

# COLETÂNEA DE ENGENHARIA DE MATERIAIS



**EDITORA KREATIK**

1 Edição  
2020

**Thaise Ribeiro Luz**  
**Organizador(a)**

# **Coletânea de Engenharia de Materiais**

**EDITORA KREATIK**  
**ITAJUBÁ – BRASIL**  
**2020**

© 2020 – KREATIK

editora.kreatik.com.br

✉ publicacao@kreatik.com.br

**Editor(a) Chefe e Organizador(a):** Thaise Ribeiro Luz

**Editoração, Arte e Capa:** Kreatik

**Revisão:** Respectivos autores dos artigos

#### Conselho Editorial

Prof. Me. Ernany Daniel de Carvalho Gonçalves

Prof. Me. João Paulo Chaves Barbosa

Prof. Me. Vinicius de Carvalho Paes

C694

Coletânea de Engenharia de Materiais/  
Organizador(a) Thaise Ribeiro Luz. - Itajubá (MG)  
: Editora Kreatik, 2020.  
73p. : il.

Formato: PDF

Requisito de Sistema: Adobe Acrobat Reader

ISBN 978-65-990896-4-0

Inclui bibliografia

1. Engenharia de Materiais. 2. Materiais.  
I. Luz, Thaise Ribeiro. II. Título.

CDD: 620

Os **conteúdos** dos artigos científicos incluídos nesta publicação são de **responsabilidade** exclusiva dos seus respectivos **autores**.

## **Apresentação**

Seja bem-vindo leitor!

A **Coletânea de Engenharia de Materiais** é uma publicação no formato e-book PDF, organizada com conteúdos científicos especialmente selecionados da área de Engenharia de Materiais.

Os artigos organizados como capítulos desta coletânea, visam garantir maior visibilidade dos mesmos por meio de um canal de comunicação acessível para muitos leitores, facilitando também o compartilhamento do conteúdo. No fim desta publicação pode ser verificada a biografia dos autores.



# SUMÁRIO

<b>Capítulo 1</b> -----	página 5
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ALVENARIA CONVENCIONAL E ALVENARIA LEVE COM UTILIZAÇÃO DO BLOCO DE EPS	
Angelica Fernandes Lima, Camila Aparecida Peixoto Muruci, Mike Monteiro Custodio, Gabriel Pereira Gonçalves, Fernanda Rangel de Azevedo de Paula, Cristiano Pena Miller, Muriel Batista de Oliveira, Pietro Valdo Rostagno.	
<b>Capítulo 2</b> -----	página 19
AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRA VEGETAL PHORMIUM TENAX	
Fábio Furtado, Thaís Helena Sydenstricker Flores-Sahagun, Felipe Gonçalves Jedyn.	
<b>Capítulo 3</b> -----	página 38
CARACTERIZAÇÃO DE DEFEITO NO REVESTIMENTO DE NÍQUEL E CROMO DURO FUNCIONAL EM UM AÇO SAE 1045	
Thiago Monteiro Maquiné, Suelem de Jesus Pessoa, Perla Alves de Oliveira, Marcia Cristina Gomes de Araújo Lima, Efraim Ribas Linhares Bruno, José Costa de Macêdo Neto.	
<b>Capítulo 4</b> -----	página 47
ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DA ESTABILIDADE TÉRMICA DO COMPOSTO POLI(CLORETO DE VINILA) -PENTÓXIDO DE NIÓBIO IRRADIADO COM RADIAÇÃO GAMA	
Tiago Lopes de Araújo, Yêda Medeiros Bastos de Almeida, Anderson Andrade Fontes, Juarez Dantas do Nascimento Junior.	
<b>Capítulo 5</b> -----	página 53
FILMES BIODEGRADÁVEIS COMO FERTILIZANTES DE LIBERAÇÃO CONTROLADA DE NITROGÊNIO	
Renata Paula Herrera Brandelero, Evandro Martin Brandelero.	
<b>Capítulo 6</b> -----	página 62
FILMES DE AMIDO/QUITOSANA ADICIONADOS DE FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS E NANOCRISTAIS DE CELULOSE	
Renata Paula Herrera Brandelero, Guilherme Landim Santos, Evandro Martin Brandelero.	
<b>Sobre os autores</b> -----	página 70
<b>Sobre o(a) organizador(a)</b> -----	página 73

# Capítulo 1

## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ALVENARIA CONVENCIONAL E ALVENARIA LEVE COM UTILIZAÇÃO DO BLOCO DE EPS

Angelica Fernandes Lima  
Camila Aparecida Peixoto Muruci  
Mike Monteiro Custodio  
Gabriel Pereira Gonçalves  
Fernanda Rangel de Azevedo de Paula  
Cristiano Pena Miller  
Muriel Batista de Oliveira  
Pietro Valdo Rostagno

# ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ALVENARIA CONVENCIONAL E ALVENARIA LEVE COM UTILIZAÇÃO DO BLOCO DE EPS

Angelica Fernandes Lima  
Camila Aparecida Peixoto Muruci  
Mike Monteiro Custodio  
Gabriel Pereira Gonçalves  
Fernanda Rangel de Azevedo de Paula  
Cristiano Pena Miller  
Muriel Batista de Oliveira  
Pietro Valdo Rostagno

## Resumo

O presente trabalho apresenta um estudo comparativo da viabilidade econômica e tempo de execução na construção civil, obtidos a partir da análise, dimensionamento e orçamento, apresentados por dois modelos, tais como: um edifício de quatro pavimentos construído de alvenaria leve com o uso de blocos de concreto preenchidos com EPS – Poliestireno Expandido e o mesmo edifício construído de alvenaria convencional. Os blocos de concreto com adição de EPS, é um sistema moderno e inovador implantado na construção civil que se mostra competitivo em paredes de vedação, sendo uma alternativa capaz de substituir o *Drywall* em divisórias, de forma eficiente. Este novo método alternativo destacou-se na pesquisa por contribuir para o desenvolvimento sustentável, visto que hoje essa é uma das finalidades na área da engenharia civil, já que reduziu significativamente os resíduos e então descartes das sobras de materiais. Além de ser mais viável em questão de tempo e custo, é uma tecnologia moderna, onde são adotadas medidas, tendo em vista a otimização dos recursos naturais, resultando em maior comodidade, economia através do reaproveitamento dos resíduos obtidos no processo de construção da edificação, além da diminuição do consumo de matérias-primas virgens. Nesse sentido, os resultados das diversas aplicações do Poliestireno expandido no modelo abordado, mostra que o mesmo possui bom isolamento térmico e acústico, fácil instalação e acabamento, menores cargas sob a fundação devido a sua densidade e redução relevante do consumo de armaduras nos elementos estruturais.

**Palavras-chave:** comparativo, viabilidade econômica, tempo de execução, desenvolvimento sustentável, EPS, construção civil, alvenaria leve.

## 1. Introdução

Nos tempos atuais a procura por inovações tecnológicas para serviços comuns do dia a dia

passou a ser uma prioridade nas fábricas e indústrias em geral, e na construção civil não é diferente. A todo tempo, procura-se soluções mais rápidas com menor custo e que seja sustentável.

Segundo Delattorre (2014), com a obrigação de contribuir com novos empreendimentos no mercado imobiliário, é de suma importância e necessidade, levar em consideração parâmetros com melhores técnicas construtivas para promover o crescimento e possibilitar melhores investimentos na área da construção civil. Nos dias de hoje, a sociedade se deparou com novas exigências e com uma competitividade maior no meio da construção civil, por isso, a aplicação de novas técnicas e novos métodos construtivos, foram renovadas e relacionadas à eficiência com um menor custo do empreendimento.

O bloco de concreto preenchido com Poliestireno Expandido (EPS) aborda todos esses fatores na construção civil, que vem com uma proposta de reduzir o tempo de construção e gerar economia nas demais etapas construtivas.

O objetivo principal deste trabalho é a realização de um estudo comparativo entre o sistema construtivo de alvenaria convencional de tijolos cerâmicos vazados e o bloco de concreto preenchido com EPS da empresa BLOCOM.

## 2. Revisão da literatura

Segundo Siqueira (2017), o uso do EPS se mostra uma vantajosa alternativa a tradicional alvenaria de blocos cerâmicos, seja por suas características de isolamento térmico ou pelo seu baixo peso específico e ganhos até no dimensionamento estrutural de uma edificação, podendo alterar diversos processos construtivos.

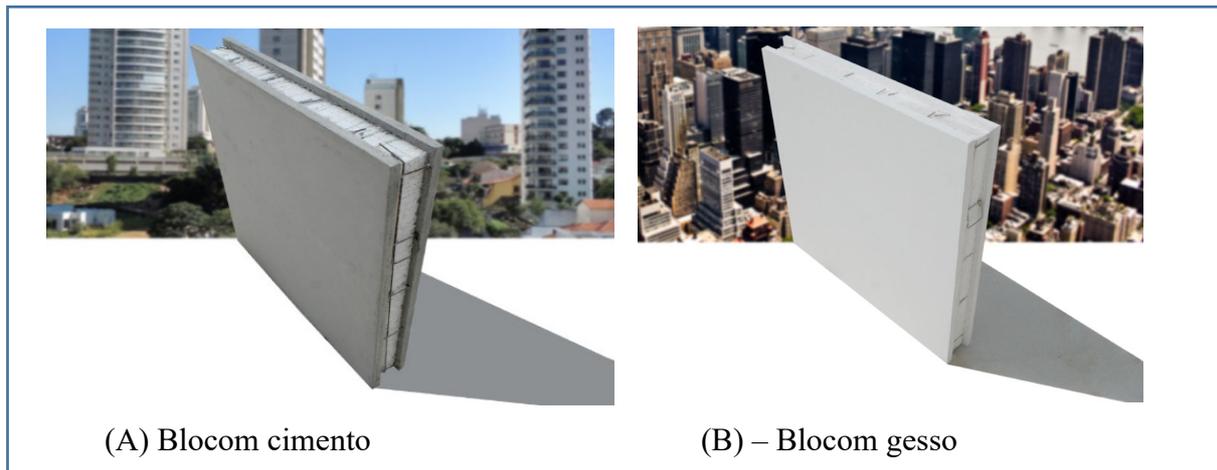
Com esta finalidade, foi escolhido um sistema construtivo de vedação em placas de EPS desenvolvidas pela fábrica da BLOCOM, em Itaperuna-RJ, que vem com uma proposta de reduzir o tempo de construção, gerar economia e solidez na obra, além de um elevado isolamento térmico e acústico.

### 2.1. Blocom

O sistema construtivo idealizado pela B4K Inovações da Blocom é uma alvenaria a ser construída com placas, podendo ser constituída de:

- **Blocom Argamassa Armada (Fig. 1-A):** Cimento Portland CP V-ARI, aditivo impermeabilizante, pó de pedra, água, ferro CA 60 fio 3,4 mm – 20x20 cm soldada e poliestireno expandido (EPS). Possui dimensão de 90 x 90 x 13 cm e peso de 45 a 48 kg.
- **Blocom Gesso Armado (Fig. 1-B):** Gesso, água, ferro CA 60 fio 3,4 mm – 20x20 cm soldada e poliestireno expandido (EPS). Possui dimensão de 90 x 90 x 13 cm e peso de aproximadamente 23 kg, conforme representado na figura 1-B.

Figura 1 –Placa para vedação em EPS: (A) Blocom cimento e (B) Blocom gesso



Fonte: Blocom (2018).

### 2.1.1. Fabricação

A produção das placas do Blocom argamassa armada se inicia com a fabricação dos seus componentes.

O Núcleo é composto a partir de blocos de EPS, que segundo Neto (2008), é um plástico celular rígido resultado da polimerização do estireno em água, e que tem como matéria prima o polímero de estireno, que é obtido a partir do petróleo.

O revestimento do núcleo é feito com três colaboradores, juntamente com uma betoneira para a confecção do concreto, uma mesa para a dobragem da ferragem envolvendo o EPS, chaves especiais para o acabamento da dobra, fôrmas de tamanhos específicos para que o bloco obtenha sua dimensão final de 90 x 90 x 13 cm e local próprio para a secagem e desforma. A figura 2 demonstra o interior dos blocos e representa uma das fases de confecção.

De forma resumida, a fabricação consiste em tais etapas (BLOCOM, 2018):

- Envolvimento da armadura no EPS;
- Colocação de grampos para fixação da armadura;
- Preparação da forma para concretagem;
- Concretagem das camadas;
- Secagem e desforma.

Figura 2 – Envolvimento da armadura no EPS



Fonte: Blocom (2018).

### 2.1.2. Instalação

Para realizar a instalação correta das placas fabricadas, o fabricante apresenta as seguintes recomendações:

**Passo 1:** A colocação da primeira fiada deve ser iniciada pelos cantos. O local e o bloco devem ser molhados (não encharcados) e as placas assentadas sobre uma argamassa convencional de assentamento, onde o primeiro bloco se apoiará, formando uma espécie de “bolsa” de aproximadamente 10 cm de largura x 5 cm altura x 90 cm comprimento e assente o primeiro bloco. Esta “bolsa” deverá preencher todo o vão entre os 2 painéis de cada bloco e o EPS. As laterais e parte superior também devem ser preenchidas pela mesma argamassa para encostar em outros blocos ou em outros materiais, como por exemplo os pilares. Confira o prumo, nivelamento e alinhamento como feito na alvenaria convencional.

**Passo 2:** Antes de encostar outro bloco, os dispositivos alinhadores, que são fornecidos junto com os blocos, devem ser colocados deixando a base 1 (furações mais próximas) para o lado que se tem mais facilidade de girá-la, conforme representado na figura 3.

**Passo 3:** O próximo bloco deve ser encaixado. A base 1 dos dispositivos alinhadores deve ser girada individualmente somente o suficiente para alinhar o bloco, sem tencionar demasiadamente. Após este procedimento, o prumo deve ser conferido, e, a parte levantada deve ser nivelada e alinhada como feito na alvenaria convencional.

**Passo 4:** Os passos 2 e 3 devem ser repetidos com os demais blocos sempre respeitando o limite de 2 fiadas (um bloco em cima do outro) em um período de 24 horas. Caso a parede levantada tenha resíduos de argamassa de assentamento na superfície das placas, a limpeza desses resíduos é recomendada antes de atingir o tempo de fim de pega.

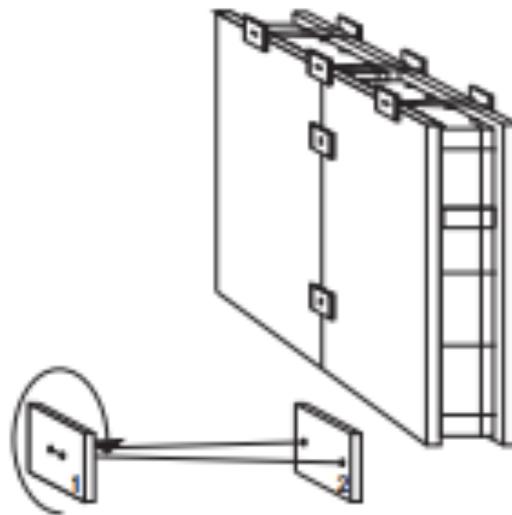
**Passo 5:** Após a secagem da argamassa de assentamento, os dispositivos alinhadores devem ser retirados.

**Passo 6:** Para a passagem de tubulações elétricas, hidráulicas e demais sistemas prediais, é necessário usar uma maquina e serrote para o EPS.

**Passo 7:** Uma argamassa expansiva ou massa acrílica deve ser aplicada nos espaços entre os blocos, realizando o acabamento. É importante que esses produtos sejam de boa qualidade, pois permitirão as movimentações de retração causadas pela hidratação do cimento, expansão, variação de temperatura, vibração, entre outros, minimizando o risco de fissuras ou trincas.

**Passo 8:** Igualmente a outros diversos materiais, o bloco também deverá ser selado e pintado para aumentar a impermeabilidade e durabilidade.

Figura 3 – Dispositivos alinhadores encaixados no Blocom



Fonte: Blocom (2018).

### 2.1.3. Vantagens

Os blocos de concreto preenchidos com EPS apresentam melhores benefícios na construção civil em relação aos blocos cerâmicos, os famosos tijolos baiano.

Segue algumas de suas vantagens (BLOCOM, 2018):

- Leveza (peso específico);
- Não necessita de mão-de-obra especializada;

- Baixo consumo de argamassa;
- Redução no tempo de assentamento, acabamento e secagem, minimizando custos com mão-de-obra;
- Utilização de materiais amplamente aplicados na construção civil – cimento, gesso e isopor;
- Dispensa as etapas (chapisco, emboço e reboco), devido ao bloco possuir acabamento fino;
- Possui alto isolamento térmico e acústico;
- Não há desperdício de material, devido as sobras e aparas serem recicladas e reaproveitadas no processo produtivo;
- Trabalhabilidade – instalação fácil e rápida;
- Material incombustível.

