; Characteristics.

## 1 | INTRODUÇÃO

Apesar dos recentes avanços tecnológicos na área de engenharia de materiais, os resíduos industriais oriundos dos diversos setores da mineração continuam tendo, em sua maioria, uma destinação imprópria. Tal destinação acarreta graves problemas ambientais, além de um eventual desperdício mercadológico. Daí a importância de fomentar aplicações para esses resíduos, evitando seu descarte na natureza e gerando avanços através de sua utilização na confecção de novos materiais tais como os compósitos.

Um material compósito é formado por dois ou mais componentes com naturezas químicas diferentes, cujas interfaces, quando observadas em escala macroscópica são bem definidas, apresentando distinções visuais. O material obtido tem como objetivo exibir melhores propriedades através da sinergia dos seus constituintes, atuando de maneira mais eficiente do que os seus componentes de maneira separada (MARINUCCI, 2011).

Dentre as subclassificações dos compósitos, estão os materiais compósitos com matriz polimérica, que podem ser definidos como uma resina polimérica atuando de fase matriz e outro constituinte (fibras naturais ou sintéticas, por exemplo) atuando como uma fase dispersa. Essa combinação é frequente, pois, geralmente, apresenta ótimas propriedades à temperatura ambiente em conjunto a uma facilidade de fabricação (CALLISTER, 2012). Além das fibras, resíduos industriais podem ser utilizados como carga de enchimento nos materiais compósitos.

A lama vermelha, constituída por partículas de fina granulometria, com cerca de 325 mesh, é o resíduo gerado em uma das etapas do processo Bayer. Seu dano ambiental é considerável, pois normalmente é disposta em grandes lagoas de sedimentação. A composição da lama vermelha pode variar conforme a origem da bauxita e do método de tratamento utilizado durante processo (SILVA FILHO *et.al*,

2007).

Já no beneficiamento do caulim, são produzidos resíduos à base de sílica, caulinita e mica em quantidades expressivas, produzindo-se 80 % a 90 % de resíduos em cima do volume total explorado. O que representa um grande impacto ambiental, tendo em vista que seus depósitos são feitos a céu aberto (ANJOS e NEVES, 2011).

Tendo em vista o atual descaso com os resíduos industriais e visando sua aplicação em novos materiais, foram produzidos compósitos de matriz polimérica com lama vermelha (LV) e caulim (CA), seguido da caracterização mineralógica dos resíduos em paralelo com a caracterização física, de inflamabilidade e mecânica das placas fabricadas.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais compósitos foram fabricados na Usina de Materiais do Laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará, utilizando-se o método denominado *hand lay-up*, método manual para confecção de placas.

Os resíduos foram submetidos manualmente a uma peneira Tyler com malha de 100 mesh, depois identificados e armazenados. Determinou-se a massa do resíduo e realizou-se a secagem do mesmo em uma estufa durante 20 minutos a 100° C para retirada da umidade. Paralelamente, aplicou-se desmoldante em um molde metálico com dimensões de 32 x 17 cm, para assim evitar o contato direto do molde com o compósito e facilitar sua retirada após o processo de prensagem.

Posteriormente, foi determinada a massa da resina de acordo com as devidas proporções pré-calculadas e porcentagens estabelecidas para este trabalho. Realizou-se, então, o preparo da mistura seguindo a seguinte ordem de colocação (onde cada constituinte foi misturado até ser homogeneizado): resina, catalisador metálico, resíduo e acelerador.

Vazou-se a mistura no molde metálico (com desmoldante já aplicado) de maneira uniforme. O molde foi conduzido até uma prensa hidráulica com uma carga fixa aplicada de 25 kN, por um tempo determinado de 20 minutos. A Figura 1 apresenta o fluxograma da fabricação:

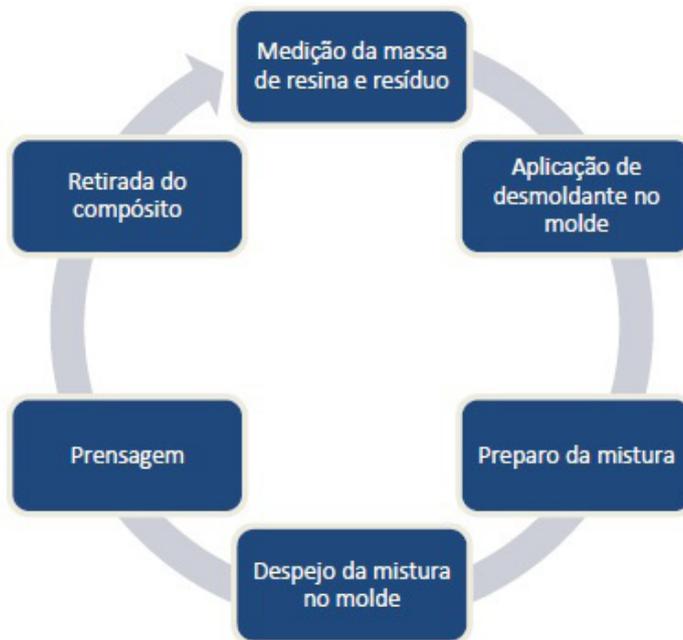


Figura 1: Fluxograma de confecção do material compósito.

Após a obtenção das placas em formato retangular e dado o tempo necessário para o processo de cura total das mesmas (cerca de 24 h, dispostas sob pesos padrões), realizou-se o corte das placas com um cortador serra mármore para o preparo dos corpos de prova, seguindo as recomendações das normas NBR 12766/1992 para os ensaios físicos, ASTM D 635 para o ensaio de flamabilidade (horizontal), e, respectivamente, ASTM D 790 e ASTM D 3039 para os ensaios de flexão e tração.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Difração de raios-x

As Figuras 2 e 3, apresentam respectivamente, os difratogramas dos resíduos de lama vermelha e caulim. Através dos diversos picos característicos, é possível identificar-se os principais minerais presentes em cada amostra.

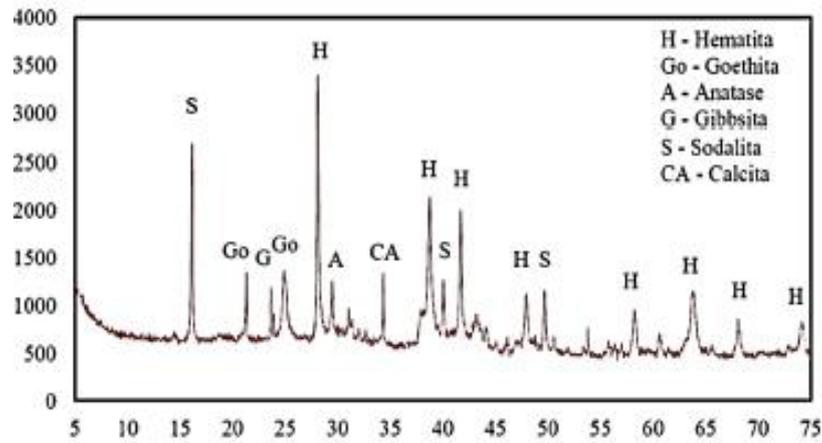


Figura 2: Difratoograma obtido para a amostra de lama vermelha.

No resultado do ensaio mineralógico para a lama vermelha, encontra-se os principais picos sinalizados como sendo da hematita (H) - PDF 01-073-2234 e sodalita (S) - PDF 01-089-8955. Estando em conforme com trabalhos já realizados por COSTA (2016).

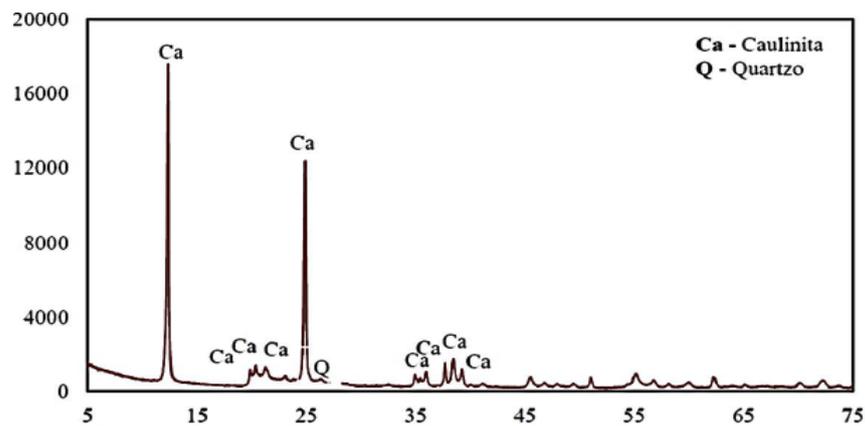


Figura 3: Difratoograma obtido para a amostra de caulim.

Para o resíduo de caulim, são ressaltados os picos de caulinita (Ca) e quartzo (Q), em conformidade com a literatura de referência. Ambos minerais de acordo com as fichas PDF 14-0164 e PDF 05-0490.

### 3.2 Ensaio físicos

A Tabela 1 demonstra os resultados de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente, obtidos para o resíduo de lama vermelha:

LAMA VERMELHA 100 #	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	POROSIDADE APA- RENTE (%)	MASSA ESPECÍFICA APA- RENTE (g/cm <sup>3</sup> )
Resina Plena	0,41	0,41	0,99
5%	0,70	0,86	1,24
15%	1,08	1,38	1,30
25%	1,40	1,89	1,33

Tabela 1: Resultados dos ensaios físicos para a lama vermelha.

De acordo com Callister (2012), materiais compósitos com partículas grandes seguem a regra das misturas, onde cada fase constituinte do material compósito contribui para as propriedades efetivas do mesmo, sendo tal contribuição dependente apenas da fração volumétrica desses constitutivos. É importante ressaltar que as formulações realizadas através da regra das misturas possibilitam apenas estimativas aproximadas.

A ficha técnica provida pelo fabricante para a resina isoftálica nos informa que a massa específica aparente (MEA) da mesma é de aproximadamente  $1,157 \text{ g/cm}^3$ , enquanto de acordo com a literatura, a da lama é  $2,11 \text{ g/cm}^3$ . A regra da mistura tem, então, suas afirmações ratificadas pelos resultados dos ensaios, onde é notável o aumento da massa específica aparente de acordo com o aumento do percentual em massa de lama vermelha no compósito.

Há também um aumento nos índices de absorção de água e porosidade aparente de acordo com o incremento proporcional de lama vermelha. Ao se relacionar a menor proporção de resíduo na matriz (5 %) com a maior proporção utilizada (35 %), observa-se que absorção de água (AA) e porosidade aparente (PA), respectivamente, apresentaram um aumento de cerca de 123 % e 130 %.

Tal efeito pode ser explicado tanto pela hidrofília do resíduo que é alta, como também pelo método de fabricação manual utilizado para a fabricação do material compósito, cuja probabilidade de surgimento de falhas tais como vazios, trincas e bolhas é acentuado.

Em sequência, a Tabela 2 demonstra os resultados para os materiais compósitos utilizando o resíduo de caulim na fase dispersa:

RESÍDUO DE CAULIM 100 #	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	POROSIDADE APARENTE (%)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE ( $\text{g/cm}^3$ )
Resina Plena	0,41	0,41	0,99
5%	1,18	1,45	1,27
15%	1,42	1,80	1,28
25%	1,85	2,48	1,35
35%	2,07	2,92	1,41

Tabela 2: Resultados dos ensaios físicos realizados para o caulim.

Como esperado, a regra da mistura também é mantida no caso do resíduo de caulim, cuja MEA é em média  $2,6 \text{ g/cm}^3$ . Os aumentos percentuais observáveis para AA e PA ao compara-se as proporções inicial e final (5 % e 35 %), são respectivamente

de 71 % e 101 %. As formulações utilizando o caulim foram as que apresentaram as menores taxas de crescimento nas propriedades físicas dentre os dois resíduos, abrindo a sugestão de que o método de confecção para o resíduo de caulim foi o que obteve maior homogeneidade e menor número de descontinuidades.

### 3.3 Ensaio de flamabilidade

A Tabela 3 exhibe os dados coletados durante o ensaio de resistência à chama, realizados de acordo com a norma ASTM D 635.

RESÍDUO / PROPORÇÃO	TAXA (mm/min)
Resina Plena	17,42
LV 5 %	19,28
LV 15 %	14,23
LV 25 %	14,29
LV 35 %	10,39
CA 5 %	23,73
CA 15 %	18,25
CA 25 %	19,63
CA 35 %	11,98

Tabela 3: Resultados do ensaio de flamabilidade horizontal.

Alguns tipos de matrizes poliméricas apresentam baixa resistência à chama, não sendo indicada a aplicações mais susceptíveis à ocorrência de incêndios, tais como cabines de aeronaves, carros de trens, navios e submarinos. Entretanto, a resina plena utilizada nos ensaios apresentou uma taxa de propagação adequada em relação ao exigido pela norma utilizada, sendo notável também, que a partir da inclusão de resíduos, houve uma melhora no desempenho do teste de flamabilidade. Observou-se que o tempo médio de queima das amostras aumentou à medida que se adicionou mais resíduo na matriz do compósito, demonstrando que o resíduo atua como retardante de chama. Tal efeito é desejável, pois quanto maior for o tempo de queima do material, menor será a velocidade de propagação da chama, o que facilita que medidas de reação/segurança sejam tomadas em relação a mesma.

Pode-se afirmar que todos os materiais compósitos fabricados neste trabalho, independente do resíduo utilizado, são classificados como HB. Visto que nas diretrizes da norma utilizada, é informado de que taxas inferiores a 40 mm/min são classificadas como tal.

No âmbito nacional, a resolução CONTRAN 675 exige que os revestimentos internos da indústria automobilística tenham uma velocidade de propagação de chama de 250 mm/min, enquanto que em outros países com pesquisas avançadas

na área, esse valor é estabelecido em 80 mm/min (RIBEIRO, 2013).

A maior proporção de lama vermelha obteve um percentual de redução de propagação da chama de 40 % em relação à resina plena. Para o resíduo de caulim, sua maior proporção em massa promoveu uma redução da propagação de cerca de 31 % em relação a resina plena. Tais reduções podem ser explicadas pela composição química e mineralógica dos resíduos, com a presença de minerais como o quartzo, que contribuem para o efeito de retardância da chama.

A Tabela 4 abaixo demonstra uma comparação entre as composições com 35 % (teoricamente as composições que possuem maior efeito de retardância de chama, devido a maior quantidade de resíduos) e o padrão exigido pelas normas e diretrizes, no qual é possível observar o excelente desempenho obtido durante os ensaios.

<b>NORMAS/COMPOSIÇÃO</b>	<b>TAXA DE PROPAGAÇÃO (mm/min)</b>
CONTRAN 675	250,00
ASTM D 635	40,00
LV 35 %	10,39
CA 35 %	11,98

Tabela 4: Comparação entre resultados obtidos com os parâmetros exigidos.

Comparando-se os dados obtidos neste trabalho com os fornecidos pelas normas, é notável o excelente desempenho dos materiais compósitos elaborados, que apresentaram valores bem menores do que o exigido. Em relação ao valor exigido pela resolução do CONTRAN, obteve-se uma redução de 95,8 % na taxa de propagação para a de lama vermelha e 95 % para o caulim. Para o valor estabelecido pela norma da ASTM, as reduções foram de aproximadamente 74 % para a lama vermelha e 70 % para o caulim.

### 3.4 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão nos materiais compósitos confeccionados seguiu as diretrizes da norma ASTM D 790, que explana dois tipos de ensaios: flexão de 3 pontos ou de 4 pontos, sendo o primeiro o mais utilizado. O ensaio de flexão é utilizado para determinar algumas das propriedades mecânicas, sobretudo a de resistência à flexão. Tais propriedades são importantes para o controle de qualidade e para avaliar o desempenho dos materiais plásticos quando submetidos a uma carga de flexão. Os resultados obtidos após os ensaios são apresentados na Tabela 5 a seguir:

COMPOSIÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPa)
Resina Plena	63,05 ± 9,09
LV 5 %	30,79 ± 0,68
LV 15 %	32,19 ± 0,62
LV 25 %	49,32 ± 1,24
LV 35 %	44,15 ± 0,45
CA 5 %	57,11 ± 1,51
CA 15 %	70,19 ± 0,81
CA 25 %	58,79 ± 1,24
CA 35 %	68,17 ± 1,76

Tabela 5: Resultados do ensaio de flexão.

A composição com melhor desempenho foi a de 15 % de caulim, com tensão média de resistência a flexão de cerca de 70,19 MPa. Já para a lama vermelha, foi sua composição de 25 % que exibiu melhor desempenho, com cerca de 49,32 MPa.

As demais composições, tanto de lama vermelha quanto de caulim, não exibiram resultados satisfatórios, com tensões menores ou de patamar semelhante ao valor para a resina plena. As explicações para tal comportamento envolvem diversos fatores, sendo o mais provável deles uma má dispersão e compactação do resíduo na matriz.

De maneira geral, não houve um aumento sensível da resistência a flexão em relação a resina plena, o que já era esperado, tendo em vista que na medida que a matriz é saturada de resíduos, sua massa específica e rigidez aumentam, o que implica na perda gradual de flexibilidade do corpo de prova. Os resíduos, então, atuaram mais como carga de enchimento do que como reforço efetivo para o caso do ensaio de resistência à flexão.

### 3.5 Ensaio de tração

O ensaio de resistência a tração em materiais compósitos é de extrema importância para a determinação das propriedades mecânicas, bem como garantir a adequação aos padrões comerciais de aplicabilidade prática. Os corpos de prova utilizados no foram confeccionados para atenderem os requisitos da norma ASTM D 3039.

A Tabela 6 abaixo ilustra os resultados obtidos para os resíduos em suas respectivas composições em massa:

COMPOSIÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA (MPa)
Resina Plena	8,65 ± 0,67
LV 5 %	16,77 ± 2,81
LV 15 %	18,45 ± 1,81
LV 25 %	20,08 ± 2,04
LV 35 %	19,82 ± 1,07
CA 5 %	17,66 ± 3,27
CA 15 %	20,01 ± 2,94
CA 25 %	21,16 ± 3,35
CA 35 %	19,20 ± 3,98

Tabela 6: Resultados obtidos com o ensaio de tração.

É notável que independente do resíduo utilizado, há um aumento da tensão de resistência ao compara-se com a matriz plena. Isso ocorre devido a fase dispersa, que ajuda a distribuir melhor as tensões que são exercidas no interior do material na medida em que o mesmo é traçado.

Em relação a inserção de lama vermelha, notou-se que até 25 % houve uma melhora nas propriedades mecânicas chegando a uma resistência de 20,08 MPa, 132 % maior do que em relação a resina plena. Contudo, na composição de 35 % houve um decaimento da resistência para 19,82 MPa, o que pode ser explicado devido o aumento da porosidade do material que ocorre com o aumento da composição, resultado esse já mencionado durante a análise dos ensaios físicos.

Para o resíduo de caulim, a maior tensão de resistência obtida foi para a composição de 25 %, com 21,16 MPa, um aumento de cerca de 144 % tendo em vista a matriz plena. Na composição de 35 %, notou-se um decaimento dessa propriedade mecânica para 19,20 MPa, o que pode ser explicado de maneira semelhante a lama vermelha, pois o caulim também obteve um aumento sensível de porosidade à medida que sua inserção na matriz aumentava.

Os resultados de tração exibiram resultados positivos e os resíduos atuaram como reforço efetivo, ao contrário do que foi observado para o ensaio de flexão, no qual atuaram como predominantemente como carga de enchimento.

#### 4 | CONCLUSÃO

O ensaio de inflamabilidade horizontal assegurou uma classificação HB para os materiais confeccionados, de acordo com a norma ASTM D 635, garantindo-os com características de retardantes de chama. As composições de 35 % obtiveram excelente desempenho, com valores de taxa de propagação bem menores do que o máximo exigido pela resolução 675 do CONTRAN.

Para o ensaio mecânico de flexão, os resíduos não promoveram resultados sensíveis na resistência em relação a resina plena. Contudo, no que tange os dados

obtidos no ensaio de tração, observou-se uma tendência de melhora na tensão de resistência a tração dos corpos de prova em relação a matriz plena, com aumentos de até 132 % para o resíduo de lama vermelha e 144 % para o resíduo de caulim.

Dessa forma, a aplicação de maior destaque para os materiais compósitos estudados neste trabalho é como retardante de chama, bem como sua utilidade como opção viável de destinação para os resíduos industriais estudados, que outrora seriam impropriamente descartados.

## AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Engenharia Química (LEQ), a Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

## REFERÊNCIAS

ANJOS, C. M.; NEVES, G. A.; Utilização do resíduo de caulim para a produção de blocos solo-cal. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6, n.2, p. 91-96, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR 12766 "**Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente, absorção d'água aparente.**" 1992. 2p.

ASTM D 635 "**Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position**" Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.

ASTM D 790. "**Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials**", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.

ASTM D 3039. "**Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials**", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2000.

CALLISTER, W. **Ciência e Engenharia de Materiais - uma introdução**. 8 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

COSTA, D. S. **Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais**. Tese de Doutorado, 2016.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução n°. 675 - "**Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos e dá outras providências.**" Diário Oficial da União, Seção 1, página 13534, 09 de setembro de 1986.

MARINUCCI, G., **Materiais Compósitos Poliméricos**. 1 Ed. São Paulo: Artliber, 2011.

RIBEIRO, L. M. Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (palf). **Holos**, ano 29, vol 1, 2013.

SILVA FILHO, 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, n.2, p.322-338, 2007.

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

*Data de aceite: 18/11/2019*

### **Lucas Matono Casagrande**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Mecânica  
Curitiba - Paraná

### **Paulo Henrique Chulis**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Mecânica  
Curitiba - Paraná

### **Fabrcio Antnio Moreno Zanetelli**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Mecânica  
Curitiba - Paraná

### **Mrcia Silva de Araujo**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Mecânica  
Curitiba - Paraná

### **José Alberto Cerri**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Curitiba - Paraná

**RESUMO:** Este trabalho avalia a eficiência de um aparato construído para dispersar nanopartículas de prata (NPAg) sobre pó polimérico na produção de filmes. O piezoelétrico deste aparato produz uma névoa por meio de vibrações ultrassônicas, resultando em micro gotículas da solução com NPAg dispersas, as

quais são carregadas por um fluxo contínuo de ar até o polímero. A melhor configuração apresentou eficiência próxima a 70%. Foram preparadas cinco concentrações de NPAg, entre 0,002 a 0,042 mg / mL em solução de água e álcool isopropílico, depositadas sobre o polímero em pó seco, e então, obtidos filmes plásticos por prensagem à quente a 160°C por 5 minutos. As deposições sobre o pó foram avaliadas por imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV), as quais constataram a presença das NPAg, que não causaram alteração estatisticamente significativa da resistência à tração do filme.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Dispersão, nanopartículas de prata, polietileno, filme plástico

**ABSTRACT:** This work evaluates the efficiency of an apparatus constructed to disperse silver nanoparticles (NPAg) on polymeric powder for the production of films. The piezoelectric of this apparatus produces a mist by means of ultrasonic vibrations, resulting in micro droplets of the solution with dispersed NPAs, which are carried by a continuous flow of air to the polymer. The best configuration presented an efficiency close to 70%. Five concentrations of NPAg, 0.002 to 0.042 mg / mL in water and isopropyl alcohol solution, were deposited on the polymer powder, dried, and then plastic

films were obtained by hot pressing at 160 ° C for 5 minutes. The depositions on the powder were evaluated by scanning electron microscopy (SEM) images, which verified the presence of NPAg, that did not cause statistically significant change in the tensile strength of the film.

**KEYWORDS:** Dispersion, silver nanoparticles, polyethylene, plastic film.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com o desafio de prolongar o tempo de prateleira (*shelf life*) dos alimentos, têm-se pesquisado as nanopartículas de prata, que liberaram íons, os quais são capazes de exterminar ou impedir a reprodução de microrganismos. Dessa forma, alguns estudos, tais como os de Assis *et al.* (2012) e Damm *et al.* (2007), focam em processos para introduzir partículas de prata na matriz polimérica das embalagens, de maneira eficiente e econômica, garantindo a preservação da integridade dos alimentos e a saúde dos consumidores.

Segundo Koo (2006), os polímeros termoplásticos com nanopartículas podem ser produzidos pelos métodos de intercalação em solução ou fusão, laminação, polimerização *in situ*, polimerização em emulsão e por meio de misturador com alta taxa de cisalhamento. Para a incorporação de nanopartículas de prata na matriz polimérica destacam-se os métodos de polimerização *in situ*, intercalação e o *layer-by-layer* (LBL). Os valores de concentração de nanopartículas de prata em filmes obtidos por diversos tipos de processamento são apresentados na Tabela 1, a qual também compara os métodos de processamento utilizados por diferentes autores.

Na polimerização *in situ* as nanopartículas são previamente dispersas em uma solução com monômeros para que em seguida ocorra a polimerização. Nessa técnica a adsorção das nanopartículas é considerada simples e controlável, porém pode ocorrer a agregação das nanopartículas (GUO *et al.*, 2013).

O método de intercalação consiste em misturar as nanopartículas com o polímero, podendo ocorrer em solução ou em fusão. No caso de mistura em solução, utiliza-se um solvente no qual o polímero seja solúvel. Com a evaporação do solvente é possível obter o filme polimérico (KANGO *et al.*, 2013).

A intercalação em fusão pode ser executada pelo processo de extrusão e não é necessário a adição de um solvente. A dificuldade do método está na efetiva dispersão das nanopartículas na matriz polimérica, devido a tendência de aglomeração (KANGO *et al.*, 2013).

O método *layer-by-layer assembly*, ou montagem camada por camada, vem se destacando na fabricação de filmes finos com multicamadas, devido à simplicidade quando comparado a outras técnicas. Geralmente, o método é cíclico e consiste na deposição de um material com carga em um substrato. Devido à força eletrostática,

o material é adsorvido pelo substrato, e depois de lavado, um material com carga elétrica oposta é depositado e adsorvido sobre a camada anterior, formando uma nova camada. O processo de deposição é repetido até que as múltiplas camadas tenham a espessura desejada do filme (RICHARDSON *et al.*, 2015).

Artigo	Fabricação do Filme	Tamanho da nanopartícula (nm)	Massa total (%)
Nanocomposites based on polyethylene and nanosilver particles produced by metallocenic “in situ” polymerization: synthesis, characterization, and antimicrobial behavior (ZAPATA <i>et al.</i> , 2011)	Polimerização <i>in situ</i>	10	5
Gamma-Irradiation modified polypropylene and nanosilver hybrid films-antibacterial activity (OLIANI <i>et al.</i> , 2014)	Intercalação em fusão	50-55	4
Study of Antibacterial Properties of Polypropylene Filled (FAGES <i>et al.</i> , 2011)	Intercalação em fusão	30-50	2
Polymer nanosilver composite coatings for antibacterial applications (GUO <i>et al.</i> , 2013)	Diversos	-	0,02
Antibacterial nanosilver coating on the surface of polyethylene films using corona discharge (SADEGHNEJAD <i>et al.</i> , 2014)	<i>Layer-by-layer</i>	50	-
Surfaces modified with nanometer-thick silver-impregnated polymeric films that kill bacteria but support growth of mammalian cells (AGARWAL <i>et al.</i> , 2010)	<i>Layer-by-layer</i>	-	0,02
Effects of a combination of antimicrobial silver low density polyethylene nanocomposite films and modified atmosphere packaging on the shelf life of chicken breast fillets (AZLIN-HASIM <i>et al.</i> , 2015)	Intercalação em fusão	-	0,5-1
Stabilized nanosilver based antimicrobial poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) nanocomposites of interest in active food packaging (CASTRO-MAYORGA <i>et al.</i> , 2015)	Intercalação em fusão	41-50	0,04

Tabela 1 - Tipos de processamento e concentração mássica de nanopartículas de prata utilizados em pesquisas

A incorporação de nanopartículas de prata na matriz polimérica pode ser realizada por intercalação em fusão, o qual utiliza o processo de extrusão. Contudo, ocorre aglomeração significativa das nanopartículas, afetando o desempenho do filme. Para contornar esse problema, é proposto neste trabalho a construção de um dispositivo para atomizar uma solução de nanopartículas dispersas em uma mistura

de álcool isopropílico e água sobre o polímero em pó antes do seu processamento, com o intuito de melhorar a homogeneização no filme polimérico.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O polímero utilizado foi o polietileno de baixa densidade (PEBD) G803 fabricado pela Politeño Ind. e Com. S/A e micronizado pela TRM Resinas Termoplásticas Ind. e Com. Ltda. As principais características são: índice de fluidez de 28,0 g / 10min (ASTM D-1238), densidade aparente de 0,918 g / cm<sup>3</sup> (ASTM D-1835); tamanho médio de partículas de 500 µm (ASTM D-1291) e, fluidez seca de 24 expressa em 100 g/s (ISQ 4.10.11).

As NPAg foram produzidas no laboratório FotoNanoBio pelos professores Jorge Alberto Lenz e Arandi Ginane Bezerra Junior do DAFIS da UTFPR, pelo método de ablação à laser e depositadas em solução aquosa. O volume fornecido foi de 210 mL, com as seguintes características (Figura 1): concentração de 0,01 mg / mL e tamanho médio das partículas de 14 nm.

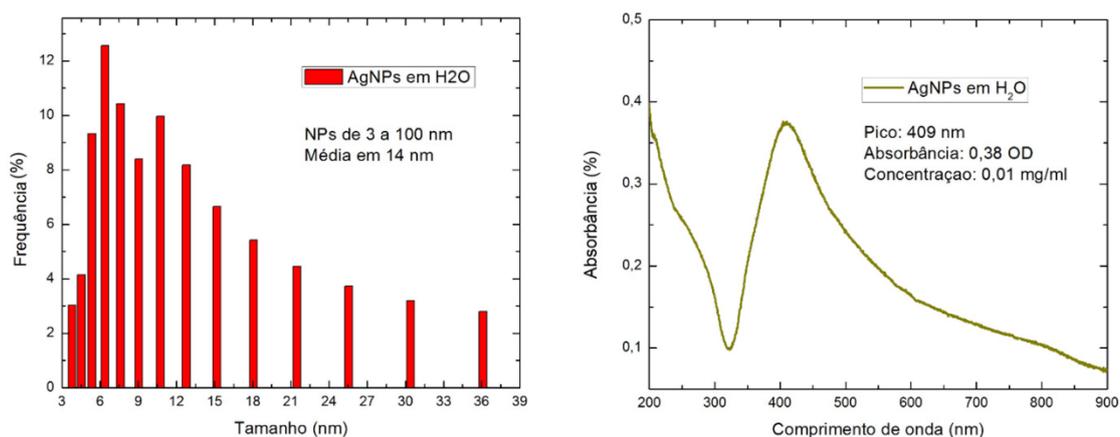


Figura 1 - Caracterização das NPAg, sendo (a) tamanho médio das nanopartículas e (b) comprimento de onda e concentração da solução para determinação da concentração

Fonte: Professor Jorge Alberto Lenz

O primeiro procedimento foi manter a solução de NPAg em repouso a temperatura de 60 °C por 50 horas para reduzir o volume total da solução de 210 mL para 45 mL. As soluções foram preparadas por diluição em álcool isopropílico e as concentrações estão indicadas na Tabela 2.

Solução	Volume da solução mãe de NPAg (mL)	Volume Álcool Isopropílico (mL)	Concentração de NPAg na solução final (mg/mL)	Quantidade de NPAg (mg)
1	20	5	0,034	0,84
2	10	15	0,017	0,42
3	5	20	0,008	0,21
4	2,5	22,5	0,004	0,11
5	1,25	23,75	0,002	0,05
6	11,25	0	0,042	0,47

Tabela 2 - Características das soluções utilizadas nas dispersões

O dispositivo de dispersão construído utilizou para a dispersão um nebulizador a ar comprimido da marca NS, modelo Inalar Compact, com as seguintes características: vazão volumétrica de 0,40 mL / min, capacidade do reservatório de 15 mL, pressão de trabalho de 1,15 atm e, método de nebulização por bomba de ar acoplada a um micro nebulizador.

Em todas as dispersões foram utilizados aproximadamente 18 g de polietileno em pó. Este procedimento durou entre 60 e 100 minutos, variando devido às diferentes proporções água / álcool isopropílico das soluções. Após a solução esgotar completamente do reservatório, a peneira com abertura de 100  $\mu$ m, contendo o pó foi levada a estufa para secar a 60°C durante 24 horas.

O nebulizador utilizado no dispositivo de dispersão das NPAg é projetado para funcionar com água e esta não pode estar presente no pó de PEBD durante a fabricação do filme, seja por prejudicar a qualidade do produto ou por causar danos a extrusora. Dessa forma foi proposto utilizar álcool isopropílico como meio dispersante, pois a rápida evaporação agilizaria o processo. Para tanto, fez-se necessário avaliar o comportamento do nebulizador, no qual foram realizados 11 testes com diferentes concentrações da mistura água-álcool isopropílico sem NPAg. Foi usado 10 mL de solução no reservatório do nebulizador, ligou-se o inalador por 3 minutos e, a massa antes e depois do ensaio do reservatório foi medida.

Na sequência foram feitos testes em diferentes montagens do dispositivo de dispersão, usando soluções sem NPAg. A eficiência do dispositivo foi calculada pela diferença de massa. Após a avaliação do protótipo e seus aprimoramentos até a configuração considerada ideal, sem vazamentos visíveis e sem exalar odor de álcool isopropílico, foram realizadas as dispersões das soluções com nanopartículas de prata. Em todas as dispersões foram utilizados aproximadamente 18 g de polietileno em pó.

Para obtenção dos filmes foi usada uma prensa quente (Carver, modelo 4122). Os parâmetros utilizados na produção dos filmes foram: 160 °C, 1,8 toneladas, 5

minutos de prensagem e, 10 minutos de resfriamento.

Foram realizados ensaio de resistência à tração em todos os filmes produzidos, seguindo os critérios da norma ASTM D882 - 18. Foi utilizada a máquina universal de ensaios (EMIC DL10000). Para cada filme foram utilizadas 5 amostras, medindo 10 mm de largura por 90 mm de comprimento. A velocidade do ensaio foi de 50 mm / min, e a força foi medida por uma célula de carga de 2 kN, com precisão de 0,1 N.

A caracterização microestrutural foi realizada em um microscópio óptico (Olympus, modelo BX51), e analisada por meio do software ImagePro-Plus®. Para resoluções maiores foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (Carl Zeiss, modelo EVO MA15).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho foi dividido em algumas etapas: teste do nebulizador com soluções de água e álcool isopropílico; teste do dispositivo de dispersão com soluções; dispersão de solução contendo NPAg; verificação da deposição por análise de microscopia óptica e eletrônica de varredura; produção de filmes por compressão, e ; ensaio mecânico do filme de PEBD e NPAg.

#### 3.1 Dispositivo de dispersão

Na primeira etapa dos resultados é apresentado o teste de funcionamento do nebulizador, utilizando solução alcoólica. A Tabela 3 apresenta os resultados dos testes.