#### **2.1.4. Desvantagens**

O produto apresenta mínimas desvantagens para a sua utilização como:

- Alto custo inicial para começar a obra;
- Peso dos blocos ao serem transportados manualmente a uma altura elevada;
- Pouco comercializado, devido à resistência dos clientes e profissionais em utilizar um produto novo no mercado.

## **2.2. Alvenaria convencional**

Conforme definição na norma NBR 15270-1 (2005), os tijolos cerâmicos de vedação possuem furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm, podendo ser produzidos com furos na horizontal ou na vertical. Devem ser fabricados por conformação plástica de matéria prima argilosa, contendo ou não aditivos, e queimados a elevadas temperaturas.

Os tijolos furados, de acordo com Sabbatini (2002, apud BARBOSA, 2015), correspondem a cerca de 85% a 95% do volume da alvenaria e determinam as principais características de desempenho, projeto e produção.

A alvenaria convencional, tanto interna quanto externa, tem a principal função de vedar ambientes, ou seja, não tem função de resistir às outras cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte (GONÇALVES, 2018), e, deve ser fabricado por conformação plástica de matéria-prima argilosa, contendo ou não aditivos, e queimados a elevadas temperaturas.

### **2.2.1. Vantagens**

Esse tipo de alvenaria tem como vantagens (GONÇALVES, 2018):

- Modelo construtivo mais comum no país, fazendo parte da nossa cultura;
- Não requer mão de obra qualificada;
- Gasto de material mais em conta, comparado com outros sistemas construtivos;
- Tolerância à construção de vãos maiores em virtude dos elementos estruturais (vigas, pilares e lajes) que sustentam a edificação (IBDA, *online*);
- Não existem limites para futuras reformas ou ampliações (IBDA, *online*).
- 

### 2.2.2. Desvantagens

Suas desvantagens também bem conhecidas com o passar de sua utilização são (IBDA, *online*):

- Deficiência de distribuidores para produção de tijolos com maior resistência;
- Carência de trabalhadores qualificados para execução o que pode comprometer a qualidade da obra;
- Baixa produtividade, se comparado aos outros sistemas construtivos;
- Há um desperdício de materiais em toda obra, gerando entulhos;
- Necessidade de quebrar as paredes construídas para passagem de tubulações.

## 3. Metodologia

Para a realização do trabalho, foi utilizado o método comparativo de custos. Para isso, foi elaborado pelos autores o projeto de engenharia civil e seus complementares de um edifício residencial com quatro pavimentos, onde consiste em pavimento térreo com recepção e garagem, e três pavimentos tipo, cada um contém três apartamentos, abrangendo uma área construída de 766,64 m<sup>2</sup>. No orçamento da edificação foram contempladas todas as etapas construtivas pertinentes ao mesmo, sendo desenvolvido dois tipos de orçamentos, um com alvenaria convencional de tijolos cerâmicos e outro com o uso do bloco de EPS da Blocom de Itaperuna-RJ.

A comparação de custos visou analisar as principais diferenças financeiras dos dois sistemas construtivos de alvenaria, com a perspectiva de ressaltar as suas diferenças e as similaridades. Fez-se o uso de uma planilha orçamentária usando como base o SINAPI do Estado do Rio de Janeiro, referente ao mês de junho de 2018.

## 4. Resultados e discussões

Para iniciar o orçamento, foi realizado o cálculo do quantitativo de materiais e serviços necessários para a execução da obra a partir dos projetos de engenharia civil e complementares. O orçamento completo foi desenvolvido com auxílio de planilha eletrônica contendo memória de cálculo, planilha orçamentária, cronograma físico financeiro e demonstrativo do BDI. Estes documentos completos, assim como os projetos de engenharia, são encontrados na biblioteca

do Centro Universitário Redentor, unidade Itaperuna-RJ.

No quadro 1 é apresentado uma síntese dos serviços orçados juntamente com o valor global da construção da edificação proposta pelos autores sendo construída em alvenaria tradicional (tijolo cerâmico), enquanto no quadro 2 é apresentado esta mesma síntese, porém com a edificação sendo construída com o Bloco de EPS da Blocom.

Analisando os quadros 1 e 2, a estimativa do custo inicial com a alvenaria, onde o preço total do bloco de EPS foi de R\$64.497,60 em relação ao preço total da alvenaria convencional de R\$64.452,27. A “recompensa” vem na fase de revestimento onde o bloco de EPS apresenta uma redução significativa do preço total de R\$42.207,97 comparado com a alvenaria convencional que apresentou um elevado preço total de R\$57.901,99. Essa diferença é devido ao valor do bloco de EPS, sendo de aproximadamente R\$70,00 a unidade, visto que os tijolos cerâmicos não necessitam de um investimento inicial elevados por serem mais baratos, a explicação econômica é na fase de revestimento, devido aos blocos já serem acabados de fábrica, enquanto os tijolos cerâmicos devem passar por todos os processos de acabamento, tornando assim a alvenaria leve e mais econômica.

Quadro 1 – Resumo do orçamento referente ao material de alvenaria convencional

Índice	Descrição	QT	Preço Total
1.	SERVIÇOS PRELIMINARES	1,0	29.132,11
2.	INFRAESTRUTURA	1,0	54.400,35
3.	ALVENARIA	1,0	64.452,27
4.	SUPRAESTRUTURA	1,0	670.514,35
5.	INSTALAÇÕES HIDRAULICAS	1,0	35.907,03
5.1.	INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA	1,0	24.291,60
5.2.	ESGOTO	1,0	11.615,43
6.	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	1,0	51.323,06
7.	ESQUADRIAS	1,0	56.651,47
8.	REVESTIMENTO	1,0	57.901,99
9.	PISO	1,0	94.921,33
10.	PINTURA	1,0	12.778,86
11.	LIMPEZA DA OBRA	1,0	2.890,22
<b>Total:</b>			<b>1.228.872,74</b>

Fonte: AUTORES (2018).

Quadro 2 – Resumo do orçamento referente ao bloco preenchido com EPS

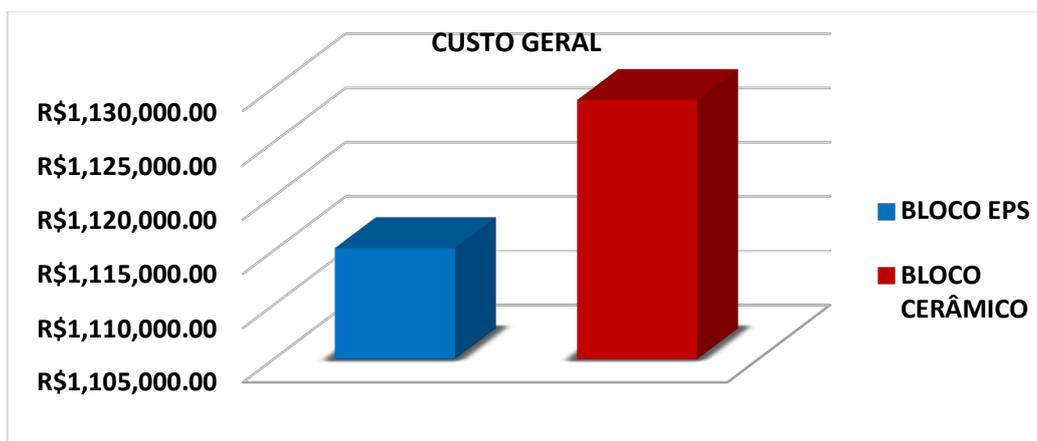
Índice	Descrição	QT	Preço Total
1.	SERVIÇOS PRELIMINARES	1,0	29.132,11
2.	INFRAESTRUTURA	1,0	54.400,35
3.	ALVENARIA	1,0	64.497,60
4.	SUPRAESTRUTURA	1,0	670.514,35
5.	INSTALAÇÕES HIDRAULICAS	1,0	35.907,03
5.1.	INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA	1,0	24.291,60
5.2.	ESGOTO	1,0	11.615,43
6.	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	1,0	51.323,06
7.	ESQUADRIAS	1,0	56.651,47
8.	REVESTIMENTO	1,0	42.207,97
9.	PISO	1,0	94.921,33
10.	PINTURA	1,0	12.778,86
11.	LIMPEZA DA OBRA	1,0	2.890,22
<b>Total:</b>			<b>1.115.224,05</b>

Fonte: AUTORES (2018).

Visto isso, foi possível comprovar a viabilidade dos blocos de EPS na construção civil, utilizando as estimativas de custos e de tempo de execução da obra, com a elaboração do orçamento, levando em consideração todos os requisitos necessários.

No gráfico 1 representado abaixo, observa-se o valor aproximado do custo final da obra, sendo o bloco cerâmico R\$1.228.872,74, onde se tem uma redução com a utilização do bloco de EPS com R\$1.115.224,05.

Gráfico 1 – Custo Geral

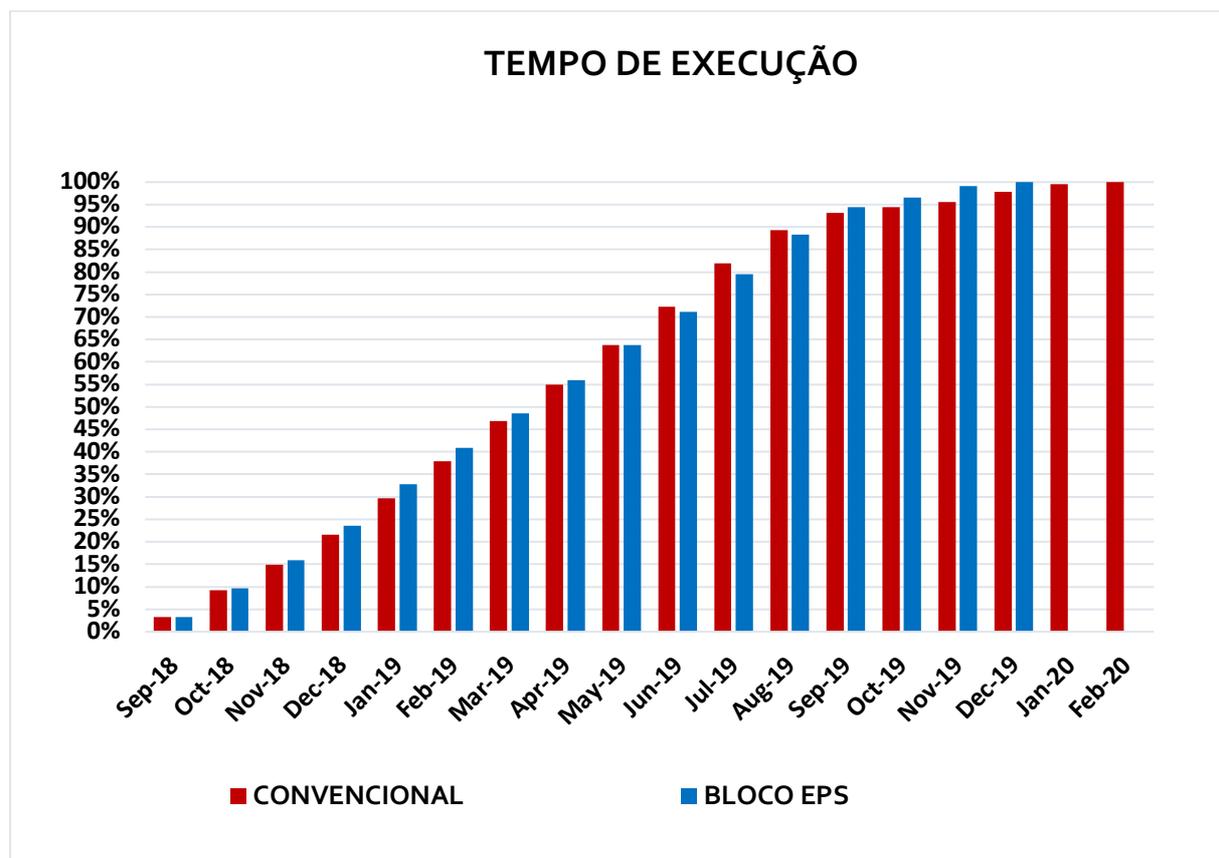


Fonte: AUTORES (2018).

No gráfico 2 representado abaixo, observa-se a estimativa do tempo final de execução da obra, levando em consideração a utilização dos blocos cerâmicos e blocos de EPS, ambos previstos para iniciarem em setembro de 2018, porém o bloco de EPS terminaria em dezembro de 2019, enquanto o bloco cerâmico terminaria em fevereiro de 2020, uma vantagem de

aproximadamente dois meses de execução para a alvenaria leve.

Gráfico 2 – Tempo de execução



Fonte: AUTORES (2018).

Com relação a estrutura da edificação, não foram realizadas alterações no carregamento e demais compatibilizações estruturais na substituição da alvenaria tradicional pelo sistema leve produzido pela BLOCOM, ou seja, foi adotado o mesmo sistema estrutural, com os elementos com as mesmas dimensões, para ambos orçamentos.

Pode ser observado que aconteceu uma redução no valor final da obra adotando simplesmente o novo material, já que o material em estudo apresenta uma economia de etapas construtivas faz-se menos uso de material logo gera-se uma economia na fase de revestimento. Se a estrutura fosse redimensionada para a edificação a ser construída usando alvenaria leve, com baixo peso específico, o custo da execução dos serviços de Infra e Superestrutura seriam ainda mais baixos, corroborando em uma queda ainda maior no preço global do imóvel com blocos da Blocom.

Um dos resultados obtidos foi o gasto do valor de alvenaria convencional, praticamente o mesmo do Blocom, confirmando assim sua boa aderência ao mercado.

Houve uma redução no valor de revestimento usado na obra que de acordo com o orçamento foi de 53,63% a menos de revestimento, gerando grande impacto na obra.

O valor mais expressivo e que traz mais vantagem ao produto foi o tempo gasto para execução

da alvenaria convencional, sendo ele cerca de 54,80% a mais do que o Blocom, fazendo com que as etapas seguintes que dependem desse serviço sejam adiantadas e com isso a obra sendo executada de forma mais rápida.

## **5. Conclusão**

O presente trabalho buscou realizar um estudo de um material alternativo na construção civil na cidade de Itaperuna-RJ, e apresentar a viabilidade de se adotar este novo método, sendo realizado um orçamento de uma edificação residencial com quatro pavimentos de padrão de custo normal.

O estudo de caso foi feito através da comparação de uma edificação projetada de quatro pavimentos, contendo três apartamentos por andar em alvenaria tradicional, e, uma outra idêntica, porém, sendo utilizado um sistema de vedação mais leve com o uso de EPS em placas. Visto que é um material que já chegou no mercado da cidade, a prática de se aplicar o bloco de EPS como sistema construtivo, tem como retorno conforto, estética, tempo, economia, além de uma arquitetura mais moderna.

Este é capaz de isolar os ambientes, com maior capacidade de absorção do som e equilíbrio térmico, criando assim um ambiente agradável em todas as estações do ano, sem a necessidade de climatizadores.

O bloco de EPS já vem acabado de fábrica, sendo assim dispensa as etapas de chapisco e emboço, utilizados em técnicas convencionais da indústria civil presente no mercado. Desta forma o tempo é ganho, visto também, que as instalações (elétricas e hidráulicas) são instalados juntamente com o assentamento do bloco. Sem a necessidade de construir a parede para depois demolir parte, necessária para passagem de eletroduto e tubos. Da mesma forma, o período gasto para fazer uma manutenção é muito menor, assim como o entulho. Assim também se procede com reformas.

Os sistemas elétricos e hidráulicos já podem ser testados antes mesmo de finalizar o revestimento, favorecendo a identificação de possíveis falhas e prejuízos futuros.

Após a análise comparativa obteve uma redução de 54,80% de tempo de execução do serviço de alvenaria, e na fase de revestimento tem-se uma economia chegando a 53,63%, impactando diretamente no tempo final da obra em 10,16% a menos de execução. Com isso além da economia de material final ainda se tem a economia por tempo de serviço onde se pode obter valores ainda melhores para redução de custos.

Considerando os termos apresentados, o estudo demonstra que a utilização do bloco de EPS apresenta grandes diferenças com relação as técnicas usuais, tornando-se uma ótima opção para a construção da edificação contendo as características superiores como velocidade de execução e economia de custo final de obra, fazendo com que sua aplicação seja incorporada nas construções locais.

Conclui-se que a compatibilização de diversas áreas e o uso das normas vigentes, tornam os projetos mais eficientes para atender aos requisitos de conforto e segurança para os usuários, conseguindo com isso um empreendimento de qualidade não apresentando problemas quanto a sua utilização.

## REFERÊNCIAS

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno expandido. O EPS na Construção Civil: Característica do Poliestireno expandido para utilização em edificações. São Paulo, set. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria. NBR 6136. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Componentes Cerâmicos – Parte 1 – Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação. NBR 15270-1. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos. NBR 8545. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. NBR 7170. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento. NBR 12721. Rio de Janeiro, 2006 – Errata 2007.

BARBOSA, E. M. L. Análise comparativa entre alvenaria em bloco cerâmico de vedação e drywall. ISSN 2179-5568 – Revista Especialize On-line IPOG - Goiânia - Edição nº 10 Vol. 01/ 2015 dezembro/2015

BLOCOM. Empresa fabricante dos Blocos de EPS. Disponível em: <<https://www.blocombr.com.br>>. Acesso em: 4 de abril. 2018.

BLOG, Qualidade Online. Bloco vazado de concreto simples. Disponível em: <<https://qualidadeonline.files.wordpress.com>>. Acesso em: 10 maio 2018.

BRASIL, Eps. ABIQUIM Associação Brasileira da Indústria Química Comissão Setorial de

EPS. Disponível em: <<http://www.epsbrasil.eco.br/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

DELLATORRE, L. A. Análise Comparativa de Custo entre Edifício de Alvenaria Estrutural e de Concreto Armado Convencional. TCC em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

EPS BRASIL. Comissão setorial do EPS poliestireno expansível. Disponível em: <<http://www.epsbrasil.eco.br/>>. Acesso em: 6 de abril. 2018.

e-Construmarket. Bloco compensador. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/>>. Acesso em: 10 maio 2018.

GONÇALVES, G. P. Materiais de Construção I. 1ª ED. ISBN: 978-85-54297-02-2. Itaperuna-RJ: Editora IBL, 2014.

LOPES, O. et al. Orçamento de obras. Apostila do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, Florianópolis, SC, 2003.

SABBATINI, F. H. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: Formulação e aplicação de uma metodologia. São Paulo, USP, 1989. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1989.

SIQUEIRA, T. E. Análise de Desempenho e custos de Sistemas de vedação em EPS. Pato Branco, Trabalho de Conclusão de Curso. UTFPR, 2017..

NETO, José O. A. Caracterização do comportamento geotécnico do EPS através de ensaios mecânicos e hidráulicos. 227 p. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2008.

# Capítulo 2

## AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRA VEGETAL PHORMIUM TENAX

Fábio Furtado  
Thaís Helena Sydenstricker Flores-Sahagun  
Felipe Gonçalves Jedy

# AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRA VEGETAL *PHORMIUM TENAX*

Fábio Furtado

Thaís Helena Sydenstricker Flores-Sahagun

Felipe Gonçalves Jedyn

## Resumo

A concepção de produtos envolve temas como inovação, matéria-prima, custos, processamento, aplicabilidade e a qualidade para suprir as expectativas dos clientes. Para se conceber um produto pensando em sua matéria-prima também é necessário se atentar na sua manufatura. A *Phormium-tenax* é uma fibra vegetal que usada na forma *in natura* é capaz de desenvolver produtos diferenciados quando aplicada como reforço do polipropileno. Alguns dos aspectos físicos dos materiais compósitos de polipropileno reforçados pela *Phormium tenax* são a coloração, a textura, o brilho, a estética, a leveza, o contraste, as propriedades sensoriais (cheiro) e antioxidantes. A área mobiliária (mesas e cadeiras), produtos de decoração e o uso em rodapé de casas e apartamentos são alguns dos possíveis exemplos de aplicação.

**Palavras-chave:** aspectos físicos, manufatura, concepção de produtos.

## 1. Introdução

### 1.1. Produto e inovação

O Manual de Oslo (FINEP, 2005) considera uma empresa inovadora quando ela realiza pelo menos uma inovação em produto, processo, marketing ou gestão de negócios ou então em uma combinação entre eles, sem se atentar ao fato dessas inovações serem incrementais ou radicais ou ainda associadas a setores da mais alta densidade tecnológica. De acordo com Goelzer et al. (2014) uma inovação pode ser considerada como algo novo, ou a melhora de um processo para uma empresa. Essa percepção de inovação segue quase o mesmo conceito que a concepção de um projeto, o qual tem como conceito, um esforço temporário para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo (PMBOK, 2013). Este artigo tem por objetivo avaliar os aspectos visuais e sensoriais adquiridos pelos novos materiais compósitos, bem como as propriedades físicas, como a densidade.

De acordo com a visão de Churchill Jr. e Peter (2000) um produto pode ser definido como um bem de consumo, cuja destinação é o consumidor final, ou ainda de bens industriais, que se destinam às organizações. Tanto os produtos classificados como bens de consumo como

aqueles considerados como de bens industriais podem ser organizados, cada qual, em quatro classes possíveis (CORRÊA, 2019), sendo eles listados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Classificação dos bens de consumo e suas características

<b>Bens de Consumo</b>			
Classe	Preço	Promoção	Distribuição
Conveniência	Baixo	Em massa	Ampla
Compra comparada	Moderado	Em massa	Seletiva
Especialidade	Alto	Massa, venda precisa	Exclusiva
Não procurado	Alto	Específica	Exclusiva

Fonte: Adaptado de Corrêa (2019).

Tabela 2 – Classificação dos bens industriais e suas características

<b>Bens Industriais</b>				
Classe	Decisão de Compra	Membros	Preço	Promoção
Instalações	Complexa	Muitos	Irrelevante	Vendas pessoais
Acessórios	Rápida	Poucos	Irrelevante	Propaganda
Matéria-prima	Frequente	Muitos	Relevante	Vendas pessoais
Serviço	Variável	Poucos	Variável	Variável

Fonte: Adaptado de Côrrea (2019).

Um novo material pesquisado e detalhado neste artigo refere-se a um compósito de matriz de polipropileno reforçado com fibras vegetais curtas, longas e contínuas de *Phormium tenax*, que pode servir de matéria-prima para confecção de produtos a partir de compósitos poliméricos. As fibras de *Phormium tenax* podem conferir características novas e atrativas ao produto, agregar melhor satisfação ao consumidor, servir como um atrativo qualitativo e uma inovação incremental. Para Tidd et al. (2008) a inovação incremental em um produto é aquela que parte daquilo é existente e se almeja o aprimoramento e que quando contínua e sustentada, por intermédio de plataformas que favoreçam o desenvolvimento de famílias de produtos, aplicabilidade em outros mercados e habilidades, impulsionam o aumento do desempenho e favorece as inovações em processos.

## 1.2. Uso de fibras vegetais e *Phormium tenax*

Fibras lignocelulósicas são amplamente estudadas por apresentarem diversas vantagens em relação a outros materiais (SATYANARAYANA et al., 2009). Elas possuem aspectos relevantes no que concerne a sua utilização devido às questões econômicas, bem como ao seu baixo custo e fácil obtenção; baixa densidade, o que a confere leveza; aspectos ambientais e de

melhorias em propriedades de mistura com polímeros, como a resistência e módulo de elasticidade. Baixo custo, baixa densidade, menor abrasividade aos equipamentos usados na manufatura, redução da agreção ao meio ambiente e biodegradabilidade são algumas das vantagens apontadas por Miraoui e Hassis (2012) para o emprego das fibras vegetais como matérias-primas quando comparado às tradicionais fibras de vidro e de outros materiais inorgânicos. Outra questão que também desperta a atenção do mercado quanto ao uso de fibras vegetais se deve à economia de energia e à possibilidade delas serem recicladas quando inseridas em compósitos ao fim da vida útil do componente (PERVAINZ & SAIN, 2003).

Nesta pesquisa a fibra vegetal usada como matéria-prima é a *Phormium tenax*, uma gramínea pertencente à família das *Hemerocallidaceae* originária da Nova Zelândia e ilhas adjacentes, que podem ser encontradas em diversos terrenos, desde as várzeas pantanosas até as encostas de morros, cujas altitudes variam do nível do mar até 1.200 m (MEDINA; AGUIRRE JÚNIOR; CORREIA, 1947). Ela pode se adaptar ao clima equatorial, oceânico, subtropical e tropical, aumentando assim a faixa de lugares em que ela pode ser plantada ou encontrada, bem como no Sul do Brasil. Ela apresenta variedades de folhas verdes, avermelhadas ou variegada (folhas avermelhadas ou esverdeadas com listras em outras cores) (PATRO, 2014). A *Phormium tenax* é empregada como planta ornamental em jardins públicos e particulares e para a amarração de enxertos, de viveiros de mudas frutícolas e de feixes de hortaliças e temperos, embora existam povos de algumas ilhas que a utilizem para a fabricação de cordoaria, artesanato, cestaria e até como planta medicinal (MEDINA; AGUIRRE JÚNIOR; CORREIA, 1947). Ela também é vista como uma planta herbácea monocotiledônea perene e é aplicada na indústria têxtil e de celulose (GIORGIO et al., 2020).

### **1.3. Processos de manufatura**

Um dos processos utilizados nesta pesquisa é a extrusão. Para isso é utilizada uma extrusora, na qual o polímero a ser processado entra por um reservatório em formato de funil e passa por uma abertura retangular que conta com um mecanismo que regula a alimentação da quantidade de polímero. Uma extrusora de polímeros pode ser formada por diversos estágios e neles existe um mecanismo na forma de rosca única ou dupla que empurra o polímero termoplástico aquecido e os aditivos por uma abertura de matriz para produzir formas sólidas, filmes, chapas, tubos, extrusão de filme inflado, entre outros (ASKELAND & PHULÉ, 2003).

Outro processo também utilizado nesta pesquisa é a moldagem por compressão, que segundo Blass (1988), que pode processar tanto polímeros termorrígidos como polímeros termoplásticos. A moldagem por compressão envolve uma prensa hidráulica, um molde, um sistema de aquecimento, um sistema de refrigeração e a matéria-prima a ser moldada. Nela, com a prensa aberta, deposita-se o material de moldagem, em forma de pó, flocos, esferas, tabletes ou pré-formas sobre a cavidade do molde inferior. A prensa é acionada de modo que

os moldes incidam suavemente um contra o outro, aumentando progressivamente a pressão exercida sobre o material a moldar (BLASS, 1988). Durante o tempo de cura, o sistema de aquecimento é acionado e após o tempo de cura, aciona-se o sistema de refrigeração e quando atingida uma baixa temperatura inicia-se a etapa de desmoldagem, em que a prensa é acionada, abrindo o molde e o moldado é extraído.

Embora esta pesquisa trabalhe com a fibra *in natura* é importante entender que ela pode sofrer tratamentos de modificação de sua superfície para melhorar a adesão com a matriz polimérica. Esses tratamentos por ser dados por meio de métodos químicos e físicos. Dentre os métodos físicos elencados por Bledzki e Gassan (1999) há o estiramento, a calandragem, a produção híbrida de fios e o termotratamento. Todos esses métodos não alteram a composição química das fibras, mas modificam sua estrutura, suas propriedades superficiais e influenciam a adesão aos polímeros. Outros procedimentos físicos citados é a descarga elétrica corona e a descarga elétrica de plasma a frio que ativa a oxidação superficial. Os processos modificam a energia superficial das fibras de celulose e no caso da superfície da madeira a ativação aumenta o número de amontoados de grupos aldeídos. Os dois últimos métodos citados são eficientes para substratos poliméricos não ativos: poliestireno (PS), polietileno (PE), PP, etc.

Outro método físico de modificação da fibra celulósica é a mercerização, definida pela norma ASTM D 1965 como um processo de sujeição da fibra vegetal a uma pequena concentração de uma solução aquosa de uma base forte para produzir grande inchaço resultando na mudança da fina estrutura, dimensional, morfológica e das propriedades mecânicas (ABOUL-FADL *et al*, 1985). As fibras também podem passar por processos de secagem, corte, pesagem e revestimento.

Outros métodos de processamento incluem reação química ácido-base para modificação de superfície, modificação por ácido esteárico para minimizar problemas de fibras hidrofóbicas para melhorar sua dispersão em PP, adição de poli(acetato de vinila) em compósitos de resina PET, uso de dispersantes de baixa viscosidade para promover impregnações das fibras, uso de modificadores químicos por copolimerização, como o tratamento de fibras celulósicas por ativação de aquecimento do PPMA (PP + anidrido maleico) e esterificação da celulose, além de tratamentos químicos com grupos metanoicos e isocianetos entre outros (BLEDZKI; GASSAN, 1999).

#### **1.4. Proposição e objetivo**

Este trabalho visa a explorar a matéria-prima do produto como inovação incremental aos produtos atualmente fabricados com polipropileno, analisar o desenvolvimento das etapas de manufatura que envolve a preparação do produto desde a preparação das matérias-primas para a fabricação do compósito até as etapas de revestimento de fibras por extrusão e confecção de corpos de prova por meio de conformação por compressão e a análise dos corpos de prova

quanto a aspectos tais como coloração, textura, forma, estética, dimensões, possíveis propriedades antioxidantes e exalação de odores, que podem representar tanto um atrativo como um limitante para o uso da fibra. Diante das análises serão propostos possíveis empregos ao material desenvolvido.

## 2. Metodologia

Todos os processos de manufatura dos corpos de prova foram realizados no Laboratório de Polímeros do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR.

### 2.1 Preparação do PPMA

O PPMA foi produzido por meio de extrusão reativa através de mistura do PP, anidrido maleico e peróxido de dicumila (SANTOS; FLORES-SAHAGUN; SATYANARAYANA, 2015a, 2015b). O PPMA produzido foi o F5, na qual se utilizou 98,5% p/p de PP, 1% p/p de anidrido maleico e 0,5% p/p de peróxido de dicumila, em extrusora com rotação de 30 rpm e temperatura das 3 zonas e cabeçote de 180 °C, conforme Santos, Flores-Sahagun e Satyanarayana (2015). O PP H-503 foi fornecido pela Braskem, o anidrido maleico pela empresa Carbomafra/Equipar com pureza de 99% e o peróxido de dicumila com pureza de 99,9% pela empresa Avec Rubber.

### 2.2 Preparação das fibras de *Phormium tenax*

As fibras de *Phormium tenax* coletadas foram cortadas em pedaços de aproximadamente 5 mm por processo manual, como mostra a Figura 1. Ao todo foram produzidas 850 gramas de fibras curtas, sendo usados 350 g para produzir as amostras com 35% p/p de fibras de *Phormium tenax* e 55% p/p de PP, 300 g para amostras com 30% p/p de fibras de *Phormium tenax* e 60% p/p de PP e 200 g para amostras com 20% de fibras de *Phormium tenax* e 70% p/p de PP, sendo todas as proporções de *Phormium tenax* e PP usadas com e sem chapa de alumínio. Todas as misturas para a preparação dos compósitos continham 10% p/p de PPMA e produzidas na proporção de 1 kg de material compósito. Na segunda etapa foram produzidas mais aproximadamente 30 gramas de fibras curtas, 30 gramas de fibras longas com 50 mm e 30 gramas de fibras contínuas (na extensão do comprimento de cada corpo de prova) para produzir compósitos com 20% p/p de fibras, 70% p/p de PP e 10% p/p de PPMA processados somente por compressão. Para todas as amostras com fibras curtas, longas e contínuas, em cada uma foram necessários aproximadamente 105 gramas de PP e 15 gramas de PPMA, sendo ao todo na segunda etapa usados em torno de 315 gramas de PP e 45 gramas de PPMA.

Figura 1 – Fibras curtas de *Phormium tenax*



Fonte: Os autores, 2019.

Esc.: 1: 1 mm

### 2.3. Preparação dos compósitos

Antes do processamento do compósito as fibras de *Phormium tenax* curtas, o PPMA e o PP foram secos em estufa aquecida a 60 °C durante 48 horas. Em seguida, cada material foi pesado em balança digital, marca Toledo (Figura 2), dentro das proporções anteriormente mencionadas, equivalente à produção de 1 kg de material compósito e posteriormente misturadas manualmente em sacos plásticos. Para esta pesquisa foram propostas seis variedades de compósitos, variando as frações volumétricas em massa de fibras *Phormium tenax* para 20, 30 e 35% e PP em 70, 60 e 55% respectivamente, sendo que todas as proporções de *Phormium tenax* e PP foram preparadas com e sem chapa de alumínio, que representa em torno de 6,5% p/p de cada corpo de prova e com 10% p/p de PPMA. Para o revestimento das fibras o processo aplicado nesta pesquisa é a extrusão para a produção contínua de compósitos em formas simples e regulares de modo a serem granulados e para funcionar como um misturador eficiente entre o PP, o compatibilizante PPMA e as fibras curtas de *Phormium tenax*.

Figura 2 – Balança utilizada no processo de obtenção das massas dos materiais utilizados para o preparo dos compósitos



Fonte: Os autores, 2019.