Pode-se observar que aumentando a concentração de álcool na solução, a taxa de nebulização também aumentou, devido principalmente a menor densidade do álcool. Esse fator é um ponto positivo para o dispositivo, pois ao se adicionar álcool, o tempo diminui necessário para nebulizar um mesmo volume de solução de NPAg.

Observou-se que aumentando a concentração de álcool na mistura, a taxa de nebulização também aumentava, devido principalmente a menor densidade do álcool comparado à da água. Esse fator é um ponto positivo para o dispositivo, pois diminui o tempo necessário para nebulizar um mesmo volume de solução de NPAg.

Solução	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Taxa de Nebulização (mL/min)
100% Água	9,954	8,844	0,372
90% Água - 10% Álcool	9,728	8,132	0,547
80% Água - 20% Álcool	9,469	7,566	0,670
70% Água - 30% Álcool	9,201	7,258	0,704

60% Água - 40% Álcool	9,084	7,014	0,760
50% Água - 50% Álcool	8,772	6,614	0,820
40% Água - 60% Álcool	8,529	6,367	0,845
30% Água - 70% Álcool	8,363	6,234	0,849
20% Água - 80% Álcool	8,094	5,999	0,863
10% Água - 90% Álcool	7,969	5,595	0,993
100% Álcool	7,761	5,252	1,078

Tabela 3 - Taxa de nebulização para diferentes concentrações de água-álcool

Devido à baixa concentração e quantidade de solução mãe das nanopartículas de prata em água, buscou-se melhorar ao máximo a eficiência do dispositivo, para que isso ocorresse foram realizados os testes de dispersão no polímero em pó utilizando soluções sem nanopartículas. Após cada teste foram realizadas novas modificações no dispositivo com objetivo de reduzir vazamentos e melhorar a dispersão das soluções.

No total foram realizados 27 testes de dispersão com diferentes configurações e modificações no dispositivo, porém muitos destes tiveram resultados semelhantes e por esta razão apenas os testes com mudanças significativas na eficiência do dispositivo foram discutidos.

No primeiro teste realizado foi utilizada uma vasilha plástica com vedação na tampa, resultando em uma eficiência muito baixa. Outros testes foram realizados com a aplicação de silicone e fita veda rosca, porém os vazamentos continuaram e a eficiência do dispositivo continuava baixa. Por isso foi necessário a mudança para uma vasilha de vidro com uma melhor vedação, conforme mostra o segundo teste da Tabela 4, houve uma leve melhora na adsorção do polímero e uma grande redução nos vazamentos, aumentando consideravelmente a eficiência do dispositivo.

Porém mesmo com a mudança da vasilha os vazamentos continuaram devido ao aumento de pressão ocasionado pelo acúmulo de ar do compressor do nebulizador. A solução encontrada foi realizar a nebulização de maneira intermitente, ligando e desligando o inalador a cada 10 segundos, Teste 3. Apesar de a nebulização intermitente melhorar a eficiência do dispositivo, esta não era prática por ser realizada manualmente e pequenos vazamentos continuarem, além da automação ser custosa

Teste	Solução	Tempo (min)	Massa Solução (g)	Adsorção pelo polímero (%)	Eficiência Dispositivo (%)
1	Água	25	9,800	8,4	18,1
2	50% Água / 50% Álcool	10	7,889	11,2	42,9
3	50% Água / 50% Álcool	24	8,677	17,5	45,3
4	20 % Água / 5% Álcool	20	9,358	20,3	59,6

5	20 % Água / 5% Álcool	14	9,832	26,1	55,1
6	20 % Água / 5% Álcool	31	11,333	49,0	68,4
7	20 % Água / 5% Álcool	23	9,762	33,3	58,5
8	20 % Água / 5% Álcool	85	24,168	43,5	66,5
9	20 % Água / 5% Álcool	93	24,149	48,5	69,5

Tabela 4 – Resultados mais relevantes dos testes realizados

Assim, focou-se na diminuição de vazamentos e aumento da área de contato do polímero. O quarto teste da Tabela 4 foi obtido ao utilizar uma grande quantidade de silicone em todos os lugares possíveis do dispositivo e o quinto consistiu no aumento das dimensões da peneira utilizada.

Entretanto, ainda ocorria o acúmulo de pressão na vasilha e, a solução para isso foi desmontar o inalador para realizar modificações de modo a torná-lo um sistema fechado com recirculação. Dessa forma, mangueiras de retorno foram posicionadas acima (Teste 6) e abaixo (Teste 7) da peneira, sendo a primeira configuração escolhida devido aos melhores resultados obtidos.

Por fim, os dois últimos testes realizados foram feitos para verificar a repetitividade do processo, utilizando a mesma configuração do sexto teste, porém com uma quantidade de 25 mL de solução, como nos testes com NPAg. A configuração final do dispositivo pode ser vista na Figura 2 à esquerda e o detalhe da base vibratória na mesma Figura à direita.

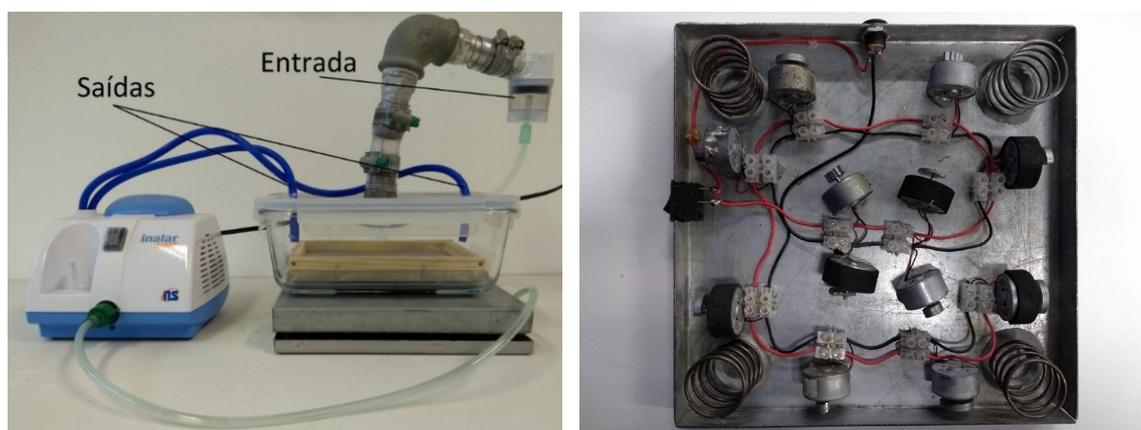


Figura 2 - Dispositivo de dispersão com o nebulizador a câmara de deposição à esquerda e detalhe da base vibratória com seus motores à direita

Importante ressaltar que os valores da eficiência do dispositivo servem apenas para mostrar que as mudanças realizadas no protótipo resultaram em melhorias, pois em algumas configurações não foi possível medir o acúmulo de solução devido a sua geometria.

### 3.2 Análise por microscopia

A solução mãe de partículas de prata com 0,042 mg / mL foi analisada ao microscópio óptico e a micrografia pode ser visualizada na Figura 3. Mesmo com o baixo poder de ampliação do microscópio óptico se comparado com o MEV, foi possível visualizar pequenas partículas, sendo as maiores com dimensões de aproximadamente 12  $\mu\text{m}$ .

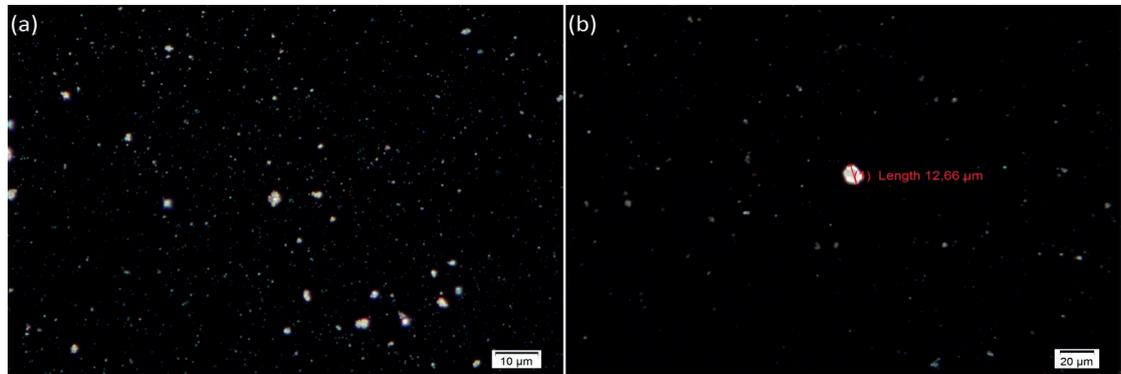


Figura 3 - Micrografia da solução mãe de NPAg com aumento de (a) 100x e (b) 40x

Uma possível explicação para a presença de partículas desse tamanho foi a falta de um agente dispersante na solução fornecida, que evitaria a aglomeração das nanopartículas com o passar do tempo, outra explicação possível seria a aglomeração das nanopartículas durante a secagem.

A detecção de prata no polímero é de grande importância na validação da eficácia do dispositivo. Dada a escala das nanopartículas, foi necessário utilizar a microscopia eletrônica de varredura para verificar a presença ou não da prata nanométrica. Neste estudo foram analisadas a solução concentrada e o PEBD em pó com deposição de soluções com diferentes concentrações de NPAg.

A primeira análise foi feita sobre a solução de NPAg (Figura 4). Por meio da espectroscopia de energia dispersiva (EDS), foi observada a ocorrência de prata, assim como de outros metais, como o magnésio, o alumínio e o ouro (Tabela 4). Esses outros metais estão presentes devido o processo de análise utilizar um suporte de alumínio e deposição de ouro.

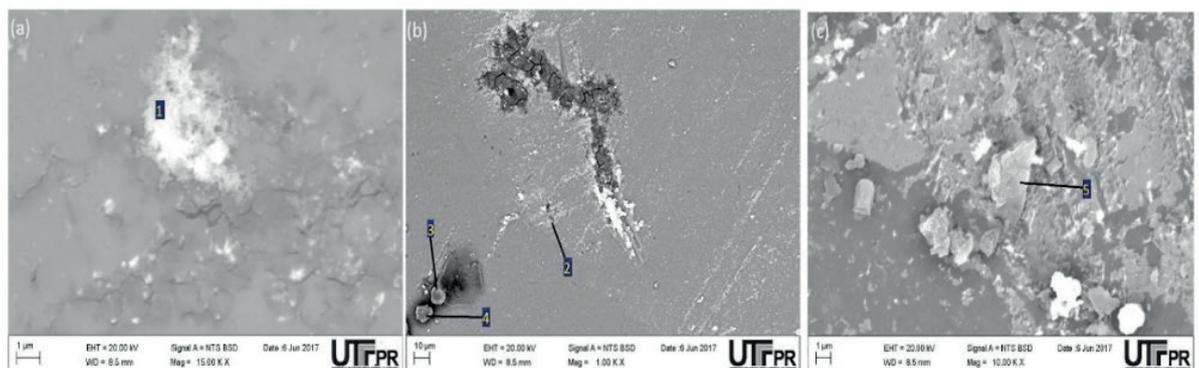


Figura 4 - Micrografias da solução mãe de NPAg

Composição Química (% em massa)									
Ponto	C	O	Mg	Al	Si	Cl	Ag	Au	Total
1	20,97	9,03	2,31	41,38	0,65	1,07	24,59	-	100,00
2	-	12,02	4,35	83,20	-	-	0,43	-	100,00
3	62,34	23,00	0,91	13,62	-	-	0,13	-	100,00
4	58,90	20,82	1,17	18,91	-	-	0,20	-	100,00
5	-	24,64	2,54	52,56	-	0,29	0,44	19,53	100,00

Tabela 4 - Composição química da solução mãe de prata analisada sobre as diversas regiões marcadas na Figura 4

A segunda análise foi realizada no PEBD em pó, após ser feita a dispersão pelo dispositivo. Nas micrografias da Figura 5 foram realizadas análises em EDS e foi possível observar a presença de NPAg, um indicativo de que o dispositivo foi eficaz em transportar a prata nanométrica do reservatório até o polímero.

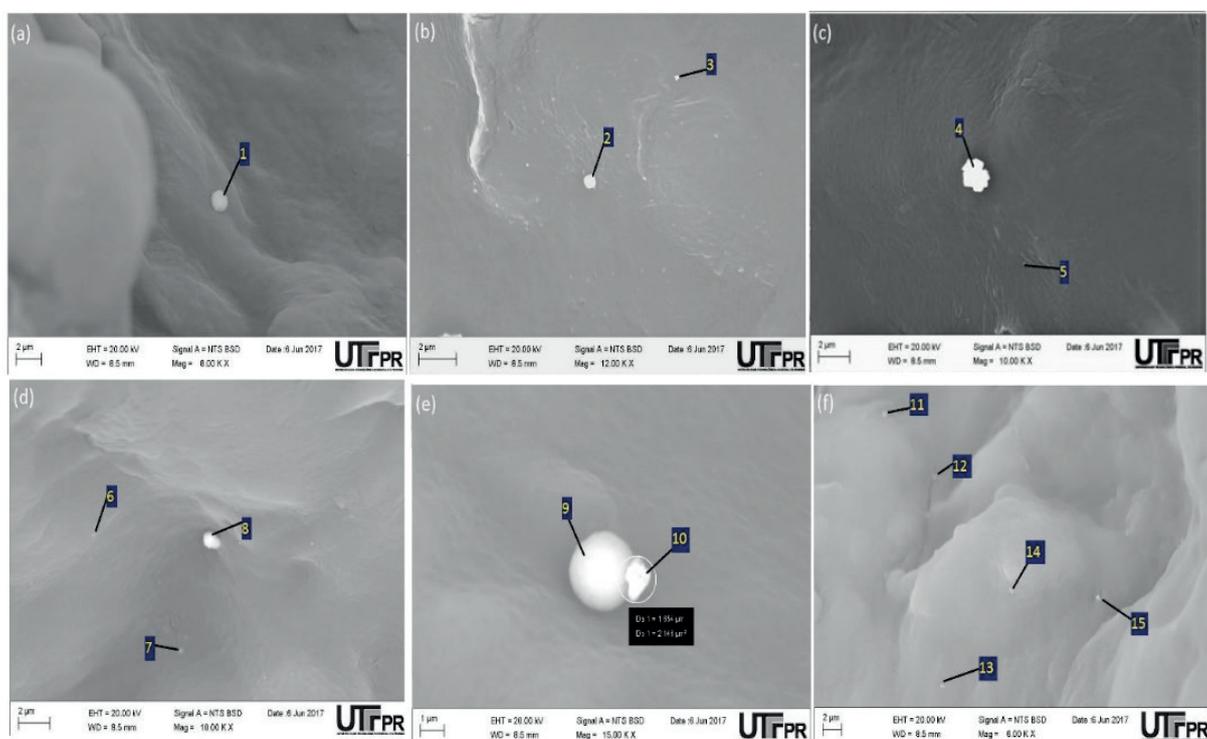


Figura 5 - Micrografias do polímero em pó com dispersão de solução: (a) 2,5 mL; (b) 5 mL; (c) 10 mL; (d) 10 mL; (e) 20 mL; (f) 20 mL

A Tabela 5 indica a composição química nos pontos analisados. Nela é possível verificar que os pontos 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 15 apresentam porcentagem significativa de prata.

Composição Química (% em massa)										
Ponto	C	O	Mg	Al	Cl	Zn	Mn	Fe	Ag	Total
1	36,44	2,18	0,26	0,98	5,22	-	-	-	54,92	100,00
2	83,97	2,88	-	0,16	1,45	-	-	-	11,54	100,00

3	94,05	-	-	-	1,02	-	-	-	4,93	100,00
4	67,94	4,72	-	-	2,26	-	-	-	25,08	100,00
5	93,27	6,14	-	-	-	0,24	-	-	0,35	100,00
6	92,16	-	-	0,25	-	-	-	-	7,59	100,00
7	92,15	3,44	-	-	0,86	-	-	-	3,55	100,00
8	-	-	-	1,15	8,77	-	-	-	90,08	100,00
9	28,64	38,78	-	0,20	-	-	0,28	31,63	0,47	100,00
10	58,17	11,99	-	0,20	2,18	-	-	7,54	19,92	100,00
11	97,77	-	-	-	0,31	-	-	-	1,92	100,00
12	93,96	-	-	-	0,75	-	-	-	5,29	100,00
13	99,38	-	-	-	-	-	-	-	0,62	100,00
14	97,60	-	-	0,14	0,16	-	-	-	2,10	100,00
15	88,02	-	-	-	1,20	-	-	-	10,78	100,00

Tabela 5 - Caracterização química do pó impregnado com NPAg

Apesar de ter sido detectada prata na maioria das amostras, exceto na de 1,25 mL da solução mãe, não foi possível medir a dispersão quantitativamente, pois a quantidade de pó polimérico analisada no MEV era pequena se comparada com a quantidade produzida. Porém, durante a análise foi possível perceber que quanto maior a concentração da solução, mais fácil era a visualização da prata.

### 3.3 Ensaio de resistência à tração dos filmes

Nas Tabelas 6 e 7 são apresentados os resultados de resistência à tração e deformação máxima, respectivamente. Nessas Tabelas, letras iguais correspondem a filmes com comportamentos mecânicos semelhantes de acordo com o teste t de *Student* a um nível de 5% de nível de significância.

Pode-se concluir com base nos testes de comparação de *t-Student* que não foi possível observar diferença de resistência à tração entre as amostras com NPAg, e somente as composições 3, 4 e 5 apresentaram resistência estatisticamente inferior ao filme sem NPAg.

Filme	Volume da solução concentrada de NPAg (mL)	Resistência à tração dos corpos de prova (MPa)					Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
		1	2	3	4	5		
1 <sup>a</sup>	0	8,07	8,14	8,24	7,48	8,05	8,00	0,298
2 <sup>ab</sup>	1,25	7,93	7,86	7,26	7,03	6,40	7,30	0,631
3 <sup>b</sup>	2,5	6,59	6,76	6,31	7,61	7,40	6,93	0,550
4 <sup>b</sup>	5	7,70	7,82	7,08	6,90	6,41	7,18	0,583
5 <sup>b</sup>	10	6,77	7,62	7,32	7,90	7,30	7,38	0,421
6 <sup>ab</sup>	20	7,92	7,59	7,14	7,30	8,09	7,61	0,401

Tabela 6 - Resultados de tensão com base no ensaio de tração dos filmes

Filme	Volume da solução concentrada de NPAg (mL)	Deformação Máxima do Corpo de Prova (mm)					Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
		1	2	3	4	5		
1 <sup>a</sup>	0	46,34	57,88	103,38	38,38	63,2	61,84	25,168
2 <sup>a</sup>	1,25	44,93	52,52	58,55	44,74	44,36	49,02	6,321
3 <sup>a</sup>	2,5	19,41	32,32	104,52	35,53	33,91	45,14	33,804
4 <sup>a</sup>	5	37,43	35,47	37,55	78,64	56,61	49,14	18,604
5 <sup>a</sup>	10	21,97	22,53	65,01	75,26	29,06	42,77	25,399
6 <sup>a</sup>	20	23,16	32,55	40,86	63,62	93,43	50,72	28,185

Tabela 7 - Resultados de deformação máxima com base no ensaio de tração dos filmes

Os resultados de deformação apresentados na Tabela 7 são considerados semelhantes, ou seja, que nenhum dos filmes apresentou diferença estatística significativa em relação aos outros.

As variações encontradas na resistência à tração podem ser resultado do modo de preparar das amostras, uma vez que na preparação do corpo de prova, o instrumento de corte insere microfissuras nas bordas, estas atuam como concentradores de tensão e acabam por facilitar o surgimento da trinca na amostra e o conseqüente rompimento prematuro.

#### 4 | CONCLUSÕES

O propósito central deste estudo voltou-se para a construção de um dispositivo capaz de dispersar homogeneamente nanopartículas de prata em pó polimérico, logo pode-se afirmar, pela análise dos resultados, que tal objetivo foi alcançado. Com base na Tabela 4 afirma-se que após diversos testes e configurações utilizados no dispositivo a eficiência mínima calculada foi de 69,5%, considerada aceitável para o primeiro protótipo. Tal valor é dito mínimo, pois ao tornar o sistema recirculante, não foi mais possível aferir a massa da névoa que se depositava nas mangueiras de retorno.

Analisando os resultados das microscopias realizadas por MEV, concluiu-se que o dispositivo foi eficaz em transportar as NPAg da solução para o pó polimérico. A baixa quantidade do material no filme deve-se principalmente à natureza das soluções fornecidas, que apresentam uma concentração de 1% daquela considerada ideal de 1 mg/mL, baseada em pesquisas similares.

Nos ensaios mecânicos também não foi possível identificar a influência das concentrações das soluções de nanopartículas sobre as propriedades do filme.

## AGRADECIMENTOS

Aos Profs. Jorge Alberto Lenz e Arandi Ginane Bezerra Junior do laboratório FotoNanoBio do DAFIS da UTFPR.

Ao Técnico Alexandre José Gonçalves do laboratório CMCM da UTFPR pela análise ao MEV.

## REFERÊNCIAS

AGARWAL, A.; WEIS, T. L.; SCHURR, M. J.; FAITH, N. G.; CZUPRYNSKI, C. J.; McANULTY, J. F.; MURPHY, C. J.; ABBOTT, N. L. Surfaces modified with nanometer-thick silver-impregnated polymeric films that kill bacteria but support growth of mammalian cells. **Biomaterials**, v. 31, n. 4, p. 680-690, 2010.

ASSIS, L. M. D.; ZAVAREZE, E. D. R.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C.; SOARES, L. A. D. S. Revisão: características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, p. 99-109, jun., 2012.

AZLIN-HASIM, S.; CRUZ-ROMERO, M. C.; MORRIS, M. A.; CUMMINS, E.; KERRY, J. P. Effects of a combination of antimicrobial silver low density polyethylene nanocomposite films and modified atmosphere packaging on the shelf life of chicken breast fillets. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 4, p. 26-35, 2015.

CASTRO-MAYORGA, J. L.; FABRA, M. J.; LAGARON, J. M. Stabilized nanosilver based antimicrobial poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) nanocomposites of interest in active food packaging. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 2015.

DAMM, C.; MÜNSTEDT, H.; RÖSCH, A. Long-term antimicrobial polyamide 6 / silver-nanocomposites. **Journal of Materials Science**, v. 42, n. 15, p. 6067-6073, abr., 2007.

FAGES, E.; PASCUAL, J.; FENOLLAR, O.; GARCÍA-SANOQUERA, D.; BALART, R. Study of antibacterial properties of polypropylene filled with surfactant-coated silver nanoparticles. **Polymer Engineering & Science**, v. 51, n. 4, p. 804-811, 2011.

GUO, L.; YUAN, W.; LU, Z.; LI, C. M. Polymer nanosilver composite coatings for antibacterial applications. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 439, p. 69-83, dez., 2013.

KANGO, S.; KALIA, S.; CELLI, A.; NIJUGUNA, J.; HABIBI, Y.; KUMAR, R. Surface modification of inorganic nanoparticles for development of organic-inorganic nanocomposites - A review. **Progress in Polymer Science**, v. 38, n. 8, p. 1232-1261, ago. 2013.

KOO, J. H. **Polymer Nanocomposites: processing, characterization, and applications**. Nova York: McGraw-Hill, 2006.

OLIANI, W. L.; ALCANTARA, M. T.; LIMA, L. F. C. P.; BUENO, N. R.; HUENUMA, N. E. L.; ROGERO, S. O.; RIELLA, H.; LUGAO, A. B.; PARRA, D. F. Gamma-irradiation modified polypropylene and nanosilver hybrid films-antibacterial activity. **International Nuclear Atlantic Conference**. p. 11-19, 2014.

SADEGHNEJAD, A.; AROUJALIAN, A.; RAISI, A.; FAZEL, S. Antibacterial nano silver coating on the surface of polyethylene films using corona discharge. **Surface and Coatings Technology**, v. 245, p. 1-8, 2014.

RICHARDSON, J. J.; BJÖRNMALM, M.; CARUSO, F. Technology-driven layer-by-layer assembly of nanofilms. **Science**, v. 342, n. 6233, p. 2491, abr. 2015.

ZAPATA, P. A.; TAMAYO, L.; PÁEZ, M.; CERDA, E.; AZÓCAR, I.; RABGLIATI, F. M. Nanocomposites based on polyethylene and nanosilver particles produced by metallocenic “in situ” polymerization: synthesis, characterization, and antimicrobial behavior. **European Polymer Journal**, v. 47, n. 8, p. 1541-1549, 2011.

## INFLUENCE OF LIGNIN CONTENT IN MACADAMIA NUTSHELL ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HDPE BIOCOSCOMPOSITES

Data de aceite: 18/11/2019

### **Bruno Chaboli Gambarato**

Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA  
Programa de Mestrado Profissional em Materiais  
Volta Redonda – RJ – Brasil

### **Heitor Buzetti Simões Bento**

Escola de Engenharia de Lorena – Universidade  
de São Paulo  
Departamento de Engenharia Química  
Lorena – SP – Brasil

### **Ana Karine Furtado de Carvalho**

Escola de Engenharia de Lorena – Universidade  
de São Paulo  
Departamento de Engenharia Química  
Lorena – SP – Brasil

**ABSTRACT:** In this study, HDPE composites reinforced with macadamia nutshell containing different lignin contents were produced. The biomass was treated with acetic acid under reflux at different times in order to obtain composite reinforcements with distinct contents of lignin. Composites were evaluated for their mechanical tensile and flexural properties, which presented an increase of 23 and 40%, respectively. The lignin content in biomass presented significant quadratic effect on the mechanical properties and was validated by analysis of variance.

**KEYWORDS:** Composites; Biomass; Analysis

of Variance; Mechanical Properties.

### INFLUÊNCIA DO TEOR DE LIGNINA NA CASCA DE NOZ MACADÂMIA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE BIOCOSCOMPOSITOS COM PEAD

**RESUMO:** Neste trabalho, foram produzidos compósitos com PEAD reforçados com biomassa de casca de noz macadâmia contendo diferentes teores de lignina. A biomassa foi tratada com ácido acético sob refluxo em diferentes tempos, de modo a se obter materiais com distintos conteúdos de lignina. Foram avaliadas as propriedades mecânicas em tração e flexão, que apresentaram um aumento de 23 e 40%, respectivamente, com a adição da biomassa. O teor de lignina no reforço mostrou-se estatisticamente significativo com efeito quadrático validado por análise de variância.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compósitos; Biomassa; Análise de Variância; Propriedades Mecânicas.

## 1 | INTRODUÇÃO

Biomass-based composites offer to the industry the opportunity to produce a material with lower content of oil byproducts, add value to a waste from agroindustry and decrease the generation of solid waste. Moreover, such

materials generally have higher mechanical properties than pure polymers (KASEEM et al, 2015). Brazil is a major producer of macadamia nut and its processing generates nutshell as main residue, a lignocellulosic material that can be applied as reinforcement in biocomposites (ZHANG et al, 2018).

One of the most relevant structural aspects in the development of biocomposites is the interaction amongst the polymer matrix and its fibrous reinforcement, since the mechanical properties respond proportionally to the magnitude of this physicochemical interaction. Therefore, strategies that aim to compatibilize the phases of the composite promote an improvement in mechanical properties (ZHANG et al, 2018).

Lignin is a natural compatibilizer present in the lignocellulosic ultrastructure. It is a polyphenolic macromolecule of complex structure that can chemically interact with the apolar structure of the polymer and the polar cellulosic fibers in the reinforcement. In this study, the influence of the lignin content on the macadamia nutshell on the mechanical properties of HDPE biocomposites was evaluated.

## **2 | EXPERIMENTAL**

### **2.1 Biomass Processing and Characterization**

The macadamia nutshell was received directly from the producer of the city of Barra do Piraí - RJ. The material was ground to 50 mesh and oven dried at 105 ° C for 5 h. In order to obtain different lignin content materials, delignification was performed during 30 and 60 min via organosolv treatment in a 1L reaction flask containing 40 g of dry biomass and 400 mL of 85% v/v acetic acid solution. The treatment was carried under reflux, at a temperature of approximately 102 ° C. After the reaction, solid material (pulp) was washed with deionized water to neutral pH, dried and stored. Raw biomass and the pulps obtained at 30 and 60 min were characterized by their lignin content, according to ASTM D-1106/96.

### **2.2 Biocomposites Preparation**

Composites were processed in a thermokinetic homogenizer (Dryzer - MH Equipamentos) using High Density Polyethylene SHA7260 (Braskem®) as matrix. In order to evaluate the influence of lignin content on the biomass and the mechanical properties of the composites, a complete factorial design was performed considering two factors (biomass content and lignin content on fiber), as shown in table 1. Lignin contents were obtained from the characterization described in section 2.1.

Biomass content (%)	Lignin content on biomass (%)
5	32,6
10	32,6
20	32,6
5	20,4
10	20,4
20	20,4
5	7,9
10	7,9
20	7,9

Table 1. Factorial design of experiments

### 2.3 Mechanical tests

Tensile and flexure tests were performed respectively according to ASTM D638-03 and ASTM D790-03 on an EMIC 10000 equipment. 10 specimens were produced by injection at 270 °C for each composition.

## 3 | RESULTS AND DISCUSSION

The response surfaces contained in figure 1 show the influence of the evaluated variables on tensile (Young's Modulus) and flexural (Flexural Modulus) strength of the composites. It has been found that an increase in biomass content promotes an increase in both mechanical properties. Composites containing 5% of raw macadamia nutshell (32.6% lignin content) showed tensile and flexural modulus and of  $177 \pm 9$  and  $828 \pm 26$  MPa, respectively. Best results were obtained in samples containing 20% of macadamia nutshell and lignin content in the biomass of 20.4%, which reached Young's modulus of  $217 \pm 14$  MPa and Flexural Modulus of  $1156 \pm 32$  MPa, characterizing an increase of respectively 23% and 40% compared to untreated biomass.

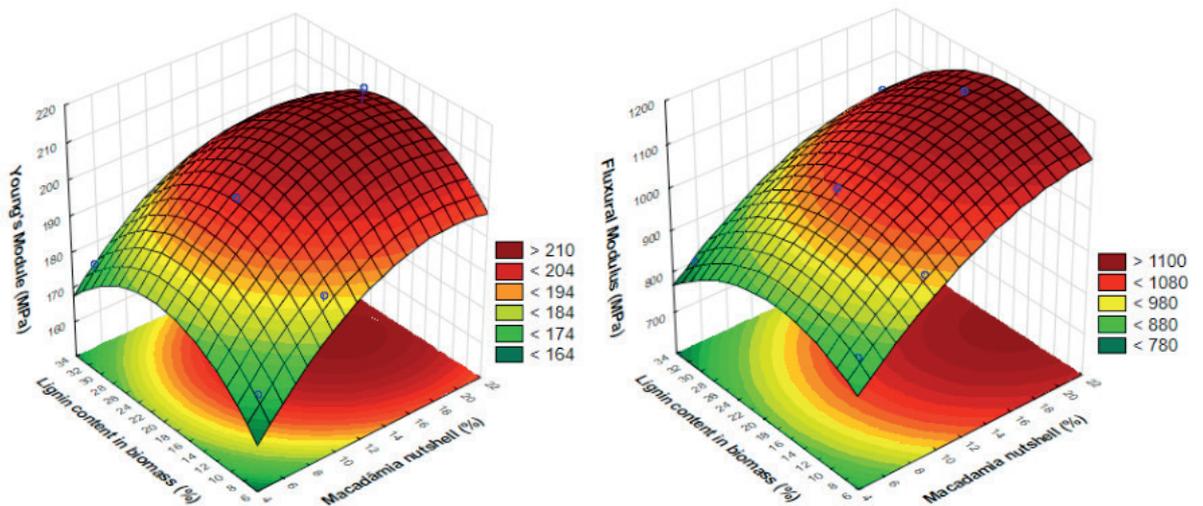


Figure 1. Response surfaces of mechanical behavior of composites

Regarding the lignin content in the biomass, it is possible to verify that a soft delignification promotes a significant increase in the mechanical properties. However, when the lignin content in the biomass is greatly decreased, the improvement in the mechanical properties is not so significant. This is because organosolv treatment promotes better access of the matrix to the fibers mediated by the chemical influence of lignin. Once the treatment persists for a longer time, the amount of lignin present in the biomass is no longer able to efficiently compatibilize phases. Such behavior characterizes a quadratic effect, as shown in Tables 2 and 3.

Factor	Effect Type	Sum of Squares	F	p-value
[x] Macadamia nutshell (%)	Linear	1041,121	62,3884	0,00423
[y] Lignin in biomass (%)	Quadratic	346,812	20,7824	0,01979
<b>Model <math>z = 123,51 + 5,869x - 0,1511x^2 + 3,677y - 0,086y^2 - 0,017xy</math> [<math>R^2 = 0,9659</math>]</b>				

Table 2. Analysis of Variance - Young's Modulus

Factor	Effect Type	Sum of Squares	F	p-value
[x] Macadamia nutshell (%)	Linear	61501,79	64,2013	0,00406
[y] Lignin in biomass (%)	Quadratic	18254,81	19,0561	0,0222
<b>Model <math>z = 590,795 + 34,283x - 1,022x^2 + 21,247y - 0,626y^2 + 0,236xy</math> [<math>R^2 = 0,9740</math>]</b>				

Table 3. Analysis of Variance - Flexural Modulus

ANOVA showed that both factors evaluated were significant ( $p$ -value  $<0.05$ ) and, therefore, exerted influence on mechanical properties of the biocomposites. The increase in those properties observed in composites containing treated biomass is reported by other authors. However, the quadratic behavior observed in the effect of lignin in biomass contributes to support the hypothesis that soft treatments contribute more to an increase in mechanical properties than severe treatments.

## 4 | CONCLUSIONS

The lignin content of the macadamia nutshell influences significantly the mechanical properties of HDPE composites. Lignin promotes a better interaction amongst the polymer matrix and the biomass and contributes, after a soft organosolv treatment, to an increase in the mechanical properties of the composites. Best results were obtained for compositions containing 20% of biomass, with lignin content of 20.4%. Therefore, in this study were obtained biocomposites with lower contents of oil byproducts and with superior mechanical properties.

## REFERENCES

ASTM. American Society for Testing and Materials, 2013. ASTM D 1106-96: **Standard Test Method for Acid-Insoluble Lignin in Wood.**

ASTM. American Society for Testing and Materials, 2008. ASTM D 638-03: **Standard test method for tensile properties of plastics.**

ASTM. American Society for Testing and Materials, 2010. ASTM D 790-03: **Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials.**

KASEEM, M., HAMAD, K., DERI, F., 2015. Material properties of polyethylene/wood composites: a review of recent works. **Polymer Science**, v. 57 (6), p. 689-703.

ZHANG, X.L., HAO, X.L., HAO, J.X., WANG, Q.W., 2018. Thermal and mechanical properties of wood-plastic composites filled with multiwalled carbon nanotubes. **Journal of Applied Polymer Science**. v. 135 (22).

## MÉTODOS DE SÍNTESE DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO

Data de aceite: 18/11/2019

**José Milton Elias de Matos**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química

Teresina – Piauí

**Jardel Meneses Rocha**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Reinaldo Nascimento Moraes**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Fernando Pereira Lima**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Tiago Linus Silva Coelho**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Patrícia Santos Andrade**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Angélica de Brito Sousa**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Juracir Francisco de Brito**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**RESUMO:** Visando aplicações tecnológicas, a literatura aborda diversos métodos de síntese de  $\text{TiO}_2$  nanoestruturado, como precipitação química, microemulsão, cristalização solvotérmica e os mais utilizados atualmente: a cristalização hidrotérmica e o método sol-gel. O presente trabalho aborda uma revisão literária sobre esses principais métodos de síntese desses compostos nanoestruturados. Expondo as vantagens destes: a facilidade de processamento, o controle da composição e estequiometria, elevada pureza de fase e, no caso do método hidrotérmico, o baixo custo também deve ser considerado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Síntese  $\text{TiO}_2$  nanoestruturado, sol-gel, cristalização hidrotérmica, microemulsão

### SYNTHESIS METHODS OF TITANIUM BASED NANOSTRUCTURES

**ABSTRACT:** Aiming at technological applications, the literature addresses several methods of nanostructured  $\text{TiO}_2$  synthesis, such as chemical precipitation, microemulsion, solvothermic crystallization and the most used

today: hydrothermal crystallization and the sol-gel method. The present work deals with a literary review about these main methods of synthesis of these nanostructured compounds. Exposing the advantages of these: ease of processing, control of composition and stoichiometry, high phase purity and, in the case of the hydrothermal method, the low cost should also be considered.

**KEYWORDS:** Nanostructured TiO<sub>2</sub> synthesis, sol-gel, hydrothermal crystallization, microemulsion

## 1 | MÉTODO SOL-GEL

O método SG é extensamente empregado na síntese de nanoestruturas na forma de filmes finos e em especial na forma de pós (Wang e Ying, 1999; Su *et al.*, 2004). Su *et al.* (2004), descrevem a rota SG empregando precursores de alcóxidos metálicos, neste caso, uma fonte de titânio, principalmente em meio alcoólico. O processo possui duas etapas principais, a hidrólise e a condensação. Inicialmente o material é hidrolisado, estado sol, e posteriormente ocorre a formação de polímeros de condensação pela desidratação ou dealcoolização, favorecendo as ligações do tipo M–O–M (Wang e Ying, 1999; Su *et al.*, 2004; Macwan *et al.*, 2011).

O método SG a partir de alcóxidos utiliza um pós-tratamento térmico em temperaturas superiores a 400 °C, no intuito de eliminar resíduos orgânicos assim como favorecer a cristalinidade da fase desejada. Esta etapa proporciona o aumento do tamanho dos cristalitos por meio do fenômeno de sinterização (Su *et al.*, 2004; Macwan *et al.*, 2011). A elevação do tamanho dos cristalinos pode ser bem controlada com a otimização de todas as etapas do processo SG, abrangendo também as etapas de lavagem e secagem (Lessing, 1989; Szanics *et al.*, 1998).

## 2 | MÉTODO HIDROTÉRMICO

O método hidrotérmico assim como o método sol-gel, é bastante empregado em síntese de nanoestruturas, sobre tudo observando sua simplicidade, devido principalmente ao fato de que a reação química se processa em temperaturas superiores a do solvente, no caso mais comum a água. Estima-se que a temperatura máxima empregada neste processo fique em torno de 300 °C (Byrappa e Adschiri, 2007).

O termo hidrotérmico, conhecido por muitos como hidrotermal, tem sua origem no estudo geológico, utilizado inicialmente pelo geólogo inglês Roderick Murchison para descrever a ação da água, condicionada a elevadas temperaturas e pressão, nas mudanças da crosta terrestre, que levaram à formação de rochas e minerais (Byrappa e Adschiri, 2007). Segundo Byrappa e Adschiri (2007), o processo hidrotérmico pode

ser definido como uma reação heterogênea na presença de água ou outro solvente, sob condições de altas pressões e temperaturas, capaz de dissolver ou recristalizar materiais de baixa solubilidade em condições normais (Byrappa e Adschiri, 2007). Outros pesquisadores, na época, preferiam denominar de solvotérmico, que significa o uso de outro solvente não aquoso, em condições próximas a crítica, em reações adequadas (Byrappa e Adschiri, 2007).

O tratamento hidrotérmico utilizado na produção de materiais admite inúmeras vantagens, dentre as quais: elevada pureza dos produtos, alta homogeneidade, presença de cristais simétricos, boa distribuição do tamanho de partículas, menor temperatura de sinterização e etc (Byrappa e Adschiri, 2007). Em relação à reação propriamente dita, o processo ocorre com baixo gasto de energia, curtos intervalos de tempo, elevadas taxas reacionais, geração de pouco resíduo, emprego de instrumentos com menores dimensões (pouco volumosos), baixo custo econômico e etc (Byrappa e Adschiri, 2007)

Deste modo o processo hidrotérmico possibilita o controle do tamanho de cristais, bem como, a transição entre as possíveis formas polimórficas (Byrappa e Adschiri, 2007). Por esses motivos, o método hidrotérmico possibilita o emprego de seus materiais em uma série de aplicações tecnológicas como, em células solares, diodos emissores de luz, dispositivos eletrônicos e fotoeletrônicos, sistemas ópticos, sensores de gás, reguladores biológicos, materiais refrigeradores termoelétricos, catálise, baterias de lítio e etc (Byrappa e Adschiri, 2007).

O trabalho de Byrappa e Adchiri (2007), relata ainda que o controle na morfologia dos nanomateriais terá um grande impacto na sociedade, chegando a sugerir uma nova revolução industrial. Sobre isso os autores sugeriram as principais diferenças entre produtos obtidos pelos métodos convencionais e o método hidrotérmico por meio de uma ilustração, Figura 1.

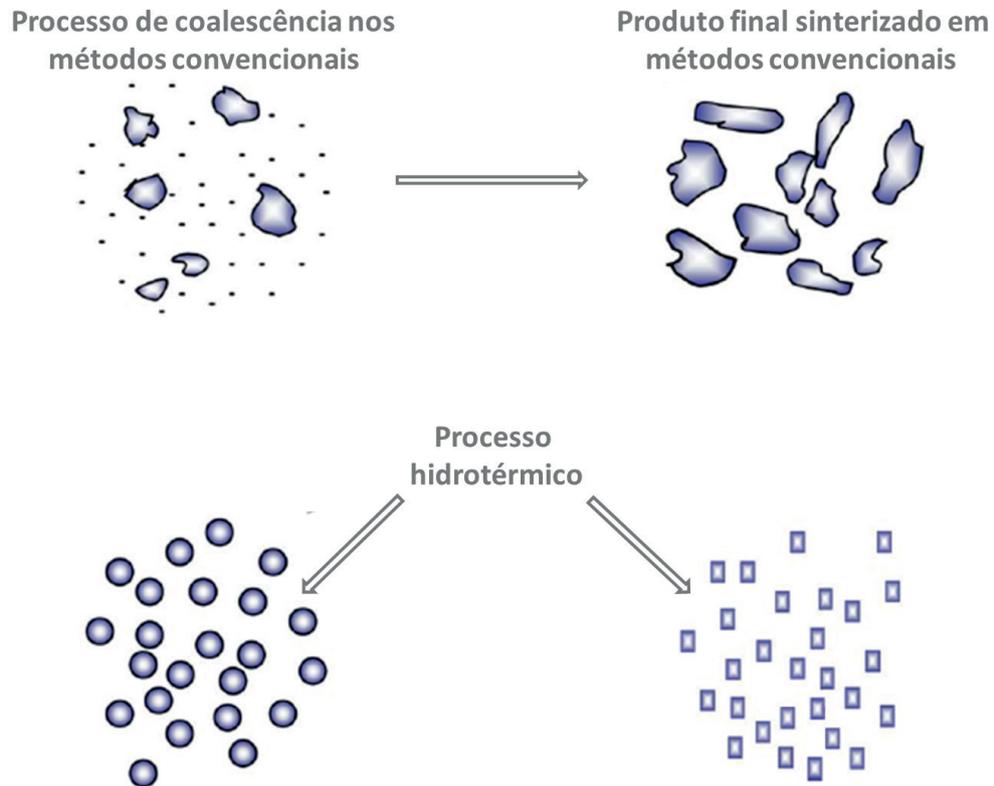


Figura 1 – Diferença entre partículas processadas pelo método hidrotérmico e métodos convencionais, segundo Byrappa e Adchiri (2007).

Em 1998, Kasuga e seus colaboradores foram os primeiros a utilizar o método solvo-hidrotérmico em meio alcalino. Neste estudo Kasuga realizou um procedimento experimental reagindo o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) com soluções concentradas de hidróxido de sódio (Kasuga *et al.*, 1998). Este procedimento foi realizado em reatores de teflon envoltos por aço, por um período de 20h, e as temperaturas empregadas foram 20, 60 e 110 °C. O  $\text{TiO}_2$  utilizado foi a anatase, obtida pela calcinação de  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  no estado *sol*. Já a solução foi preparada com hidróxido de sódio (NaOH), em concentrações de 2.5, 5, 10 e 20 mol L<sup>-1</sup> (Kasuga *et al.*, 1998). Antes da secagem, os materiais obtidos foram lavados com solução de HCl, seguida de lavagens com água destilada. Em seus resultados, Kasuga *et al* (1998), obtiveram materiais com morfologia na forma de agulha, com diâmetro em torno de 8 nm e comprimentos próximos de 100 nm (Kasuga *et al.*, 1998).

No ano seguinte, Kasuga *et al* (1999), realizaram um novo estudo de modo a confirmar os resultados observados no trabalho anterior. Utilizando  $\text{TiO}_2$  anatase e rutilo. Nesta ocasião, Kasuga conseguiu resultados semelhantes ao do seu estudo realizado em 1998. Kasuga *et al* (1999), descreveram de modo pioneiro a morfologia nanotubular, considerado um *marco* no estudo das nanoestruturas de titanato, observando que foi a confirmação deste método, haja visto considerado simples, que assegurava a reprodutibilidade de tal morfologia e posteriormente de muitas outras. Desde então, muitas discussões foram abertas, de modo a incentivar vários

pesquisadores a descreverem inúmeros mecanismos para síntese de nanoestruturas de titanato por meio do método hidrotérmico alcalino (Wang *et al.*, 2002; Kukovecz *et al.*, 2005; Mao *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2006; Huang *et al.*, 2009).

A morfologia nanotubular passou a ser sintetizada com sucesso, utilizando as varias formas polimórficas do dióxido de titânio e o tratamento em meio alcalino, preservando moderações nas taxas de aquecimento (Nakahira *et al.*, 2004; Lan *et al.*, 2005; Elsanousi *et al.*, 2007). É interessante ressaltar que existem relatos de nanotubos formados com titânia amorfa, em estado *sol* (Wu *et al.*, 2002), contudo, a maioria dos estudos descreve a síntese de nanotubos de titânio empregando dióxido de titânio vendido comercialmente (Bavykin *et al.*, 2004; Nakahira *et al.*, 2004; Yuan e Su, 2004; Seo *et al.*, 2008).

Estudos como o de Mancic *et al* (2009), descrevem a síntese de nanotubos com rendimento elevado, partindo de  $\text{TiO}_2$  rutilo, encontrado naturalmente no Brasil (Mancic *et al.*, 2009). Estudos anteriores já admitiam esta tendência como forma mais econômica e promissora, comparada com as sínteses partindo de precursores comerciais. Em 2005, relatos de Pavasupree *et al* (2005), e Suzuki *et al* (2005), já descreviam a utilização de precursores naturais, em ambos os casos, os pesquisadores utilizaram rutilo extraído na Austrália para produção de nanofibras (Pavasupree *et al.*, 2005; Suzuki *et al.*, 2005). Uma vertente pouco estudada é o emprego de  $\text{TiO}_2$  sintetizado em laboratório, de forma independente, por via hidrotérmica, semelhante ao descrito por Matos *et al* (2009), na síntese de  $\text{ZrO}_2$  (Matos *et al.*, 2009). Esse via oferece como vantagens o controle do tamanho de cristalitos e a presença de várias fases polimórficas na amostra.

Sobre as condições reacionais os nanotubos são favorecidos em condições moderadas de temperatura, entre 90 e 160 °C, e concentração alcalina de 2,5 a 10 mol L<sup>-1</sup> (Nakahira *et al.*, 2004; Lan *et al.*, 2005; Mao e Wong, 2006; Qamar *et al.*, 2006; Elsanousi *et al.*, 2007; Morgado *et al.*, 2007). As nanofitas são observadas em condições hidrotérmicas mais extremas, por exemplo, estágios de temperaturas superiores a 170 °C e concentrações alcalinas em torno de 10 mol L<sup>-1</sup> (Yuan e Su, 2004; Lan *et al.*, 2005; Mao *et al.*, 2006; Yu *et al.*, 2006; Horvath *et al.*, 2007; Umek *et al.*, 2007).

O tratamento hidrotérmico ocorre frequentemente dentro de recipientes fechados e selados, cuja pressão interna atinge valores superiores a da pressão atmosférica (Byrappa e Adschiri, 2007). Estudos relatam que a pressão pode influenciar diretamente nas morfologias, especialmente quando as temperaturas reacionais são superiores a 150 °C (Tsai e Teng, 2006). Existem também, estudos que apontam a produção de nanoestruturas em ambiente com pressão igual a atmosférica, por exemplo, Bavykin *et al* (2007), sintetizaram nanotubos de titanato por meio do método hidrotérmico alcalino, cujas condições foram 56 °C, solução de

KOH (10 mol L<sup>-1</sup>) e tempo reacional de 12 dias. O grande destaque deste trabalho foi o emprego do sistema sob refluxo (Bavykin *et al.*, 2007).

No tratamento hidrotérmico outro parâmetro reacional a ser investigado é o tempo de reação. Existem muitos estudos na literatura que produziram uma espécie de padrão de tempo reacional em sínteses por *via* hidrotérmica alcalina. Este padrão estipula um intervalo entre 12 e 72h, todavia, existem relatos de tempos bem superiores, chegando até 2 semanas (Chen *et al.*, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; Bavykin *et al.*, 2004; Meng *et al.*, 2004; Yuan e Su, 2004; Mao e Wong, 2006; Elsanousi *et al.*, 2007).

Tendo em vista a produção em escala industrial, estes tempos reacionais são considerados longos, então a utilização de fornos microondas foi uma das formas encontradas para reduzir drasticamente o tempo de reação quando comparada com os modelos convencionais de síntese hidrotérmica de nanoestruturas, por exemplo, dos nanotubos de titanato. Este tempo pode ser reduzido para até 1,5h, quando a amostra sofre um pré-tratamento de 80 minutos em ultrassom (Zhu *et al.*, 2001; Ou *et al.*, 2007).

Observando que existem inúmeros fatores reacionais, Koroesi *et al* (2012), descrevem varias metodologias utilizadas ao longo do tempo para a síntese de nanoestruturas de titanatos obtidas por *via* hidrotérmica (Tabela 2.2) (Koroesi *et al.*, 2012). Em seu estudo, Koroesi afirma a relevância que as condições reacionais exercem sobre a formação das diferentes tipos de morfologias (Koroesi *et al.*, 2012).

Precursor(s)	Condições hidrotérmicas	Composição (fases)	Morfologia(s)	Referência
Anatase ou rutilo (TiO <sub>2</sub> )	110 °C, 20h, 5-10 mol L <sup>-1</sup> (NaOH)	TiO <sub>2</sub>	Nanotubos	(Kasuga <i>et al.</i> , 1999)
[Ti <sub>8</sub> O <sub>12</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>24</sub> ]	150 °C, 24h, 10 mol L <sup>-1</sup> (NaOH)	TiO <sub>2</sub> (B)	Nanotubos	(Koroesi <i>et al.</i> , 2012)
Anatase (TiO <sub>2</sub> )	110–190 °C, 12–168h, 5-10 mol L <sup>-1</sup> (NaOH)	Titanato lepidocrocita	Nanotubos/ Nanofitas	(Ma <i>et al.</i> , 2005)
Anatase (TiO <sub>2</sub> )	60-200 °C, 0-12h, 1-10 mol L <sup>-1</sup> (NaOH ou KOH) e 1,5 mL de 50% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Titanato lepidocrocita	Nanotubos/ Nanofios	(Mao e Wong, 2006)
TiO <sub>2</sub> ·xH <sub>2</sub> O	180 °C, 24h, NH <sub>3</sub> /1,5 mol L <sup>-1</sup> de NaCl	H <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·H <sub>2</sub> O	Nanofolhas	(Zhao <i>et al.</i> , 2010)

Anatase (TiO <sub>2</sub> )	130 °C, 336h, 10 mol L <sup>-1</sup> Na <sub>2</sub> S/ NaOH 150 °C, 48h, e,	Na <sub>2</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	Nanotubos	(Kukovecz <i>et al.</i> , 2005)
Anatase (TiO <sub>2</sub> )	110 –150 °C, 6h (micro-ondas), 10 mol L <sup>-1</sup> (NaOH)	Na <sub>2</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>7</sub> e H <sub>2</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	Nanotubos/ Nanofitas	(Ribbens <i>et al.</i> , 2008)
Anatase (TiO <sub>2</sub> )	100 °C, 12-48h, 10 mol L <sup>-1</sup> (NaOH)	H <sub>2</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	Nanofolhas	(Wei <i>et al.</i> , 2007)
Anatase (TiO <sub>2</sub> )	130 °C, 1-72h, 10 mol L <sup>-1</sup> (NaOH)	H <sub>2</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	Nanotubos/ Nanofios	(Horvath <i>et al.</i> , 2007)
Anatase (TiO <sub>2</sub> )	140 °C, 22h, 10 mol L <sup>-1</sup> (NaOH)	H <sub>2</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	Nanotubos	(Bavykin <i>et al.</i> , 2006)

Tabela 1 – Condições de síntese e características, adaptada a partir de Koroesi *et al.* (2012).

## REFERÊNCIAS

ARMSTRONG, A. R.; ARMSTRONG, G.; CANALES, J.; BRUCE, P. G. **TiO<sub>2</sub>-B nanowires**. *Angewandte Chemie-International Edition*. v. 43, 2286-2288, 2004.

BAVYKIN, D. V.; CRESSEY, B. A.; WALSH, F. C. **Low-temperature synthesis of titanate nanotubes in aqueous KOH**. *Australian Journal of Chemistry*. v. 60, 95-98, 2007.

BAVYKIN, D. V.; PARMON, V. N.; LAPKIN, A. A.; WALSH, F. C. **The effect of hydrothermal conditions on the mesoporous structure of TiO<sub>2</sub> nanotubes**. *Journal of Materials Chemistry*. v. 14, 3370-3377, 2004.

BYRAPPA, K.; ADSCHIRI, T. **Hydrothermal technology for nanotechnology**. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. v. 53, 117-166, 2007.

CHEN, Q.; DU, G. H.; ZHANG, S.; PENG, L. M. **The structure of trititanate nanotubes**. *Acta Crystallographica Section B-Structural Science*. v. 58, 587-593, 2002.

ELSANOUSI, A.; ELSSFAH, E. M.; ZHANG, J.; LIN, J.; SONG, H. S.; TANG, C. **Hydrothermal treatment duration effect on the transformation of titanate nanotubes into nanoribbons**. *Journal of Physical Chemistry C*. v. 111, 14353-14357, 2007.

HORVATH, E.; KUKOVECZ, A.; KONYA, Z.; KIRICSI, I. **Hydrothermal conversion of self-assembled titanate nanotubes into nanowires in a revolving autoclave**. *Chemistry of Materials*. v. 19, 927-931, 2007.

HUANG, J.; CAO, Y.; HUANG, Q.; HE, H.; LIU, Y.; GUO, W.; HONG, M. **High-Temperature Formation of Titanate Nanotubes and the Transformation Mechanism of Nanotubes into Nanowires**. *Crystal Growth & Design*. v. 9, 3632-3637, 2009.

KASUGA, T.; HIRAMATSU, M.; HOSON, A.; SEKINO, T.; NIIHARA, K. **Formation of titanium oxide nanotube**. *Langmuir*. v. 14, 3160-3163, 1998.

- KASUGA, T.; HIRAMATSU, M.; HOSON, A.; SEKINO, T.; NIIHARA, K. **Titania nanotubes prepared by chemical processing**. *Advanced Materials*. v. 11, 1307-+, 1999.
- KOROESI, L.; PAPP, S.; CSAPO, E.; MEYNEN, V.; COOL, P.; DEKANY, I. **A short solid-state synthesis leading to titanate compounds with porous structure and nanosheet morphology**. *Microporous and Mesoporous Materials*. v. 147, 53-58, 2012.
- KUKOVECZ, A.; HODOS, M.; KONYA, Z.; KIRICSI, I. **Complex-assisted one-step synthesis of ion-exchangeable titanate nanotubes decorated with CdS nanoparticles**. *Chemical Physics Letters*. v. 411, 445-449, 2005.
- LAL, M.; CHHABRA, V.; AYYUB, P.; MAITRA, A. **Preparation and characterization of ultrafine TiO<sub>2</sub> particles in reverse micelles by hydrolysis of titanium di-ethylhexyl sulfosuccinate**. *Journal of Materials Research*. v. 13, 1249-1254, 1998.
- LAN, Y.; GAO, X. P.; ZHU, H. Y.; ZHENG, Z. F.; YAN, T. Y.; WU, F.; RINGER, S. P.; SONG, D. Y. **Titanate nanotubes and nanorods prepared from rutile powder**. *Advanced Functional Materials*. v. 15, 1310-1318, 2005.
- LESSING, P. A. **Mixed-cation oxide powders via polymeric precursors**. *American Ceramic Society Bulletin*. v. 68, 1002-1007, 1989.
- MACWAN, D. P.; DAVE, P. N.; CHATURVEDI, S. **A review on nano-TiO(2) sol-gel type syntheses and its applications**. *Journal of Materials Science*. v. 46, 3669-3686, 2011.
- MANCIC, L. T.; MARINKOVIC, B. A.; JARDIM, P. M.; MILOSEVIC, O. B.; RIZZO, F. **Precursor Particle Size as the Key Parameter for Isothermal Tuning of Morphology from Nanofibers to Nanotubes in the Na<sub>2-x</sub>H<sub>x</sub>Ti<sub>n</sub>O<sub>2n+1</sub> System through Hydrothermal Alkali Treatment of Rutile Mineral Sand**. *Crystal Growth & Design*. v. 9, 2152-2158, 2009.
- MAO, Y. B.; KANUNGO, M.; HEMRAJ-BENNY, T.; WONG, S. S. **Synthesis and growth mechanism of titanate and titania one-dimensional nanostructures self-assembled into hollow micrometer-scale spherical aggregates**. *Journal of Physical Chemistry B*. v. 110, 702-710, 2006.
- MATOS, J. M. E.; ANJOS JÚNIOR, F. M.; CAVALCANTE, L. S.; SANTOS, V.; LEAL, S. H.; SANTOS JÚNIOR, L. S.; SANTOS, M. R. M. C.; LONGO, E. **Reflux synthesis and hydrothermal processing of ZrO<sub>2</sub> nanopowders at low temperature**. *Materials Chemistry and Physics*. v. 117, 455-459, 2009.
- MENG, X. D.; WANG, D. Z.; LIU, J. H.; ZHANG, S. Y. **Preparation and characterization of sodium titanate nanowires from brookite nanocrystallites**. *Materials Research Bulletin*. v. 39, 2163-2170, 2004.
- MORGADO, E., JR.; DE ABREU, M. A. S.; MOURE, G. T.; MARINKOVIC, B. A.; JARDIM, P. M.; ARAUJO, A. S. **Characterization of nanostructured titanates obtained by alkali treatment of TiO(2)-anatases with distinct crystal sizes**. *Chemistry of Materials*. v. 19, 665-676, 2007.
- NAKAHIRA, A.; KATO, W.; TAMAI, M.; ISSHIKI, T.; NISHIO, K.; ARITANI, H. **Synthesis of nanotube from a layered H<sub>2</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>9</sub> center dot H<sub>2</sub>O in a hydrothermal treatment using various titania sources**. *Journal of Materials Science*. v. 39, 4239-4245, 2004.
- PAVASUPREE, S.; SUZUKI, Y.; YOSHIKAWA, S.; KAWAHATA, R. **Synthesis of titanate, TiO<sub>2</sub> (B), and anatase TiO<sub>2</sub> nanofibers from natural rutile sand**. *J Solid State Chem*. v. 178, 3110-3116, 2005.
- QAMAR, M.; YOON, C. R.; OH, H. J.; KIM, S. J.; KIM, D. H.; LEE, K. S.; LEE, H. G. **The effect of synthesis conditions on the formation of titanate nanotubes**. *Journal of the Korean Physical Society*. v. 49, 1493-1496, 2006.

- SCOLAN, E.; SANCHEZ, C. **Synthesis and characterization of surface-protected nanocrystalline titania particles.** Chemistry of Materials. v. 10, 3217-3223, 1998.
- SEO, H.-K.; KIM, G.-S.; ANSARI, S. G.; KIM, Y.-S.; SHIN, H.-S.; SHIM, K.-H.; SUH, E.-K. **A study on the structure/phase transformation of titanate nanotubes synthesized at various hydrothermal temperatures.** Solar Energy Materials and Solar Cells. v. 92, 1533-1539, 2008.
- SU, C.; HONG, B. Y.; TSENG, C. M. **Sol-gel preparation and photocatalysis of titanium dioxide.** Catalysis Today. v. 96, 119-126, 2004.
- SUZUKI, Y.; PAVASUPREE, S.; YOSHIKAWA, S.; KAWAHATA, R. **Natural rutile-derived titanate nanofibers prepared by direct hydrothermal processing.** Journal of Materials Research. v. 20, 1063-1070, 2005.
- SZANICS, J.; OKUBO, T.; KAKIHANA, M. **Preparation of LiTaO<sub>3</sub> powders at reduced temperatures by a polymerized complex method.** Journal of Alloys and Compounds. v. 281, 206-210, 1998.
- TSAI, C. C.; TENG, H. S. **Structural features of nanotubes synthesized from NaOH treatment on TiO<sub>2</sub> with different post-treatments.** Chemistry of Materials. v. 18, 367-373, 2006.
- UMEK, P.; KOROSK, R. C.; JANCAR, B.; DOMINKO, R.; ARCON, D. **The influence of the reaction temperature on the morphology of sodium titanate 1D nanostructures and their thermal stability.** Journal of Nanoscience and Nanotechnology. v. 7, 3502-3508, 2007.
- WANG, C. C.; YING, J. Y. **Sol-gel synthesis and hydrothermal processing of anatase and rutile titania nanocrystals.** Chemistry of Materials. v. 11, 3113-3120, 1999.
- WANG, Y. Q.; HU, G. Q.; DUAN, X. F.; SUN, H. L.; XUE, Q. K. **Microstructure and formation mechanism of titanium dioxide nanotubes.** Chemical Physics Letters. v. 365, 427-431, 2002.
- WU, D.; LIU, J.; ZHAO, X. N.; LI, A. D.; CHEN, Y. F.; MING, N. B. **Sequence of events for the formation of titanate nanotubes, nanofibers, nanowires, and nanobelts.** Chemistry of Materials. v. 18, 547-553, 2006.
- WU, M. M.; LIN, G.; CHEN, D. H.; WANG, G. G.; HE, D.; FENG, S. H.; XU, R. R. **Sol-hydrothermal synthesis and hydrothermally structural evolution of nanocrystal titanium dioxide.** Chemistry of Materials. v. 14, 1974-1980, 2002.
- YU, H. G.; YU, J. G.; CHENG, B. **Preparation, characterization and photocatalytic activity of novel TiO<sub>2</sub> nanoparticle-coated titanate nanorods.** Journal of Molecular Catalysis a-Chemical. v. 253, 99-106, 2006.
- YUAN, Z. Y.; SU, B. L. **Titanium oxide nanotubes, nanofibers and nanowires.** Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects. v. 241, 173-183, 2004.
- ZHU, Y. C.; LI, H. L.; KOLTYPIN, Y.; HACOEN, Y. R.; GEDANKEN, A. **Sonochemical synthesis of titania whiskers and nanotubes.** Chemical Communications. 2616-2617, 2001.

## APLICAÇÕES DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO

Data de aceite: 18/11/2019

**José Milton Elias de Matos**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química

Teresina – Piauí

**Jardel Meneses Rocha**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Reinaldo Nascimento Morais**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Fernando Pereira Lima**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Tiago Linus Silva Coelho**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Patrícia Santos Andrade**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Angélica de Brito Sousa**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Juracir Francisco de Brito**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**RESUMO:** Os materiais nanoestruturados, a base de titânio, sintetizados por via hidrotérmica apresentam propriedades estruturais tão peculiares que lhes credenciam a uma gama de aplicações tecnológicas. Considerando que estas estruturas podem sofrer desde profundas modificações químicas a uma simples dopagem, as possibilidades de aplicabilidade deste material se expandem. Isso é notoriamente percebido com base nos inúmeros relatos presentes na literatura que demonstram como as alterações podem ser benéficas no âmbito de melhorar e potencializar, ou até mesmo direcionar a novas aplicações. O presente trabalho apresenta uma revisão literária sobre as principais aplicações das nanoestruturas a base de titânio: fotocatalise, células combustíveis, sensoriamento e armazenamento de hidrogênio, baterias de lítio e aplicações biomédicas;

**PALAVRAS-CHAVE:** nanoestruturas de titânio, fotocatalise, células combustível, baterias de lítio, aplicações biomédicas

APPLICATION OF TITANIUM BASED  
NANOSTRUCTURES

**ABSTRACT:** Titanium-based nanostructured materials, hydrothermally synthesized, have such peculiar structural properties that they can be used to a range of technological applications. Considering that these structures can undergo from deep chemical modifications to a simple doping, the possibilities of applicability of this material expand. This is noticeably perceived based on the numerous reports in the literature that demonstrate how changes can be beneficial in terms of improving and enhancing, or even directing to new applications. This paper presents a literary review of the main applications of titanium based nanostructures: photocatalysis, fuel cells, hydrogen sensing and storage, lithium batteries and biomedical applications;

**KEYWORDS:** titanium nanostructures, photocatalysis, fuel cells, lithium batteries, biomedical applications

## 1 | FOTOCATÁLISE

Nas últimas décadas, o dióxido de titânio tem sido amplamente empregado na fotodegradação de compostos orgânicos. O dióxido de titânio possui um *band gap* amplo, justificando tal aplicabilidade (Bavykin e Walsh, 2009). *Band gap* significa a energia necessária para que o elétron passe da banda de valência para banda de condução (Figura 1). Segundo o trabalho de Nogueira e Jardim (1998), os dióxidos de titânio são espécies semicondutoras largamente aproveitadas como fotocatalizadores, por possuírem elevada estabilidade química, fotoestabilidade e baixa toxicidade (Nogueira e Jardim, 1998).

Segundo Gupta et al (2010), o  $\text{TiO}_2$  é um semicondutor que admite valores de *gap* entre 2,96 e 3,2 eV (Gupta e Tripathi, 2011). A banda de valência do dióxido de titânio é formada por orbitais *2p híbridos* do oxigênio e por orbitais *3d* do titânio. Já a banda de condução é composta exclusivamente por orbitais *3d* do (Ti) (Gupta e Tripathi, 2011). Quando o dióxido de titânio é exposto à radiação ultravioleta, os elétrons são excitados da banda de valência (BV) para banda de condução (BC), deixando para trás lacunas ( $h^+$ ) (Figura 1). Os elétrons excitados ( $e^-$ ) passam a preencher orbitais *3d* puros e, pela proximidade energética pode ocorrer destes elétrons retornarem à banda de valência (Gupta e Tripathi, 2011). Os catalisadores à base de dióxido de titânio podem eventualmente possuir elevada cristalinidade estrutural, podendo levar a diminuição na taxa de recombinação eletrônica (Bavykin e Walsh, 2009).

As lacunas geradas ( $h^+$ ) apresentam potenciais positivos consideráveis, tornando-as, poderosos oxidantes (Figura 1), concomitantemente, a banda de condução fica carregada negativamente ( $e^-$ ), potencializando o caráter redutor (Figura 1) (Bavykin e Walsh, 2009; Gupta e Tripathi, 2011).

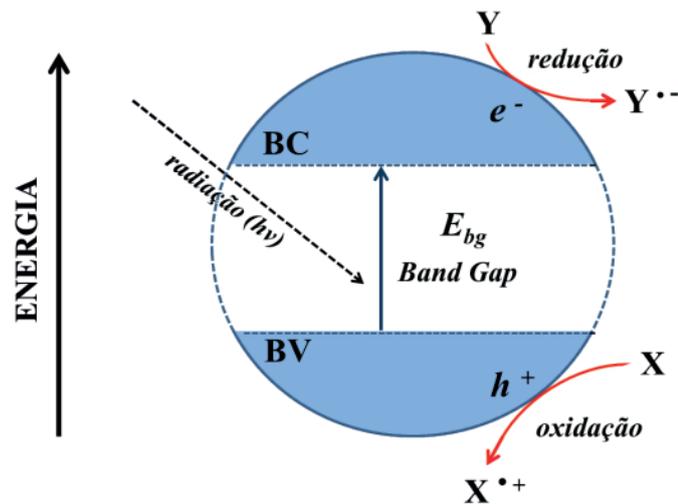


Figura 1 – Mecanismo de absorção de luz durante o processo de fotodegradação, por uma partícula semicondutora, figura adaptada segundo Gupta *et al* (2011).

Bavykin e Walsh (2009), descrevem que nanoestruturas do tipo tubo e folha, possuem *gap* estimado em 3,87 e 3,84 eV, respectivamente (Bavykin e Walsh, 2009). Sobre a absorção de luz pelos nanotubos, Li *et al* (2006), propõem a geração de portadores de carga que eventualmente sofrem relaxamento à vacâncias de oxigênio, fazem com que Ti(IV) sofra redução a Ti(III) (Li *et al.*, 2006). Bavykin e Walsh (2009). Ainda relatam que a presença de sódio nas amostras de nanotubos reduz a sua atividade catalítica, justificada pela existência de centros de recombinação em locais preenchidos por sódio, no momento da incidência da radiação. Em contraste, a redução de átomos de sódio leva à redução do fenômeno de luminescência (Riss *et al.*, 2007).

Com relação às nanoestruturas de titanato obtidas por *via* hidrotérmica, Bavykin e Walsh (2009), são enfáticos em dizer que tais nanoestruturas apresentam propriedades como alto poder de troca iônica, grande área superficial e uma versátil superfície química, credenciando-as como excelentes catalisadores heterogêneos (Bavykin e Walsh, 2009).

Chein *et al* (2005), mostraram em seu estudo o potencial catalítico de sistemas híbridos, partindo do descoloramento de nanotubos de titanato com nanopartículas de platina e ouro. Com referência aos resultados, o sistema Pt//nanotubo, apresentou-se muito eficiente na oxidação de CO, já o híbrido Au//nanotubo, foi muito eficiente na redução de CO<sub>2</sub> (Chien *et al.*, 2005).