#### 2.4. Processamento por extrusão

A extrusão foi feita em duas etapas, na primeira foi realizado o revestimento das fibras com o PPMA e 40% do PP necessário para produzir cada compósito e na segunda etapa foi feito o reprocessamento para completar a proporção de PP restante, homogeneizar o material e assim atingir a composição do compósito final. A etapa de revestimento inicial da fibra é necessária para minimizar as altas perdas decorrentes do processamento do material, de modo que na segunda etapa o valor dos 60% restantes de PP na mistura pode ser ajustado à proporção do material revestido produzido pela primeira etapa. Para a fabricação dos compósitos foi usada uma extrusora monorosca com razão de largura e diâmetro (razão L/D) de 30, modelo EMT-25, fabricada pela empresa Teck Trill. O equipamento possui três estágios de aquecimento e um cabeçote, sendo que o material é processado a 172 °C em cada um dos três estágios e no cabeçote a 174 °C, usando uma corrente máxima de 6,4 A e rotação do fuso entre 15 a 20 rpm. O material aquecido que saia da extrusora era resfriado em água a temperatura ambiente e triturado em triturador cuja rotação era de 200 rpm.

#### 2.5 Preparação dos compósitos sem a chapa de alumínio

Os corpos de prova foram preparados para ensaios mecânicos de flexão, impacto e tração e

para isso foram utilizados moldes consistidos de uma montagem de três placas de aço inoxidável ABNT 304. Duas das placas são maciças e uma delas, que é utilizada entre as placas maciças possui cavidades no formato dos corpos de prova. Na montagem do molde, uma placa maciça foi posicionada na base, sobre ela é colocado um filme de PET, que serve para evitar que o material moldado grude nas paredes do molde, facilitando o desmolde, acima foi posicionado a placa com a cavidade no formato dos corpos de prova, sobre a qual é depositado o material compósito granulado previamente seco em estufa, por cima foi posto um novo filme de PET e a montagem foi completada com a segunda placa maciça do molde.

O compósito em seguida foi conformado em corpo de prova com o uso da conformação por compressão por meio da prensa da marca Solab, modelo SL099. A conformação foi feita em três etapas contínuas e consecutivas, na qual a primeira se deu pela aplicação de 1 tonelada-força de carga durante 15 minutos a 180 °C, que serviu para acomodação do compósito granulado nas cavidades do molde, a segunda etapa pela aplicação de 4 tonelada-força de carga durante 15 minutos a 180 °C, na qual a cada 7 minutos e meio o molde era invertido para garantir aquecimento homogêneo em toda a sua superfície e por fim, na última etapa era feito o resfriamento a 60 °C, por meio da circulação de água a 20 °C e posterior desmolde. Os corpos de prova removidos passaram por processo de acabamento superficial com desbaste de rebarbas e lixamento manual. O método foi o mesmo para os corpos de prova de PP puro.

## 2.6 Preparação dos compósitos com a chapa de alumínio

Para preparar os corpos de prova com a chapa de alumínio a primeira tarefa a ser feita foi cortar a folha estirada do corpo da lata de alumínio no formato integral de cada corpo de prova. Para isso, foi utilizada apenas uma folha estirada com a espessura de alguns décimos de milímetro, cuja massa média corresponde a  $(6,48 \pm 0,19\%)$  da composição da massa do compósito. O corte foi manual com auxílio de uma tesoura. Em seguida, com cada compósito foram produzidas duas películas com o uso da prensa e das duas placas maciças do molde, seguindo os procedimentos adotados para a obtenção dos corpos de prova sem alumínio.

Para cada grupo de corpos de prova de compósito com a chapa de alumínio foram produzidas duas películas, cujo intuito foi facilitar a montagem com a chapa de alumínio no interior de cada amostra. Para a montagem seguiu-se a seguinte ordem: primeiro uma chapa maciça, sobre ela um filme de PET, em seguida foi posicionada a primeira película de material compósito, após o molde com a cavidade do formato do corpo de prova a ser produzido que sofreu aspensão prévia de desmoldante de silicone. No interior das cavidades do molde houve um preenchimento com finas películas do material compósito proveniente de moldagens anteriores e centralizado na cavidade do molde fora posta as chapas de alumínio. Em seguida foi colocada a segunda película de material compósito e sobre ela um filme de PET. O molde foi fechado com a segunda placa maciça. Encerrada a montagem do molde seguiu-se a etapa de conformação por compressão conforme descrito para a produção dos corpos de prova sem a

chapa de alumínio.

## 2.7 Preparação dos compósitos processados somente por compressão

Ainda foram confeccionados compósitos na proporção de 20% p/p de fibras, com 10% p/p de PPMA e 70% p/p de PP, mantendo constantes as proporções e variando o comprimento das fibras. Foram assim confeccionadas mais três variedades de materiais compósitos, sendo eles com fibras curtas, cujas dimensões são de aproximadamente 5 mm; fibras longas, de dimensões de 50 mm e fibras contínuas, cujas dimensões são exatamente do comprimento dos corpos de prova, atingindo toda a sua extensão de uma ponta a outra. Os procedimentos de corte foram feitos manualmente e o PPMA passou por um processo de micronização por meio de ação mecânica de liquidificador doméstico. Para essas três variedades de compósitos somente o processo de compressão foi utilizado, com o uso dos mesmos moldes das variedades anteriores. Para essas novas variedades de amostras foram confeccionadas primeiramente películas de PP que participaram da montagem no molde para a obtenção dos materiais compósitos. A confecção do molde seguiu a seguinte ordem: chapa maciça, filme de PET, película de PP, molde com as cavidades dos corpos de prova, nas cavidades foram postas as fibras e sobre elas o PPMA foi pulverizado, o molde com as cavidades foi recoberto por outra película de PP, sobre ela outro filme de PET e por fim nova chapa maciça. O procedimento de compressão a quente seguiu os mesmos parâmetros da produção dos corpos de prova das variedades anteriores e também passaram pelas etapas de desbaste e acabamento para a obtenção dos corpos de prova finais.

## 3. Resultados e discussão

O material compósito polimérico reforçado por fibras de *Phormium tenax* produzido nesta pesquisa possui algumas características que podem ser exploradas e melhor analisadas para avaliação do material como matéria-prima para a confecção de produtos. Características tais como coloração, textura, brilho, estética, leveza, contraste, propriedades sensoriais (odor) e presença de antioxidantes podem ser diferenciais interessantes durante a aplicação do material. A leveza será explorada em uma subsecção a parte, dentro da análise das densidades. A seguir será analisado cada um desses aspectos.

### 3.1. Coloração

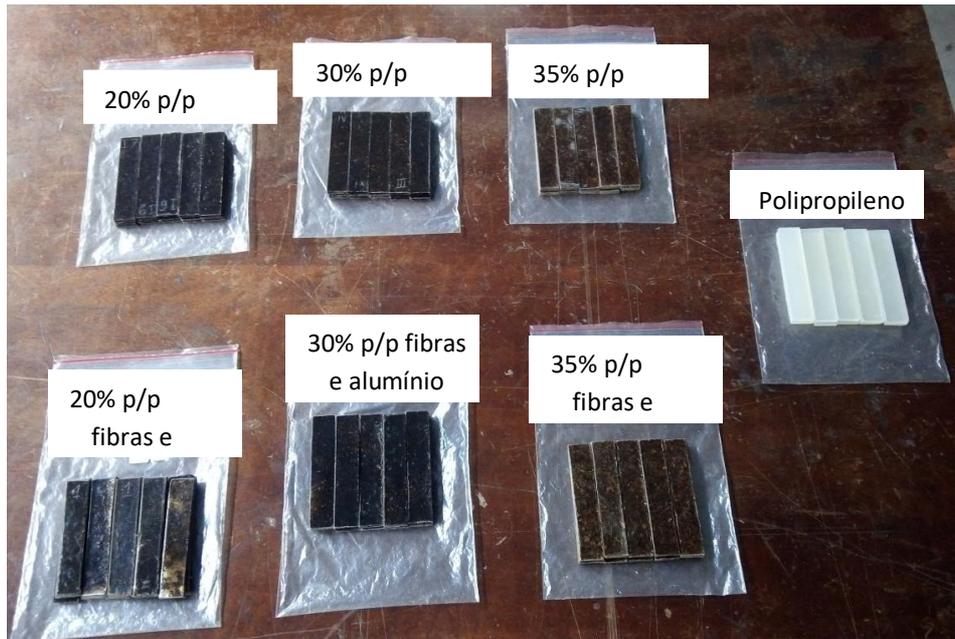
A coloração dos compósitos contendo 20% p/p de fibras é de um marrom mais escuro do que as das amostras contendo 30 ou 35% p/p de fibras. As fibras curtas dão uma coloração mais homogênea às amostras do que as fibras longas, pois se misturam melhor na matriz de PP.

A Figura 3 ilustra os corpos de prova produzidos para ensaio de impacto que passaram pelas etapas de extrusão e compressão, enquanto que a Figura 4 mostra corpos de prova produzidos com 20% p/p de fibras em três comprimentos distintos de fibras, sendo as curtas, com

aproximadamente 5 mm, as longas, com 50 mm e as contínuas, que vão de uma ponta a outra do corpo de prova. As amostras que passaram somente pela compressão estão ilustradas com corpos de prova para os ensaios de tração, flexão e impacto. Observando a Figura 3 percebe-se a coloração branca das amostras de PP puro e colorações marrons para os corpos de prova, que vão desde tons mais escuros, presentes nos compósitos com 20% p/p de fibras, seguido dos compósitos com 30% p/p de fibras, ambos passando pelas etapas de extrusão e compressão aos tons mais claros observados nas demais amostras. Ainda puderam ser notadas, com maior nitidez, regiões esbranquiçadas nos compósitos compostos por fibras longas e contínuas, com predominância nos compósitos de fibras contínuas, algo que se explica devido ao fato das fibras não ocuparem toda a extensão dos corpos de prova durante a etapa de manufatura, o que acarretou em regiões sem a presença de fibras. Assim, percebeu-se que as fibras curtas conseguiram se distribuir melhor na matriz em relação às fibras longas e contínuas durante a etapa de manufatura, levando em consideração o mesmo teor de fibras de 20% p/p. A cor marrom é a mesma percebida por Giorgio *et al* (2020).

Pela Figura 4 percebe-se que em geral a cor das fibras prevalece em relação à cor branca do PP, mesmo sendo o polímero sintético o componente presente em maior quantidade para todos os corpos de prova produzidos. Basicamente a coloração do compósito recebe influência da concentração das fibras ao longo do material e também da liberação, exposição e espalhamento dos extrativos das fibras, pois durante a etapa de extração dos extrativos para análises químicas notou-se uma coloração bem escura dos balões usados durante a extração de extrativos em etanol-tolueno. Como visto na etapa de análises químicas, foi constatado um alto teor de extrativos totais para a *Phormium tenax* e a alta presença desses extrativos é responsável pelo escurecimento da *Phormium tenax*, que, quando processados a elevada temperatura, tem os extrativos liberados e passam a ficar expostos e espalhados ao longo de todo o material. Outro fator a ser observado pela imagem da Figura 4 é que a coloração se torna mais clara à medida que a concentração de fibras aumenta para os corpos de prova produzidos por extrusão e compressão, que se deve ao fato do aumento de teor de fibras aumentar a ocupação e distribuição dessas fibras ao longo do material, diminuindo os espaços livres no interior da matriz de PP que poderiam ser ocupados pelos extrativos, possibilitando o acúmulo maior deles no lúmen das fibras, que de acordo com Rosa, Santulli e Sarasini (2010), é a cavidade tubular por onde passa luz e líquidos no interior da fibra.

Figura 3 – Aspecto visual da coloração dos compósitos feitos com fibras curtas e com Polipropileno puro.



Fonte: Os autores, 2019.

Esc.: 1: 5 mm

Figura 4 – Aspecto visual da coloração dos compósitos submetidos somente ao processamento por compressão

a) Compósitos reforçados por fibras curtas      b) Compósitos reforçados por fibras longas



c) Compósitos reforçados por fibras contínuas



Fonte: Os autores, 2019.

Com a adoção somente da compressão, o tempo de processamento reduz, reduzindo assim o tempo de exposição das fibras às elevadas temperaturas e fazendo com que elas não sofram tanto os efeitos das altas temperaturas. Assim, ocorre apenas a adesão da fibra ao PP mantendo a sua coloração anterior ao processamento. Como não há liberação de extrativos, as regiões não ocupadas pelas fibras mantêm a cor característica do PP.

### **3.2. Estética**

Outra preocupação no desenvolvimento do material compósito foi com suas propriedades mecânicas, tais como rigidez e resistência, por isso foram testadas a manufatura de algumas amostras na presença de alumínio. No entanto, é necessário ter cuidado durante o processo de manufatura dessas amostras, para evitar a falta de uniformidade na coloração do material prejudicando a estética do material. A composição da estética depende dos aspectos físicos visíveis, tais como a forma, a textura e coloração. Dentro da coloração podem ser explorados outros aspectos com a sua homogeneidade ao longo do produto, os contrastes e o brilho. Com relação prática às amostras obtidas, nesse quesito é necessário se atentar aos procedimentos adequados e cuidadosos de manufatura, o que justifica os pontos elencados pela metodologia desta pesquisa, como por exemplo, a preparação dos corpos de prova, como no cuidado para evitar formação de bolhas de ar e a garantia da homogeneidade de aquecimento e resfriamento ao longo de todo o molde. O acabamento final dos corpos de prova também é importante e todos os aspectos apontados podem ser visualizados nas Figuras 3, 4(a), 4(b) e 4(c), bem como o contraste, mais visível nos compósitos com 35% p/p de fibras que apresentam algumas regiões mais escuras, em que prevalece a presença dos extrativos e outras mais claras, locais onde se nota a concentração das fibras.

### **3.3. Brilho**

Morato e Machado (2017) definem brilho como a escala do claro ao escuro de uma cor em relação a uma escala de cinzas que varia do branco ao preto. Cores mais claras tendem a refletir mais a luz devido ao seu alto valor tonal, enquanto que cores mais escuras tendem a absorver mais a luz. Na comparação entre as Figuras 3 com as figuras 4(a), 4(b) e 4(c) podem ser notadas cores mais escuras nas amostras que passaram por extrusão e compressão, sendo que as mais escuras são aquelas com menor teor de fibras. Ao lado da cor e da estética, o brilho do material é uma característica única dos compósitos preparados.

### **3.4. Textura**

Yanagisawa e Takatsuji (2015) definem textura como um fator de *design* que consiste em atributos físicos criados por uma variedade de materiais e acabamentos superficiais, que abrangem atributos como rugosidade, brilho, cor e dureza. Como visto pelas Figuras 3, 4(a),

4(b) e 4(c), as amostras apresentam predominantemente aspecto liso cuja rugosidade não é perceptível a olho nu, algo característico do PP. A textura também é um atributo físico dependente do processo de manufatura e dependendo do uso do molde podem-se criar materiais de diferentes de texturas, o que não se aplica para esta pesquisa, uma vez que o acabamento superficial liso é preferível, de forma a evitar formação de bolhas de ar e deformações nas amostras que danifiquem sua forma e superfície. No entanto, a textura, a cor e brilho da fibra de *Phormium tenax* são características da fibra e que podem ser explorados no produto final como nos compósitos.

### **3.5. Exalação de odor**

A exalação de odor é uma característica peculiar da *Phormium tenax* que foi observada durante as etapas de análises químicas e durante o processamento da fibra para a obtenção das amostras. As fibras quando cortadas exalavam um cheiro característico muito agradável e quando as fibras foram submetidas a altas temperaturas, novamente observou-se um cheiro característico, distinto do primeiro e essa diferença possivelmente se dá pela liberação dos extrativos totais presentes em alta quantidade na composição química da fibra. Medina, Aguirre Júnior e Correia (1947) citam que povos de algumas ilhas costumam usar a *Phormium tenax* como planta medicinal, cujo aroma e cheiro lhes são agradáveis, citando um odor que lembra ervas ou mesmo o do café. É possível que essa característica seja explorada na aplicação do material compósito, pois Dias *et al* (2015) recordam que os materiais desempenham um papel essencial na concepção de um produto, não somente por suas funções, durabilidade, custos e aparência final, mas também pelas percepções sensoriais, como as táteis, visuais, auditivas, olfativas ou gustativas. Embora essa característica também possa ser um limitante de utilização, vale ressaltar que ela não é acentuada e não há um excesso de liberação de seu odor característico.

### **3.6. Processamento do material**

Tantos os aspectos físicos dos produtos como as suas propriedades mecânicas, por mais simples que sejam, dependem do adequado processamento. De acordo com Jedyn (2017) materiais compósitos quanto mais reprocessados, maior é a tendência da coloração escurecer, pois um número maior de ciclos de reprocessamento implica em maior tempo de exposição das fibras vegetais às temperaturas envolvidas no processo de extrusão e compressão, que foram os dois métodos de processamento utilizado por esta pesquisa. Assim, as amostras que passaram tanto pela extrusão quanto pela compressão passaram por três etapas de processamento, duas para extrusão e uma para compressão, enquanto que as amostras que passaram somente pela compressão sofreram apenas uma etapa de processamento, resultando assim em menor tempo de exposição das fibras às altas temperaturas e conseqüentemente os materiais compósitos ficaram mais claros, isso comparando os materiais compósitos de mesma composição de 20%

p/p de fibras de ambos os casos.