Inúmeros outros trabalhos podem ser citados, como o uso de nanoestruturas dopadas com paládio, visando a hidrogenação de fenol em ciclohexano (Sikhwivhulu *et al.*, 2007), nanotubos de titanato empregados na fotodegradação do corante rodamina B (RhB), usando apenas luz solar (Guo *et al.*, 2011). Os nanotubos puros,

produzidos *via* método hidrotérmico alcalino, também podem ser empregados como catalisadores heterogêneos em reações de esterificação entre ciclo-hexanol e ácido acético (Lin *et al.*, 2002).

Em 2009, Viana e colaboradores publicaram um estudo que reporta a síntese de nanotubos de titanato com  $\text{CeO}_2$  decorando a superfície (Figura 2) (Viana *et al.*, 2009). Utilizando  $\text{TiO}_2$  anatase em meio hidrotérmico alcalino, foram sintetizados nanotubos de sódio (Na-TiNTs), em seguida, pelo processo de troca iônica usando solução de cério foram produzidos os nanotubos modificados (Ce-TiNTs) (Viana *et al.*, 2009). O resultado deste trabalho foi a redução do *band gap* de 3,45 para 2,7 eV, dando margem para admitir que este sistema híbrido absorve na região visível (Viana *et al.*, 2009). Por fim os autores aplicaram os Ce-TiNTs na fotodegradação do corante Reactive Blue 19, implicando na degradação de cerca de 70% da massa total de corante (Viana *et al.*, 2009).



Figura 2 – Esquema de troca iônica na produção de Ce-NTTi, figura adaptada segundo Viana *et al* (2009).

## 2 | CÉLULAS COMBUSTÍVEIS

Nas últimas décadas ocorreu uma notável evolução na tecnologia de células combustíveis, provocada pela maior preocupação frente aos problemas ambientais que por sua vez estão interligados à falta de bons e eficientes conversores de energia (Bavykin e Walsh, 2009). Deste modo, nanoestruturas de titanato têm sido consideradas como bons suportes para eletrocatalisadores empregados na oxidação de combustíveis.

Em 2005, Wang *et al* usaram pela primeira vez nanotubos de titanato com partículas de paládio recobrimo sua superfície, este material híbrido demonstrou ser viável como catalisador em célula combustível para oxidação de metanol líquido (Wang *et al.*, 2005; Bavykin e Walsh, 2009). Em seguida, algumas melhorias foram alcançadas pelo aumento na condutividade elétrica, neste novo momento,

nanovaretas de Pd/TiO<sub>2</sub> revertidas por carbono foram obtidas pela calcinação de nanotubos revertidos por polietilenoglicol à 600 °C (Wang *et al.*, 2005; Bavykin e Walsh, 2009).

Estudos recentes indicam que a simples deposição de nanotubos de titanato sobre o catalisador padrão de Pt/C, por meio de uma suspensão, com posterior secagem (Bavykin e Walsh, 2009), pode proporcionar uma melhoria da performance do catalisador, devido principalmente, à resistência ao envenenamento por monóxido de carbono (CO) em sua superfície (Bavykin e Walsh, 2009). Já Ponce-de-Leon *et al.* (2006), relataram que a deposição de partículas de ouro na superfície de nanotubos produziu um sistema híbrido com maior desempenho comparado a catalisadores comerciais, por exemplo o Au/C, durante a oxidação anódica do NaBH<sub>4</sub>, direto na célula combustível de borohidreto (Ponce-de-Leon *et al.*, 2006; Bavykin e Walsh, 2009).

### 3 | SENSORIAMENTO E ARMAZENAMENTO DE HIDROGÊNIO

Armazenamento de gás hidrogênio retrata uma temática bastante debatida nos últimos anos, justificada pela existência de possíveis aplicações energéticas, já que o hidrogênio é um portador de energia (Bavykin e Walsh, 2009).

O trabalho de Bavykin e Walsh (2009) relata que a busca por materiais favoráveis a formação de sistema cuja sorção fosse reversível, levou os pesquisadores a empregarem nanotubos de titanato (Bavykin e Walsh, 2009). Os mesmos admitem valores de acúmulo de hidrogênio de modo reversível entre -196 °C e 125 °C (Lim *et al.*, 2005). Resultados iniciais mostraram que a sorção de hidrogênio pelos nanotubos de titanato ocorreu com valores de entalpia e energia de ativação em -30 KJ mol<sup>-1</sup> e 44 KJ mol<sup>-1</sup>, respectivamente. Isso demonstrou que os nanotubos de titanato eram eficientes, observando que Bavykin relata a busca por um material adsorvente na qual formasse ligações de energia intermediária com hidrogênio, dentro do intervalo de 30 a 60 KJ mol<sup>-1</sup> (Bavykin e Walsh, 2009). Bavykin e Walsh (2009), sugerem que o hidrogênio deve ficar retido em cavidades intersticiais na região lamelar sem a formação de ligações químicas. A princípio, os grupos OH da estrutura nanotubular estabilizariam moléculas de hidrogênio por meio de interações de van der Waals (Lokshin *et al.*, 2004; Bavykin e Walsh, 2009).

Varguese *et al.* (2003), consideram que o aumento na resistência elétrica reduz bruscamente a quantidade de hidrogênio adsorvido (Varghese *et al.*, 2003). Nanotubos produzidos por anodização são considerados excelentes sensores de hidrogênio, já que possuem maior resistência elétrica. Nanotubos decorados com platina ou paládio são outros bons exemplos descritos na literatura como bons

sensores de hidrogênio (Han *et al.*, 2007).

#### 4 | BATERIAS DE LÍTIO

As nanoestruturas de titanato quando preparadas pelo método hidrotérmico apresentam um forte potencial aplicativo em baterias de íons lítio, justificado pela impressionante capacidade em armazenar os íons  $\text{Li}^+$  (Armstrong *et al.*, 2004; Armstrong *et al.*, 2005). Sobre a capacidade de armazenagem de íons, estudos revelam que as morfologias nanométricas de titanatos possuem propriedades estruturais destacadas pela presença de mesoporos e por serem lamelas, facilitando assim, a mobilidade de íons por difusão (Zhou *et al.*, 2003; Armstrong *et al.*, 2004; Armstrong *et al.*, 2005). Tais características possibilitam que estes materiais tenham uma excelente estabilidade cíclica, com elevada taxa de carga/descarga, requisitos básicos para esta aplicação (Zhou *et al.*, 2003; Armstrong *et al.*, 2005).

Segundo Bavykin e Walsh (2009), existem três etapas no processo de carregamento e descarregamento de eletrodos formados por nanoestruturas de titanato/soluções de lítio. Na primeira etapa ocorre a difusão dos íons lítio do eletrólito. Na segunda etapa acontece a difusão de íons intercalados e na terceira etapa se dá a reação eletroquímica (Bavykin e Walsh, 2009).

Bavykin e Walsh (2009) relatam que as nanoestruturas de titanato melhoram significativamente a taxa de difusão de íons lítio devido ao tamanho dos cristais e a distância entre camadas de octaedros (Bavykin e Walsh, 2009). Além disso, admitem que a capacidade de carga em pilhas de lítio depende da quantidade de sítios de redução, bem como pela cinética de intercalação dos íons (Bavykin e Walsh, 2009). Observados estes fatos, os autores pontuam a elevação da capacidade de carga como sendo mais uma admirável característica das nanoestruturas de titanato, por exemplo, nanotubos e nanofibras possuem grande área superficial porosa e rica em sítios reacionais (Bavykin e Walsh, 2009).

Estudos recentes descrevem que o método de dopagem pode favorecer o melhoramento da condutividade em nanoestruturas de titanato, a exemplo, nanovaretas dopadas com carbono (Xu *et al.*, 2007), nanotubos e nanofibras dopados com cobalto (Wang *et al.*, 2008) e, nanotubos de  $\text{TiO}_2(\text{B})$  dopados com nanopartículas de  $\text{NiO}$  (An *et al.*, 2008). O uso destes novos modelos híbridos favorece a redução da resistência elétrica melhorando a durabilidade sobre a degradação provocada pelo processo de carga/descarga (Bavykin e Walsh, 2009).

## 5 | APLICAÇÕES BIOMÉDICAS

Recentemente, os materiais nanoestruturados inorgânicos têm admitido uma ampliação nas aplicações biológicas. Diversos exemplos são encontrados em estudos descritos na literatura, como, por exemplo, o uso na entrega de drogas controladas dentro de organismos vivos, no envoltório de sistemas biológicos e até mesmo na reconstrução de tecidos através de materiais compósitos nanoestruturados (Bavykin e Walsh, 2009).

Os nanotubos, por exemplo, possuem elevada área superficial, boa condutividade em sua superfície, como também, boa afinidade com íons de carga positiva em solução, propriedades que credenciam tais nanoestruturas no emprego em biossensores amperométricos (Bavykin e Walsh, 2009). Em 2005, Bavykin e seus colaboradores prepararam um sistema híbrido formado por nanotubos de  $\text{TiO}_2$  dopados com boro, capaz de estabilizar e imobilizar sistemas como: citocromo *c*,  $\text{Ni}^{2+}$  e “Meldola’s blue”; servindo de mediador redox (Bavykin *et al.*, 2005; Bavykin e Walsh, 2009). No mesmo ano, Liu e colaboradores, utilizaram nanotubos de titanato para facilitar o transporte de oxigênio entre metaloproteínas, como mioglobina, tais proteínas ficam facilmente imobilizadas na superfície dos nanotubos, possibilitando uma maior transferência eletrônica (Liu *et al.*, 2005; Bavykin e Walsh, 2009). Zheng *et al.* (2008), realizaram um estudo semelhante ao de Liu, a diferença ficou no emprego de outro tipo de metaloproteína. Neste caso, a hemoglobina foi imobilizada na superfície nanotubular com o mesmo objetivo (Zheng *et al.*, 2008).

Outra aplicação biomédica interessante foi descrita por Tang *et al.* (2008). Neste estudo os pesquisadores descobriram que a absorção do fármaco ibuprofeno nos poros de nanotubos de titanato levou à redução do seu ponto de fusão de 78 °C para 66 °C, ficando mais próxima das temperaturas fisiológicas, facilitando o desenvolvimento de novas tecnologias visando o controle do tempo e velocidade com que a droga atinge seu alvo (Tang *et al.*, 2008; Bavykin e Walsh, 2009). Dong *et al.* (2007), prepararam um sistema híbrido de nanofios de titanato e nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ , muito resistente e poroso, capaz de servir como suporte para crescimento celular (Dong *et al.*, 2007; Bavykin e Walsh, 2009).

Em 2012, trabalhos como o de Chen *et al.*, podem ser observados, mostrando como a dinâmica da pesquisa por novos materiais, métodos e aplicações é crescente. Neste estudo, Chen *et al.* apresentam a síntese de nanofios pela *via* de anodização hidrotérmica, processo mais rápido que resulta em produtos de alta cristalinidade. Nos ensaios realizados com estes nanofios, os pesquisadores conseguiram depositar nanoflocos porosos de hidroxiapatita cristalina, quando mergulhados em fluidos corporais (Chen *et al.*, 2012). Este estudo tem gerado grande expectativa nos estudiosos, vislumbrando uma nova aplicação, no caso, em cirurgias ósseas (Chen

*et al.*, 2012).

Diante de tudo que exposto deve ser considerado que na última década ocorreu um crescimento acentuado em pesquisas relacionadas a nanoestruturas de titanato, objetivando principalmente aplicações tecnológicas. Há de ser dito também que inúmeros estudos recentes tinham como proposta investigar o mecanismo de formações e transformação das nanoestruturas com diferentes morfologias.

## REFERÊNCIAS

AN, L. P.; GAO, X. P.; LI, G. R.; YAN, T. Y.; ZHU, H. Y.; SHEN, P. W. **Electrochemical lithium storage of titania nanotubes modified with NiO nanoparticles**. *Electrochimica Acta*. v. 53, 4573-4579, 2008.

ARMSTRONG, A. R.; ARMSTRONG, G.; CANALES, J.; BRUCE, P. G. **TiO<sub>2</sub>-B nanowires**. *Angewandte Chemie-International Edition*. v. 43, 2286-2288, 2004.

ARMSTRONG, G.; ARMSTRONG, A. R.; CANALES, J.; BRUCE, P. G. **Nanotubes with the TiO<sub>2</sub>-B structure**. *Chemical Communications*. 2454-2456, 2005.

BAVYKIN, D. V.; MILSOM, E. V.; MARKEN, F.; KIM, D. H.; MARSH, D. H.; RILEY, D. J.; WALSH, F. C.; EL-ABIARY, K. H.; LAPKIN, A. A. **A novel cation-binding TiO<sub>2</sub> nanotube substrate for electrocatalysis and bioelectro-catalysis**. *Electrochemistry Communications*. v. 7, 1050-1058, 2005.

BAVYKIN, D. V.; WALSH, F. C. **Elongated Titanate Nanostructures and Their Applications**. *European Journal of Inorganic Chemistry*. 977-997, 2009.

CHEN, C.-Y.; OZASA, K.; KATSUMATA, K.-I.; MAEDA, M.; OKADA, K.; MATSUSHITA, N. **Bioactive Titanium Oxide-Based Nanostructures Prepared by One-Step Hydrothermal Anodization**. *Journal of Physical Chemistry C*. v. 116, 8054-8062, 2012.

CHIEN, S. H.; LIOU, Y. C.; KUO, M. C. **Preparation and characterization of nanosized Pt/Au particles on TiO<sub>2</sub>-nanotubes**. *Synthetic Metals*. v. 152, 333-336, 2005.

DONG, W.; ZHANG, T.; EPSTEIN, J.; COONEY, L.; WANG, H.; LI, Y.; JIANG, Y.-B.; COGBILL, A.; VARADAN, V.; TIAN, Z. R. **Multifunctional nanowire bioscaffolds on titanium**. *Chemistry of Materials*. v. 19, 4454-4459, 2007.

GUO, C.; XU, J.; HE, Y.; ZHANG, Y.; WANG, Y. **Photodegradation of rhodamine B and methyl orange over one-dimensional TiO<sub>2</sub> catalysts under simulated solar irradiation**. *Applied Surface Science*. v. 257, 3798-3803, 2011.

GUPTA, S. M.; TRIPATHI, M. **A review of TiO<sub>2</sub> nanoparticles**. *Chinese Science Bulletin*. v. 56, 1639-1657, 2011.

HAN, C. H.; HONG, D. W.; KIM, I. J.; GWAK, J.; HAN, S. D.; SINGH, K. C. **Synthesis of Pd or Pt titanate nanotube and its application to catalytic type hydrogen gas sensor**. *Sens. Actuator B-Chem.*, v. 128, 320-325, 2007.

KUBOTA, S.; JOHKURA, K.; ASANUMA, K.; OKOUCHI, Y.; OGIWARA, N.; SASAKI, K.; KASUGA, T. **Titanium oxide nanotubes for bone regeneration**. *Journal of Materials Science-Materials in Medicine*. v. 15, 1031-1035, 2004.

LI, Q. Y.; ZHANG, J. W.; JIN, Z. S.; YANG, D. G.; WANG, X. D.; YANG, J. J.; ZHANG, Z. J. **Photo and photoelectrochemical properties of p-type low-temperature dehydrated nanotube titanic acid**. *Electrochemistry Communications*. v. 8, 741-746, 2006.

LIM, S. H.; LUO, J. Z.; ZHONG, Z. Y.; JI, W.; LIN, J. Y. **Room-temperature hydrogen uptake by TiO<sub>2</sub> nanotubes**. Inorg. Chem., v. 44, 4124-4126, 2005.

LIN, C. H.; CHIEN, S. H.; CHAO, J. H.; SHEU, C. Y.; CHENG, Y. C.; HUANG, Y. J.; TSAI, C. H. **The synthesis of sulfated titanium oxide nanotubes**. Catalysis Letters. v. 80, 153-159, 2002.

LIU, A. H.; WEI, M. D.; HONMA, I.; ZHOU, H. S. **Direct electrochemistry of myoglobin in titanate nanotubes film**. Analytical Chemistry. v. 77, 8068-8074, 2005.

LOKSHIN, K. A.; ZHAO, Y. S.; HE, D. W.; MAO, W. L.; MAO, H. K.; HEMLEY, R. J.; LOBANOV, M. V.; GREENBLATT, M. **Structure and dynamics of hydrogen molecules in the novel clathrate hydrate by high pressure neutron diffraction**. Phys. Rev. Lett., v. 93, 2004.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. **Heterogeneous photocatalysis and its environmental applications**. Quimica Nova. v. 21, 69-72, 1998.

PONCE-DE-LEON, C.; BAVYKIN, D. V.; WALSH, F. C. **The oxidation of borohydride ion at titanate nanotube supported gold electrodes**. Electrochemistry Communications. v. 8, 1655-1660, 2006.

RISS, A.; BERGER, T.; GROTHE, H.; BERNARDI, J.; DIWALD, O.; KNOZINGER, E. **Chemical control of photoexcited states in titanate nanostructures**. Nano Letters. v. 7, 433-438, 2007.

SIKHWIVHILU, L. M.; COVILLE, N. J.; PULIMADDI, B. M.; VENKATREDDY, J.; VISHWANATHAN, V. **Selective hydrogenation of o-chloronitrobenzene over palladium supported nanotubular titanium dioxide derived catalysts**. Catalysis Communications. v. 8, 1999-2006, 2007.

TANG, X.-P.; NG, N. C.; NGUYEN, H.; MOGILEVSKY, G.; WU, Y. **The molecular dynamics and melting transition of the confined ibuprofen in titania nanotube studied by NMR**. Chemical Physics Letters. v. 452, 289-295, 2008.

VARGHESE, O. K.; GONG, D. W.; PAULOSE, M.; ONG, K. G.; DICKEY, E. C.; GRIMES, C. A. **Extreme changes in the electrical resistance of titania nanotubes with hydrogen exposure**. Advanced Materials. v. 15, 624-627, 2003.

VIANA, B. C.; FERREIRA, O. P.; SOUZA FILHO, A. G.; RODRIGUES, C. M.; MORAES, S. G.; MENDES FILHO, J.; ALVES, O. L. **Decorating Titanate Nanotubes with CeO<sub>2</sub> Nanoparticles**. Journal of Physical Chemistry C. v. 113, 20234-20239, 2009.

WANG, M.; GUO, D. J.; LI, H. L. **High activity of novel Pd/TiO<sub>2</sub> nanotube catalysts for methanol electro-oxidation**. J Solid State Chem. v. 178, 1996-2000, 2005.

WANG, X. W.; GAO, X. P.; LI, G. R.; YAN, T. Y.; ZHU, H. Y. **Ferromagnetism of Co-doped titanate and anatase nanorods before and after lithium intercalation**. Journal of Physical Chemistry C. v. 112, 5384-5389, 2008.

XU, J.; HA, C.; CAO, B.; ZHANG, W. F. **Electrochemical properties of anatase TiO<sub>2</sub> nanotubes as an anode material for lithium-ion batteries**. Electrochimica Acta. v. 52, 8044-8047, 2007.

ZHENG, W.; ZHENG, Y. F.; JIN, K. W.; WANG, N. **Direct electrochemistry and electrocatalysis of hemoglobin immobilized in TiO<sub>2</sub> nanotube films**. Talanta. v. 74, 1414-1419, 2008.

ZHOU, Y. K.; CAO, L.; ZHANG, F. B.; HE, B. L.; LI, H. L. **Lithium insertion into TiO<sub>2</sub> nanotube prepared by the hydrothermal process**. Journal of the Electrochemical Society. v. 150, A1246-A1249, 2003.

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

Data de aceite: 18/11/2019

### **Beatriz Seabra Melo**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Belém – Pará

### **Vinicius Silva dos Reis**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Belém – Pará

### **Clóvis Iarlande Oliveira Santana**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Belém – Pará

### **Carlos Vinicius de Paes Santos**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Belém – Pará

### **Gregory de Oliveira Miranda**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Belém – Pará

### **Andrey Coelho das Neves**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Belém – Pará

### **José Maria do Vale Quaresma**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Belém – Pará

**RESUMO:** As amostras avaliadas são de um trilho ferroviário confeccionados em aço perlítico, sua microestrutura é predominante constituída de lamelas alternadas de ferrita e cementita. O estudo de caso tentou determinar qual teria sido a causa da falha do componente. A amostra fora cedida por uma empresa que faz uso de trilhos em vias que operam com carregamento elevado. Lançou-se mão das técnicas de análise da fratura, via análise visual com auxílio de lupa e fractografia com auxílio de microscópio eletrônico de varredura (MEV), posteriormente efetuou-se a caracterização mecânica da amostra por intermédio de ensaios de tração e dureza. Na análise de falha detectou-se macroscopicamente a origem da falha, que fora localizada na região do patim, e a presença de marcas de praia e posteriormente marcas de sargento, microscopicamente não fora possível detectar a presença de outras estruturas características a não ser a clivagem. As caracterizações mecânicas forneceram informações que estão de acordo com a literatura. Portanto entende-se que a provável causa da fratura se deu por fadiga em decorrência do elevado carregamento que o componente fora submetido.

**PALAVRAS-CHAVE:** Trilho ferroviário; Sobrecarga; Análise da fratura; Fadiga.

## CHEMICAL, MECHANICAL AND FRACTURE CHARACTERIZATION OF PERLITE RAILS

**ABSTRACT:** The samples evaluated are of a railway rail made of pearlitic steel, its predominant microstructure consists of alternating lamellae of ferrite and cementite. The case study attempted to determine what would have been the cause of component failure. The sample was supplied by a company that makes use of high-load rails. The techniques of fracture analysis were used, through visual analysis with the aid of a magnifying glass and fractography with the aid of a scanning electron microscope (SEM), the mechanical characterization of the sample was carried out by means of traction and hardness tests. In the fault analysis, the origin of the fault was detected macroscopically, which had been located in the flange, and the presence of beachmark and after chevron, microscopically it was not possible to detect the presence of other characteristic structures other than the cleavage. The mechanical characterizations provided information that is in agreement with the literature. Therefore, it is understood that the probable cause of the fracture was due to fatigue due to the high loading that the component had undergone.

**KEYWORDS:** Railway rail; Overload; Failure analysis; Fatigue.

### 1 | INTRODUÇÃO

Atualmente há uma necessidade pulsante no Brasil em desenvolver todos os seus modais, pois assim o país estará melhorando sua infraestrutura de transporte, para poder tornar sua economia mais competitiva. Nos países desenvolvidos o modal ferroviário é de vital importância devido a sua eficiência (BARRETO, OLIVEIRA, et al., 2018).

A eficiência do transporte ferroviário está comprovada, pois este se destaca como um dos mais econômicos, no que tange o deslocamento de grandes volumes de cargas se comparando com os demais modais. Sua utilização em larga escala pode gerar uma economia que gira entorno de 40 a 50% nos custos dos fretes, se associado ao transporte via navios, e pode acarretar em uma redução de 7% no preço dos produtos repassados ao consumidor (BRIGUENTE, 2013).

Em decorrência desse horizonte o Brasil deve promover a melhoria da tecnologia relacionada ao sistema roda-trilho e os materiais que o constituem, assim como atuar no sentido de garantir a segurança das ferrovias, uma vez que há uma tendência em cada vez mais se desenvolver maiores velocidades associadas a carregamentos elevados nessas vias (Y.D.LI, C.B.LIU, et al., 2013).

Em ferrovias destinadas ao transporte de carga de grande fluxo, como por exemplo Estrada de Ferro Carajás (EFC), são utilizados trens que possuem várias composições, além de elevado carregamento por eixos. Nesse tipo de ferrovia a linha férrea é assentada como uma via contínua, que é obtida pela soldagem dos

segmentos dos trilhos. Em decorrência dos tipos de solicitações impostos a essas linhas férreas se faz necessária uma manutenção muito bem executada, a fim de garantir a menor probabilidade possível de ocorrência de acidentes, já que falhas que ocorrem em trilhos, podem ocasionar perdas humanas, econômicas e prejuízos ambientais (LIMBERGER, 2000).

Aliada a questão da fadiga tem-se que se considerar outras variáveis como variações térmicas, tensões residuais oriundas do processo de fabricação e impostas pela solicitação de serviço e também a influência da soldagem no desempenho via. É importante destacar que muitas falhas e defeitos de trilhos estão associados a questões relacionadas com os processos de soldagem empregados (Y.D.LI, C.B.LIU, et al., 2013).

Assim buscou-se avaliar um trilho fraturado, com o intuito de determinar a causa e a origem da fratura. Para essa finalidade se utilizou análise da falha, via inspeção visual e da fractografia obtida via MEV, assim como a análise química e realização de caracterizações mecânicas, para tentar verificar se as amostras cedidas apresentam alguma falha de fabricação, ou seja, não atendiam as normas técnicas vigentes ou se a falha do componente fora ocasionada em decorrência das solicitações de serviço.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de promover um diagnóstico que levasse a compreensão sobre qual seria a motivação da fratura da seção do trilho que fora cedida, dividiu-se os esforços em duas frentes, sendo que a primeira preocupava-se compreender, como se processou a falha do componente e a segunda frente em tentar desvendar quais foram os fatores que levaram a região de solda presente no trilho a apresentar uma irregularidade na superfície de rolamento.

O escopo deste estudo está vinculado primeira frente destacada acima, que se predispôs a avaliar, se o trilho possui alguma irregularidade quanto a composição química, efetuar uma avaliação das propriedades mecânicas por meio do ensaio de tração e dureza e promover um estudo detalhado da falha apresentada, assim como tentar determinar qual fora a possível causa do colapso do componente.

### 2.1. Trilho perlítico

Os trilhos ferroviários perlítico possuem uma estrutura lamelar de camadas alternadas de ferrita e cementita e são amplamente utilizados em ferrovias por agregarem uma boa combinação entre resistência mecânica, ductibilidade e baixo custo (MASOUMI, SINATORA e GOLDENSTEIN, 2019).

As amostras analisadas são oriundas de uma ferrovia que possui elevado

carregamento e foram recebidas com as informações de que, o trecho do trilho corresponde a uma seção que foi unida via técnica de soldagem por caldeamento (flash-butt welding) e fora colocada em operação. É importante frisar que não se informou os detalhes dessa operação, ou seja, por quanto tempo o trecho ficou em serviço e/ou quais foram as solicitações sofrida. A Figura 1 a seguir apresenta as amostras tal qual foram recebidos.



Figura 1 - Trilhos cedidos, em (a) como recebido, (b) aberto, (c) Trilho fraturado e (d) Trilho com defeito superficial.

A fim de facilitar a identificação subdividiu-se a amostra em corpos de prova denominados de T1 e T2, os quais correspondem respectivamente a seção do trilho que sofreu a fratura e a seção que apresentou o esmagamento superficial próximo a região da junta soldada. Na Figura 1 tais zonas correspondem as seções c e d, respectivamente.

O esmagamento localizou-se na superfície de rolamento e ocorreu em uma região ligeiramente antes e após a solda. A Figura 2 apresenta o corpo de prova T2 destacando a região do componente, onde fora efetuada a soldagem, pode-se verificar que a patologia é evidente.



Figura 2 – Amostra T2 correspondente a região da solda do componente mecânico

O corpo de prova T1 fora seccionado e as seções geradas foram denominadas

de T1E, que corresponde a face da fratura do lado esquerdo, e T1D que é a face da fratura do lado direito. O detalhamento dos cortes efetuados está apresentado na Figura 3.



Figura 3 - Cortes efetuados no corpo de prova T1

## 2.2. Análise química

A análise química fora efetuada via um espectrômetro de emissão óptica da marca BRUKER e do modelo Q4 TASMAN. As análises foram efetuadas em duas partes da amostra T1, mais especificamente nas seções denominadas de T1D e T1E que foram seccionadas de acordo com a Figura 3. Tal postura fora adota, pois pretendeu-se verificar se há variação na composição química longitudinal do trilho.

A fim de garantir uma maior representatividade da amostra, assim como verificar se há variações químicas ao longo das regiões presentes na área da seção transversal do perfil do trilho, as quais são o boleto, alma e patim, adotou-se o esquema presente na Figura 4 como modelo para efetuar a análise química localizada das áreas que serão estudadas. É importante destacar que foram selecionados três pontos em cada região da seção do trilho.

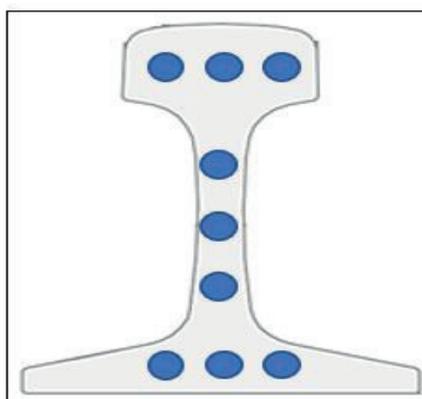


Figura 4 - Esquema das locais utilizados na seção do trilho para efetuar a análise química.

## 2.3. Análise da fratura

Analisou-se a fratura via duas técnicas, a primeira fora a análise visual e para essa intervenção foi utilizada a seção T1D do corpo de prova T1, que foi a seção da amostra que apresentou a fratura. Para realização desse procedimento utilizou-se

o auxílio de uma lupa, a fim de se certificar das características que usualmente as fraturas de componentes mecânicos possuem e que são previstas pela literatura.

A outra etapa de investigação da topografia da fratura ocorreu utilizando-se de microscopia eletrônica de varredura e serviu-se de um Microscópio Eletrônico de Varredura marca TESCAN e modelo Mira 3. Nesse caso avaliou-se mais detalhadamente a zona onde a fratura teve início, a fim de verificar a presença de inclusões, porosidades e outras possíveis fontes de nucleação para a trinca.

## 2.4. Ensaio de dureza

Seguindo com o procedimento experimento realizou-se a o ensaio de dureza brinell, a fim de aferir se a dureza apresentada nos corpos de prova extraído da amostra T1.

Para realizar uma aferição da dureza por região da seção transversal do perfil do trilho adotou-se uma sequência de endentações no boleto, alma e patim que corresponde a 3 (três) linhas contínuas de endentações no boleto e 2 (duas) linhas contínuas de endentações contínuas na alma e patim. A Figura 5 apresenta a sequência de endentações realizadas na amostra.

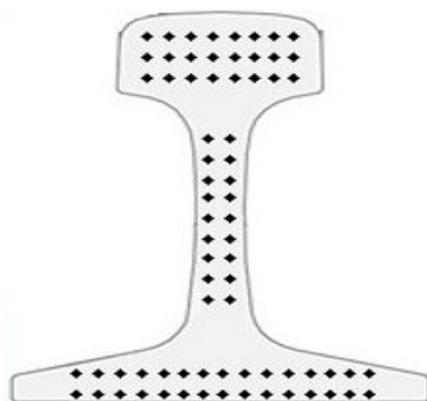


Figura 5 - Perfil de endentações adotadas para realização do ensaio de dureza brinell

## 2.5. Ensaio de tração

Para realização do ensaio de tração utilizou-se uma máquina de ensaio universal marca Shimadzu, Modelo Servopulser hidráulica com capacidade de 100KN ajustada de acordo com a norma ASTM E8/E8M – 16<sup>a</sup> (ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 2016).

Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com o que prevê a norma ASTM E8/E8M – 16<sup>a</sup> (ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 2016) e foram extraídos do corpo de prova T1 seguindo o esquema detalhado na Figura 6 em sua seção a, na seção b está apresentado um corpo de prova de tração após a confecção.

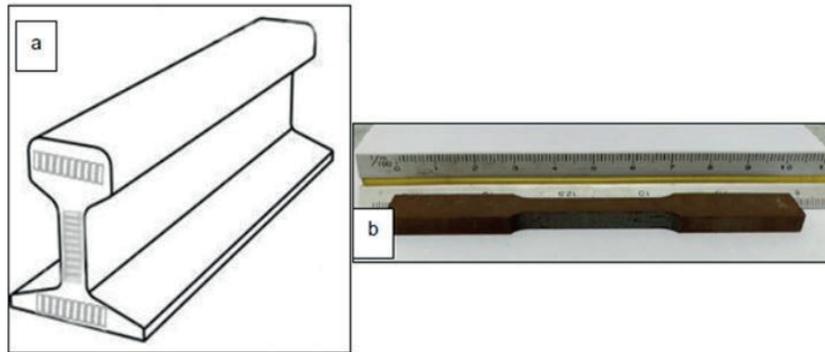


Figura 6 - Esquemático das regiões de onde as amostras foram retiradas em (a); amostras para o ensaio de tração em (b).

Com intuito garantir a análise mais completa do elemento mecânico extraiu-se corpos de prova de tração das três regiões da seção transversal do trilho, totalizando 4 (quatro) corpos de prova de tração da zona do boleto, alma e patim.

### 3 | RESULTADOS

#### 3.1. Análise de falha

##### 3.1.1. Análise visual

A superfície da fratura analisada está presente no corpo de prova TD1, na Figura 7 a seguir, percebe-se o defeito denominado de detalhe da fratura (Detail fracture), o qual revela o início e o percurso da fratura no trilho.

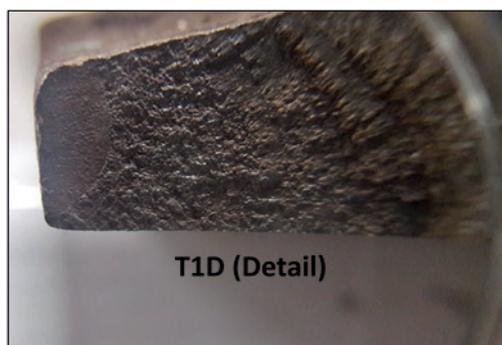


Figura 7 - Defeito do tipo Detail fracture

Prosseguindo com a análise da superfície de fratura selecionada, com o auxílio da Figura 8, é possível efetuar algumas considerações mais detalhadas a respeito das características apresentadas pela superfície fratura analisada.

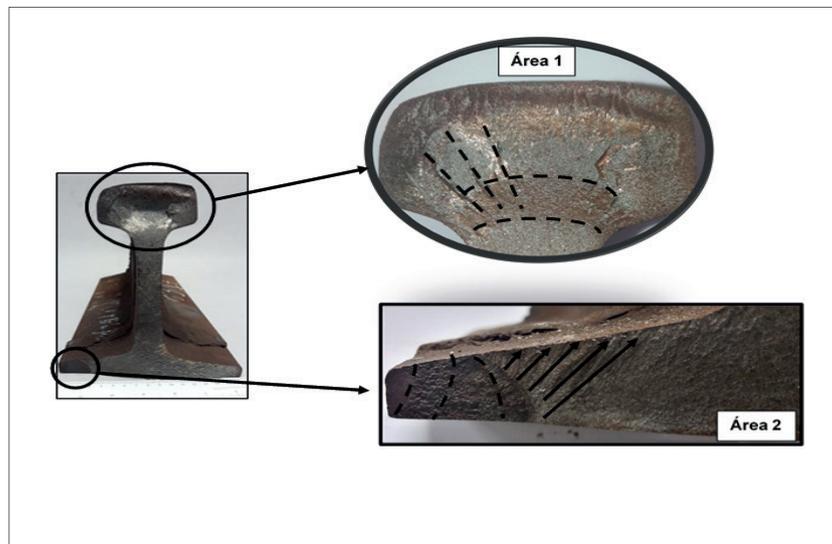


Figura 8 - Regiões de maior importância para análise visual

A Figura 8 apresenta duas zonas que merecem atenção, estas foram destacadas e denominadas de área 1 e área 2. A área 1 faz parte da região do boleto, nesse destaque se pode observar que há marcas de propagação de trinca denominadas de *chevron patterns* ou marcas de sargento (CALLISTER, 2016; Y.D.LI, C.B.LIU, *et al.*, 2013), e esse tipo de estria está associado a fraturas frágeis, ou seja, não há deformação plástica associada, porém não é perceptível um local onde tenha ocorrido a iniciação da trinca.