Conforme Soccalingame et al (2015, tradução nossa) isso acontece não somente pela degradação da hemicelulose, mas também devido à migração da lignina, que devido às altas temperaturas envolvidas no processo, pode se fundir, coalescer e migrar das partículas da fibra para a matriz. De acordo com Santos (2011), por serem polares, as fibras tendem a se aglomerar em compósitos virgens, o que torna a superfície do material bem heterogênea e explica o contraste maior na tonalidade de cores nas amostras com maior teor de fibras, e essas tendem também a se dispersar pela matriz polimérica, o que justifica o porquê de encontrar menor concentração delas em amostras de menor teor de fibras. A menor dispersão de fibras na matriz polimérica permite maior fluxo dos extrativos dispersos por toda a matriz, contribuindo para espalhar ao longo do material as características típicas dos extrativos, como a coloração escura e o odor característico, que é mais acentuado nas amostras com 20% p/p de fibras passadas por três etapas de processamento.

Existem problemas com a manufatura identificados por esta pesquisa e que devem ser cuidados para evitar a sua ocorrência, como a formação de poros em algumas amostras, que se deve à presença de vapor de água durante o processamento do material, fenômeno que foi observado por Jedyn (2017) e que explica a necessidade de submeter o material à secagem em estufa durante o seu processamento; e também as deformações dos corpos de prova, resultados da quantidade insuficiente de material processados ou proporções inadequadas nas cavidades do molde, o que explica o porquê da preparação prévia de películas de materiais para produzir algumas amostras de compósitos, o que serviu inclusive para facilitar a sua preparação.

### **3.7. Propriedades antioxidantes**

Pelo fato do alto teor de extrativos totais presentes na *Phormium tenax* uma das propriedades possíveis de se encontrar nas amostras de compósitos é a de serem materiais com boas propriedades antioxidantes, principalmente pelo fato de ser uma fibra hidrofílica, pois a porção hidrofílica é composta basicamente de compostos fenólicos, flavonoides e taninos, responsáveis pela defesa da planta a ataques de insetos e que possuem grande atividade antioxidante *in vitro* (ŞEN et al., 2018). Em breve experimento para avaliar a hidrofobicidade da fibra, na qual fora colocado 1 g da amostra em um béquer de 100 ml contendo 20 ml de água e 10 ml de hexano, misturado por três minutos e deixado em repouso por cinco minutos, percebeu-se que teor de fibras que aderiram a água ficou em torno de 89% com o experimento feito em triplicata, fator esse que contribui para se esperar boas propriedades antioxidantes do material já que os extrativos são solúveis em água.

### **3.8. Densidade**

Outra característica interessante das amostras do compósito é a sua baixa densidade, como pode

ser observado na Tabela 3. As densidades baixas em todos os casos, tanto para as densidades teóricas, usando a massa pelo volume calculado pelas dimensões dos corpos de prova, quanto para as densidades experimentais, aquelas que relacionam a massa das amostras com o volume de água destilada deslocada pelas amostras, não supera 1 g/cm<sup>3</sup>, sendo que a densidade aumenta proporcionalmente com o aumento do teor de fibras e mais ainda com a aplicação de alumínio (cerca de 6%), mas que, no entanto, ainda mantém uma densidade próxima ao do polipropileno puro, o que pode ser interessante para o emprego em produtos que se almeja baixo peso e leveza.

Tabela 3 – Avaliação das densidades teóricas e experimentais das amostras com os respectivos desvios padrões

<b>Amostras</b>	<b>Densidade teórica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Desvio padrão (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade experimental (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Desvio padrão (g/cm<sup>3</sup>)</b>
20% de fibras	0,9127	0,0124	0,9069	0,0199
20% de fibras com alumínio	0,9591	0,0049	0,9537	0,0070
30% de fibras	0,9400	0,0286	0,9452	0,0173
30% de fibras com alumínio	0,9703	0,0286	0,9676	0,0125
35% de fibras	0,9669	0,0011	0,9761	0,0044
35% de fibras com alumínio	0,9741	0,0123	1,0001	0,0057
Polipropileno puro	0,8645	0,0075	0,8922	0,0160

Fonte: Os autores, 2019

### 3.9. Aplicações

Diante de todas as características elencadas e observadas nas amostras produzidas avaliam-se os compósitos como alternativas interessantes para aplicações que demandam reforço físico com possíveis propriedades antioxidantes e em produtos que demandam uma aparência agradável e estética, como por exemplo, em mesas e cadeiras plásticas feitas de PP, como as utilizadas por cafeterias, que poderia ser um atrativo pelo fato do odor característico da *Phormium tenax*. Além disso, uma possibilidade seria para formulação de embalagens que demandam maior rigidez, abrindo um possível espaço para vasilhames de bebidas, algo que poderia ser futuramente explorado. As suas características podem se tornar limitantes para algumas aplicações, no entanto, esse problema pode ser resolvido com um controle mais apurado delas.

#### 4. Conclusão

Por meio desta pesquisa foi possível explorar um pouco sobre os aspectos visuais subjetivos avaliados qualitativamente no desenvolvimento de produtos baseado na tipologia de bens industriais de matéria-prima que utilizem os compósitos de polipropileno reforçados com fibras de *Phormium tenax*, cujo interesse é muito forte na indústria com relação à redução de custos. Para isso, foi constatado que suas características típicas são dependentes também dos cuidados necessários durante a etapa de manufatura. Assim, foi visto que a *Phormium tenax* possui propriedades interessantes que podem ser exploradas com maiores detalhes e que por meio de um estudo mais minucioso do mercado ela pode vir a ser aprimorada ou testada para aplicações diversas que requeiram suas características, além daquelas possíveis citadas por este artigo.

#### REFERÊNCIAS

ABOUL-FADL, S. M. et. al. Effect of Mercerization on the Relation Between Single Fiber Mechanical Properties and Fine Structure for Different Cotton Species. *Textile Research Journal*, São Francisco (Estados Unidos), v. 55, p. 461-469, 1985.

ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. *Ciência e Engenharia dos Materiais*. 4. ed. São Paulo: Ed. Cengage Learning, 2003.

BLASS, A. *Processamento de Polímeros*. 2 ed. Florianópolis: Ed. UFSC, 1988.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*, Amsterdã (Holanda), v. 24, p. 221-274, 1999.

CORRÊA, K. Classificação do Produto para o Composto de Marketing. Disponível em: <<https://www.administracaoegestao.com.br/marketing-internacional/modulo-iv-decidindo-como-entrar-no-mercado/classificacao-do-produto-para-o-composto-de-marketing/>> Acesso em: 17 out. 2019.

CHURCHILL JR., G. A.; PETER, J. P. *Marketing: Criando Valor para os Clientes*. 2. ed. São Paulo: Ed. Saraiva, 2000.

DIAS, A. R.; LEILA, A. G. Percepção dos usuários sobre os materiais. In: IX Encontro Latinoamericano de Diseño “Diseño en Palermo” V Congreso Latinoamericano de Enseñanza del Diseño, 18., Buenos Aires. *Actas de Diseño*, Palermo: Universidad de Palermo – Facultad de Diseño y Comunicación, p. 181-186, 2015.

GIORGIO et al. Nanocelluloses from phormium (*Phormium tenax*) fibers. Cellulose. [S.I.], v.5, n.1, p. 1-16, 2020.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS (FINEP). Manual de Oslo. 3. ed. Rio de Janeiro: Ed. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005.

GOEZEL V. et al. Análise de um Processo de Inovação a Partir da Ótica de Gestão de Projetos. Revista de Gestão e Projetos – GeP, v. 5, n. 2, p. 81, mai/ago 2014.

MEDINA, J. C.; AGUIRRE JÚNIOR, J. M.; CORREIA, F. A. Estudo Agrícola-Tecnológico de Diversas Variedades de *Phormium tenax* Forster. Bragantia Boletim Técnico da Divisão de Experimentação e Pesquisas Instituto Agrônômico, Campinas, v. 7, n. 11-12, p. 231-241, 1947.

JEDYN, F. G. Preparação e caracterização de compósitos reprocessados de matriz de polipropileno reforçados por serragem. Curitiba, 139 p., 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

MIRAOU, I.; HASSIS, H. Mechanical model for vegetal fibers-reinforced composite materials. Physics Procedia, Tunes, v.25, n. 1, p. 130-136, 2012.

MORATO R. G.; MACHADO R. P. P. Cores. Disponível em:

<[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2612831/mod\\_resource/content/2/7%20Cores2017.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2612831/mod_resource/content/2/7%20Cores2017.pdf)> Acesso em: 18 out. 2019.

PATRO, R. Fórmio – Phormium tenax. Disponível em:

<<https://www.jardineiro.net/plantas/formio-phormium-tenax.html>> Acesso em: 17 out. 2019.

PERVAINZ, M.; SAIN, M. M. Carbon storage potential in natural fiber composites. Resources, Conservation & Recycling, Toronto, v. 39, n. 1, p. 325-340, 2003.

Project Management Institute (PMBOK). Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK®). 5. ed. Filadélfia: PMI, 2013, p. 3.

ROSA, I. M. de et al. Tensile behavior of New Zealand flax (*Phormium tenax*) fibers. Journal of Reinforced Plastics & Composites, Londres (Inglaterra), v. 29, n. 23, p. 3450 – 3.454, 2010.

ROSA, I. M.; SANTULLI, C.; SARASINI, F. Mechanical and thermal characterization of epoxy composites reinforced with random and quasi-unidirectional untreated *Phormium tenax*

leaf fibers. *Materials and Design*, Londres (Inglaterra), v.5, n. 31, p. 2.397-2.405, 2010.

SANTOS, L. P.; FLORES-SAHAGUN, T. H. S.; SATYANARAYANA, K. G. Effect of processing parameters on the properties of polypropylene–sawdust composites. *Journal of Composite Materials*, San Diego (Estados Unidos), v. 30, n. 49, p. 3.727-3.740, 2015.

SANTOS, L. P. et al. Effect of processing parameters on the properties of polypropylene–sawdust composites. *Journal of Composite Materials*, San Diego (Estados Unidos), v. 30, n.49, p. 3.727-3.740, 2015b.

SANTOS, L. P. Otimização da preparação de polipropileno maleatado via extrusão reativa para reforço mecânico em compósitos. Curitiba, 93 p., 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.

SATYANARAYANA, K. G. et al. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview. *Progress in Polymer Science*, Nova York (Estados Unidos), v. 9, n. 34, p. 982–1.021, 2009.

ŞEN, A. et al. Chemical composition and cellular structure of ponytail palm (*Beaucarnea recurvata*) cork. *Pereira Industrial Crops & Products*, v. 124, n. 1, p. 845-855, 2018.

SOCCALINGAME et al. Reprocessing of wood flour reinforced polypropylene composites: Impact of particle size and coupling agent on composite and particle properties. *Polymer Degradation and Stability*, Amsterdã (Holanda), v. 113, p. 72-85, 2015.

TIDD, J. et al. *Gestão da inovação*. Tradução de Elizamari Rodrigues Becker et al. 3.ed. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2008.

YANAGISAWA, H.; TAKATSUJI, K. Effects of Visual Expectation on Perceived Tactile Perception: An Evaluation Method of Surface Texture with Expectation Effect. *International Journal of Design*, Taipei, v. 9, n.1, p. 39-51, 2015.

# Capítulo 3

## CARACTERIZAÇÃO DE DEFEITO NO REVESTIMENTO DE NÍQUEL E CROMO DURO FUNCIONAL EM UM AÇO SAE 1045

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

# CARACTERIZAÇÃO DE DEFEITO NO REVESTIMENTO DE NÍQUEL E CROMO DURO FUNCIONAL EM UM AÇO SAE 1045

Thiago Monteiro Maquiné

Suelem de Jesus Pessoa

Perla Alves de Oliveira

Marcia Cristina Gomes de Araújo Lima

Efraim Ribas Linhares Bruno

José Costa de Macêdo Neto

## Resumo

As aplicações de níquel e cromo duro são utilizadas para diversos fins, tais como pistões hidráulicos, engrenagens e também em setores aeroespaciais, automotivos, engenharia em geral e até no ramo da petroquímica. Um dos principais meios de proteção corrosiva nos metais é a utilização de revestimentos protetores. A eletrodeposição é um processo usado à finalidade de proteger a peça metálica contra a corrosão por revesti-la com outro metal. Esse metal impede a interação do metal da peça com o ar e com a umidade, evitando, assim, a corrosão. A fim de estudar o defeito no revestimento Ni/Cr duro no aço SAE 1045 que é muito utilizado em componentes funcionais de motocicletas, foi realizada uma investigação no principal defeito registrado em uma fábrica de componentes para motocicletas, localizada no polo industrial de Manaus, foram observadas incrustações na camada eletrodepositada o que ocasionava problemas de qualidade em outros componentes da motocicleta. Neste contexto, o presente estudo tem o objetivo de caracterizar o defeito na camada eletrodepositada que representa maior índice de rejeição no processo de galvanoplastia em uma fábrica no polo industrial de Manaus. O material para análise foi retirado do cilindro interno, componente da suspensão dianteira de motocicletas, onde o mesmo apresentou problema de qualidade na camada eletrodepositada. A peça cilíndrica de diâmetro de 31 mm e comprimento de 684,5 mm é submetida ao processo de eletrodeposição de Ni e Cr duro. Foi realizado o corte transversal no cilindro para obtenção do corpo de prova, próximo ao defeito identificado através de microscópio digital, fabricante: Keyence, modelo: VHX100. Uma máquina de teste de microdureza Mitutoyo, modelo HM-100, foi usada para obtenção das imagens do defeito na camada eletrodepositada e também para análise de microdureza no revestimento de Cr duro, Ni brilhante e Ni semi-brilhante. As medidas de dureza foram realizadas sob uma força de 0,1 kgf de acordo com a norma ISO 6507-1. Após análise de microscopia óptica no defeito, houve necessidade de utilizar o MEV para conseguir uma maior ampliação e resolução durante a caracterização do defeito da camada revestida. As análises foram realizadas no equipamento microscópio eletrônicas de varredura de modelo: JEOL JSM IT300LV. Espectroscopia de Energia Dispersiva em conjunto com as medidas de (MEV) realizaram-se ainda as análises por

espectroscopia de energia dispersiva da superfície para determinar a composição elementar da incrustação localizada no revestimento. Foi utilizado Detector Oxford EDS de grande área (80 mm). Através das análises dos defeitos nos revestimentos, inicialmente vistos por microscópio digital e após identificação de anomalias, foi analisado em microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi possível caracterizar o defeito na camada eletrodepositada de Ni e Cr duro. Foi possível identificar que o defeito da superfície do cilindro, é ocasionado por incrustação de micropartículas na camada do Ni semi-brilhante. Através da análise de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), determinou que os resultados são compostos majoritariamente de elementos a base de ferro (Fe). A análise de microdureza revelou que as amostras possuem dureza dentro do limite especificado pela norma ASTM E384.

**Palavras-chave:** Níquel Semi-Brilhante, Níquel Brilhante, Anodo, Catodo.

## 1. Introdução

Um dos principais meios de proteção corrosiva nos metais é a utilização de revestimentos protetores. Estes se constituem em películas interpostas entre o metal e o meio corrosivo, ampliando a resistência à corrosão do material metálico. Dentre estes revestimentos, os metálicos são de uma grande importância industrial (PIMENTA, 2017). As aplicações de níquel e cromo duro são largamente utilizados e aplicados para diversos fins, tais como pistões hidráulicos, engrenagens e também em setores aeroespaciais, automotivos, engenharia em geral, no ramo da petroquímica e até em coletores termo solares (CASTRO et al. 2016). A eletrodeposição do cromo duro é realizada a partir da migração do metal na forma iônica, do eletrodo positivo para o negativo, através de uma solução salina de ácido crômico, podendo ser catalisado ou não, em condições especiais de temperatura, densidade de correntes e componentes de banho. O cromo é um dos poucos metais que podem ser depositados eletroliticamente, garantindo alta dureza. Obtém-se alta resistência à corrosão e ao desgaste, o que aumenta consideravelmente a vida útil da peça diminuindo o coeficiente de fricção (PADILHA, 2004).

O processo de eletrodeposição de Ni e Cr duro ocorrem através das seguintes etapas (SENAI, 2002):

1- Pré-tratamento – etapa onde ocorre a preparação da superfície das peças, por processos mecânicos e/ou químicos, visando garantir ao revestimento metálico boa aderência, uniformidade e aparência.

2- Tratamento – processo de deposição metálica por meio de banhos eletrolíticos ou de imersão simples (químico). Esta etapa pode se desenvolver numa sequência de banhos, que variam de acordo com o processo utilizado.

3- Pós-tratamento – etapa de finalização do processo, onde as peças podem passar por lavagem com água fria ou quente; secagem em centrífuga, estufa ou jatos de ar; banho de óleo para embalagem e proteção; e pintura ou envernizamento.

4- Desidrogenação – tratamento térmico de alívio de tensão aplicado após operações de recobrimento galvânico visando a remoção de hidrogênio. A maioria dos processos eletroquímicos apresentam quantidades significativas de hidrogênio no estado iônico que se difunde para o interior do metal pela diferença de concentração de H.

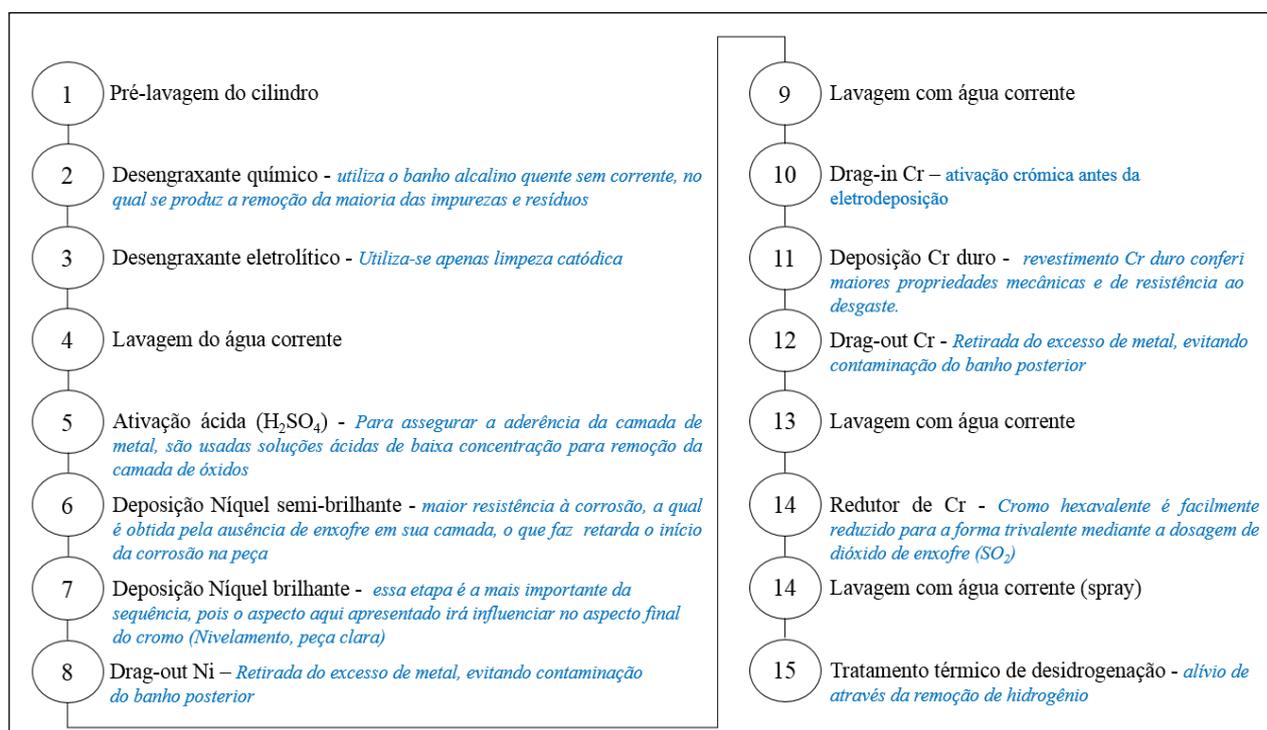
Neste contexto, o presente estudo tem o objetivo de caracterizar o defeito na camada eletrodepositada que representa maior índice de rejeição no processo de galvanoplastia em uma fábrica no polo industrial de Manaus.

## 2. Material e métodos

### 2.1. Procedimento na eletrodeposição de Ni e Cr duro

A peça cilíndrica de diâmetro 31 mm, comprimento de 684,5 mm é submetida ao processo de eletrodeposição de Ni e Cr duro, conforme fluxograma (figura 1).

Figura 1 – Fluxo do processo de eletrodeposição e descrição dos principais processos



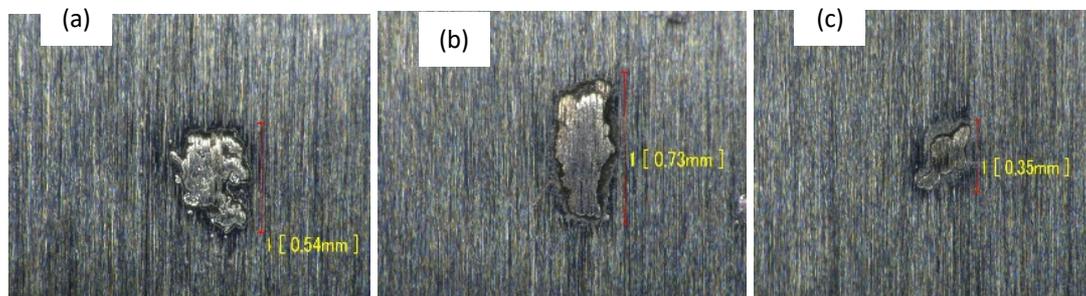
Fonte: Autores (2019).

### 2.2. Material analisado

O material para análise foi retirado do cilindro interno, componente da suspensão dianteira de motocicletas, onde o mesmo apresentou problema de qualidade na camada eletrodepositada. Foi realizado o corte transversal no cilindro para obtenção do corpo de prova, próximo ao

defeito identificado através de microscópio digital, fabricante: Keyence, modelo: VHX100 (figura 2 a-c). Após identificação do defeito e retirada da amostra, onde realizou-se: embutimento, lixamento, polimento e ataque químico com ácido nítrico 25%.

Figura 2 (a-c) - Imagem do defeito na superfície eletrodepositada, ampliação 175 X



Fonte: Autores (2019).

### 2.3. Caracterização do defeito através de microscopia óptica/microdureza do revestimento

Uma máquina de teste de microdureza Mitutoyo, modelo HM-100, com lente objetiva de 500X, foi usada para obtenção das imagens do defeito na camada eletrodepositada e também para análise de microdureza no revestimento de Cr duro, Ni brilhante e Ni semi-brilhante. As medidas de dureza foram realizadas sob uma força de 0,1 kgf de acordo com a norma ISO 6507-1.

### 2.4. Caracterização através de microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Após análise de microscopia óptica no defeito, houve necessidade de uma análise de MEV para melhor caracterização do defeito na camada revestida. As análises foram realizadas utilizando o equipamento: microscópio eletrônico de varredura, modelo: JEOL JSM IT300LV.

### 2.5 Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)

Espectroscopia de Energia Dispersiva Em conjunto com as medidas de Microscopia Eletrônica de Varredura realizaram-se ainda as análises por espectroscopia de energia dispersiva da superfície para determinar a composição elementar da incrustação localizada no revestimento. Foi utilizado Detector Oxford EDS de Grande Área (80 mm).

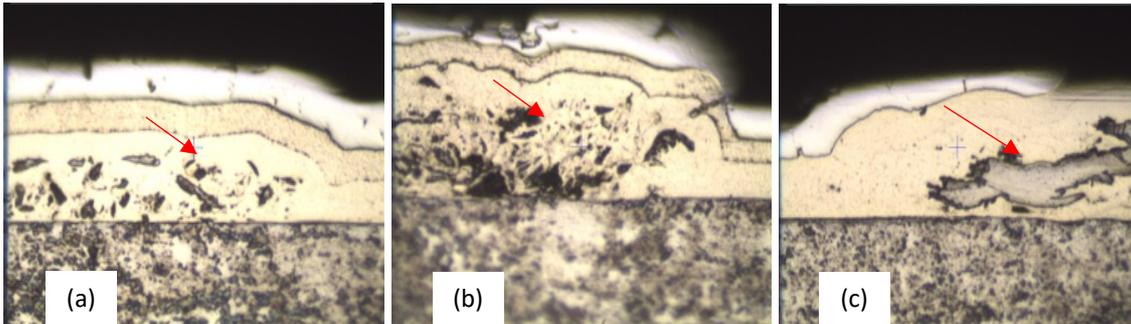
## 3. Resultados e discussão

### 3.1. Caracterização morfológica através de microscopia óptica/microdureza do revestimento

Através de análise realizada na superfície eletrodepositada de Cr duro, Ni brilhante e Ni semi-brilhante no substrato metálicos de aço carbono SAE 1045 (temperado), foi possível constatar

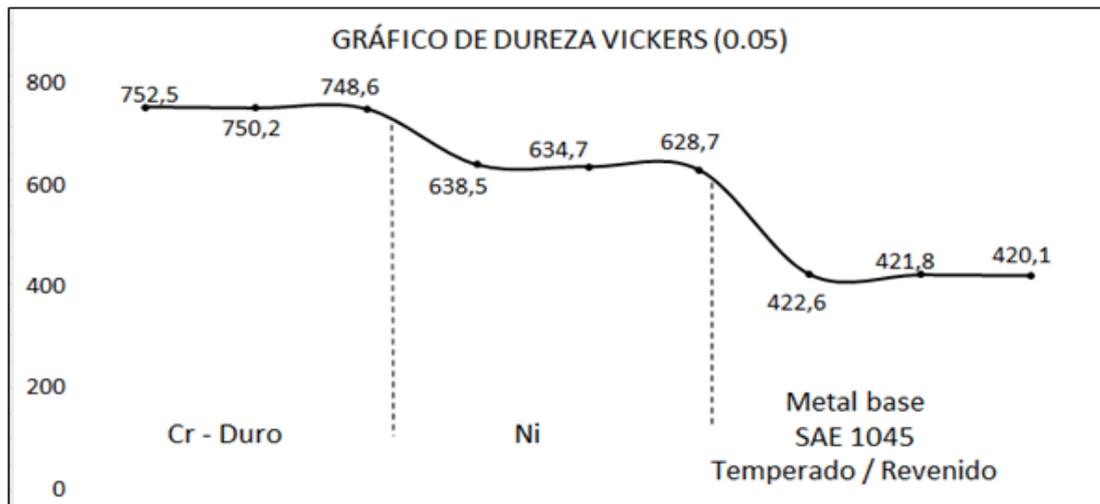
incrustação no primeiro revestimento das camadas depositadas - Ni semi-brilhante (Figura 3 a-c), o que gerou a reprodução do defeito para a superfície das peças. Com tais imagens, possibilita-se a verificação de qual estágio do processo de galvanoplastia houve a contaminação da peça por partículas. Foi também realizado mapeamento de microdureza nas camadas depositadas, onde os resultados (figura 4) ficaram dentro dos especificados para cada revestimento.

Figura 3 (a-c) - Imagem das incrustações na primeira camada depositada, ampliação 500 X



Fonte: Autores(2019).

Figura 4 – Resultados de microdureza nas camadas depositadas

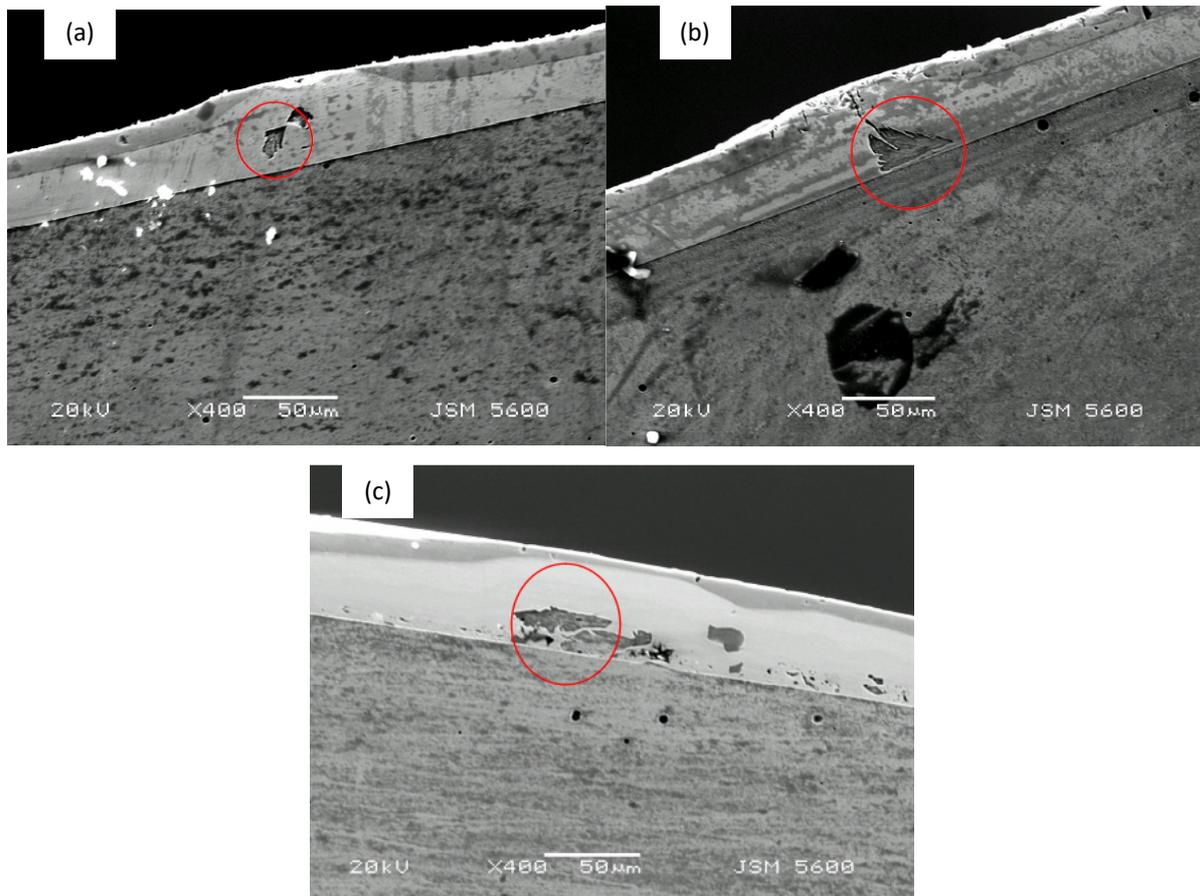


Fonte: Autores(2019).

### 3.2. Microscopia eletrônica de varredura

Análise realizada por microscopia eletrônica de varredura confirmou a presença de micropartículas no revestimento eletrodepositado (Figura 5 a-c).

Figura 5 (a-c) - Imagem das incrustações de micro-partículas, ampliação 400 X

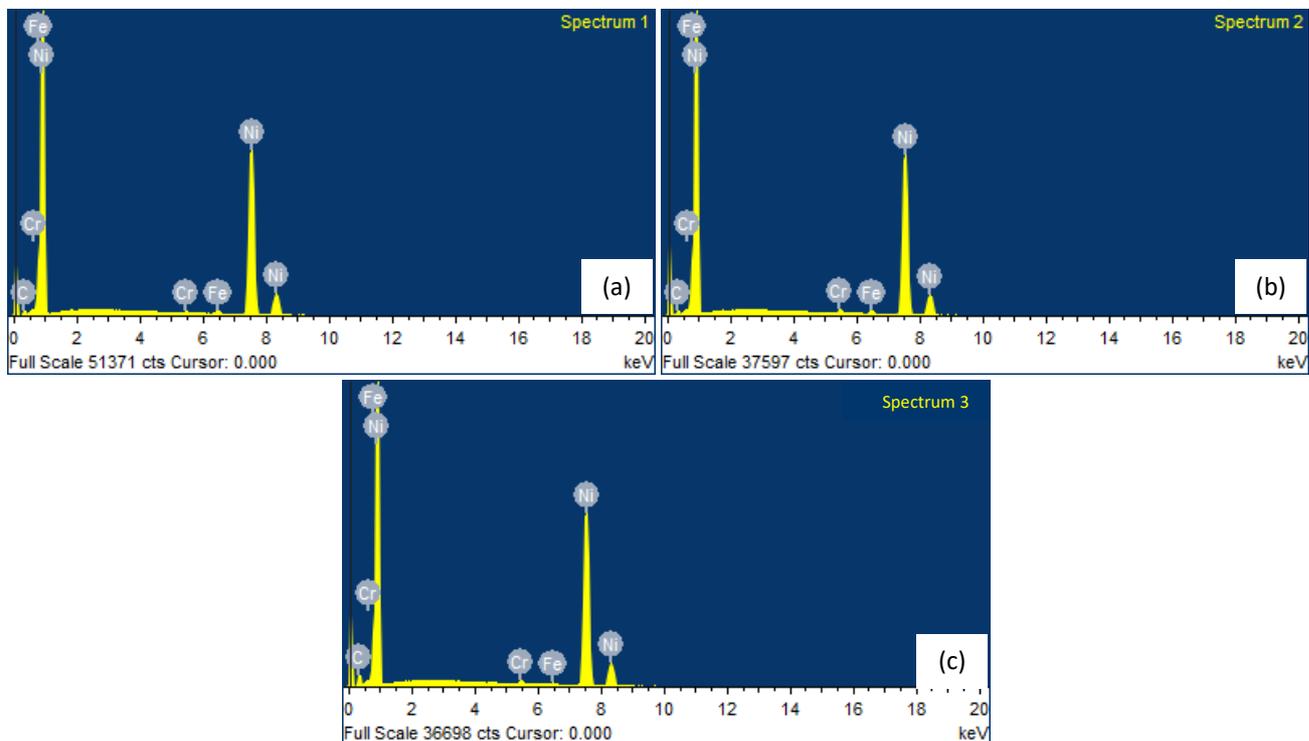


Fonte: Autores(2019).