Na área 2, nota-se a presença dos elementos que podem determinar que a falha teve origem na região da seção transversal do trilho que é denominada de patim, pois nela percebe-se uma mancha escura que possui aspecto de clivagem e logo após nota-se a presença de elementos denominados de marcas de praia (CALLISTER, 2016) e tais marcas estão associadas a esforço de fadiga, uma vez que as estrias exibem um padrão periódico que está correlacionado aos ciclos de carregamento que o componente mecânico pode ter sido submetido e segundo a literatura (Y.D.LI, C.B.LIU, *et al.*, 2013; MASOUMI, SINATORA e GOLDENSTEIN, 2019) é admissível que os trilhos venham a colapsar por mecanismos associados a esforços cíclicos característicos do mecanismo de falha associado a fadiga, tal condição ainda é mais acentuada em trilhos perlíticos, já que as trincas associadas a fadiga se iniciam na ferrita proeutetoide originada nos contornos de grão da austenita.

Ainda com relação a região de origem da falha se pode inferir que a fratura apresenta um aspecto viável para situações associadas a fadiga, uma vez que apresenta uma região, onde há a presença das marcas de praia, seguida por uma área com forte presença de marcas de sargento. Tal fato está associado a questão de que na região que há a falha repentina, as estrias características das marcas de praia não irão ocorrer e darão lugar a um local onde ocorrerá uma falha dúctil associada a deformação plástica evidente e na ausência falha frágil (CALLISTER,

2016).

Como é perceptível na Figura 8 mais especificamente na seção destacada como área 2 a região de falha repentina assumiu uma característica de fratura frágil, tal fato pode ser reforçado pela presença das marcas de sargento.

### 3.1.2 Análise fractográfica

Com o intuito de promover um estudo mais profundo sobre a região que foi determinada como origem da falha, utilizou-se a técnica de microscopia eletrônica de varredura, a Figura 9 a seguir, apresenta a análise da fratura via MEV.

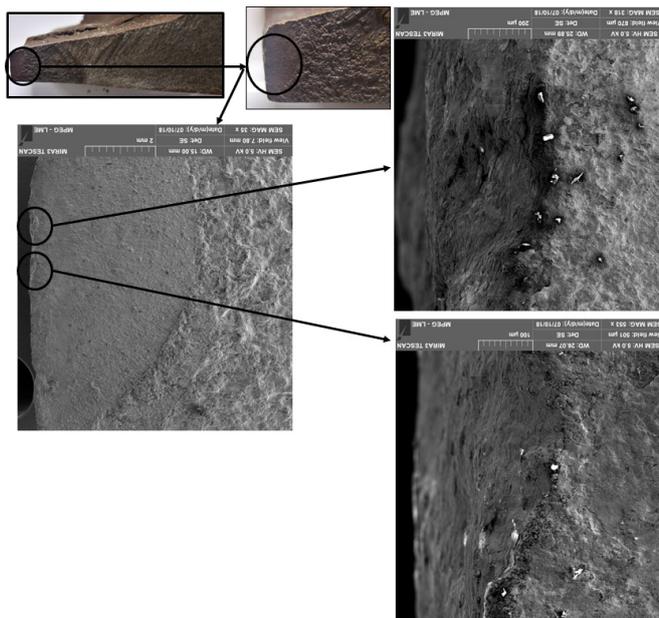


Figura 9 - Regiões da fratura analisadas no MEV

Ao se analisar as micrografias da região do patim, a qual se atribuiu o início da propagação da trinca, atentou-se para uma pequena marca na borda, porém não fora possível identificar, nesse grau de aumento e resolução, qualquer anomalia evidente, os pontos brilhosos evidentes na imagem são decorrentes da manipulação da peça e não possíveis incrustações na matriz.

Portanto a motivação da falha foi associada ao declive verificados nas imagens e tal elemento pode ter sido ocasionado durante a implantação, transporte ou até mesmo no processo de fabricação.

### 3.2 Análise química

Para a realização da análise química efetuou-se o procedimento no trilho T1, mais especificamente nos corpos de prova T1D e T1E, detalhamento presente na Figura 3, com a intenção de verificar se os trilhos que haviam sido unidos apresentavam a mesma composição química. A tabela 1 apresenta o resultado da análise.

Composição Química [%] das amostras de trilhos										
	C	Mn	Cr	V	P	S	Ni	Ti	Co	Si
<b>T1D</b>	0.751	0.819	0.354	0.081	0.0052	<0.150	0.028	0.0034	0.020	0.365
<b>T1E</b>	0.770	0.850	0.415	0.087	<0.0050	<0.150	0.032	0.0052	0.023	0.378

Tabela 1 – Análise química das amostras T1D e T1E

A tabela 1 apresentou que ambas as amostras possuem virtualmente a mesma composição química, tal fato facilitou a restante dos trabalhos, pois dispensou maiores preocupações com identificação das amostras, uma vez que se comprovou que é mesmo tipo de material.

Efetua-se um comparativo da composição química das duas amostras analisadas com a literatura (AREMA, 2016), e com relação a norma técnica ASTM A1 (ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 2018) e em ambos os casos a composição química está coerente com o previsto, ou seja, o trilho analisado atende o padrão previsto para utilização em operação.

### 3.3 Ensaio de tração

O ensaio de tração dos corpos de prova retirados da amostra T1 podem ser observados na Figura 10 a seguir:

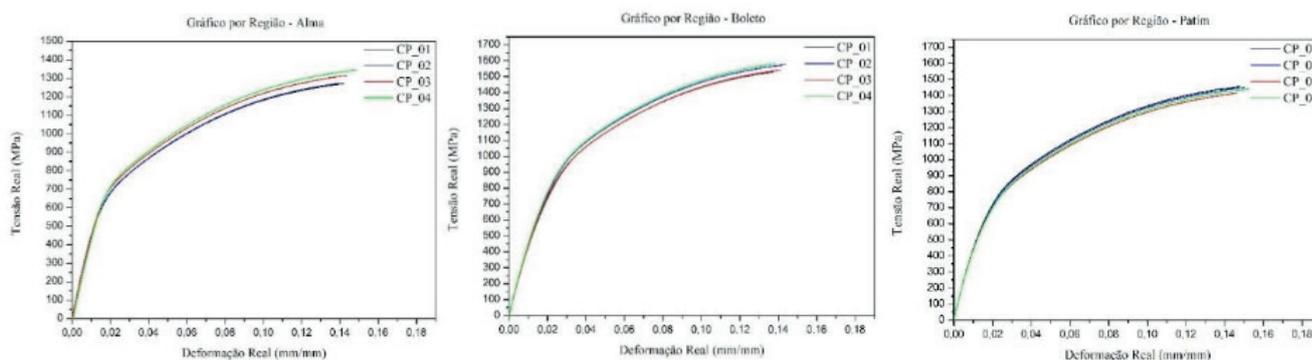


Figura 10 – Curvas tensão real x deformação real para as regiões da Alma, Boletto e Patim

Os resultados obtidos nos gráficos tensão-deformação demonstram que o material possui uma homogeneidade, já que as curvas se apresentaram bem próximas. E todos os ensaios executados apresentaram resultado de resistência a tração superior ao previsto pela norma ASTM A1 (ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 2018).

Na tentativa de efetuar um comparativo entre as regiões presentes na seção transversal de do trilho, notou-se que em todas as situações, ou seja, em todos os corpos de prova analisados o comportamento era idêntico ao apresentado na Figura

11, que trata da curva tensão real x deformação real do corpo de prova CP1. Nessa Figura é possível observar que as regiões da seção transversal do trilho (boleto, alma e patim) apresentam comportamento mecânico distinto, na zona caracterizada como elástica e também na zona plástica.

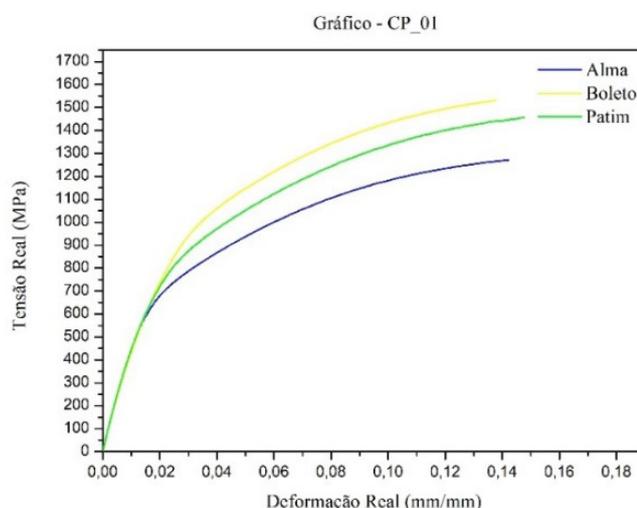


Figura 11 - Curvas tensão-deformação das regiões do boleto, alma e patim.

Os resultados obtidos na Figura 11, demonstram que as diferentes partes do trilho possuem certa variação no LRT, principalmente entre o boleto e a alma. É importante frisar que, o trilho após ser fabricado possui tensões residuais, ou seja, em decorrência do processo de fabricação cada região do trilho está submetida a tensões residuais, que são do tipo trativa para as regiões do boleto e do patim e do tipo compressiva para a região da alma. Em decorrência das solicitações de serviço, observa-se que a região do boleto passa a apresentar tensões residuais de compressão (BRIGUENTE, 2013).

O boleto obteve um elevado LRT se comparado as demais regiões do trilho, tal fato pode estar associado a maior dureza dessa região, assim como ao tempo de serviço, pois sabe-se que essa zona passa por encruamento, associada a esses fatores os maiores valores de LRT podem ser atribuídos ao fato do boleto, em decorrência da solicitação de serviço, apresentar tensões residuais do tipo compressiva e durante o ensaio de tração, tais tensões podem ter contribuído para um aumento do desempenho do material quando analisado sob tração.

A região do patim obteve um desempenho intermediário em relação aos demais, outra vez o encruamento pode ter influenciado nos resultados, pois enquanto a superfície do trilho recebe cargas de compressão o patim recebe tensões trativas que são somadas a tensões do tipo mesmo tipo oriundas do processo de fabricação, tal fato pode contribuir para uma redução das propriedades mecânicas em um ensaio de tração.

A alma atingiu o menor LRT que pode ser explicado pela “linha neutra” que é um ponto que não recebe esforços de tração nem compressão da flexão que o trilho recebe pela passagem das rodas das locomotivas (BRIGUENTE, 2013). A Tabela 2 mostra os resultados médios do limite de resistência a tração (LRT) de todos os ensaios de tração efetuados.

CORPOS DE PROVA	BOLETO	ALMA	PATIM
	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
1	1331,28	1102,78	1256,35
2	1364,70	1106,28	1242,90
3	1338,78	1139,44	1215,22
4	1368,22	1157,96	1230,22
<b>MEDIA GERAL</b>	1351,74	1122,86	1236,56

Tabela 2 - Resultados de tensão máxima dos ensaios de tração.

### 3.4 Ensaio de dureza

O ensaio de dureza gerou o resultado conforme a apresentado na Figura 12, nela estão representados os valores médios para cada região do perfil do trilho, nota-se que a região do boleto apresentou um resultado de dureza superior ao das demais. Por sua vez as regiões da alma e patim apresentam resultado de dureza próximos.

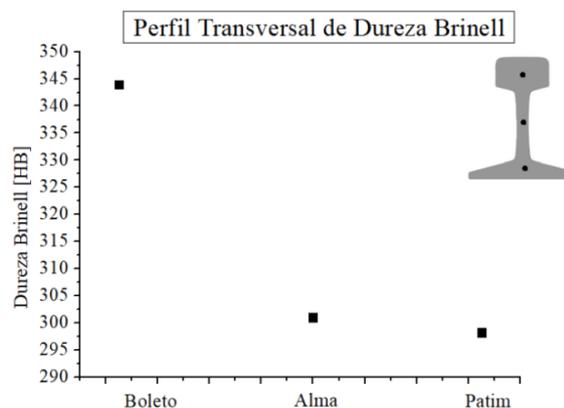


Figura 12 - Resultados obtidos de cada parte do trilho

O comportamento das regiões da seção transversal, quanto a propriedade de dureza Brinell aparentou o esperado, já que devido a solicitação de serviço, ou seja, a questão do encruamento imposto pela passagem das trem favoreceu o aumento da dureza da região do boleto (BRIGUENTE, 2013).

A literatura (AREMA, 2016) e a norma ASTM A1 (ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 2018) determinam que os valores de dureza brinell não podem ser inferiores a 240 HB, fato que não ocorreu em nenhum dos valores médios determinados por região para as amostras analisadas.

## 4 | CONCLUSÃO

Ao que se propôs o escopo dessa investigação, ou seja, a avaliação do trilho que sofreu a fratura, se pode observar que com relação a análise química constatou-se que as seções estudadas apresentam virtualmente a mesma composição química, assim como atendem as especificações demandadas na literatura e norma técnica.

Com relação aos ensaios de dureza e tração nota-se que não houve nenhum resultado que se apresentasse incoerente, ou seja, as análises atestam que trilho analisado apresenta boa integridade com relação as propriedades mecânicas, assim como boa concordância com a literatura e normas técnicas.

A análise da falha, via análise visual e fractografia, aponta para uma falha ocasionada por fadiga, pois fora possível identificar a origem da falha e na região próxima a este local há a presença de estruturas características desse tipo de mecanismo de fratura. A falha por fadiga segundo a literatura (Y.D.LI, C.B.LIU, *et al.*, 2013; MASOUMI, SINATORA e GOLDENSTEIN, 2019) é recorrente em trilhos que operam em ferrovias que trabalham em regime de carregamento elevado, portanto pode-se atribuir a hipótese de que a amostra em questão falhou por fadiga devido as condições de operação e descartar que o colapso possa ter sido atribuído a fatores relacionados a fabricação do componente.

## REFERÊNCIAS

- AREMA. **Manual for Railway Engineering**. American Railway Engineering Maintenance (Org). [S.l.]. 2016.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **E8/E8M - 16a: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials**. West Conshohocken, PA, USA. 2016.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **A1-00: Standard Specification for Carbon Steel Tee Rails**. West Conshohocken, PA, USA. 2018.
- BARRETO, R. A. M. et al. **Determinação da resistência a partir da porosidade e absorção da brita de Gnaiss e da escória de Aciaria LD**. ENGEVISTA, n. 5, Dezembro 2018. p. 623-636.
- BRIGUENTE, C. A. **Caracterização microestrutural e mecânica de trilhos ferroviários soldados de topo por caldeamento**. Dissertação em engenharia mecânica, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira. 2013.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. D. **Ensaio dos Materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- LIMBERGER, I. D. F. **Estudo da Propagação de Trincas por Fadiga em Trilhos Ferroviários**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.
- MASOUMI, M.; SINATORA, A.; GOLDENSTEIN, H. **Role of microstructure and crystallographic orientation in fatigue**. Engineering Failure Analysis, n. 96, 2019. 320–329.
- Y.D.LI et al. **A failure study of the railway rail serviced for heavy cargo trains**. Article in Case Studies in Engineering Failure Analysis, October 2013. 243–248.

## ANÁLISE DOS EFEITOS DA CORROSÃO EM ELETRODO DE ATERRAMENTO ELÉTRICO COBREDO

Data de aceite: 18/11/2019

### Walter Leandro Cordeiro da Silva Filho

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, Laboratório de Materiais Compósitos; Recife, PE – Brasil

### Magda Rosângela Santos Vieira

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, Laboratório de Materiais Compósitos; Recife, PE – Brasil

### Ivanilda Ramos de Melo

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, Laboratório de Materiais Compósitos; Recife, PE – Brasil

### Roseana Florentino da Costa Pereira

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, Laboratório de Materiais Compósitos; Recife, PE – Brasil

### Severino Leopoldino Urtiga Filho

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, Laboratório de Materiais Compósitos; Recife, PE – Brasil

**RESUMO:** Os efeitos da corrosão em sistemas de aterramento elétrico são extremamente danosos, pois podem provocar episódios de

descontinuidade elétrica além de graves acidentes com o passar do tempo. O presente trabalho teve como objetivo investigar o processo de corrosão de eletrodos revestidos com cobre, utilizados em aterramento. Foram confeccionados corpos de prova a partir de uma haste de aterramento constituída de um núcleo de aço carbono revestido com cobre eletrolítico. O material foi exposto a soluções salinas para simular as condições de operação em solo, sob diferentes valores de pH. Para estudo do processo de corrosão, foram realizados ensaios eletroquímicos de potencial de circuito aberto (PCA), polarização linear (PL) e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE). A avaliação da espessura dos revestimentos, antes e após exposição aos meios corrosivos foi realizada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados indicaram que a camada superficial de cobre, ao ser atacada pelo processo de corrosão, tem uma redução significativa da espessura, aumentando a impedância do sistema e, conseqüentemente, prejudicando sua aplicação para aterramento elétrico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas de aterramento. Corrosão. Instalações elétricas. Técnicas eletroquímicas.

**ABSTRACT:** The effects of corrosion on electrical grounding systems are extremely

damaging, as over time, they can provide electrical discontinuities and even serious accidents. The objective of the present work was to investigate the corrosion process of copper - coated electrodes used in grounding when exposed to saline solutions that simulate soil operating conditions under different pH conditions. For the corrosion process, electrochemical tests of open circuit potential, linear polarization and electrochemical impedance spectroscopy were carried out. The samples were prepared from a grounding rod made of a carbon steel core and electrolytic copper coating. The thickness of the coatings before and after exposure to the corrosive media was determined by scanning electron microscopy. The results indicated that the surface layer of copper when attacked by the corrosion process has a significant reduction of the thickness, increasing the impedance of the system and consequently impairing its application to electrical grounding.

**KEYWORDS:** Grounding systems. Corrosion. Electrical installations. Electrochemical techniques.

## INTRODUÇÃO

Um sistema de aterramento é composto basicamente de: uma haste ou eletrodo de aterramento, uma malha de aterramento além das estruturas metálicas pertencentes à edificação. Devido ao eletrodo ser o elemento protagonista em sistemas de aterramento, sua escolha deve ser realizada com base nas características químicas do solo (KINDERMANN e CAMPAGNOLO, 1995).

Os eletrodos são materiais metálicos que ficam enterrados no solo e funcionam como uma ligação elétrica com a terra. Instituído o contato com o meio, o eletrodo interage com o ambiente e ocorre sua deterioração com o passar do tempo, ou seja, pode haver perda das características do material e redução na eficiência do aterramento. A deterioração do eletrodo do aterramento ocorre principalmente por meio de processos corrosivos originados pela interação com o solo, cujas características físico-químicas aliadas à presença de micro-organismos, podem tornar o meio bastante propício a ocasionar a corrosão dos eletrodos aterrados (GENTIL, 2011).

Devido ao fato dos eletrodos de aterramentos estarem enterrados, torna-se bastante difícil acompanhar as modificações que ocorrem na superfície do eletrodo. Esta mesma dificuldade se faz presente durante a inspeção do aterramento para verificar se a estrutura está adequada para absorver todas as descargas que forem enviadas para o solo. Nesse ponto, os efeitos da corrosão contribuem de uma forma extremamente negativa para o sistema elétrico. A ocorrência do processo corrosivo, somada à dificuldade de monitoramento pode, resultar na descontinuidade elétrica do sistema e, desta forma, o aterramento não atende aos fins a que se destina.

O presente trabalho teve como objetivo investigar o processo de corrosão de eletrodos revestidos com cobre, utilizados em aterramento, quando expostos a soluções salinas que simulem condições de operação em solo, sob diferentes condições de pH.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Corpos-de-prova

Os corpos de prova (eletrodo de trabalho) utilizados na pesquisa foram cortados de uma haste de aterramento de seção circular revestida por uma fina camada de cobre de 15,29 $\mu$ m, de espessura, visto no MEV, núcleo em aço-carbono com revestimento de cobre eletrolítico de pureza mínima de 99,9%. A área da superfície exposta em solução foi de 24,190 cm<sup>2</sup>.

### Ensaio de Corrosão

Para os ensaios eletroquímicos, cada sistema foi composto de uma célula de 100mL contendo três eletrodos: um eletrodo de trabalho (corpo de prova), um contra eletrodo de platina (Pt) e um eletrodo de referência de calomelano saturado (SCE). Para avaliar o processo de corrosão da haste de cobre, foram montados quatro sistemas de imersão em condições estáticas, contendo 100mL dos seguintes eletrólitos: NaCl 3,5% (m/v) em condição neutra (pH 7,0), acidificada (pH 5,0) e basificada (pH 8,0), bem como uma solução de solução NaHCO<sub>3</sub> (84 g/L). Na Figura 1, são apresentados os materiais (células e corpos de prova) utilizados para montagem dos sistemas para estudo do processo de corrosão.



Figura 1 – Componentes utilizados na construção da célula.

### Circuito Aberto

As medições foram realizadas com multímetro para determinação do potencial de corrosão entre o eletrodo de trabalho e o eletrodo de referência com a finalidade de determinar o potencial de equilíbrio, ou seja, o potencial de corrosão da haste de cobre, em cada condição. Foram realizadas medições nas primeiras horas até 336h de exposição aos sistemas.-

## Ensaio Polarização Linear (PL) e Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE)

Os ensaios de polarização linear e de espectroscopia de impedância eletroquímica foram conduzidos utilizando um Potenciostato AutoLab/PGSTAT30, por meio do software NOVA 1.9 à temperatura ambiente ( $\sim 25^{\circ}\text{C}$ ).

As curvas de polarização foram obtidas a uma velocidade de varredura de  $0,001\text{V/s}$  e taxa de varredura de  $-1,000\text{ V}$  a  $1,200\text{ V}$  em relação ao potencial de corrosão. Para o ensaio de impedância eletroquímica, a faixa de frequência utilizada foi de  $0,01\text{ Hz}$  a  $10000\text{ HZ}$ , e amplitude de  $1,2\text{V}$ . A Figura 2 (1) mostra detalhe da célula eletroquímica durante o ensaio e em (2) é apresentada a montagem experimental para realização das medidas eletroquímicas.

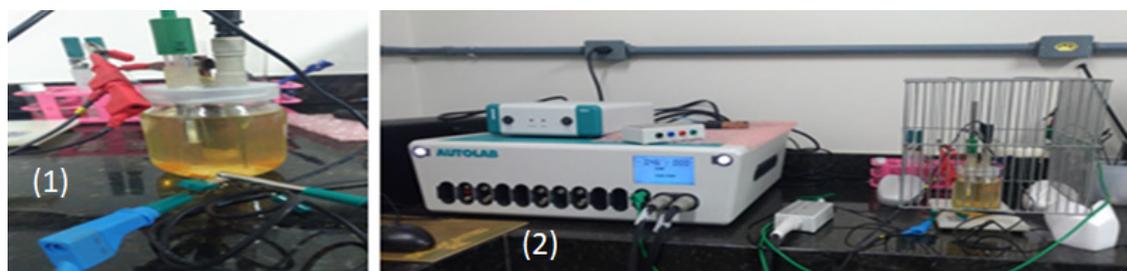


Figura 2 – (1) Célula montada; (2) Estrutura pronta para o ensaio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ensaio em Potencial de Circuito Aberto

Do ensaio em potencial de circuito aberto, foram obtidos os dados expressos na Tabela 1.

Condição	Tempo (h)							
	0	2	4	8	24	72	168	336
$E_{\text{NaCl ácido}} (V_{\text{ECS}})$	-0,33	-0,40	-0,46	-0,50	-0,52	-0,55	-0,60	-0,62
$E_{\text{NaCl básico}} (V_{\text{ECS}})$	-0,35	-0,38	-0,40	-0,42	-0,42	-0,43	-0,44	-0,44
$E_{\text{NaCl neutro}} (V_{\text{ECS}})$	-0,30	-0,42	-0,45	-0,56	-0,62	-0,68	-0,70	-0,73
$E_{\text{bicarbonato}} (V_{\text{ECS}})$	-0,10	-0,11	-0,12	-0,13	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15

Tabela 1 – Levantamento dos potenciais de circuito aberto.

Conforme pode ser observado na Tabela 1, o valor do potencial de equilíbrio para o eletrodo de cobre em relação ao eletrodo de calomelano saturado, em solução aquosa de Cloreto de Sódio em: pH ácido, pH básico, pH neutro e em solução de Bicarbonato de sódio, foi respectivamente de  $-0,62V_{\text{ECS}}$ ,  $-0,44V_{\text{ECS}}$ ,  $-0,73V_{\text{ECS}}$  e  $-0,15V_{\text{ECS}}$ . A maior agressividade do meio é atribuída a potenciais mais negativos, sendo o meio contendo NaCl em condição neutra, o mais agressivo, partindo dessa análise.

## Ensaio de Curvas de Polarização

A Figura 3 mostra as curvas de polarização obtidas para as superfícies do eletrodo de trabalho após sua imersão em de NaCl 3,5% em meios: ácido, básico e neutro e em solução aquosa de NaHCO<sub>3</sub> (84 g/L) com pH 8,02.

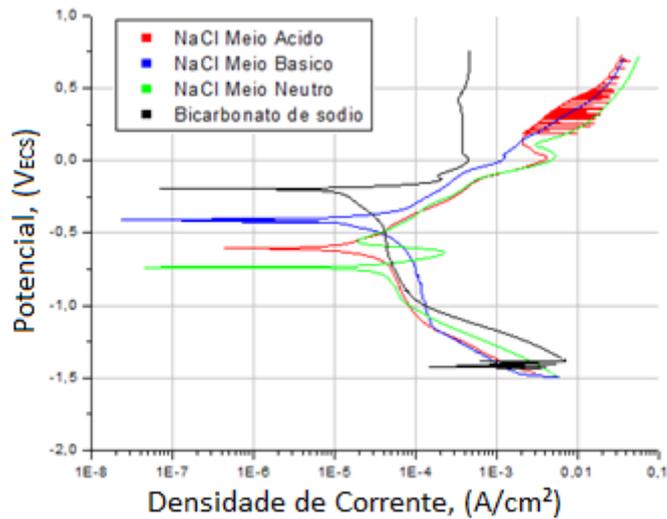


Figura 3 – Curvas de polarização das células.

Analisando a Figura 3, observa-se que a solução de bicarbonato de sódio, mostrou-se o meio menos agressivo, o que pode ser comprovado por meios dos valores de potencial de corrosão mais elevados, indicando assim, menor susceptibilidade à corrosão da haste de cobre nesse meio. O que foi anteriormente obtido no ensaio de potencial de circuito aberto (Tabela 1).

O potencial de corrosão encontrado foi em torno de  $-0,15 V_{ECS}$  e por volta de  $0 V_{ECS}$ , iniciou-se a região de passivação, que pode ser identificada com o trecho de estabilidade da densidade de corrente. O comportamento encontrado mostra a estabilidade dos óxidos formados e seu caráter protetor, tendo em vista o fato de não ter sido identificada uma região de transpassivação por meio do ensaio de polarização.

O sistema contendo NaCl acidificado revelou os menores valores de correntes catódicas e os maiores valores de correntes anódicas. O potencial de corrosão em relação ao eletrodo de referência de calomelano encontrado foi de  $-0,62 V_{ECS}$ . Apresentou uma pequena região de passivação entre  $0,2 V_{ECS}$  e  $0,25 V_{ECS}$ , significando que nessa faixa de potencial foi criado um filme óxido protetor de baixa estabilidade, que rapidamente sofreu ruptura. A perda de espessura da camada de cobre do eletrodo de trabalho foi constatada ao final do experimento.

O sistema contendo NaCl basificado não apresentou região de passivação. Isso significa que não foi criado um filme óxido protetor. Porém a densidade de corrente anódica apresentou valores menores em relação ao meio ácido e neutro. A

perda de espessura da camada de cobre do eletrodo de trabalho foi constatada ao final do experimento.

Para o eletrodo exposto à solução de NaCl neutro foi observado um potencial de corrosão em relação ao eletrodo de referência de calomelano em torno de  $-0,73 V_{ECS}$ . Aproximadamente em  $-0,25 V_{ECS}$  ocorreu um decréscimo na densidade de corrente com o aumento do potencial, dando início a uma pequena região de passivação entre  $-0,56 V_{ECS}$  e  $-0,55 V_{ECS}$ , indicando que nessa faixa foi criado um filme óxido protetor, havendo rapidamente a ruptura do filme. Logo após, iniciou-se a região transpassivação, onde a densidade de corrente voltou a aumentar com o aumento do potencial. Porém, em torno de  $-0,15 V_{ECS}$  há um novo recuo da densidade de corrente dando início a uma nova e pequena região de passivação. Posteriormente, a densidade de corrente volta a crescer com o aumento do potencial e relativamente aos outros meios com valores maiores. Isso significa que o processo de corrosão foi mais atuante nesse meio.

### Análise Microscópica da Superfície de Cobre

Na Figura 4 (1) é apresentada uma micrografia da camada de cobre sobre a haste, antes de ser exposta aos ensaios de corrosão, onde pode ser observada a espessura aproximada desse revestimento.

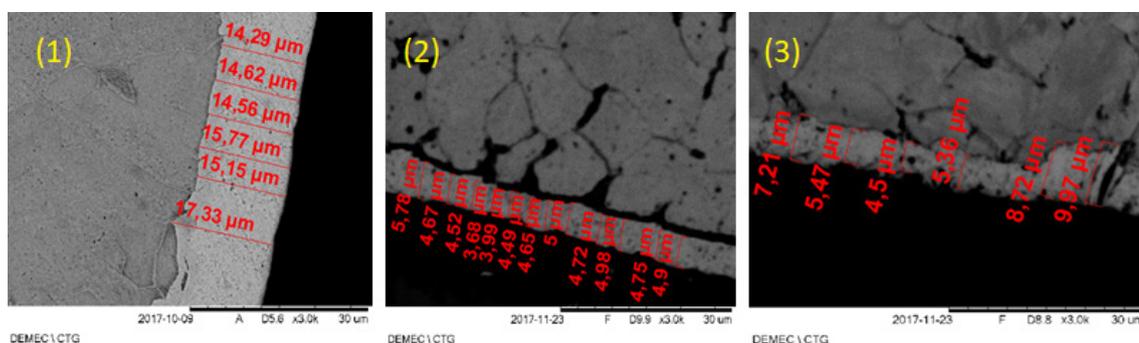


Figura 4 – Micrografia da secção transversal da haste cobreada no aumento de 3000x (1) antes da corrosão, (2) depois da corrosão em meio NaCl neutro, (3) depois da corrosão em meio de NaHCO<sub>3</sub>.

A imagem adquirida pelo MEV indica que antes da amostra ser exposta ao processo de corrosão apresentava uma média 15,29  $\mu\text{m}$  de revestimento de cobre como se ver na Figura 4 (1).

Na Figura 4 (2), onde o corpo de prova foi exposto em meio de NaCl neutro, pode ser observado que após o processo de corrosão, a camada de revestimento de cobre sofreu uma diminuição, passando a ter uma espessura de aproximadamente 4,68  $\mu\text{m}$ . Essa redução da camada de cobre diminui a condutividade do eletrodo de aterramento e consequentemente faz com que faz a resistência elétrica da haste aumente. O que é ruim para o sistema elétrico como um todo.

Para o eletrodo exposto ao eletrólito de  $\text{NaHCO}_3$ , Figura 4 (3), vê-se que a camada de cobre diminuiu menos, em relação ao meio anterior, passando a ter um valor em média de  $6,87 \mu\text{m}$ . Isso se deve à formação de um filme óxido protetor de fina camada, impedindo o avanço do processo corrosivo sobre o cobre.

### Ensaio de Impedância Eletroquímica

Com o ensaio de espectroscopia de impedância eletroquímica é possível obter-se os parâmetros elétricos da superfície do material exposto à corrosão. Com base no modelo exposto na Figura 5.

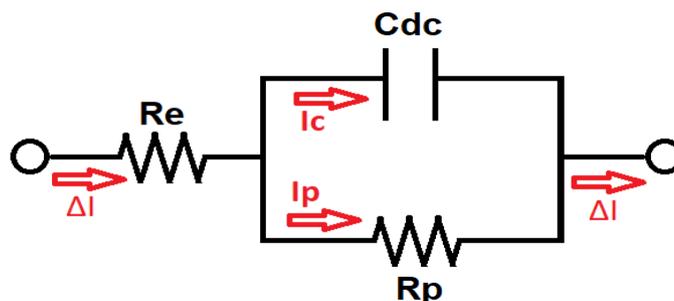


Figura 5 – Circuito elétrico equivalente da interface metal-eletrólito.

Analisando o circuito da Figura 5, vê-se que para altas frequências a impedância medida nos terminais do circuito é a ( $R_e$ ), pois como a reatância do capacitor é inversamente proporcional à frequência, nestas condições o ramo do capacitor ( $C_{dc}$ ) tem impedância tendendo à zero. Se essa impedância já é pequena, tão menor será impedância equivalente do ramo paralelo entre  $R_p$  e  $C_{dc}$ , sendo assim desprezível se comparada ao ( $R_e$ ) em altas frequências.

Do mesmo modo, ao se analisar o circuito para baixas frequências vê-se que a impedância medida nos terminais do circuito é a soma de ( $R_p$ ) e ( $R_e$ ), uma vez que em baixas frequências a reatância do ramo do capacitor ( $C_{dc}$ ) tende infinito, equivalendo por tanto a um circuito aberto nesse ramo.

Os dados coletados durante a fase exploratória dos ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica são apresentados nas Figuras 6, 7(1) e 7(2), que mostram respectivamente, o Diagrama de Nyquist, o gráfico de Bode Módulo e Bode Fase.

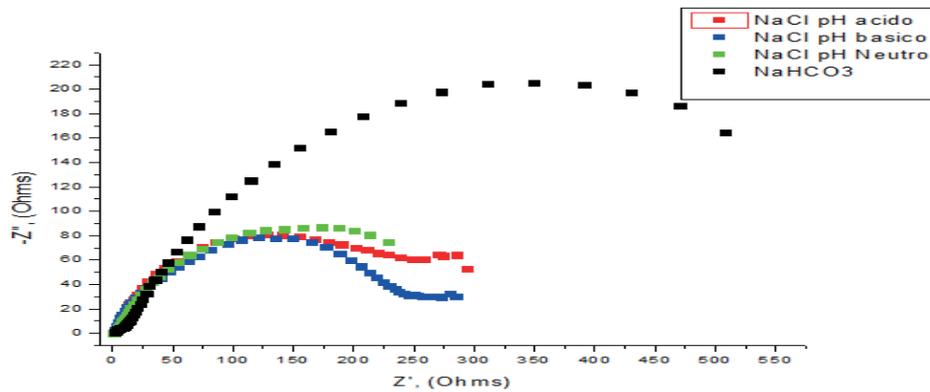


Figura 6 – Diagramas de Nyquist.