### 3.3. Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)

As amostras foram analisadas por espectroscopia de energia dispersiva e os espectros obtidos são apresentados na Figura (6 a-c). Os espectros para a amostra de aço carbono revestido com Ni semi-brilhante, Ni brilhante e Cr duro cobre foram selecionados para análise, pois foi possível caracterizar que as micro-partículas são de materiais a base de ferro (Fe).

Figura 6 (a-c) - Espectroscopia de energia dispersiva das amostras a-c contaminadas com micro-partículas, mostrando concentrações de Fe na camada eletrodepositada de Ni semi-brilhante.



Fonte: Autores(2019).

#### 4. Conclusão

Através das análises dos defeitos nos revestimentos, inicialmente vistos por microscópio digital e após identificação de anomalias, foi analisado em microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi possível caracterizar o defeito na camada eletrodepositada de Ni e Cr duro. Foi possível identificar que o defeito da superfície do cilindro, é ocasionado por incrustação de micro-partículas na camada do Ni semi-brilhante. Através da análise de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), determinou que os resultados são compostos majoritariamente de elementos a base de ferro (Fe).

As causas são:

1. Partículas originárias do material base com grande probabilidade de geração na etapa da retífica contínua (processo de usinagem anterior ao processo de galvanoplastia);
2. As micrografias evidenciam a presença das micro-partículas sempre no 1º estágio do banho (Níquel Semi-Brilhante);
3. A composição das micro-partículas demonstradas através do EDS evidencia que a origem das partículas não é oriunda da composição química dos banhos de níquel, como já descrito acima, validando desta forma que se trata de um corpo estranho.

#### REFERÊNCIAS

CASTRO, R. M.; ROCHA, A. S.; CAVALER, L. C. C.; KEJELIN, N. Z.; MARQUES, F. M.

Avaliação das características de superfície e do desgaste abrasivo de revestimentos aplicados em hastes de cilindros hidráulicos pelas técnicas de aspersão (HVOF) e eletrodeposição. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PADILHA, R. Q., Influência na vida em fadiga da espessura das camadas de níquel e cromo duro em aço abnt 4340. 2004. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Projetos e Materiais, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

PIMENTA, S. A. Eletrodeposição, caracterização e estudos de corrosão de camadas de Ni-Mo. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Itajubá Ceará Itajubá, 2017.

PIMENTA, S. A. Análise da influência dos parâmetros de processo de eletrodeposição na geração de destacamento em camada de cromo duro funcional. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) – Universidade Federal do Ceará Fortaleza, 2009.

SENAI. Serviço Nacional de Indústria. Manual de orientações técnicas básicas para a minimização de efluentes e resíduos na indústria galvânica. Porto Alegre: Senai-RS, 2002.

ESTUDO DAS PROPRIEDADES  
MECÂNICAS E DA ESTABILIDADE  
TÉRMICA DO COMPOSTO  
POLI(CLORETO DE VINILA)-  
PENTÓXIDO DE NIÓBIO  
IRRADIADO COM RADIAÇÃO  
GAMA

Tiago Lopes de Araújo  
Yêda Medeiros Bastos de Almeida  
Anderson Andrade Fontes  
Juarez Dantas do Nascimento Junior

# ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DA ESTABILIDADE TÉRMICA DO COMPOSTO POLI(CLORETO DE VINILA) - PENTÓXIDO DE NIÓBIO IRRADIADO COM RADIAÇÃO GAMA

Tiago Lopes de Araújo  
Yêda Medeiros Bastos de Almeida  
Anderson Andrade Fontes  
Juarez Dantas do Nascimento Junior

## Resumo

O poli(cloreto de vinila) (PVC) é empregado na fabricação de produtos para saúde, que podem ser esterilizados pelo método de irradiação gama. Todavia, esse tipo de radiação promove alterações na estrutura das cadeias poliméricas, sendo necessário adicionar determinadas substâncias à resina para estabilizar o material. O objetivo deste trabalho foi estudar as propriedades mecânicas e a estabilidade térmica de filmes compostos de PVC-pentóxido de nióbio, contendo 1, 3 e 5 % (m/m) de pentóxido de nióbio, preparados pela técnica de casting solution e irradiados nas doses de 25 e 50 kGy. A exposição à radiação gama não causou mudanças significativas nas propriedades mecânicas avaliadas pelo ensaio mecânico de tração. A mesma exposição contribuiu para reduzir a energia de ativação do processo de desidrocloração e aumentar a energia de ativação do processo de quebra das sequências de polímeros, embora o óxido não tenha catalisado nenhum dos dois processos.

**Palavras-chave:** Poli (cloreto de vinila), Pentóxido de nióbio, propriedades mecânicas, estabilidade térmica.

## 1. Introdução

O PVC é um dos termoplásticos mais consumidos em todo o mundo, sendo utilizado na confecção de produtos para saúde.<sup>1</sup> Em geral, antes de serem consumidos, os produtos para a saúde precisam ser esterilizados, para a eliminação de potenciais fontes de contaminação e infecções. Um método limpo, seguro, rápido e relativamente barato para a esterilização do PVC é a irradiação gama. Porém, esse processo pode modificar as características e/ou as propriedades do polímero.<sup>2</sup> Para eliminar ou reduzir esses efeitos indesejáveis podem ser adicionados aditivos que protegerão o PVC.<sup>3</sup>

O uso de compostos inorgânicos em formulações poliméricas é interessante pelo fato de que eles são mais estáveis em condições de processamento adversas, como altas temperaturas e pressões.<sup>4</sup> O processamento do PVC com aditivos ou reforços pode originar materiais que

apresentam novas propriedades ou cujas características são melhores, para determinados fins, do que as do polímero puro, diversificando suas aplicações. Por isso, decidiu-se por empregar, neste trabalho, o pentóxido de nióbio ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) como carga mineral. A escolha desse óxido foi motivada pelo fato de que o Brasil é o principal produtor de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  do mundo. Além disso, trata-se de um composto inorgânico inerte, atóxico, biocompatível e ainda pouco utilizado como reforço em compósitos poliméricos.<sup>5</sup>

## 2. Metodologia

Os filmes de PVC foram preparados na temperatura ambiente por meio da dissolução de 1,50 g de PVC em pó ( $M_v = 201 \text{ kg/mol}$ ), em 40 mL de THF, com agitação e por 60 min, seguida da evaporação do solvente em placa de Petri (diâmetro de 13,8 cm e altura de 2,3 cm), em estufa com circulação e renovação de ar, na temperatura de  $40^\circ\text{C}$  e por 50 h. Por sua vez, os filmes compostos de PVC e  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  em pó (de estrutura cristalina monoclinica e diâmetro volumétrico médio de  $77 \mu\text{m}$ ) foram obtidos pela mesma técnica de *casting solution*, mas com uma etapa adicional na metodologia do preparo, que consistiu na adição da massa de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  após os primeiros 40 min de agitação da solução polimérica, sendo mantido o tempo total de agitação em 60 min. Os percentuais de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  nos filmes foram de 1, 3 e 5 % (m/m).

Os corpos de prova foram irradiados, em temperatura ambiente e na presença do oxigênio atmosférico, com radiação gama proveniente de uma fonte de cobalto-60 e sem atenuação. A taxa de dose foi de  $6,13 \text{ kGy/h}$ . O equipamento empregado foi o irradiador Gammacell Excell 220, da MDS Nordion. As doses estudadas foram 25 e  $50 \text{ kGy}$ .

O ensaio mecânico de tração foi realizado com os corpos de prova retangulares, em quadruplicata, utilizando a Máquina Universal EMIC, modelo DL-500MF, de acordo com a norma ASTM D-882, na temperatura ambiente. Os parâmetros do ensaio foram: (a) velocidade da garra:  $10 \text{ mm/min}$ ; (b) comprimento base:  $30 \text{ mm}$  e (c) dimensões:  $60 \text{ mm}$  de comprimento e  $25 \text{ mm}$  de largura.

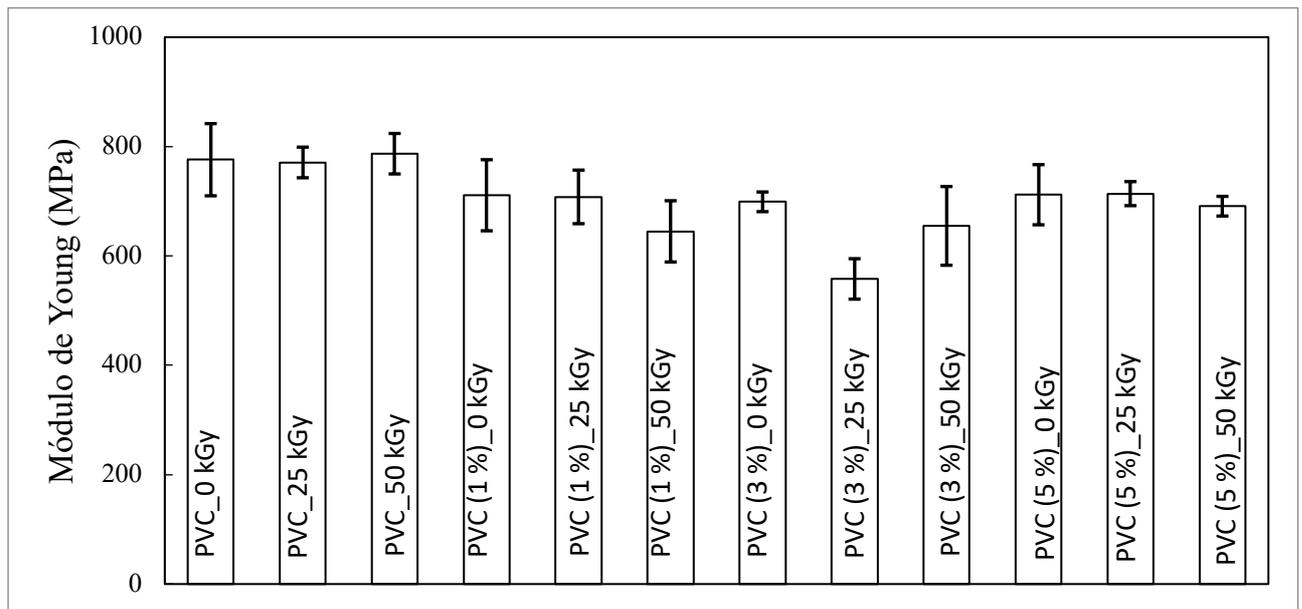
Os ensaios de análise termogravimétrica (TG) foram feitos em um analisador termogravimétrico Shimadzu, modelo TG-50, em cadinhos de platina. A taxa de aquecimento foi de  $10^\circ\text{C/min}$ , o intervalo de aquecimento foi de  $40$  a  $650^\circ\text{C}$  e empregou-se uma atmosfera de argônio com fluxo de  $50 \text{ mL/min}$ . Para cada amostra foi determinado o rendimento de formação de carvão (CR) e, a partir dele, calculado o LOI, empregando a Equação de van Krevelen e Hoftyzer.<sup>6</sup> O método de Broido foi aplicado para se determinar as energias de ativação de cada uma das duas etapas de degradação dos sistemas, a saber: desidrocloração e quebra das sequências de polímeros.<sup>7</sup>

## 3. Resultados e discussão

Na Figura 1 constam as médias e os respectivos desvios padrão dos módulos de Young para

todos os sistemas estudados.

Figura 1 – Módulo de Young para todos os sistemas estudados.



Não houve alteração significativa no módulo de Young dos filmes de PVC após a irradiação gama. Também foi observado que a presença do  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  contribuiu para a redução do módulo de Young dos filmes. Em geral, o módulo de Young de corpos de provas contendo cargas particuladas é menor do que o do polímero isento delas, em razão da concentração de tensões nas vizinhanças das partículas e da transmissão ineficiente do esforço mecânico do polímero matriz para a partícula.<sup>8</sup> A diminuição da resistência à tração dos filmes de PVC após a irradiação não foi estatisticamente significativa. Por outro lado, foi confirmado que as resistências à tração dos filmes de PVC contendo  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , expostos ou não à radiação gama, não diferiram entre si.

Também não existe diferença estatisticamente significativa entre os alongamentos percentuais dos filmes de PVC, irradiados ou não, concordando com o que foi observado para a tensão na força máxima e o módulo de Young. Por fim, foi igualmente confirmado que os alongamentos percentuais dos filmes contendo  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , expostos ou não à radiação gama, não diferiram, estatisticamente, entre si. Isso porque a presença de cargas minerais em formulações poliméricas contribui para o aumento da estabilidade dimensional do corpo de prova.<sup>9</sup>

Na Tabela 1 constam os valores de CR (obtidos na temperatura de  $650^\circ\text{C}$ ) e os respectivos valores de LOI. Foi observado que, na medida em que o percentual de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  presente no sistema aumentou, houve um ligeiro aumento do valor do LOI, embora o óxido não tenha exercido a função de retardante de chama, já que todos os valores de LOI foram menores que 27. Na Tabela 1 também constam os valores das energias de ativação do primeiro (desidrocloração) e de segundo (quebra das sequências de polímeros) processos de degradação dos filmes.

Tabela 1 – CR, LOI e energias de ativação ( $E_A$ ) relativas ao primeiro e ao segundo processo de degradação.

Sistema	CR	LOI	$E_A$ da desidrocloração (kJ/mol)	$E_A$ da quebra das sequências de polienos (kJ/mol)
PVC_0 kGy	0,112	22,0	158	192
PVC_25 kGy	0,090	21,1	145	223
PVC_50 kGy	0,115	22,1	134	233
PVC (1 %)_0 kGy	0,141	23,1	165	211
PVC (1 %)_25 kGy	0,138	23,0	152	218
PVC (1 %)_50 kGy	0,125	22,5	131	245
PVC (3 %)_0 kGy	0,158	23,8	167	226
PVC (3 %)_25 kGy	0,147	23,4	142	221
PVC (3 %)_50 kGy	0,139	23,1	132	227
PVC (5 %)_0 kGy	0,164	24,0	174	217
PVC (5 %)_25 kGy	0,144	23,3	137	239
PVC (5 %)_50 kGy	0,183	24,8	120	248

Observou-se que a exposição à radiação gama dos filmes que não continham  $Nb_2O_5$  contribuiu para reduzir a energia de ativação do processo de desidrocloração em 15,19 % e aumentar a energia de ativação do processo de quebra das sequências de polienos em 21,35 %, comparando o sistema não irradiado com o irradiado com a dose 50 kGy. Por outro lado, o  $Nb_2O_5$  contribuiu para aumentar a estabilidade térmica do PVC, tendo em vista que houveram aumentos de 10,13 % na energia de ativação da desidrocloração e de 13,02 % na energia de ativação da quebra das sequências de polienos. Dessa forma, o óxido não atuou como catalisador nos filmes não irradiados em nenhum dos dois processos.

Entretanto, quando os dois efeitos estavam presentes, prevaleceu a influência da irradiação gama, resultando na diminuição da energia de ativação da desidrocloração, sendo que a maior delas foi de 24,05 %, e no aumento da energia de ativação da quebra das sequências de polienos, sendo que o maior deles foi de 29,17 %.

#### 4. Considerações finais

Apesar da presença do Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nos sistemas ter resultado na diminuição dos valores das propriedades mecânicas (tensão na força máxima, módulo de Young e alongamento percentual na força máxima) dos filmes em relação ao filme de PVC, as partículas do óxido contribuíram para que, em geral, não houvesse variação significativa nas mesmas após a irradiação dos materiais. A exposição dos filmes à radiação contribuiu para reduzir a energia de ativação do processo de desidrocloração e aumentar a energia de ativação do processo de quebra das sequências de polienos. Por outro lado, foi demonstrado que o óxido não catalisou nenhum desses processos.