Ao analisar a Figura 6 vê-se que em todos os casos para a faixa de frequência escolhida, os valores em que o semicírculo toca novamente o eixo real não foram atingidos, sendo assim foi necessário o uso de equações de circunferência para extrapolar esse valor para todas as curvas. Na Tabela 2 são apresentados os valores obtidos por análise da Figura 6

Condição	Z' ( $\Omega$ )	-Z'' ( $\Omega$ )	$\omega_{\max}$ (Rad/s)
NaCl ácido	127,547	80,8253	2,50136068
NaCl básico	120,551	78,4275	12,53646
NaCl neutro	172,968	86,8673	0,15782667
NaHCO <sub>3</sub>	349,51	205,493	0,39643938

Tabela 2 – Impedâncias reais e imaginárias para a frequência máxima.

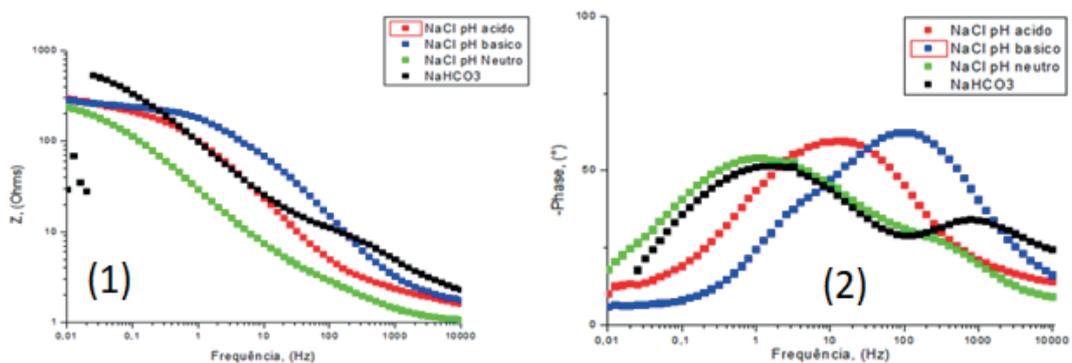


Figura 7 – (1) Diagramas de Bode Impedância (2) Diagramas de Bode Fase.

Ao se analisar as Figuras 7 (1) e 7 (2) com base no que foi dito sobre as impedâncias do circuito equivalentes em altas e baixas frequências obteve-se os resultados expressos na Tabela 3.

Condição	Re ( $\Omega$ )	Rp+Re ( $\Omega$ )	Rp ( $\Omega$ )
NaCl ácido	1,57038	208,3723	206,80192
NaCl básico	1,70943	198,9785	197,26907

NaCl neutro	1,06771	259,8353	258,76759
NaHCO <sub>3</sub>	2,09549	555,003	552,90751

Tabela 3 – Valores das resistências de eletrólito e polarização.

Ao se analisar o diagrama de Nyquist de uma célula eletroquímica vê-se algo semelhante a Figura 8:

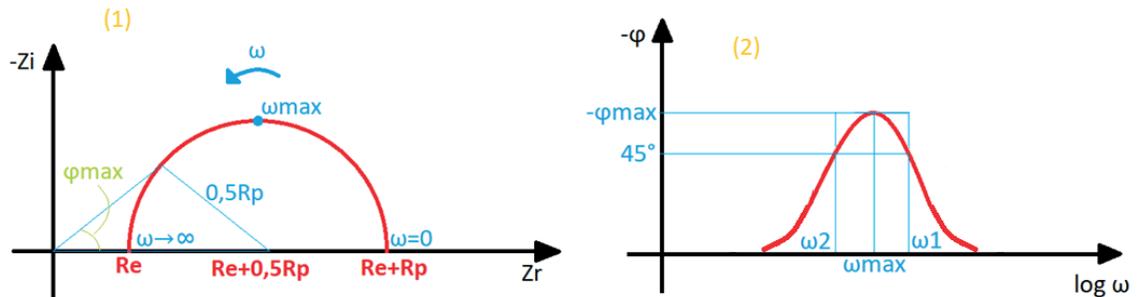


Figura 8 – (1) Curva de Nyquist (2) Curva de Bode fase.

De posse dos valores de Rp e Re, expressos na Tabela 3, e com base nos valores de ωmax obtido por análise dos gráficos das Figuras 6 e 7(2) de forma como é explicado nas Figuras 8(1) e 8(2), e com base na equação (A) que obtém-se os valores da Tabela 4:

$$\omega_{max} = \frac{1}{R_p \cdot C_{dc}} \quad (A)$$

Condição	C <sub>dc</sub> (mF)
NaCl ácido	0,193316585
NaCl básico	0,040435804
NaCl neutro	2,448554221
NaHCO <sub>3</sub>	0,456216221

Tabela 4 – Valores das capacitâncias de dupla camada.

Segundo Ponte (2003), no caso da densidade de corrente de corrosão, ela está associada à resistência de polarização por meio do coeficiente de Stern-Geary, como indicado na Equação (B):

$$i_{corr} = \frac{B \cdot 10^6}{R_p} \quad (B)$$

Com base na Equação (B), a corrente de corrosão e, portanto a velocidade do processo, é inversamente proporcional à resistência de polarização, com isso, pode ser concluído que a amostra exposta à solução de NaHCO<sub>3</sub> foi a que menos sofreu com a corrosão dado que o seu Rp foi maior em relação as outras. Esse

comportamento de resistência a polarização condiz com o que foi observado nas Figuras 4(1), 4(2) e 4(3), que mostram que o corpos de prova expostos a  $\text{NaHCO}_3$  em relação à amostra exposta ao  $\text{NaCl}$  meio neutro, apresentou menor perda da camada do cobre.

## CONCLUSÕES

A modificação do eletrodo de cobre por meio do processo de corrosão mostrou-se bastante danosa para sua aplicação em sistema de aterramento. A camada superficial de cobre ao ser atacada pelo processo de corrosão diminui a sua espessura e isso faz com que sua resistência elétrica aumente.

O filme de óxido formado na amostra exposta ao  $\text{NaHCO}_3$  mostrou-se bastante estável, criando uma barreira protetiva eficiente, com um ampla zona de passivação e ausência de região de transpassivação. Esse comportamento indica que os produtos de corrosão formados geram uma camada fina, compacta e aderente, que impediram que o processo de corrosão pudesse evoluir. Esse resultado foi confirmado por meio de uma baixa queda da espessura da camada de cobre. Os resultados de potencial de circuito aberto, polarização e EIE mostraram melhor comportamento de resistência à corrosão para as amostras expostas à solução de bicarbonato de sódio.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5410, Instalações Elétricas de Baixa Tensão. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15749, Medição de Resistência de Aterramento e de Potenciais na Superfície do Solo em Sistemas de Aterramento. 2009.

GENTIL, Vicente. *Corrosão*. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 2011.

KINDERMANN, Geraldo & CAMPAGNOLO, Jorge Mário. Aterramento Elétrico. Porto Alegre: 3ª Edição, Sagra DC Luzzato, 1995.

NASCIMENTO, Cleberson Lopes do. Diagnóstico de Corrosividade em eletrodo de aterramento elétrico cobreado.

PONTE, Haroldo A. Fundamentos da Corrosão. Curitiba: Apostila de Eletroquímica Aplicada e Corrosão, UFPR, 2003.

WOLYNEC, Stephan. Técnicas Eletroquímicas em Corrosão. São Paulo, Edusp, 2003.

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

Data de aceite: 18/11/2019

### **Perla Alves de Oliveira**

UEA – Departamento de Ciências e Engenharia dos Materiais – Manaus – AM.

### **Thiago Monteiro Maquiné**

UEA – Departamento de Ciências e Engenharia dos Materiais – Manaus – AM.

### **Marcia Cristina Gomes de Araújo Lima**

UEA – Departamento de Ciências e Engenharia dos Materiais – Manaus – AM.

### **José Costa de Macêdo Neto**

UEA – Departamento de Ciências e Engenharia dos Materiais – Manaus – AM.

### **Suelem de Jesus Pessoa**

UEA – Departamento de Ciências e Engenharia dos Materiais – Manaus – AM.

### **Efraim Ribas Linhares Bruno**

UEA – Departamento de Ciências e Engenharia dos Materiais – Manaus – AM.

### **Anne Gabrielle Mendes Xavier**

UEA – Departamento de Ciências e Engenharia dos Materiais – Manaus – AM.

### **Josiel Bruno de Oliveira**

UEA – Departamento de Ciências e Engenharia dos Materiais – Manaus – AM.

**RESUMO:** O processo MAG é um dos processos de soldagem mais utilizados na indústria atualmente. Devido a sua importância na fabricação, caracteriza-se a necessidade

de se garantir uma boa qualidade dos cordões de solda, como navios, pontes, máquinas de construção e motocicletas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da alteração nos parâmetros de tensão, corrente elétrica e gases na microestrutura e microdureza do aço SAE 1035. O processo de soldagem aplicado foi o modo MILF STELL-MAG na posição 4G. A preparação metalográfica foi realizada seguindo a norma ASTM E3. As observações das microestruturais das juntas soldada foram realizadas em um microscópio óptico (THS-200 Olympus) e para análise de microdureza utilizou-se um microdurômetro (HM-100 Mitutoyo) com a carga 1,0 kgf com a norma ASTM E384 – 11 ambos realizados no laboratório da UEA. Para amostra 1 utilizou-se 170 ± 30A e 100% CO<sub>2</sub>, para amostra 2 utilizou-se 175 ± 30A e 100% CO<sub>2</sub>, para amostra 3 utilizou-se 180 ± 30A e 100% CO<sub>2</sub>, para amostra 4 utilizou-se 190 ± 30A e 100%CO<sub>2</sub> e para amostra 5 utilizou-se 230 ±30A e 100% Ar. Pela análise de microdureza observou-se que há um aumento na ZTA com o aumento da corrente utilizando o gás CO<sub>2</sub>. A soldagem utilizando o gás Argônio observou-se uma redução na microdureza da ZTA. Observa-se que houve um aumento da colônia de perlita do metal de base próximo a ZTA com o aumento da corrente elétrica. Houve um aumento da ZTA com o aumento da corrente elétrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aço SAE 1035. Processo

## INFLUENCE OF VARIATION OF PROTECTION GASES AND WELDING PARAMETERS IN MICRO-STRUCTURE AND MICRODURE OF STEEL SAE 1035 SOLDIER BY MAG PROCESS

**ABSTRACT:** The MAG process is one of the most widely used welding processes in the industry today. Due to their importance in manufacturing, the need to ensure a good quality of weld beads, such as ships, bridges, construction machines and motorcycles, is characterized. The objective of this work was to evaluate the effect of the change in stress, electric current and gas parameters on microstructure and microhardness of SAE 1035 steel. The welding process applied was the MILF STELL-MAG mode at 4G position. The metallographic preparation was performed following the ASTM E3 standard. The microstructural observations of the welded joints were performed under an optical microscope (THS - 200 Olympus) and for micro hardness analysis a microhardness meter (HM-100 Mitutoyo) with the load 1.0 kgf with ASTM E384 - 11 both. carried out in the UEA laboratory. For sample 1 we used  $170 \pm 30A$  and 100% CO<sub>2</sub>, for sample 2 we used  $175 \pm 30A$  and 100% CO<sub>2</sub>, for sample 3 we used  $180 \pm 30A$  and 100% CO<sub>2</sub> for sample 4 we used  $190 \pm 30A$  and 100% CO<sub>2</sub> and for sample 5  $230 \pm 30A$  and 100% Argon were used. Microhardness analysis showed an increase in ZTA with increasing current using CO<sub>2</sub> gas. Welding using Argon gas showed a reduction in micro hardness of ZTA. It is observed that there was an increase of the base metal perlite colony close to ZTA with the increase of the electric current. There was an increase in ZTA with the increase of electric current.

**KEYWORDS:** SAE 1035 Steel. Welding Process. Microstructure. Microhardness. Gas protection.

### 1 | INTRODUÇÃO

Devido a grande aplicação do aço SAE 1035, cada vez mais se fazem necessário conhecer melhor o comportamento mecânico da solda nesse tipo de material e em especial as microestruturas formadas em diferentes processos de soldagem, já que o tipo de processo de soldagem tem efeito significativo na microestrutura. A solda altera as características criando regiões com variadas microestruturas que alteram o comportamento mecânico do material, portanto, deve ser dada atenção redobrada para estas regiões, uma vez que se sabe que as microestruturas com as características adequadas, nestas regiões, garantem a resistência do produto final, além de garantir o pleno funcionamento mecânico do mesmo dentro de um determinado período de tempo estipulado pelo fabricante sem que ocasione algum tipo de ruptura ou deformação. A escolha do processo de soldagem envolve basicamente quatro fatores: projeto da junta, espessura do material, natureza do

material a ser soldado, custo de fabricação (MODENESI, 2017).

Os materiais de base (MB), quando submetidos ao processo de soldagem a arco, dão origem às juntas soldadas. A junta soldada é composta de regiões distintas, conhecidas como zona de fusão (ZF), zona afetada pelo calor (ZAC) e a zona de ligação (ZL), que é a interface entre a ZF e a ZAC (BARROS, 2002).

O gás de proteção utilizado no processo MIG/MAG afeta não somente as propriedades da solda, mas determina o formato do cordão de solda. Dependendo do tipo de transferência metálica, o gás de proteção interage com maior ou menor intensidade com o arame eletrodo, podendo alterar as propriedades mecânicas e principalmente a qualidade do cordão solda. O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é o mais barato entre os tipos de gases de proteção de solda e mais utilizado na soldagem MIG/MAG em aço com transferência por curto-circuito. O  $\text{CO}_2$  se dissocia no arco para formar CO e O e o efeito global é o de gerar uma proteção oxidante. Exibe características de gás inerte em temperatura ambiente, não reagindo com outros elementos, mas é um gás ativo nas temperaturas de soldagem (CANTO, 1991).

De acordo com (COUTO, 2000), o argônio (Ar) é um gás inerte com baixo potencial de ionização, baixo potencial de oxidação e baixa condutividade térmica, a alta densidade do argônio em comparação com os outros gases (1,38 em relação ao ar) promove uma maior eficiência de proteção, porque o argônio facilmente substitui o ar em torno da solda. Por ser um gás inerte a proteção à base de argônio promove retenção de elementos de liga no cordão de solda, deixando o cordão de solda livre de inclusões, melhorando as propriedades mecânicas. Além disso, facilita a abertura do arco, melhora a estabilidade em baixas correntes, além de permitir transferência "spray".

A qualidade do cordão de solda conseguido pelos processos MIG/MAG é influenciada por alguns parâmetros, tais como intensidade de corrente, tensão e comprimento do arco, velocidade de soldagem, "stick-out", gases de proteção, diâmetro do eletrodo e posição da tocha, seus tipos e vazão (BRACARENSE, 2005).

Durante o processo de soldagem, os materiais envolvidos podem sofrer várias alterações em suas microestruturas e propriedades mecânicas, que influenciam em muito o desempenho e comportamento da peça ou equipamento. Desta forma, este trabalho teve como objetivo realizar um estudo da microestrutura e da microdureza, analisando o metal base, zona afetada pelo calor e zona de fundida do aço SAE 1035 submetido a diferentes parâmetros de soldagem MAG e variações dos gases de proteção  $\text{CO}_2$  e Ar.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

O metal base SAE 1035 tem a característica de um aço médio teor de carbono com aplicações variadas como eixos, pinos, alavancas e molas de baixa solitação, indicado para forjamento com boa resposta para têmpera. Tratamento adotado foi a austenitização a 900°C, têmpera com água com forte agitação.

### 2.2 Composição Química e Propriedades Mecânicas

Chapa SAE 1035 com garantia de composição química e propriedades mecânicas conforme a tabela 1, classificada pela Norma da SAE 1035 (*Society of Automotive Engineers* - EUA).

ELEMENTO	COMPOSIÇÃO	PROPRIEDADES	RESULTADOS
<b>Carbono (C)</b>	0,31 a 0,38	<b>Densidade</b>	7,87 g/cm <sup>3</sup>
<b>Manganês (Mn)</b>	0,60 a 0,90	<b>Limite de escoam.</b>	550 Mpa
<b>Silício (Si)</b>	0,50 máx.	<b>Resistencia Tração</b>	620 Mpa
<b>Fósforo (P)</b>	0,04 máx.	<b>Alongamento</b>	24% mínimo
<b>Enxofre (S)</b>	0,05 máx.	<b>Dureza Brinell</b>	179
<b>Ferro (Fe)</b>	O que sobra	<b>Elasticidade</b>	190 GPa

Tabela 1. Composição Química e Propriedades Mecânicas

Fonte: Fabricante AÇOVISA

O metal de adição usado foi o BME-04 AWS A5. 18 ER70S – 6, na tabela 2 mostra a composição química do arame em porcentagem (%).

Composição Química do Arame %	
<b>Carbono (C)</b>	0,06 a 0,15
<b>Manganês (Mn)</b>	1,4 a 1,85
<b>Silício (Si)</b>	0,8 a 1,15
<b>Fósforo (P)</b>	0,025 máx
<b>Enxofre (S)</b>	0,0035 máx
<b>Cobre (Cu)</b>	0,5 máx

Tabela 2. Composição Química do Arame BME-04 AWS A5. 18 ER70S-6

Fonte: Fabricante Belgo Bekaert Arames

### 2.3 Parâmetros de soldagem e gases de proteções

O processo de soldagem aplicado nas amostras foi o modo MILF STELL-MAG numa aplicação real na indústria do polo de Manaus, na tabela 3 estão dispostos os

parâmetros de soldagem e gases proteção aplicada em cada amostra.

Amostra	Gás	Amperagem	Voltagem	Stick- out	Vazão	Posição	Ângulo
Peça 1	100% CO <sub>2</sub>	170 ± 30A	23 ± 3V	15 ± 3mm	17 ± 3L/min	4G	18°
Peça 2	100% CO <sub>2</sub>	175 ± 30A	23 ± 3V	15 ± 3mm	17 ± 3L/min	4G	18°
Peça 3	100% CO <sub>2</sub>	180 ± 30A	24 ± 3V	15 ± 3mm	17 ± 3L/min	4G	18°
Peça 4	100% CO <sub>2</sub>	190 ± 30A	24 ± 3V	15 ± 3mm	17 ± 3L/min	4G	18°
Peça 5	100% Ar	230 ± 30A	24 ± 3V	15 ± 3mm	17 ± 3L/min	4G	18°

Tabela 3. Parâmetros de soldagem aplicada nas amostras

Fonte: Autores

## 2.4 Preparação do corpo de prova para as análises metalográfica

A preparação metalográfica foi realizada, seguindo a norma ASTM E3, as amostras foram seccionadas no aço SAE 1035 trefilado a frio, numa cortadora metalográfica de marca Arotec, com disco abrasivo. Após esta etapa, as amostras foram embutidas, adotou-se resina fenólica em pó (Arotec) e a embutidora metalográfica (Arotec, PRE 30 Mi), esta etapa teve como finalidade facilitar o manuseio das amostras durante a preparação e ainda a função de preservar as bordas das amostras, ajudando a evitar o abaulamento. Em seguida, as amostras foram submetidas ao processo de desbaste, neste processo utilizamos uma lixadeira metalográfica (Prazis, Modelo ALM4) e lixas de carbeto de silício com diferentes granulações 120 a 1200 *mesh*. Para o polimento os corpos de prova foram submetidos ao uso de pasta abrasiva de 0,3  $\mu\text{m}$  e 0,05  $\mu\text{m}$ , e posteriormente ao ataque químico por imersão com Nital 3% por 5 segundos.

As observações das microestruturas de cada região da junta soldada foram realizadas em um microscópio óptico (THS – 200 Olympus), no Laboratório de Engenharia de Ciências e Materiais da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), sendo elas: metal de base; zona termicamente afetada e zona fundida. Para análise de microdureza utilizou-se um microdurômetro (HM-100 Mitutoyo) com a carga 1,0 kgf. O ensaio seguiu a norma ASTM E384 - 11. Adotando-se os corpos de prova usados na metalografia.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 1 expõe a região que foram feitas as medidas de dureza na secção transversal da junta soldada, e em todas as amostras foi possível observado o mesmo aspecto que a ZTA contornou o metal de solda, dando assim um aspecto mais grosseiro nas suas estruturas e na figura 2 são observados o comportamento das curvas de dureza x profundidade comparativa entre juntas soldadas com CO<sub>2</sub>

e Argônio das amostras realizadas. Pelos valores de dureza figura 2 na faixa de 0,30 mm de distância da ZTA, logo após a zona de ligação para juntas soldadas com  $\text{CO}_2$ , foram obtidas durezas entre 400 a 520 HmV (40 a 52HRC), e as amostra que apresentaram similaridades nos seus valores foram as peças 1 e 3. Já em um intervalo maior, como o 0,50mm e 0,70 mm, a junta solda com Argônio, alcançamos valores de dureza compreendendo de 270 a 290 HmV (27 a 29 HRC). Pois, a adição do  $\text{CO}_2$  como gás de proteção não altera a taxa de deposição e geometria do cordão de solda, e ainda elevando a taxa de diluição e valores de dureza do metal de solda, devido o mesmo ter um alto poder oxidante e alta condutividade térmica, possibilitando assim um resfriamento mais lento do material, quando comparado com o argônio, estas observações estão em concordância com os obtidos por (MOREIRA, 2008).

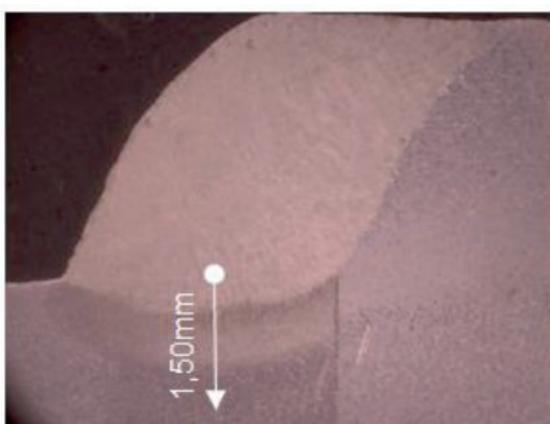


Figura 1. Região de medida da dureza da junta soldada (Autores, 2018).

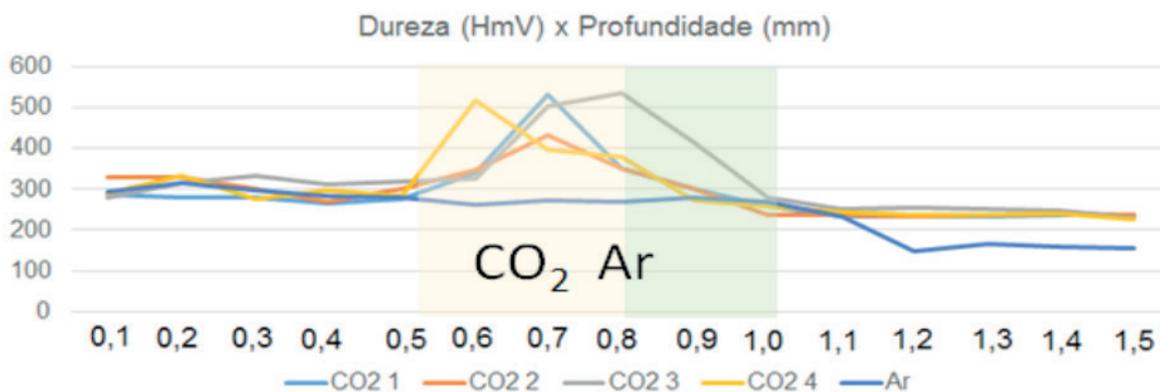


Figura 2. Curvas de dureza x profundidade comparativa entre juntas soldadas com  $\text{CO}_2$  e Argônio (Autores, 2018).

Nas análises metalográficas da junta soldada utilizando o gás argônio na figura 3 mostra secção da junta solda com Argônio e as figuras 4 e 5 são as microestruturas das regiões de ligação e recristalização respectivamente, observamos uma maior extensão da ZTA, este comportamento se deve ao fato de o gás de proteção ter como características o baixo potencial de ionização, oxidação e condutividade de térmica,

e ainda tais aspectos do argônio alteram a sua microestrutura, e neste trabalho foi encontrada a bainita e perlita, e estas refletem no comportamento de microdureza, pois o gás de proteção, também influencia na formação geométrica do cordão de solda, estas características também foram relatadas por (FIGUERÔA, 2016). Outra observação que é pertinente é a amperagem empregada, na amostra 5, pois esta é entorno de 50 a 90 A maior, usando a margem de erro de  $\pm 30$  A empregada no trabalho, pois este fator influencia diretamente nas propriedades mecânicas.



Figura 3. Secção da junta solda com Argônio (Autores, 2018).



Figura 4. Microestrutura da região de ligação solda com Argônio (Autores, 2018).



Figura 5. Microestrutura da região de recristalização solda com Argônio (Autores, 2018).

Na figura 6 mostra secção da junta solda com  $\text{CO}_2$ . Já nas figuras 7 e 8

mostram microestrutura das regiões de ligação e recristalização respectivamente, que pelas observações constatamos que não alterações significativas na ZTA, quando comparado com a amostra feita pelo gás de proteção de argônio, por ferritas e martensita, estas microestruturas influenciam diretamente nas propriedades mecânicas, originando o tamanho de grãos menores, refletindo assim na microdureza. Na faixa estudada por este trabalho, os menores valores de amperagens soldados usando o CO<sub>2</sub> como gás de proteção resultaram em soldas com microestruturas mais refinadas, podendo ser provenientes de maiores taxas de resfriamento, o que foi associado à maior condutividade térmica do CO<sub>2</sub> em relação ao Ar, pois a faixa de amperagem altera de forma significativa a taxa de deposição, geometria de solda e fração volumétrica da microestrutura, e tais observações resultaram em valores de microdurezas próximos entre uma amostra e outra.

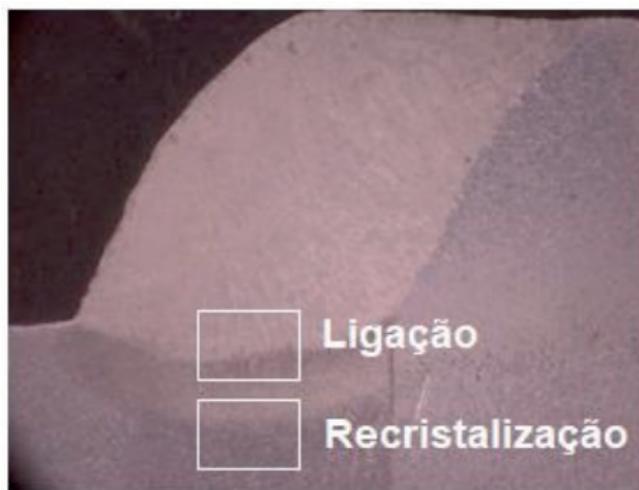


Figura 6. Secção da junta solda com CO<sub>2</sub> (Autores, 2018).



Figura 7. Microestrutura da região de ligação solda com CO<sub>2</sub> (Autores, 2018).

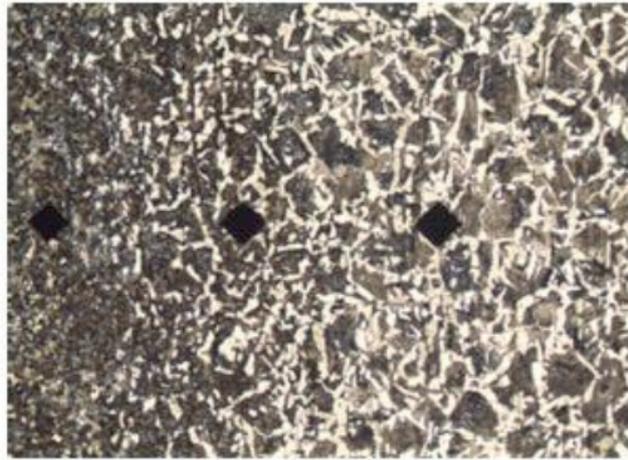


Figura 8. Microestrutura da região de recristalização solda com CO<sub>2</sub> (Autores, 2018).

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observamos que os gases de proteção adotados alteram de formas significativas as propriedades das peças, pois a diferença em torno de aproximadamente 130 HmV o que pode render 23 HRC, entre as amostras aferidas, irão ditar se é viável ou não processar a solda usando CO<sub>2</sub> ou Ar, com determinadas condições, levando em conta a vazão e a amperagem da soldagem, constatamos ainda que o dióxido de carbono não alterou a taxa de deposição da solda, geometria do cordão de solda, a fração volumétrica das microestrutura e ainda elevou a os valores de durezas do material, enquanto, o argônio provou que não é um bom gás de proteção no processo de soldagem, já que as suas características físico-químicas são bem diferentes que o CO<sub>2</sub>, tais aspectos influenciaram de forma substancial da dureza obtida do material e que ainda se refletiu na alteração da zona do cordão de solda.

#### REFERÊNCIAS

- BARROS, P. M. **Metalurgia da Soldagem I**. São Paulo: Faculdade de Tecnologia de São Paulo, Fatec/UNESP, 2002.
- BRACARENSE, A., Pereira U. **A soldagem GMAW**. Revista da Soldagem, nº 05, p. 01-12, 2005.
- CANTO, M. A. A. **Influência dos gases de proteção empregados no processo MIG/MAG sobre as propriedades mecânicas do metal de solda**. Dissertação UFRGS, p. 02-06, 1991.
- COUTO, J. G. V., Pessoa A. A. **Processo CO<sub>2</sub>, em solda versus misturas de argônio e dióxido de carbono**. Separada da Revista Engenharia Industrial, p. 01-08, 2000.
- FIGUERÔA, D.W. **Estudo da Influência do Teor de CO<sub>2</sub> em Misturas de Ar + CO<sub>2</sub> e do Metal de Adição na Soldagem Híbrida Laser – Gmaw Maw em Aço Estrutural**. 22º CBECÍMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais; 2016.
- MODENESI, P. J., Marques Paulo Villani, Bracarense Alexandre Queiroz. **Soldagem: fundamentos e tecnologias**. Belo Horizonte: Ed. UFMG; 2017.

MOREIRA A. F. **M838i Influência da atmosfera protetora no cordão de solda obtido através dos processos de soldagem GMAW e FCAW.** Ilha Solteira; 2008; p. 146.

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

Data de aceite: 18/11/2019

**Alequexandre Galvez de Andrade**  
**Nélio Fernando dos Reis**  
**Jair Minoro Abe**

**RESUMO:** A logística reversa realizada por meio das cooperativas são alternativas à economia solidária baseada na participação dos associados, democracia, livre adesão e não lucratividade. Este estudo objetiva identificar e determinar os parâmetros do triple bottom line em cooperativas de reciclagem de resíduos sólidos urbanos. Para identificar os parâmetros foram realizadas duas rodadas Delphi com três especialistas em responsabilidade ambiental e social com conhecimento e experiência neste segmento na região de Jundiaí, estado de São Paulo, Brasil. Após isto, a fim de determinar os parâmetros foi aplicada a lógica Et. Os resultados indicam que o cooperativismo melhora o acesso ao crédito, habitação, redução da emissão de gases, sustentabilidade familiar e educação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Triple Bottom Line; Economia Solidária; Cooperativas

**ABSTRACT:** The reverse logistics is carried out by means of co-operatives are alternatives to the solidary economy based on the participation of associates, democracy, free membership

and not profitability. The aim of this study was to identify and determine the parameters of the triple bottom line in recycling cooperatives of solid urban waste. To identify the parameters were performed two Delphi rounds with three experts in social and environmental responsibility with knowledge and experience in this segment in the region of Jundiaí, state of São Paulo, Brazil. After this in order to determine the parameters was applied the logic Et. The results indicate that the cooperatives improve access to credit, housing, reduction of the emission of gases, sustainability and family education.

**KEYWORDS:** Triple Bottom Line; Solidarity Economics; Cooperatives

### 1 | INTRODUÇÃO

O *triple bottom line* da sustentabilidade é formado pelas dimensões econômica, social e ambiental. Sobre o ponto de vista da hierarquia da sustentabilidade a econômica é a base da pirâmide, seguida da responsabilidade legal, responsabilidade ética e responsabilidade filantrópica (Carroll, 1979).

A logística reversa é fundamental para a sustentabilidade empresarial e social. No caso da coleta de resíduos sólidos, a responsabilidade é compartilhada, desde

fabricantes ao cidadão e ocorre por meio da coleta seletiva, dos sistemas de logística reversa e outras formas que permitam a integração (Brasil, 2010), como é o caso das cooperativas de reciclagem que integram os consumidores finais as empresas.

As cooperativas por sua característica de adesão livre, gestão democrática, participação econômica, autonomia e Independência, educação, formação e informação, Inter cooperação e preocupação com a comunidade baseado nos valores de autoajuda, solidariedade, não lucratividade, esforço voluntário e educação, surgem como alternativas de uma nova economia baseada na solidariedade. Esta economia da solidariedade formada por empresas ou cooperativas surgem como alternativa a pobreza por falta de oportunidade e que sobrevivem muitas vezes de transferências públicas como previdência e auxílios e normalmente estas pessoas são alocados a trabalhos que exigem baixa qualificação (Singer, 2011).

No Brasil há 398 mil catadores, sendo 20% de analfabetos, 54% são chefes de domicílio com uma renda de R\$561 reais por mês (U\$\$ 143) (Dagnino, Ricardo De Sampaio Johansen, 2016). O trabalho destas pessoas em cooperativas permite uma melhor condição de saúde, inclusão social e valorização social (Magni and Günther, 2014).

Para (Carroll, 1979) os principais problemas ao se implantar iniciativas de sustentabilidade são os altos custos de produtos sustentáveis, economia de escala e necessidade de maior investimento. Sob este aspecto as cooperativas são excelentes alternativas para as empresas, pois não há contratação de mão de obra e aumento de custos. Este estudo teve como objetivo identificar e determinar os parâmetros das dimensões do triple bottom Line em cooperativas de reciclagem de resíduos urbanos, por meio da lógica paraconsistente anotada. Os resultados indicam que há melhoria em relação ao acesso ao crédito, redução da emissão de gases, melhoria na educação dos cooperados, solidariedade e melhoria no orçamento público.

## 2 | OBJETIVOS

Os objetivos se dividem em geral e específicos. O objetivo geral foi identificar e determinar os parâmetros das dimensões do triple bottom line em cooperativas de reciclagem de resíduos urbanos. A partir deste objetivo se defluem três objetivos específicos, identificar os parâmetros apontados por especialistas, relacionar os parâmetros com as dimensões sociais, ambientais e econômicas e determinar os parâmetros aplicados as cooperativas no cenário atual.

## 3 | METODOLOGIA

Para atender o objetivo proposto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica,

por meio da consulta as plataformas spell, Scielo e Science Direct com o construto "cooperativas de reciclagem", para levantar as principais referências sobre o assunto

Após isso foram identificados os conhecimentos e a experiência dos especialistas em relação às cooperativas de reciclagem de resíduos urbanos na região de Jundiaí, estado de São Paulo - Brasil, por meio do currículo, focando na produção acadêmica. A opção por esta região é devido a sua diversidade de geração de valor agregado, sendo especializada em indústria, comércio e serviços. O PIB da região foi de 53,6 bilhões de reais em 2016 (Seade, 2019). A partir do objetivo deste estudo, que foi identificar e determinar os parâmetros do Triple bottom line nas cooperativas de reciclagem, se defluem três objetivos específicos, sendo:

O primeiro objetivo está relacionado ao conhecimento por meio do verbo identificar (Ferraz and Belhot, 2010), para atingir este objetivo foram conduzidas duas rodadas Delphi para buscar identificar temas relevantes para cenários atuais e prospectivos. A primeira rodada coletou dados individuais, sem que um conhecesse os dados do outro e a segunda rodada foi realizada com todos os especialistas. Este método promove o debate entre os especialistas que emitem pareceres e juízos sobre o tema, também pode ser utilizado em cenários que demandam interdisciplinaridade (Rozados, 2015). Neste estudo a interdisciplinaridade é importante, pois em um processo decisório deve-se levar em consideração o conhecimento complexo. Embora sejam elementos diferentes entre si, não é possível separar a parte do todo, “a complexidade é a união entre a unidade e a multiplicidade” e cada vez mais possui este caráter multidimensional, ou seja, da união de várias habilidades (Morin, 2000, p.38).

O segundo objetivo foi relacionar os parâmetros nas classes do triple bottom line, os especialistas classificaram todos os parâmetros em três classes, social, ambiental e econômica.

No terceiro objetivo o verbo determinar significa aplicação (Ferraz and Belhot, 2010), para determinar os parâmetros do triple bottom line que estão sendo aplicados nas cooperativas, foi utilizada a lógica paraconsistente anotada que envolve muitos aspectos da lógica fuzzy. Isto pode ser visto sob vários ângulos (Abe, Jair Minoru;Costa, 1992). Na lógica Et associa-se a cada proposição  $p$ , no sentido comum, uma constante de anotação constituída de um par  $(\mu;\lambda)$ , representando da seguinte forma:  $p(\mu;\lambda)$ ,  $\mu$  e  $\lambda$  variam no intervalo fechado real  $[0,1]$ . Portanto, o par  $(\mu;\lambda)$  pertence ao produto cartesiano  $[0,1] \times [0,1]$ . Intuitivamente,  $\mu$  representa o grau de evidência favorável expresso em  $p$ , e  $\lambda$ , o grau de evidência contrária expresso em  $p$ .

O operador MÁX do reticulado  $[0,1] \times [0,1]$ , associado a Lógica Et, é para ser aplicado a um grupo de  $n$  anotações ( $n \geq 1$ ). Ele atua de modo a maximizar o grau de certeza ( $G_{cert} = \mu - \lambda$ ) desse grupo de anotações, selecionando a melhor evidência

favorável (maior valor de  $\mu$ ) e a pior evidência contrária (menor valor de  $\lambda$ ), não sendo aplicado em situações em que os dois ou mais itens considerados não são todos determinantes, bastando que um deles tenha condição favorável para se considerar satisfatório (Fábio Romeu de Carvalho; Jair Minoro Abe, 2011). Ele é definido da seguinte forma:  $MÁX \{(\mu_1;\lambda_1), (\mu_2;\lambda_2), \dots, (\mu_n;\lambda_n)\} = (\text{máx}\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\} ; \text{mín}\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\})$ .

O operador MÍN do reticulado  $[0,1] \times [0,1]$ , associado a Lógica Et, é para ser aplicado a um grupo de  $n$  anotações ( $n \geq 1$ ). Ele atua de modo a minimizar o grau de certeza ( $G_{cert} = \mu - \lambda$ ) desse grupo de anotações, selecionando a pior evidência favorável (menor valor de  $\mu$ ) e a melhor evidência contrária (maior valor de  $\lambda$ ), sendo aplicado em situações em que os dois ou mais itens considerados são todos determinantes, sendo indispensável que todos apresentem condições favoráveis para se considerar o resultado de análise satisfatório (Fábio Romeu de Carvalho; Jair Minoro Abe, 2011). Ele é definido da seguinte forma:  $MIN \{(\mu_1;\lambda_1), (\mu_2;\lambda_2), \dots, (\mu_n;\lambda_n)\} = (\text{mín}\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\} ; \text{máx}\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\})$ .

No resultado, após aplicação das regras de maximização e de minimização, adota-se como limites de verdade e de falsidade como nível de exigência. Desta forma, tem-se evidência favorável ou contrária a viabilidade, se houver um grau de certeza em módulo igual ou maior que 0,6. De forma resumida:  $G_{cert} \geq 0,6 \rightarrow$  Verdade (V);  $G_{cert} \leq -0,6 \rightarrow$  Falsidade (F);  $-0,6 < G_{cert} < 0,6 \rightarrow$  Confuso (T), ou seja, DÚVIDA, devendo haver aprofundamento das informações.

A coleta foi realizada *in loco* com 3 especialistas entre os dias 01 e 15 de março de 2019, sendo dois doutores em administração com pesquisa em responsabilidade ambiental e social, denominados de A e B, e um especialista com doutorado em Engenharia de produção com foco na área de logística reversa, denominado C. Ambos conhecem cooperativas de reciclagem de resíduos urbanos na região de Jundiaí, estado de São Paulo, Brasil.

## 4 | RESULTADOS

A desigualdade na distribuição de renda provoca exclusões sociais de grande parte da população, promovendo a pobreza, falta de saneamento básico, acesso à educação. Nem sempre os estados são capazes de suprir estas necessidades, devido às diversas funções existentes ou por falta de políticas públicas direcionadas a população mais carente. As cooperativas de reciclagem possuem um importante papel neste canal, melhorando os aspectos ambientais e sociais (Santos, 2012).

Para identificar as proposições, realizou-se a primeira rodada Delphi para identificar as proposições, ocorreu *in loco* individualmente com cada especialista, sem que conhecessem os dados apontados pelos demais. A tabela 1, apresenta a primeira rodada Delphi.

Variável	Proposição	Esp. 1	Esp. 2	Esp. 3
<b>Social (S)</b>				
	Melhores condições de Saúde	SIM	SIM	SIM
	Melhoria na alimentação	SIM	N/A	N/A
	Melhoria na educação	SIM	SIM	SIM
	Sustentabilidade Familiar	N/A	SIM	SIM
	Melhoria na habitação	N/A	N/A	SIM
	Reconhecimento Social	SIM	N/A	SIM
	Aceitação na sociedade	N/A	SIM	SIM
	Autoestima	SIM	SIM	N/A
	Solidariedade	SIM	SIM	SIM
	Dignidade	SIM	SIM	SIM
	Redução da desigualdade social	SIM	N/A	N/A
<b>Econômica (E)</b>				
	Geração de Renda	SIM	SIM	SIM
	Redução da desigualdade social	SIM	SIM	SIM
	Acesso ao crédito	SIM	SIM	SIM
	Redução de custos empresariais	SIM	SIM	SIM
	Melhora no orçamento público	SIM	SIM	SIM
<b>Ambiental (A)</b>				
	Redução da emissão de gases	SIM	SIM	SIM
	Redução da utilização de recursos naturais	SIM	SIM	SIM
	Preservação do meio ambiente	SIM	SIM	SIM
	Redução da utilização de água	SIM	SIM	SIM
	Redução de energia elétrica	SIM	SIM	SIM

Tabela 1: Fatores definidos pelos especialistas na primeira rodada Delphi

Fonte: Os autores

Na primeira etapa, a variável que apresentou maior discordância foi em relação aos aspectos sociais, sendo melhoria na alimentação, melhoria na habitação e redução da desigualdade social, foram apontados apenas por um especialista. No que diz respeito a sustentabilidade familiar, reconhecimento social, aceitação na sociedade e autoestima, foram apontados por dois especialistas.

Para a segunda rodada, os dados foram consolidados conforme a tabela 1 e aplicados in loco com os especialistas, que após as discussões identificaram os parâmetros relacionando o triple bottom line nas cooperativas. A Tabela 2, apresenta os fatores que foram incluídos e excluídos.

Variável	Proposição	Esp. 1	Esp. 2	Esp. 3
<b>Social (S)</b>				
	Melhores condições de Saúde	SIM	SIM	SIM
	Melhoria na alimentação	SIM	SIM	SIM
	Melhoria na educação	SIM	SIM	SIM
	Sustentabilidade Familiar	SIM	SIM	SIM
	Melhoria na habitação	SIM	SIM	SIM
	Reconhecimento Social	SIM	SIM	SIM
	Aceitação na sociedade	SIM	SIM	SIM
	Autoestima	SIM	SIM	SIM
	Solidariedade	SIM	SIM	SIM
	Dignidade	SIM	SIM	SIM
	Redução da desigualdade social	NÃO	NÃO	NÃO
<b>Econômica (E)</b>				
	Geração de Renda	SIM	SIM	SIM
	Redução da desigualdade social	SIM	SIM	SIM
	Acesso ao crédito	SIM	SIM	SIM
	Redução de custos empresariais	SIM	SIM	SIM
	Melhora no orçamento público	SIM	SIM	SIM
<b>Ambiental (A)</b>				
	Redução da emissão de gases	SIM	SIM	SIM
	Redução da utilização de recursos naturais	SIM	SIM	SIM
	Preservação do meio ambiente	SIM	SIM	SIM
	Redução da utilização de água	SIM	SIM	SIM
	Redução de energia elétrica	SIM	SIM	SIM

Tabela 2: Fatores definidos pelos especialistas na segunda rodada Delphi

Fonte: Os Autores

Na Tabela 2, o fator redução da desigualdade social do ponto de vista social, que incluem acesso amplo a saúde, moradia, educação e outros, foi apontado pelos especialistas como um dos parâmetros a ser excluído da rodada.

Com base nas proposições identificadas pelos especialistas, cada especialista atribuiu uma nota de 0 a 1 para o grau de evidência favorável e de 0 a 1 para o grau de evidência contrária. Na Tabela 3 há algumas contradições entre os especialistas, por exemplo, no fator S, seção S8, tem contradição entre os dois especialistas, sendo que Espec.A apresenta  $\mu$  igual a 0,8 enquanto Espec.C apresenta  $\mu$  igual a 0,4, mas ao final é possível extrair as evidências dos especialistas sobre os fatores do cooperativismo.

Aplicando a regra de verdade e falsidade, as proposições melhores condições de saúde, autoestima, dignidade, redução da desigualdade de renda, foram consideradas inviáveis.

As proposições que geraram dúvida se referem a melhoria na alimentação, reconhecimento social, aceitação na sociedade, solidariedade, geração de renda, redução da utilização de recursos naturais, preservação do meio ambiente e redução da utilização de água.

As proposições viáveis para o cenário atual, são melhoria na educação, sustentabilidade familiar, melhoria na habitação, acesso ao crédito, redução de custos empresariais, melhoria no orçamento público, redução da emissão de gases, e redução de energia elétrica. A tabela 3, apresentam as proposições inviáveis, dúvida e viáveis.

Variável	Código	Proposição	Espec. A		Espec. B		Espec. C		Entre Grupos		Conclusões	
			m <sub>max</sub>	l <sub>min</sub>	m <sub>max</sub>	l <sub>min</sub>	m <sub>max</sub>	l <sub>min</sub>	m <sub>min</sub>	l <sub>max</sub>	G <sub>cert</sub>	Decisão
<b>Social (S)</b>												
	<b>S1</b>	Melhores condições de Saúde	0	0,8	1	0,2	0,1	0,4	0	0,8	-0,8	Inviável
	<b>S2</b>	Melhoria na alimentação	0,5	0,5	0	0,5	0,3	0,6	0	0,6	-0,6	Dúvida
	<b>S3</b>	Melhoria na educação	1	0,2	0,9	0,1	0,9	0,3	0,9	0,3	0,6	Viável
	<b>S4</b>	Sustentabilidade Familiar	1	0,3	0,9	0,3	1	0,1	0,9	0,3	0,6	Viável
	<b>S5</b>	Melhoria na habitação	0,9	0,2	1	0,1	0,8	0,2	0,8	0,2	0,6	Viável
	<b>S6</b>	Reconhecimento Social	0,7	0,8	0,7	0,1	0,4	0,2	0,4	0,8	-0,4	Dúvida
	<b>S7</b>	Aceitação na sociedade	0,2	0,8	0,7	0,5	0,2	0,1	0,2	0,8	-0,6	Dúvida
	<b>S8</b>	Autoestima	0,8	0,9	0,2	0	0,4	0,2	0,2	0,9	-0,7	Inviável
	<b>S9</b>	Solidariedade	1	0,4	0,6	0,2	0,2	0,8	0,2	0,8	-0,6	Dúvida
	<b>S10</b>	Dignidade	0,5	1	0,5	0,8	0,2	0,3	0,2	1	-0,8	Inviável
<b>Econômica (E)</b>			<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>				
	<b>E1</b>	Geração de Renda	0,4	1	0,4	0,6	0,5	0,9	0,4	1	-0,6	Dúvida
	<b>E2</b>	Redução da desigualdade de renda	0,6	0,9	1	0,5	0,1	0,2	0,1	0,9	-0,8	Inviável
	<b>E3</b>	Acesso ao crédito	1	0,3	1	0,2	0,9	0,2	0,9	0,3	0,6	Viável
	<b>E4</b>	Redução de custos empresariais	1	0,3	1	0,3	1	0,2	1	0,3	0,7	Viável
	<b>E5</b>	Melhora no orçamento público	1	0,1	1	0,4	1	0,4	1	0,4	0,6	Viável
<b>Ambiental (A)</b>			<b>0,6</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>				
	<b>A1</b>	Redução da emissão de gases	1	0	1	0	1	0,1	1	0,1	0,9	Viável
	<b>A2</b>	Redução da utilização de recursos naturais	1	0,4	0,7	0,3	0,4	0,9	0,4	0,9	-0,5	Dúvida
	<b>A3</b>	Preservação do meio ambiente	0,4	0	0	0,4	0,5	0,3	0	0,4	-0,4	Dúvida
	<b>A4</b>	Redução da utilização de água	0,4	0,2	0,4	0,1	0,6	0,4	0,4	0,4	0	Dúvida
	<b>A5</b>	Redução de energia elétrica	1	0,3	1	0,4	1	0,4	1	0,4	0,6	Viável

Tabela 3: Graus de evidência resultantes da aplicação das regras MAX e MIN

Fonte: os autores

## 5 | DISCUSSÃO

A igualdade para a sociedade seria o melhor caminho para ambos os extratos sociais, a desigualdade está atrelada a problemas sociais, como homicídios, consumo de álcool, obesidade, saúde mental, pessoas presas e outros, em grande parte estes problemas seriam ocasionados pela desigualdade que provoca percepções de inferioridade e ansiedade nas pessoas (Wilkinson and Pickett, 2009).

A distribuição de renda se apresenta como um dos grandes problemas a serem enfrentados. Segundo os dados Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD Contínua) há 12 milhões de pessoas desocupadas no Brasil, representando 11,2% do total e 65 milhões estão fora da força de trabalho, o que representa 38,3% do total (Ibge, 2018).

Há um enorme desafio para reduzir a desigualdade social. Neste cenário abre espaço para o debate da economia solidária formada por associações ou cooperativas que surgem como alternativa a pobreza por falta de oportunidade e que sobrevivem muitas vezes de transferências públicas como previdência e auxílios. Esta formação não está baseada na competição e sim na solidariedade, o que facilita a aglomeração, tornando a associação espontânea e a colaboração entre empresas natural (Singer, 2011).

Neste sentido as cooperativas e associações por sua característica de adesão livre, gestão democrática, participação econômica, autonomia e independência, educação, formação e informação, Inter cooperação e preocupação com a comunidade baseado nos valores de autoajuda, solidariedade, não lucratividade, esforço voluntário e educação, surgem como alternativas de uma nova economia baseada na solidariedade.

Estas empresas são alternativas para as disfunções sociais e que tanto o estado como a iniciativa privada não conseguiram resolver ou mitigar o problema de distribuição de renda que provoca desigualdades e conseqüentemente problemas sociais. Isto não significa que o estado deva terceirizar a sua função social que caminha sempre em direção ao interesse público, mas fazer alianças para promover a igualdade de condições. Este reconhecimento é reforçado pelo regime jurídico de parceria entre o Estados, a organização da sociedade civil e outras que tem como princípios o fortalecimento da participação social e o interesse social (Brasil, 2014).

As cooperativas melhoram as condições de trabalho, reduz o consumo de energia, reduz o consumo de matéria prima virgem (Souza, Paula and Souza-Pinto, 2012). Os resultados apresentam estes fatores como viáveis, inclusive uma melhora no orçamento público, seja por meio da redução das transferências de renda ou do aumento da vida útil dos aterros sanitários, locais onde são depositados todos os tipos de lixo, inclusive os recicláveis. Chama-se a atenção que os aterros deveriam

ter sido extintos em 2014, porém ainda é muito utilizado em várias cidades (Brasil, 2010).

Quando há integração dos fluxos reversos de resíduos sólidos, formado por empresas, cooperativas e poder público, os benefícios sociais e socioambientais são viabilizados (Demajorovic *et al.*, 2014). Estas sociedades ainda são invisíveis para a sociedade e as condições de trabalho nem sempre são adequados, conforme apontado pelos especialistas, ainda é preciso aperfeiçoar esta integração, que envolve também a sociedade para reconhecer a função social, aumentando a autoestima das pessoas que trabalham nas cooperativas.

## 6 | CONCLUSÃO

A logística reversa conduzida por meio das cooperativas que estão baseadas na economia solidária, geram novas perspectivas aos associados por meio do acesso ao crédito, redução da emissão de gases, melhoria na educação, sustentabilidade familiar, solidariedade, redução de custos empresariais e melhorias no orçamento público.

Dos fatores identificados é possível concluir que o cooperativismo ainda é um desafio no Brasil, a falta de autoestima, dignidade e reconhecimento social demonstram que há um longo caminho para que ocorra a integração compartilhada para tratamento dos resíduos sólidos.

Esta falta de reconhecimento, faz com que estas cooperativas ainda sofram com condições inadequadas para o trabalho, como necessidades básicas de saúde e alimentação do trabalhador.

A logística reversa demonstra que é muito mais ampla que apenas dar o destino correto aos objetos coletados, atua no triple botton line, podendo representar a solução para problemas sociais, gerando renda e melhores condições de vida para diversas famílias, desde que haja integração entre empresa, poder público, cooperativas e sociedade.

## REFERÊNCIAS

Abe, Jair Minoro;Costa, N. C. A. da (1992) *Fundamentos da lógica anotada*. USP.

Brasil (2010) *Lei 12.305*. Available at: [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm%0A](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm%0A) (Accessed: 2 May 2019).

Brasil (2014) *LEI Nº 13.019, DE 31 DE JULHO DE 2014, Planalto*. Available at: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2014/lei/l13019.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13019.htm) (Accessed: 29 June 2019).

Carroll, A. B. (1979) 'A Three-Dimensional Conceptual Model of Corporate Performance', *Academy of Management Review*, 4(4), pp. 497–505. doi: 10.5465/amr.1979.4498296.

Dagnino, Ricardo De Sampaio Johansen, I. C. (2016) 'Os Catadores No Brasil : Características Demográficas E Socioeconômicas Dos Coletores De Material Reciclável , Classificadores De Resíduos E Varredores a Partir Do Censo Demográfico De 2010'.

Demajorovic, J. *et al.* (2014) 'Integrando empresas e cooperativas de catadores em fluxos reversos de resíduos sólidos pós-consumo: o caso Vira-Lata TT - Interconnecting companies and waste picker cooperatives in reverse flows of post-consumer solid waste: the "Vira-Lata" case', *Cadernos EBAPE.BR*, 12(spe), pp. 513–532. doi: 10.1590/1679-39519020.

Fábio Romeu de Carvalho; Jair Minoru Abe (2011) *Tomadas de decisão com ferramentas da lógica paraconsistente anotada*. Edited by Blucher. São Paulo.

Ferraz, A. P. do C. M. and Belhot, R. V. (2010) 'Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais', *Gestão & Produção*, 17(2), pp. 421–431. doi: 10.1590/s0104-530x2010000200015.

Ibge (2018) *PNAD Contínua*. Available at: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html?edicao=23634&t=destaques>.

Magni, A. A. C. and Günther, W. M. R. (2014) 'Cooperativas de catadores de materiais recicláveis como alternativa à exclusão social e sua relação com a população de rua', *Saude e Sociedade*, 23(1), pp. 99–109. doi: 10.1590/S0104-12902014000100011.

Morin, E. (2000) *Os sete saberes necess á rios à educa çã o do futuro*. 2nd edn. Edited by Unesco. Brasília: Cortez.

Rozados, H. B. F. (2015) 'O uso da técnica Delphi como alternativa metodológica para a área da Ciência da Informação', *Em questão*, 21(3), pp. 64–86. Available at: <https://seer.ufrgs.br/EmQuestao/article/download/58422/36043%0A>.

Santos, J. (2012) 'A Logística Reversa Como Ferramenta Para a Sustentabilidade: um estudo sobre a importância das cooperativas de reciclagem na gestão dos resíduos sólidos urbanos', *Revista Reuna*, 17(2), pp. 81–96.

Seade (2019) *Informações dos Municípios paulistas*. Available at: <http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/tabelas> (Accessed: 25 June 2019).

Singer, P. (2011) 'Economia solidária versus economia capitalista', *Sociedade e Estado*, 16(1–2), pp. 100–112. doi: 10.1590/s0102-69922001000100005.

Souza, M. T. S. de, Paula, M. B. de and Souza-Pinto, H. de (2012) 'O papel das cooperativas de reciclagem nos canais reversos pós-consumo', *Revista de Administração de Empresas*, 52(2), pp. 246–262. doi: 10.1590/s0034-75902012000200010.

Wilkinson, R. and Pickett, K. (2009) *The Spirit Level: Why more equal societies almost always do better*. Edited by Penguin. LONDON: BLOOMSBURY PRESS.

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

*Data de aceite: 18/11/2019*

### **Joel de Jesus Macedo**

Economista pela Universidade Federal do Paraná,  
PR.

Mestre em Engenharia da Produção pela  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PR.

Doutor em Desenvolvimento Econômico pela  
Universidade Federal do Paraná, PR.

joelzmacedo@gmail.com

### **Leura Lucia Conte de Oliveira**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do  
Paraná, PR.

Especialista em Regulação pela AVM Faculdade  
Integrada, RJ.

leuralc@sanepar.com.br

### **Marcus Venicio Cavassin**

Bacharel em Direito pela Faculdade de Direito da  
Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Especialista em Direito Processual Civil pela  
Faculdade de Direito Positivo (UNICENP).

Pós-Graduado “Lato Sensu” pela Escola da  
Magistratura do Paraná.

Pós-Graduado em Direito do Saneamento pelo  
Instituto Brasileiro de Direito Público (IDP).

Mestre em Direito pelo Centro Universitário  
Curitiba (Unicuritiba)

marcusvc@sanepar.com.br

**RESUMO:** Este estudo apresenta o panorama do subsídio no saneamento e o principal

responsável por subsidiar os consumidores de baixa renda. Além disso, faz-se uma crítica à proposta de alteração das diretrizes nacionais do saneamento. Quanto ao subsídio, verificou-se que cabe ao governo a obrigação de efetivação de políticas públicas com reflexos sociais e a adoção da política de subsídios para a sociedade como um todo, já que subsidiar o alcance de serviços de saneamento para as classes de baixa renda significa redução dos custos orçamentários com saúde pública e educação, entre outros, o que implica numa economia indireta maior do que os custos da oferta do serviço. Quanto às alterações no Marco Regulatório do Saneamento, cabe destacar o interesse da União de incentivar a participação de empresas privadas no processo de universalização, o que é positivo. Porém, a forma pretendida, além das possíveis inconstitucionalidades, tende a direcionar a concentração das empresas privadas nas regiões mais atrativas, isto é, aquelas consideradas superavitárias. As empresas estatais estarão fadadas a operarem apenas os sistemas deficitários, com riscos para a operação dos sistemas como um todo, já que, sem os sistemas superavitários, os ganhos de escala decorrentes do subsídio cruzado desaparecerão. Defende-se a manutenção do subsídio cruzado sob a vigência do atual regime jurídico de concorrência pelo serviço,

mediante decisão do Poder Concedente, concluindo-se que a aprovação da proposta comprometerá todo o sistema de subsídio às classes de baixa renda.

**PALAVRAS-CHAVE:** Subsídio Cruzado, Acesso ao Saneamento, Marco Regulatório do Saneamento, Riscos do Fim do Subsídio.

## UNIVERSALIZATION OF WATER SUPPLY AND SANITATION AND THE CROSS-SUBSIDY: A CRITICISM TO THE PROPOSITION OF ALTERING THE NATIONAL DIRECTIVES

**ABSTRACT:** This paper presents the scenario of the subsidy to water supply and sanitation and the main responsible for subsidizing low-income consumers. Furthermore, it makes a criticism of the proposition of altering the national directives for water supply and sanitation services. Regarding the subsidy, we verified that the government is responsible for promoting public policies with social repercussions and adopting funding policies for society as a whole, since subsidizing the access of low-income classes to water supply and sanitation means reducing budgetary costs with public health and education, among others. This implies an indirect economy that is more significant than the costs of providing the service. Concerning the amendments to the Regulatory Framework for Water Supply and Sanitation Service, it is important to highlight the federal government's interest in encouraging the participation of private companies in the process of universalization, which is positive. However, the intended form of doing it, besides the possible unconstitutionality, tends to concentration of private companies in the most attractive regions, that is, those considered in surplus. The state companies will be compelled to operate only the systems in deficit, with risks for the operation of the systems as a whole, since the gains derived from the cross-subsidy will disappear in the absence of systems in surplus. We advocate the maintenance of cross-subsidy under the current legal regime of competition for the service, through decision of the Concession Authority, and we conclude that approving the alterations will compromise the entire funding system for low-income classes.

**KEYWORDS:** Cross-Subsidy, Access to Water Supply and Sanitation Service, Regulatory Framework for Water Supply and Sanitation Service, Risks of Ending the Subsidies.

### 1 | INTRODUÇÃO

A promulgação da Lei 11.445/2007 (Lei Nacional do Saneamento Básico), definida como o Marco Regulatório do setor, tinha como princípios fundamentais, a articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e com outras de relevante interesse social, voltadas para a melhoria da qualidade de vida pela universalização dos serviços de saneamento fator determinante.

Na Lei de Saneamento e no Decreto que a regulamentou (7.217/2010) ficou bem delineado que o serviço é prestado mediante concorrência pela delegação do Poder Concedente, podendo ser pela via direta pelo Município, por concessão mediante licitação para a iniciativa privada ou via gestão associada por contrato de programa a ser firmado com entidade da Administração Indireta de um dos entes federados envolvidos na gestão compartilhada.

Porém, no início de 2018, o Governo Federal, exercendo sua competência constitucional, decidiu implementar reformas na Lei 11.445/2007. Entre as alterações propostas estão alguns pleitos do setor, como é o caso da centralização das diretrizes regulatórias através da Agência Nacional de Águas (ANA) e a flexibilização do licenciamento ambiental para as obras de saneamento básico. Assim como questões polêmicas que visam aumentar a participação do setor privado no setor, mediante o enfraquecimento das CESBs.

Por isso, as alterações propostas têm acirrado os embates entre empresas privadas e companhias estaduais, em especial com relação às disposições que permitem a conversão de contratos de programa em contratos de concessão quando da privatização de CESBs e a necessidade de que a gestão associada seja precedida de processo de consulta de interesse à iniciativa privada por (chamamento público).

O ponto central das polêmicas reside no risco de os grandes sistemas superavitários serem objeto de licitação, dado o interesse privado no lucro, ficando os demais sistemas (deficitários) para a serem operados por CESBs, mediante gestão associada, situação que quebraria a política de subsídios, a qual permite equilibrar a prestação regional dos serviços mediante tarifas uniformes e serviços regulares para todos os usuários, de todas as classes sociais.

O presente estudo tem como objetivo principal apresentar o panorama do subsídio no saneamento e identificar o responsável por possibilitar o acesso da população de baixa renda aos serviços, assim como criticar a proposta de alteração do Marco regulatório do Saneamento e seus reflexos nesta política de subsídios. O presente trabalho está sustentado, em primeiro lugar, sobre a hipótese de que uma política de subsídios garante o acesso das populações carentes aos serviços. Em segundo lugar, acredita-se que as receitas necessárias para operação eficiente do sistema não são compatíveis com a capacidade de pagamento da população brasileira, isto devido aos baixos níveis de renda dessa população.

Dado que boa parte da população brasileira não possui renda suficiente para obter um saneamento adequado, verifica-se a necessidade de intervenção por parte do governo, seja no subsídio direto ou indireto, pois a não implantação do saneamento básico adequado impacta diretamente nas questões de saúde pública, educação e turismo, causando prejuízos para a população. Em função disso a utilização de uma tarifa social para o atendimento da população de baixa renda, representa um

ponto importante para as políticas públicas e essenciais para o desenvolvimento socioeconômico com a realização do princípio constitucional da dignidade humana.

Diante deste quadro espera-se que o estudo possa identificar o responsável por subsidiar o acesso ao saneamento básico, pois parece que uma parcela da sociedade não dispõe de renda suficiente para desfrutar de um sistema de saneamento básico adequado, e por outro lado, a universalização parece estar longe de acontecer. Nitidamente, existe um dissenso entre o governo e a sociedade sobre o responsável por subsidiar o saneamento básico, assim como é inegável que a política de subsídios tem papel fundamental na continuidade da expansão dos serviços para toda a população, preservada a modicidade tarifária.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O subsídio do saneamento básico na lei 11.445/2007

A Lei 11.445/2007 faz menção ao subsídio como instrumento para atingir a universalização dos serviços de saneamento. No art. 3, inciso VII desta lei é definido o conceito de subsídio como “o instrumento econômico de política social para garantir a universalização do acesso ao saneamento básico”. O foco principal é nas populações de baixa renda. Quanto às características dos subsídios a referida Lei, em seu art. 31, os divide nas seguintes categorias:

- Quanto ao destinatário: diretos quando o benefício ocorrer diretamente ao usuário por meio de crédito no custeio do serviço. Ou indireto, quando o benefício é concedido diretamente ao prestador de serviço. Isto poderia, por exemplo, ocorrer mediante as contraprestações pagas no âmbito de concessões patrocinadas, por exemplo, via Parceria Público Privado (PPP);
- Quanto à origem: Tarifários – Esta modalidade consiste de um subsídio via estrutura tarifária, ou seja, uma determinada categoria de usuários subsidia parte da tarifa de outros usuários, este também é conhecido como subsídio cruzado. Quanto à origem os subsídios também podem ser do tipo fiscais, ou seja, são subsidiados por meio de alocação de recursos orçamentários;
- Quanto à abrangência: Internos – refere-se a um subsídio que está limitado pelo âmbito geográfico de um determinado titular do serviço público. Quanto à abrangência também pode ser “entre localidades” que consiste no subsídio entre mais dois ou mais titulares do serviço.

No art. 30 a Lei estabelece que a estrutura de remuneração e cobrança dos serviços públicos de saneamento básico poderá levar em consideração diversos fatores, dentre eles a garantia de objetivos sociais, como a preservação da saúde pública, o adequado atendimento dos usuários de menor renda, a proteção do meio

ambiente e a capacidade de pagamento dos consumidores.

O capítulo VI da Lei do Saneamento versa sobre os aspectos econômicos e sociais dos serviços prestados. Nele consta a conciliação entre a sustentabilidade econômico-financeira da concessionária e as metas de universalização do acesso. Faz menção ainda às diretrizes que norteiam a formação de tarifas, a saber:

- A ampliação do acesso dos cidadãos e localidades de baixa renda aos serviços;
- A recuperação dos custos incorridos na prestação de serviço, em regime de eficiência e;
- A remuneração adequada do capital investido pelos prestadores de serviços.

No art. 29, parágrafo 2º, cita que podem ser adotados subsídios tarifários ou não tarifários para atender as localidades de baixa renda. A Lei apresentada defende ainda que a União não pode utilizar recursos orçamentários no setor, a não ser em caso de risco à saúde pública e ao meio ambiente. Contudo, a fim de fomentar os investimentos, ela poderia conceder benefícios creditícios ou fiscais.

Heller (2015) relator especial das Nações Unidas (ONU) sobre água e esgotamento sanitário – é a favor do subsídio cruzado na cobrança da tarifa de água. “Que os mais ricos paguem mais e os mais pobres paguem menos, uma transferência interna no sistema de cobrança”.

Montalvão (2009) define os subsídios como um instrumento necessário à correção do que se denomina “falha de mercado”, situação na qual o funcionamento autônomo das economias de mercado não consegue levar à eficiência. Os governos devem intervir para corrigir essas falhas. No entanto, Montalvão defende, em estudo realizado para o setor energético, que essa forma de correção de falha de mercado perturba o funcionamento eficiente da economia.

A partir da revisão teórica parece que não há um consenso quanto aos subsídios, enquanto uma linha defende a necessidade da correção da falha de mercado via subsídios a outra argumenta que a correção via subsídios perturba o bom funcionamento da economia.

### 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Marconi e Lakatos (2010) destacam que o método é um conjunto de atividades que ajudarão a chegar ao objetivo final da pesquisa ou estudo e são classificados em indutivo, dedutivo, hipotético-dedutivo e dialético, onde tanto o método indutivo quanto o dedutivo baseiam-se em premissas, ou seja, informações que são importantes para dar embasamento a um raciocínio. Quanto ao método indutivo Marconi e Lakatos

(2010) explicam que neste a pesquisa parte de informações particulares, onde se demonstra uma verdade geral ou universal e seu resultado será apresentado de forma ampla comparada aos fatos que deram origem a esse estudo. Severino (2008) ainda define o método de indução como sendo um processo de generalização, onde através de acontecimentos isolados se chega a conclusões generalizadas.

Gil (2010) recomenda que a pesquisa seja classificada, pois assim os fatos e entendimentos ficarão organizados e sua compreensão será mais fácil. Esta classificação pode ser de diversas formas e definidas de acordo com a área e nível de conhecimento, a finalidade, e os métodos adotados. Em relação aos fins, este estudo está classificado em exploratório, onde conforme Gil (2010), esse tipo de pesquisa tem o objetivo de tornar o problema exposto, mais claro e de fácil entendimento. Silva (2005) contribui destacando que a pesquisa exploratória é recomendada quando não se tem muitas informações ou estudos que expliquem melhor o tema abordado.

## 4 | DISCUSSÃO

### 4.1 O papel do governo com relação às pessoas de baixa renda

Na economia há diversas formas de precificação, uma delas é por preços administrados. Nesta modalidade os preços são fixados ou submetidos a regras e restrições pelo governo, como é o caso do petróleo, da energia elétrica, das tarifas de saneamento, postais, telefônicas e aeroportuárias, dos planos de saúde, dos ingressos para espetáculos (regra de meia-entrada), das passagens de ônibus, entre outras.

Ao estabelecer os preços o governo, em geral, vislumbra evitar o lucro excessivo de empresas monopolistas, isto com o objetivo de beneficiar um grupo de pessoas, normalmente os mais necessitados, tais como: os idosos, os estudantes, etc., ou ainda, de estimular alguns setores da economia ou ajudar o desenvolvimento de regiões mais atrasadas. Este benefício concedido a determinadas classes, via de regra, é compensado por um preço mais alto cobrado junto aos demais consumidores. Isso é o que caracteriza a prática de políticas de subsídio cruzado, onde uma classe de consumidores paga preços mais elevados para subsidiar um grupo específico, seja ele de consumidores ou até um grupo de empresas (fomento).

Quando nos referimos ao termo política é importante destacar que existem diferenças conceituais entre as políticas públicas e sociais. As políticas públicas são ações fundamentalmente estatais, pois as formulações e os recursos advêm de recursos públicos estatais e refletem um conjunto de programas e projetos advindos dos anseios da sociedade, isto com vistas ao atendimento de setores específicos, primordialmente a parcela mais desassistida da população (baixa renda). O Estado

intervir na sociedade é a principal característica das políticas públicas, isto com o objetivo de equilibrar conflitos entre interesses individuais e coletivos, em especial os advindos da economia de mercado nas mais diversas áreas: econômica, social, ambiental e educacional.

Conforme Silva (2009), a palavra “pública” na expressão política pública não se identifica exclusivamente com “Estado”, mas sim com a palavra no latim “res pública” que significa “coisa de todos” e por isso algo que se relaciona tanto com o Estado quanto com a sociedade. Benassi (2011) afirma que a política pública deve ser reconhecida como crucial para a resolução pacífica de conflitos e promover a igualdade social. Deve ter a capacidade de romper barreiras entre a administração pública e a sociedade, atuando na definição e na implementação da política escolhida. Santos (2009) considera que são três (3) os atores das políticas públicas:

- O Estado;
- Os fornecedores de serviços ao Estado;
- A sociedade civil.

Com uma multiplicidade de funções a sociedade surge como usuário do serviço e como representante das organizações que lutam pelos direitos dos cidadãos. Além destes, ela ainda assume o papel de agente pagador, pois ao adotar o subsídio cruzado, uma fatia da população participa financeiramente pagando para os que têm menores condições, isto é, permite que tenham acesso aos mesmos serviços (generalidade). Já as políticas sociais se configuram como uma das principais políticas públicas adotadas pelo governo e determinam o nível de proteção adotado pelo Estado a esta fração da sociedade. Objetivam a redução das desigualdades produzidas pelo desenvolvimento socioeconômico e geralmente agem em sintonia com o setor privado.

Castro (2012) tem o entendimento de que a política social é composta por um conjunto de programas e ações do Estado que garantem a oferta de bens e serviços, a transferência de renda e a regulação de elementos do mercado. Assim a política social busca a proteção e a promoção social. A proteção social dos cidadãos manifesta-se na seguridade social com foco na solidariedade aos indivíduos e grupos em situação de vulnerabilidade, dentre as quais a incapacidade de ganhar a vida por conta própria em decorrência de fatores externos, que independem da vontade individual, a vulnerabilidade de crianças, idosos e inválidos. A promoção social busca a geração de igualdade de oportunidades aos indivíduos.

As diretrizes da Política Nacional de Saneamento enfatizam o papel do Estado e dos municípios e buscam atender às peculiaridades sociais e econômicas do País. O Governo deve buscar as formas mais adequadas para ofertar os serviços de saneamento básico, e a utilização de subsídios se caracteriza como um instrumento

de política pública peça fundamental para a universalização dos serviços de saneamento e para a melhoria da qualidade de vida da população, em especial da sua parcela mais carente.

As políticas públicas devem ser adotadas com base em planejamento voltado para o atendimento de todos os brasileiros com os serviços essenciais de água e esgoto, isto, preferencialmente, sem a utilização de subsídios gerais, os quais, na medida do possível, devem ser voltados apenas para os usuários de baixa renda. A esse respeito, esclarecedora é a posição de Carvalho (2010) no sentido de que o princípio que preside os direitos sociais é o da solidariedade, ou da equidade, como forma de garantir, por meio de ações interventivas do Estado, patamares de igualdade material. Isto porque a redução de desigualdades é uma função primordial das sociedades que pretendem assegurar a dignidade humana.

O acesso aos serviços de saneamento básico é hoje uma questão central para as cidades brasileiras. As parcelas mais pobres da população urbana, sobretudo nas periferias metropolitanas, ainda se encontram excluídas do acesso aos serviços com reflexos na saúde e na qualidade do meio ambiente. O estudo Panorama do Saneamento Básico, que subsidia o Plano Nacional, estima que nas áreas urbanas existam 3,3 milhões de habitantes com abastecimento de água precário, reconhecendo que a insuficiência na qualidade e quantidade de água distribuída se constitui em formas de acesso precário.

A afirmação dos conceitos de regulação, planejamento e avaliação dos serviços, a implantação de regras claras para a delegação dos serviços, entre as quais a necessidade de plano municipal, de consulta pública e o reconhecimento do controle social como um dos instrumentos da gestão dos serviços, são ferramentas para a efetiva atuação do Estado na garantia da equidade social, com desenvolvimento da prestação dos serviços com vistas a atender a todos os brasileiros.

#### **4.2 O papel da sociedade com relação às pessoas de baixa renda**

No ano de 1992, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou o “Dia Mundial da Água” e estabeleceu a Declaração Universal dos Direitos da Água a todos os indivíduos, povos e nações. Para sua efetiva aplicação, sugere que todos os homens tomem medidas de ordem nacional e internacional, buscando através da educação e do ensino o desenvolvimento do respeito aos direitos e obrigações estabelecidos na Declaração. Pode-se observar nos artigos abaixo a responsabilidade delegada à sociedade quanto ao uso da água.

- Art. 1º - A água faz parte do patrimônio do planeta. Cada continente, cada povo, cada nação, cada região, cada cidade, cada cidadão é plenamente responsável aos olhos de todos.

- Art. 9º - A gestão da água impõe um equilíbrio entre os imperativos de sua proteção e as necessidades de ordem econômica, sanitária e social.
- Art. 10º - O planejamento da gestão da água deve levar em conta a solidariedade e o consenso em razão de sua distribuição desigual sobre a Terra

Esses movimentos sociais levaram a ONU a declarar a água e o saneamento como um direito humano.

O Estado brasileiro, embora não tenha positivado expressamente a água como um direito fundamental, tem o dever de garantir as suas reservas de água como parte da soberania, assim como os serviços de saneamento básico como direitos sociais. Destacam Fachin e Marcelino da Silva (2012) que existem vários dispositivos constitucionais que relacionam os serviços de água e esgoto com a consecução de outros direitos fundamentais, já que o acesso a estes tem um impacto significativo no direito à dignidade e no direito à vida.

O art. 3º da Constituição Federal define como valores fundamentais da República Federativa do Brasil: I - Construir uma sociedade livre, justa e solidária; II - Garantir o desenvolvimento nacional; III - Erradicar a pobreza e a marginalização e reduzir as desigualdades sociais e regionais; V - Promover o bem de todos, sem preconceitos de origem, raça, sexo, cor, idade e quaisquer outras formas de discriminação.

Assim como o art. 1º prevê que a República Federativa do Brasil, formada pela união indissolúvel dos Estados e Municípios e do Distrito Federal, constitui-se em Estado Democrático de Direito e tem como fundamentos a soberania; a cidadania e a dignidade humana;

Nos dispositivos acima, assim como em diversos artigos que tratem de saúde pública resta evidente que os serviços de água e esgoto são preponderantes para a realização do princípio da dignidade humana, assim como dos valores fundamentais de nossa Carta Magna.

E como bem leciona Almeida (2011) a Constituição é um projeto político positivado que visa a comunicação entre política e o Direito, de modo que de seu texto preveja os objetivos socialmente relevantes, cuja realização encontrará supedâneo nas políticas públicas.

No contexto infraconstitucional, a Lei do Saneamento apresenta aspectos que merecem destaque e um deles é o do subsídio como instrumento de política social para garantir a universalização do acesso, em especial às populações mais carentes. Também para os usuários que não tenham capacidade de pagamento, a referida Lei estabelece diretrizes para que se adote qualquer forma de subsídio, direto ou indireto, tarifário ou fiscal.

A responsabilidade social é a base das atitudes direcionadas ao bem-estar da população menos privilegiada. Para Ashley (2003), responsabilidade social é toda

ação que pode contribuir de alguma forma para a melhoria da qualidade de vida do cidadão.

Mas responsabilidade social não se limita ao poder público e segundo Fernandes (2000), “Responsabilidade Social consiste na somatória de atitudes assumidas por agentes sociais – cidadãos, organizações públicas, privadas com ou sem fins lucrativos – estreitamente vinculados à ciência do dever humano (ética) e voltadas para o desenvolvimento sustentado da sociedade”.

Na mesma linha de Santos (2009) e Martins (1998) assumem que a relação entre as organizações sociais, estado e mercado deve ser de multicentralidade para enfrentar problemas complexos como a desigualdade social, buscando arranjos de governança social ao invés do típico modelo de gestão pública, os quais devem incorporar os atores do estado, com aporte de recursos, também os atores privados, com os produtos e a sociedade civil, com o atendimento a cidadãos que recebem benefícios dos serviços. Devem se articular de forma integrada, não dispersa e com equilíbrio, potencializando as vantagens e neutralizando as limitações de cada um, maximizando assim os benefícios.

De maneira simplificada o subsídio cruzado pode ser considerado uma ação de responsabilidade social assumida pela sociedade, pois ao reconhecer o desprestígio econômico do agente de baixa renda, aceita-se que indiretamente estará favorecendo alguém em detrimento de algo retirado de outrem. Através da tarifa social de saneamento, diferenciando os preços em razão do poder aquisitivo, fica demonstrada a compreensão de que garantir aos integrantes da população com renda extremamente reduzida o acesso aos serviços significativamente necessários à vida e à saúde, é uma atitude responsável, voltada ao desejo de transformação da sociedade, focada no bem da coletividade e que pode trazer grande satisfação ao ser humano.

### **4.3 O subsídio cruzado e a população de baixa renda**

O modelo tarifário utilizado pelas principais companhias estaduais de saneamento é o subsídio cruzado com tarifas uniformes. Neste modelo, o prestador de serviço adota uma tarifa única a todas as localidades assistidas. Vale lembrar que as tarifas são definidas para garantir a viabilidade financeira das concessionárias. As tarifas são fixadas de acordo com a faixa de consumo e calculadas de maneira a propiciar a prestação do serviço com uma tarifa mais baixa para as populações com menor capacidade de pagamento.

Na prática os subsídios cruzados visam fazer transferência de renda ou de recursos entre categorias de usuários, daqueles de maior poder aquisitivo para os de menor poder e/ou por blocos de consumo. Neste modelo a tarifa aplicada

a uma categoria de usuários não subsidiados é maior que o custo para prover os serviços a estes usuários. Essa diferença de receita é utilizada para cobrir o custo dos serviços aos usuários subsidiados. Como já exposto anteriormente, este tipo de subsídio é denominado de blocos crescentes, onde a menor tarifa é fixada para o consumo mínimo (de salubridade) e na medida do aumento do consumo, nos blocos superiores, as tarifas passam a ser maiores.

Contudo, há situações em que o subsídio não é eficiente para atender a quem mais precisa. No saneamento, o subsídio entre localidades tem a finalidade de universalizar o serviço, no entanto, o que ocorre é que os investimentos são realizados preferencialmente e primeiramente nos grandes centros urbanos, onde ocorre a maior concentração de pessoas e conseqüentemente o maior retorno do capital investido, e posteriormente, nos sistemas menores, deficitários e com a população mais carente.

Sobre o tema Souto (2008) esclarece que aplicando o princípio da solidariedade e a modicidade tarifária, as tarifas podem ser diferenciadas em função do perfil de usuário, a fim de permitir que determinadas categorias de usuários subsidiem outras menos abastadas, assim como podem ser adotados subsídios tarifários e não tarifários para localidades que não tenham capacidade de pagamento ou escala econômica suficiente para cobrir o custo integral dos serviços.

#### **4.4 A revisão do marco legal do saneamento e o subsídio cruzado**

A proposta de revisão do Marco Legal do Saneamento, além das possíveis inconstitucionalidades do projeto, pode comprometer totalmente o setor no Brasil. A primeira observação que se faz refere-se à forma como foi proposta a alteração no marco legal, não pode ser considerada adequada por não se tratar de caso de urgência. A matéria deve ser submetida ao processo legislativo ordinário, com a promoção de ampla discussão entre os atores e demais partes interessadas do setor, de forma a aplicar o regime democrático em assunto de tamanha relevância para a realização de direitos sociais e princípios fundamentais da Constituição.

A proposição com vistas a deixar expressa apenas a titularidade municipal dos serviços, sem observar o que foi decidido pelo Supremo Tribunal Federal na ADI 1842, a qual é vinculante e prevê que em áreas de interesse comum, como as regiões metropolitanas, aglomerados urbanos e microrregiões, a titularidade também é do Estado, devendo a gestão dos serviços ter a presença do Estado em conjunto com os municípios integrantes desta.

Por derradeiro, se observou no decorrer deste estudo que a questão dos subsídios, cuja política é aplicada nos Estados da Federação desde a década de 70 (PLANASA), é essencial para a promoção do bem-estar social através do

atendimento de todas as camadas da população com serviços de mesma qualidade, com modicidade tarifária e tarifas diferenciadas para usuários carentes.

A aplicação destes subsídios tem decorrido, em sua grande maioria, da atuação das empresas estaduais (CESBs), as quais, via de regra, adotam a prestação regionalizada com tarifa uniforme de forma a que sistemas deficitários tenham seus serviços sustentados pela receita advinda de sistemas superavitários. Via de regra também, são os grandes sistemas das capitais e regiões metropolitanas ou polos regionais que sustentam a prestação de serviços nas pequenas localidades, que são a maioria dos sistemas atendidos.

Analisando o texto da proposta de alteração da Lei de Saneamento verifica-se que o Governo Federal pretende estimular a participação privada no setor de saneamento, situação que seria bem-vinda, não fosse da forma como se pretende.

A Lei de Saneamento e o Decreto 7.217/2010 vieram a disciplinar as formas e regimes de prestação dos serviços de saneamento. Pelo regime jurídico vigente na Constituição de 1988 a prestação dos serviços de água e esgoto pode se dar diretamente pelo Poder Público ou mediante gestão associada de delegação para companhias estaduais, nos termos do art. 241 da Constituição (contrato de programa – Lei nº 11.107/2005); ou, caso o Poder Concedente opte pela prestação de serviços pela iniciativa privada, por concessão mediante processo licitatório, conforme previsto no art. 175 da Constituição (contrato de concessão – Lei nº 8.987/95).

Neste sentido é o que dispõe o art. 38 do Decreto 7.217/2010:

- Art. 38. O titular poderá prestar os serviços de saneamento básico:
  - I - Diretamente, por meio de órgão de sua administração direta ou por autarquia, empresa pública ou sociedade de economia mista que integre a sua administração indireta, facultado que contrate terceiros, no regime da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, para determinadas atividades;
  - II - De forma contratada:
    - a) indiretamente, mediante concessão ou permissão, sempre precedida de licitação na modalidade concorrência pública, no regime da Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; ou
    - b) no âmbito de gestão associada de serviços públicos, mediante contrato de programa autorizado por contrato de consórcio público ou por convênio de cooperação entre entes federados, no regime da Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005.

Ocorre que a proposta apresentada visa macular este ambiente de competição pelo serviço que atualmente rege o setor, pelo qual cada titular decide a forma de prestação, seja direta, indireta ou via gestão associada.

Isto porque o texto proposto prevê que “nas hipóteses legais de dispensa de

licitação, antes da celebração de contrato de programa, previsto na Lei nº 11.107, de 2005, o titular dos serviços publicará edital de chamamento público visando a angariar a proposta mais eficiente e vantajosa para a prestação descentralizada dos serviços públicos de saneamento”, isto é, antes de optar pela gestão associada com a prestação de serviços por empresa estatal, contrato de programa, se pretende impor aos titulares dos serviços que haja uma chamada pública com o fim de verificar se existe proposta privada para a prestação dos serviços. Neste chamamento o titular tem como um dos itens a exposição do “VI - o valor estimado do contrato de programa ou do contrato”, com evidente divulgação pública da proposta de eventual empresa estatal interessada.

Somente, na hipótese de não haver o número de interessados previsto no §2º no chamamento público, o titular poderá proceder à assinatura de contrato de programa com dispensa de licitação, conforme o disposto no inciso XXVI do caput do art. 24 da Lei nº 8.666, de 1993, isto é, na ausência de proposta privada é que o titular pode optar pela gestão associada.

A proposta, em tese, é inconstitucional e viola a legislação que disciplina as licitações e contratos, já que não existe a hipótese constitucional de limitar a atuação dos titulares dos serviços no que tange à opção pela forma de prestação dos serviços, assim como não existe previsão de que a iniciativa privada deve ter prioridade, *privatisationforcée* da doutrina europeia, sobre a gestão associada.

Por força da Constituição Federal e das leis orgânicas municipais, compete ao titular dos serviços decidir acerca da forma da sua respectiva prestação, via direta ou indireta, não podendo o legislador federal impor a obrigatoriedade do titular dos serviços de privatizar a prestação destes.

Mas não são apenas as ilegalidades e inconstitucionalidades da proposta que chamam a atenção, mas também os riscos que ela traz para a manutenção do atual modelo de prestação dos serviços. Da forma como está posta a proposta, somente se pode celebrar contratos de programa quando não houver interesse da iniciativa privada nos sistemas de saneamento básico, situação que coloca seriamente em risco a política pública de subsídios cruzados, já que apenas sistemas superavitários terão interesse da iniciativa privada apto a ensejar a concorrência, o que isolará a prestação dos serviços dos principais sistemas sob o controle privado, relegando a grande maioria dos sistemas médios e pequenos, via de regra deficitários, a serem custeados por outras fontes de recursos públicos.

Isto aumenta ainda mais a seleção adversa, pois a tendência é que os municípios superavitários sejam explorados individualmente via concessão privada, enquanto os demais ficaram relegados a outros tipos de soluções que abarquem os déficits atualmente custeados pela política de subsídios. A tendência é que este custo, que atualmente é rateado pela sociedade, passe para o Poder Público, municípios e

estados, enquanto a iniciativa privada passe a operar apenas sistemas superavitários sem qualquer reversão social dos resultados obtidos.

Outra tendência é que a tarifa seja reduzida em grandes sistemas superavitários, capitais e grandes polos regionais, isto devido ao resultado de concorrência pública na qual os consumidores locais não subsidiem mais outros municípios deficitários, nos quais as tarifas tendem a ser ainda maiores para fazer frente aos déficits. Já os municípios deficitários tendem a não gerar interesse dos agentes, e por isso tendem a ficar nas mãos do poder público. Isto porque os cofres públicos não têm mais fonte de financiamento para fazer frente a estes déficits mediante subsídio direto.

Levando em consideração que as populações mais carentes estão nestes pequenos centros, esta inversão de valores tende a refletir um caos social sem precedentes, já que os municípios maiores, onde residem as pessoas com melhor PIB per capita, tendem a pagar tarifas menores, enquanto as populações mais carentes, de municípios menores, tendem a estarem expostas ao risco da falta de investimentos ou da elevação das tarifas. Tal situação também praticamente decretará o fim das CESBs, pois, em tese, por força do princípio da isonomia previsto no art. 3º da Lei nº 8.666/93, estas não podem concorrer em processo licitatório.

As Companhias Estaduais estão adstritas às políticas públicas de tarifas uniformes e subsídios cruzados, assim como contratam pessoal por concurso público e licitam seus serviços e contratações. Isto é, as empresas estão vinculadas às regras do art. 37 da Constituição Federal, sendo fiscalizadas pelos Tribunais de Contas estaduais. De outra sorte, as companhias estaduais possuem a segurança do Estado, seu acionista majoritário, lastro público, inclusive na captação de financiamentos federais (anuência). Já as empresas da iniciativa privada, além de não estarem vinculadas às regras de Direito Público acima, também não possuem a garantia do Estado. Logo, não existe igualdade de condições entre as empresas estaduais e a iniciativa privada.

Sobre este tema destaca-se a posição de Alves (1998) “A rede institucional, de natureza constitucional e legal, em que estão envolvidas as paraestatais, não permite jamais a existência da referida isonomia”

Como política pública, tal situação parece ser desastrosa do ponto de vista social, posto que a prestação dos serviços de forma regional, propicia ganhos de escala que permitem a prática de uma tarifa média inferior àquela que vigoraria na ausência de escala. Além disso, a prestação do serviço de forma regionalizada propicia externalidades positivas ao minimizar as diferenças de rendas entre as regiões. A quebra desta política parece afastar ainda mais o Brasil da universalização dos serviços, na medida em que não viabilizam e não garantem a prestação dos serviços nos municípios que não possuem escala econômica eficiente e viabilidade econômica e financeira para custeá-los.

Vargas e Lima (2004) destacam posicionamento da literatura especializada apontando vários riscos potenciais do envolvimento privado na prestação de serviços de água, entre eles o citado prejuízo aos mais pobres, com a inversão da lógica social que deve nortear os serviços para uma lógica econômica de mercado, voltada somente para o lucro das empresas, assim como para a possível fragmentação da oferta de serviços outrora integrados pelos subsídios cruzados. Isto em razão do interesse da iniciativa privada apenas em sistemas rentáveis, deixando para os governos o ônus de arcarem sozinhos com o atendimento das áreas e populações mais pobres.

A título de conhecimento, estudos da Confederação Nacional da Indústria (2016) indicavam que o Brasil levaria mais quatro décadas para atingir a meta do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), aquela de universalizar os serviços de coleta e tratamento de esgoto, e abastecimento de água. O estudo atribuiu os entraves à burocracia do setor, aponta que toda a população do país só seria atendida com água encanada em 2043 e o acesso a rede coletora de esgoto somente em 2054. Segundo a CNI, o valor a ser investido para atingir a universalização era em torno de R\$ 300 bilhões.

## 5 | CONCLUSÕES

Por todo o exposto, verifica-se que a característica de monopólio natural do setor imprime desafios e exige da União, Estados e sociedade esforços conjuntos e de solidariedade para que o fortalecimento da função social esteja entre as prioridades. No que tange ao tratamento dado pela Lei do Saneamento vigente está claro a defesa do subsídio, com vistas ao atendimento da universalidade dos cidadãos brasileiros com foco nos mais carentes. Inclusive a defesa do subsídio tarifário que remete ao exposto já no Planasa, que estabelecia em seus princípios, entre outros, a universalidade de acesso. Na mesma linha, em seu texto original, a Lei 11.445/2007 aborda e defende a importância do subsídio tarifário como o principal instrumento para a universalização do saneamento.

O não cumprimento dos objetivos disposto na Lei 11.445/2007 e as metas dos organismos internacionais para a universalização pode estar associado a ausência de critérios para concessão do subsídio, pois, apesar da decisão ser conjunta, em alguns casos o Estado e o prestador de serviço tomam decisões que acabam prevalecendo o interesse econômico em detrimento do social. Em geral, a realização de elevados volumes de investimentos ocorre nos grandes centros urbanos, onde acontece a maior concentração de pessoas e conseqüentemente o maior retorno do capital investido, para somente depois atender nos sistemas menores, deficitários e com a população mais carente.

Para entender o papel do Governo e da sociedade para com a população de baixa renda é necessário compreender a responsabilidade social e a solidariedade como soluções para melhora da vida e da saúde dos cidadãos menos favorecidos. Verificou-se que o Estado atua como interventor junto a sociedade, desenvolvendo políticas públicas que equilibrem conflitos entre interesses individuais e coletivos, em especial os advindos da economia de mercado nas mais diversas áreas: econômica, social, ambiental e educacional. Apurou-se também que as ações adotadas pela sociedade e Estado, na busca de soluções que efetivamente subsidiem a parcela mais carente da sociedade é o fator determinante da qualidade de vida do agente de baixa renda.

Acredita-se que no Brasil uma das alternativas para equalizar a distribuição de renda da população é a utilização da tarifa social da prestação dos serviços de saneamento básico e uma das maneiras de maximizar o bem-estar social é optar por cobrar tarifas diferenciadas em função do crescimento do consumo e a capacidade de pagamento. Quase sempre os menores consumos ocorrem nas famílias de baixa renda. Assim, a adoção da tarifa social funcionaria como um mecanismo de melhoria da qualidade de vida do agente de baixa renda.

A adoção do subsídio cruzado no setor do saneamento permite ao Governo a fuga da restrição orçamentária para financiamento do setor, permitindo a criação de uma nova receita oriunda de regiões mais ricas para subsidiar outras mais necessitadas, dispersando os custos entre os consumidores de um modo não aparente e, portanto, não utilizando da receita orçamentária para a universalização.

Defende-se a manutenção do subsídio tarifário entre as categorias de consumidores e entre os sistemas operados, pois desta forma o Governo não tem de lançar mão de subsídios diretos mediante tributação. Escolher uma determinada parcela da população, no caso os usuários do setor do saneamento, para financiar os subsídios aos menos favorecidos significa contribuir para a distribuição de renda. Acredita-se que tanto o Governo quanto a sociedade mais abastada possuem responsabilidades com os menos providos de renda, e minimizar a desigualdade no acesso aos serviços essenciais à saúde pública é desafio de toda a sociedade e direito de todo o cidadão.

Portanto, a adoção de uma tarifa social que possibilite às famílias de baixa renda ter acesso aos serviços de saneamento é justificada pelas externalidades positivas atreladas à disponibilidade destes serviços, como é o caso da saúde pública, da educação, do meio ambiente e do turismo. Desta forma, busca-se a universalização dos serviços nas localidades menores e mais distantes, via de regra deficitárias, bem como para os usuários de baixa renda, isto mediante a cobrança de tarifas mais elevadas dos usuários de maior poder aquisitivo.

Ao Governo compete a obrigação de efetivação de políticas públicas de cunho

solidário, assim como para a sociedade parece vantajoso subsidiar as classes de baixa renda, pois a falta do serviço implica em custos para a sociedade em geral. Pois, como se viu os serviços de água e esgoto produzem externalidades positivas na saúde pública, há visto que a elevação nos níveis de atendimento com estes serviços influencia drasticamente na redução dos índices de mortalidade infantil e no aumento da expectativa de vida da população, com expressiva redução nos gastos hospitalares e impactos na educação e na capacidade de trabalho.

Além disso, garantir o acesso aos serviços de saneamento básico é fundamental para a consecução de uma vida digna para a pessoa. Pois, pelo caráter essencial à vida humana pode-se concluir que a meta social de universalização deve ser enfrentada coletivamente, privilegiando a melhor relação possível entre a sociedade e o Estado, a fim de minimizar a desigualdade no acesso aos serviços essenciais à saúde pública e na busca de soluções que efetivamente subsidiem quem realmente necessita deles. No caso, é a parcela mais carente da sociedade que precisa ser atendida, isto de forma a não onerar desproporcionalmente nenhum dos agentes acima.

A solução parece ser a adoção do subsídio cruzado, visando fazer a transferência de renda ou de recursos daqueles usuários de maior poder aquisitivo para os menos favorecidos, pois acredita-se que numa sociedade justa, igualitária, onde prepondera o bem comum, pode se obter melhores condições às futuras gerações. Deve imperar a solidariedade para que se possa buscar o fim comum que é a realização do princípio fundamental da dignidade humana que consta de nossa Constituição.

Quanto as alterações pretendidas no Marco Regulatório do Saneamento, cabe destacar que a participação de empresas privadas no processo de universalização dos serviços é salutar e encontra fundamento no art. 175 da Constituição, porém esta não pode decorrer da limitação por lei infraconstitucional das competências constitucionais dos titulares dos serviços, no que tange à opção pela forma de prestação dos serviços, assim como não pode derivar de prioridades para as concessões privadas sobre a gestão associada.

Da forma como se pretende alterar a Lei de Saneamento, além do processo antidemocrática de fazê-lo, também é inconstitucional por ofender o disposto nos artigos 15, 30 e 241 da Constituição Federal. Além disso, a pretensão de limitar a celebração de contratos de programa somente para os casos em que não houver interesse da iniciativa privada nos sistemas de saneamento básico, coloca seriamente em risco a política pública de subsídios cruzados e, conseqüentemente, põe em risco toda a manutenção do atual sistema de prestação de serviços de água e esgoto no País.

Corre-se sério risco de que os sistemas superavitários saiam da prestação regional das CESBs, isolando-se sob o controle privado, relegando a grande maioria

dos sistemas médios e pequenos (via de regra deficitários) a serem custeados por outras fontes de recursos públicos. Ou ainda que a tarifa seja aumentada nos sistemas menores e onde estão as pessoas de menor poder aquisitivo, contribuindo ainda mais para o abismo social que impera em no Brasil.

Assevera-se a tendência de concentração das empresas privadas nas regiões mais atrativas e superavitárias, restando para as operadoras públicas aqueles municípios menores, considerados hoje deficitários, situação que, sem subsídios diretos ou elevação de tarifas - comprometida pela falta de condições de pagamento dos usuários – pode até decretar o fim das CESBs.

Conclui-se pela necessidade de manutenção subsídio cruzado. A aprovação desta, bem como que a proposta de alteração da Lei de Saneamento representa um retrocesso para a política pública de universalização dos serviços, com graves riscos de comprometimento da prestação dos serviços de água e esgoto no País, em especial para as populações mais carentes.

Existem outras formas de estimular a participação privada no setor em parceria com os prestadores públicos, isto sem atribuir aos prestadores privados privilégios que podem desequilibrar o econômico e financeiramente a operação dos sistemas de água e esgoto do País, com consequências catastróficas para a saúde da população.

Os estudos da CNI apontam que há necessidade de aporte de investimentos da ordem de R\$ 300 bilhões para universalização apenas da distribuição de água e esgotamento sanitário. No entanto, acredita-se que estes investimentos sejam em áreas mais carentes. Fragilizar, ou mesmo decretar o fim do sistema de subsídios cruzados, parece ser um retrocesso que prolongará ainda mais o prazo da universalização. Se nas condições atuais, da existência de subsídio cruzado, o prazo para universalização com distribuição de água e esgotamento sanitário só seria possível em 2054, acabar com o subsídio prolongará ainda mais a universalização dos serviços.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Luciana Dayoub Ranieri de. O saneamento básico como elemento essencial do direito ao desenvolvimento e a correlata orientação da Lei nº 11.445 de 2007. In: OLIVEIRA, José Roberto Pimenta; DAL POZZO, Augusto Neves (Coord.). Estudos sobre o marco regulatório de saneamento básico no Brasil. Belo Horizonte: Fórum, 2011, p. 69-91.

ALVES, Alaôr Caffé. Saneamento básico: concessões, permissões e convênios públicos. Bauru, SP: EDIPRO, 1998.

ASHLEY, P. A.; Ética e responsabilidade Social nos Negócios. São Paulo: Saraiva, 2003.

BRASIL. Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. DOU 08/01/2007.

BRASIL. Planalto Central. Decreto 7.217 de 21 de junho de 2010 - Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm)>. Acesso em: 27 abr. 2018

CARVALHO, Vinícius Marques de. O Direito do saneamento básico. Coleção Direito Econômico e Desenvolvimento. Vol. 1. São Paulo: Quartier Latin, 2010.

CASTRO. J. A.; Economia e Sociedade, Campinas, v. 21, Número Especial, p. 1011-1042, dez. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ecos/v21nspe/v21nspea12.pdf>> Acesso em 04/09/2016.

FACHIN, Zulmar; SILVA, Deise Marcelino da. Acesso à água potável: direito fundamental de sexta dimensão. 2ª ed. Campinas, SP: Millennium Editora, 2012.

FERNANDES, A.; A Responsabilidade Social e a contribuição das Relações Públicas. Universidade do Amazonas, Manaus, AM, 2000.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010

HELLER L. *The crisis in water supply: how different it can look through the lens of the human right to water?* Cad Saude Publica 2015; 31(3):447-449.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. Fundamentos de metodologia científica: Técnicas de pesquisa. 7 ed. – São Paulo: Atlas, 2010.

MARTINS, Humberto. F.; Publicização e Organizações Sociais: construindo organizações multicêntricas. In: III Congresso Internacional do Centro Latinoamericano de Administração para o Desenvolvimento. Madrid, 1998, p.1-11.

MONTALVÃO, E. Impacto de tributos, encargos e subsídios setoriais sobre as contas de luz dos consumidores. Centro de Estudos da Consultoria do Senado Federal, Texto para discussão n. 62, Brasília, set. 2009.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Disponível em: <<http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Meio-Ambiente/declaracao-universal-dos-direitos-da-agua.html>> Acesso em 14/08/2016.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. O direito humano a água e saneamento. Disponível em: <[http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief\\_por.pdf](http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf)> Acesso em: 25/04/2018

SANTOS, A.; Construção das Políticas Públicas – processos, atores e papéis, 2009. Disponível em: <<http://www.polis.org.br/uploads/1244/1244.pdf>> Acesso em 28/08/2016.

SILVA, A. L.; FREITAS, M. E.; Para além dos critérios econômicos do trabalho de baixa renda no Brasil. Organ. Soc., Salvador, v. 23, n. 76, p. 37-56, 03/2016.

SILVA. N.B.; A política social no contexto da política pública e da cidadania, 2009. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/leonardossr/politica-social-e-politicas-pblicas>> Acesso em 04/09/2016.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed. Florianópolis, 2005.

SOUTO, Marcos Juruena Villela. O marco regulatório do saneamento básico e o poder normativo das agências reguladoras. In: GALVÃO JUNIOR, Alceu de Castro; XIMENES, Marfisa Maria de Aguiar Ferreira (Org.). Regulação: normatização da prestação de serviços de água e esgoto. Fortaleza: Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará – ARCE, p. 51-72, 2008.

SUPREMO Tribunal Federal. **ADI 1842/RJ – Rio de Janeiro**. Julgamento 6 de mar. 2013. Disponível em: <<http://www.stf.jus.br/portal/jurisprudencia/listarJurisprudencia.asp?s1=%28ADI%24%2ESCLA%2E+E+1842%2ENUM+E%2E%29+OU+%28ADI%2EACMS%2E+ADJ2+1842%2EACMS%2E%29&base=baseAcordaos&url=http://tinyurl.com/bbuaql>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

VARGAS, Marcelo Coutinho; LIMA, Roberval Francisco de. **Concessões privadas de saneamento no Brasil**: bom negócio para quem? Ambiente & Sociedade. vol. VII, nº. 2, jul./dez., 2004.

## **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

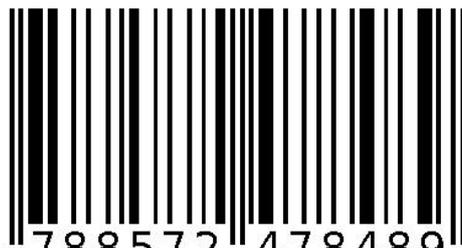
Tijolo 24, 25, 26, 28, 29

Trilho ferroviário 122

Triple bottom line 155, 156, 157, 159

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-848-9



9 788572 478489