#### REFERÊNCIAS

A. RODOLFO JR.; L. H. I. Mei Polimeros. 2007, 17, 263.

C. T. RATNAM; K. ZAMAN Polym. Degrad. Stabil. 1998, 61, 47.

A. CASTAÑEDA-FACIO; R. BENAVIDES; M. MARTÍNEZ-PARDO Radiat. Phys. Chem. 2014, 97, 75.

Z. X. TANG; B. F. LV BRAZ. J. Chem. Eng. 2014, 31, 591.

I. NOWAK; M. ZIOLEK Chem. Rev. 1999, 99, 3603.

M. ZARRINKHAMEH; A. ZENDEHNAM; S. M. HOSSEINI J. Ind. Eng. Chem. 2015, 30, 295.

A. A. BROIDO J. Polym. Sci. Pol. Phys. 1969, 7, 1761.

R. F. NAVARRO, Fundamentos de reologia de polímeros, EDUCS, Caxias do Sul, 1997.

L. R. NUNES, Tecnologia do PVC, Braskem, São Paulo, 2006.

# Capítulo 5

## FILMES BIODEGRADÁVEIS COMO FERTILIZANTES DE LIBERAÇÃO CONTROLADA DE NITROGÊNIO

Renata Paula Herrera Brandelero  
Evandro Martin Brandelero

# FILMES BIODEGRADÁVEIS COMO FERTILIZANTES DE LIBERAÇÃO CONTROLADA DE NITROGÊNIO

Renata Paula Herrera Brandelero

Evandro Martin Brandelero

## Resumo

A ureia em contato com o solo é volatilizada na forma de amônio, a urease é uma enzima presente nos solos que catalisa a reação de volatilização, causando perdas econômicas. O uso de polímeros pode imobilizar a ureia e atuar como barreira entre enzima e substrato, diminuindo o teor de nitrogênio volatilizado. O objetivo foi avaliar a ação de filmes de polímeros naturais como amido e quitosana na redução da velocidade de degradação da ureia. Neste trabalho a ureia foi incorporada em filmes de amido/quitosana e filmes de quitosana, nas concentrações de 20, 50 e 80% de ureia. Os filmes foram produzidos por casting, sendo determinados a velocidade de volatilização, a quantidade de ureia lixiviada em água, a microscopia e solubilidade dos filmes foi determinada. Observou que filmes de amido/quitosana com 50% de ureia foram pelo menos 12 vezes menos solúveis, lixiviaram 2,6 vezes menos ureia e apresentaram tempo de meia vida 2 vezes maior no solo que a ureia comercial, sendo os resultados melhores para estes filmes que para os somente de quitosana. Concluiu-se que filmes de amido/quitosana podem atuar como fertilizantes de liberação controlada.

**Palavras-chave:** Polímeros, adubação nitrogenada, filmes finos.

## 1. Introdução

A ureia é um fertilizante nitrogenado que contém cerca de 46% de nitrogênio, sendo uma das fontes de nitrogênio utilizada na agricultura de mais baixo custo, é sintetizada a partir da amônia e do gás carbônico sobre alta temperatura e pressão. No Brasil a Petrobrás é a empresa responsável pela síntese de ureia, no entanto, o país importa cerca de 8,7 milhões de toneladas de fertilizante nitrogenado, sendo 63% deste valor de ureia para uso como fertilizante, países como China e Estados Unidos são os principais fornecedores (1). Este fertilizante apesar de escasso no país, é responsável pela contaminação de rios, lagos e lençóis freáticos, causando um sério problema ambiental nas regiões agrícolas, isto ocorre porque em contato com os microrganismos do solo a ureia pode sofrer processos de volatilização e lixiviação. A ureia pela ação da urease é transformada em carbonato de amônio que se decompõem em amônia, água e CO<sub>2</sub>, parte da amônia é volatilizada e parte é misturada com a água do solo formando

amônio. O amônio por ação das bactérias nitrificantes transforma-se em nitratos que são fracamente retidos pela argila na camada arável de solo, sendo lixiviados para mananciais de água. O uso de ureia de liberação lenta é uma forma de controlar o problema (2,3, 7).

O incorporação de fertilizantes nitrogenados em sistemas poliméricos pode reduzir a volatilização e a lixiviação uma vez que dificulta o contato entre enzima e substrato, sendo uma barreira ao processo enzimático, assim a liberação de nitrogênio ocorre a medida que o material polimérico é biodegradado pelos microrganismos de solo, retardando a liberação do nitrogênio e diminuindo os processos de volatilização/lixiviação, possibilitando maior absorção de nitrogênio pela planta (3,7).

A quitosana é um polímero insolúvel em água e é completamente biodegradável, além de apresentar efeito antimicrobiano que pode auxiliar na redução da atividade da urease, liberando o nitrogênio de forma mais lenta para absorção das plantas. A quitosana pode originar filmes quando dissolvida em soluções de ácido acético, sendo que solução de quitosana pode ser neutralizada para valores de pH ao redor de 6,0 afim de evitar a acidificação do solo. O amido é um polímero natural totalmente biodegradado no solo, de baixo custo e bastante disponíveis, sendo considerado de alta biodegradabilidade, podendo ser incorporado em misturas com a quitosana para produzir filmes mais baratos e com maior velocidade de biodegradação, muitas são as publicações de filmes de amido com ureia, porém relativamente escassos os trabalhos onde concentrações elevadas de ureia são aplicadas para produzir filmes que funcionem como sistemas de fertilizantes quantitativamente viáveis (3,4, 7).

O objetivo do presente trabalho foi produzir filmes de quitosana e de quitosana/amido incorporados com altos teores de ureia, e caracterizar os mesmos quando a solubilidade em água, lixiviação da ureia em meio aquoso, volatilização da amônia e microscopia dos filmes. (7)

## **2. Experimental**

### **2.1. Material**

Quitosana com massa molar média, com grau de acetilação de 75-85% obtida da Sigma-Aldrich (USA), amido de mandioca com 20% de amilose obtido da Pinduca Alimentos S.A (Araruna-PR), ureia comercial com 46% de nitrogênio (Petrobrás-Brasil). Ureia P.A. da marca Synth com 99% de pureza foi utilizada como solução padrão. O ácido sulfúrico concentrado utilizado foi da marca Synth com 85% de pureza, o cloreto de ferro, ácido fosfórico, diacetilmonoxime e a thiosemicarbazine foram obtidos da Sigma-Aldrich (USA). (7)

### **2.2. Formulação dos filmes**

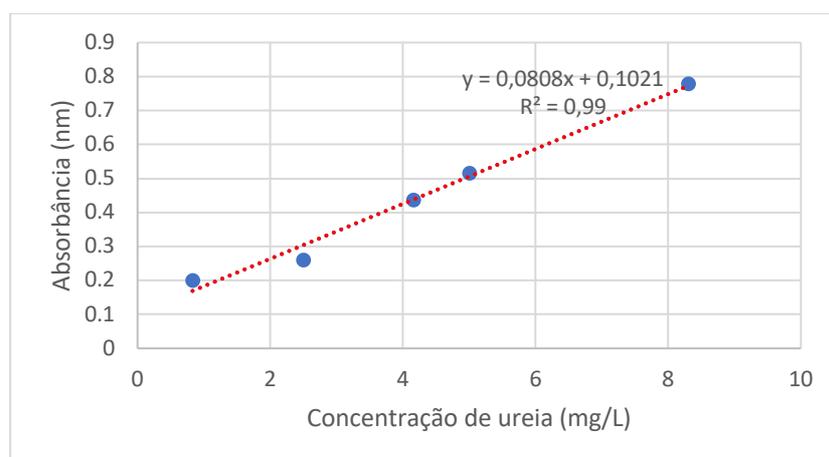
Filmes de amido com ureia foram formulados pesando-se 4g de cada polímero. A quitosana foi solubilizada em 50 mL de solução de ácido acético 2% e após foi misturada com 50 mL de

água. A solução foi homogeneizada em agitador a 1000 rpm (Marconi). O amido foi misturo em 100 mL de água e gelatinizado à temperatura de 75° C por 5 minutos. As soluções de polímeros foram misturas, agitando a mistura para homogeneização. A solução de polímeros na temperatura ambiente foi adicionada de 20, 50 ou 80% de ureia calculada sobre a massa total de polímeros (8 g). As soluções foram espalhadas em placas de acrílico, sendo secos à temperatura de 45° C até que deslocassem da placa. (7)

### 2.3. Análise da solubilidade dos filmes e liberação da ureia

Os filmes foram cortados em corpo de provas de 2x2cm e secos em estufa a 65° C por 12 horas, após foram colocados em copo de béquer com 50 mL de água destilada, os recipientes foram mantidos a 25°C por 24 horas, após as amostras foram filtradas e secas em estufa para determinar a massa solubilizada. A solubilidade foi calculada pela Eq. 1. Os resultados foram obtidos em triplicata. A lixiviação da ureia contida nos filmes foi determinada analisando a quantidade de ureia liberada quando filmes de 2x2cm foram submersos em 50 mL de água destilada á 25° C por 24 horas, alíquotas convenientes para análise foram obtidas, o teor de ureia foi determinado pelo método espectrofotométrico conforme Bhavadasan et al. (5), utilizando um espectrofotômetro marca Tecnal, sendo que 1ml do extrato foi diluído para 10 ml de solução, sendo que desta solução retirou-se uma alíquota conveniente da solução para que a absorbância ficasse dentro da curva analítica foi transferida para tubo de ensaio, sendo adicionados 2 mL do ácido reagente, 2 mL da mistura de reativos e água destilada para obter 6 mL de solução de leitura que foi lida a 520nm. A curva analítica utilizada para calcular o teor de ureia está apresentada na Fig. 1. (7)

Figura 1 - Curva analítica utilizada para determinação de ureia lixiviada dos filmes



Fonte: Brandelero et al., (7)

### 2.4. Análise da volatilização

A análise da ureia volatilizada foi realizada seguindo o método laboratorial conforme Sengik et al. 2001, empregando um método de sistema estático de captação de NH<sub>3</sub>, o método em

questão é o de mais baixo custo e mais seguro para determinação da amônia volatilizada uma vez que o sistema permanece fechado até o momento da análise. O solo foi colocado em coletor cilíndrico, estático e fechado com 3,5 cm de raio. O solo foi umedecido previamente e a umidade foi determinada pelo método gravimétrico em 33%. O pH do solo foi de 5,1, sobre o mesmo foi colocada ureia ou filmes nas quantidades calculadas para obter a mesma quantidade de ureia em cada pote cerca de 210 mg de ureia, ou seja, 96,6 mg de nitrogênio. Sobre a superfície foi colocado um suporte vazado que segurou o papel de filtro embebido com solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5M a 5 cm de altura do solo, permanecendo este papel molhado por todo intervalo de análise. A amônia volatilizada foi determinada indiretamente titulando o ácido que permaneceu no coletor com uma solução de NaOH padronizada. O branco (solução de ácido extraída do papel na ausência de solo) foi obtido em duplicada pela titulação com solução de NaOH. Foram realizados cálculos volumétricos para determina a concentração do N volatilizado conforme a Eq. 2. (7)

$$\text{mg N} = (V_b - V_t) \times C_b \times F_c \times 14 \quad \text{Eq. 2}$$

## 2.5. Obtenção das micrografias dos filmes

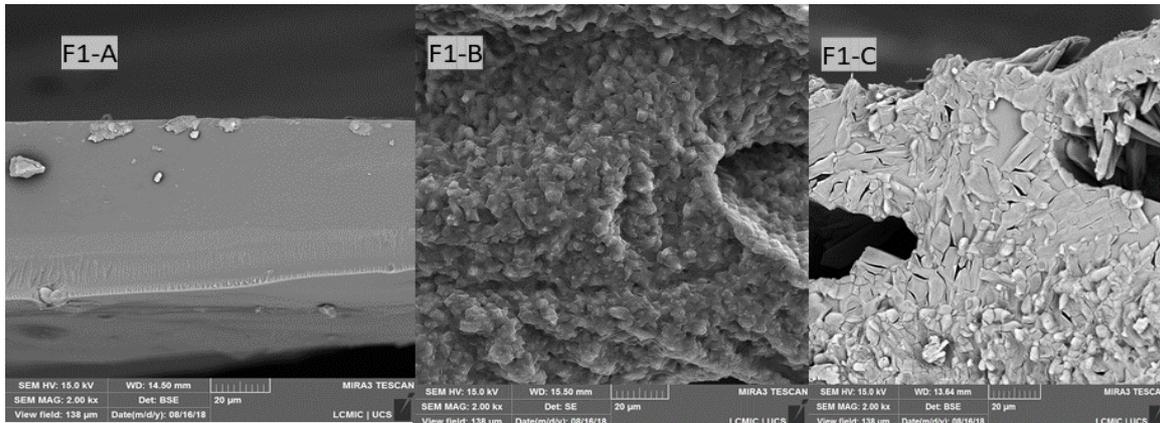
Os filmes foram cortados em corpo de provas de 2x2cm, dessecados em cloreto de cálcio por 30 dias e criofraturados. As micrografias foram realizadas pelo Laboratório Central de Microscopia Israel Baumvol da Universidade de Caxias do Sul em microscópio eletrônica de varredura com emissão de campo, as amostras foram revestidas com solução de prata coloidal e analisadas em baixa voltagem com ampliação de 600x. (7)

## 3. Resultados e discussão

### 3.1. Microscopia dos Filmes elaborados

A microscopia dos filmes de amido/quitosana adicionados de diferentes quantidades de ureia estão apresentadas na Figura 1. Observa-se que com o aumento do teor de ureia houve prejuízos na integridade estrutural dos filmes. Filmes com 80% de ureia foram porosos, e filmes com até 50% de ureia foram mais compactos, sendo os filmes com 20% de ureia os mais compactos (7). Os poros formados nos filmes com 80% de ureia formaram-se, possivelmente, porque o aumento da quantidade de ureia ocasionou a formação de filmes estruturalmente mais frágeis que se tornaram porosos com a passagem do vapor de água durante a secagem dos filmes. Rycher et al. (4) produziram filme de amido com até 10% de ureia, as micrografias indicaram que os filmes foram compactos, sendo similares as micrografias da Figura F1-A.

Figura 1 - Filme amido/quitosana com 20% ureia (FAQ20U), sendo F1-A aumento de 500x, filmes amido/quitosana com 50% ureia (FAQ50U), sendo F1-B aumento de 500x e Filme de amido/quitosana com 80% ureia (FAQ80U), sendo F1-C aumento de 500x.

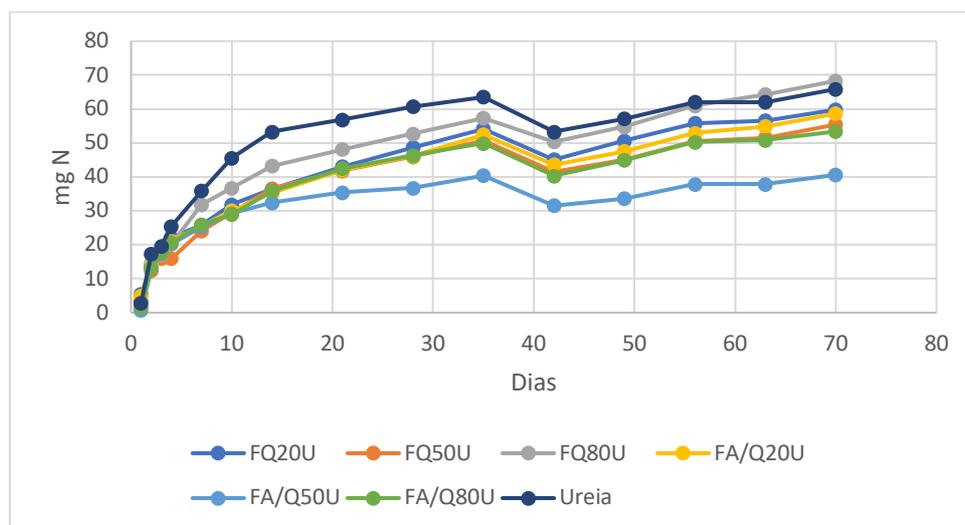


Fonte: Brandelero et al., (7).

### 3.2. Comportamento da perda de ureia por volatilização

A ureia é degradada em amônia pela ação da enzima urease presente nas células dos microrganismos de solo, a amônia por ser volátil é liberada na atmosfera, constituindo uma perda significativa de nitrogênio (7). O nitrogênio volatilizado na forma de amônia ( $\text{NH}_3$ ) foi quantificado com base no tempo em que os filmes contendo ureia que permaneceram em contato com o solo por 70 dias. Observa-se que os filmes apresentaram menor volatilização da ureia que a ureia da comercial, a ureia comercial aos 12 dias havia volatilizado mais que 50% do nitrogênio aplicado no solo, enquanto os demais demoraram pelo menos o dobro deste tempo para liberar a mesma quantidade (7). Os filmes de amido/quitosana com 50% de ureia aos 70 dias liberaram cerca de 40 mg de N, já filmes de quitosana puros com 80% de ureia liberaram 50 mg de nitrogênio aos 20 dias, sendo os filmes que menos controlaram a liberação de amônia. Aos 70 dias a liberação de nitrogênio da ureia comercial foi de 72,5%, enquanto, o filme FAQ50U apresentou cerca de 41,40%, ou seja, cerca 2 vezes menos, nitrogênio volatilizado (7).

Figura 2 - Teor de nitrogênio volatilizada quando filmes contendo diferentes quantidades de ureia ficaram em contato com o solo por 70 dias. Ureia comercial foi utilizada como controle.



Fonte: Brandelero et al., (7)

### 3.3. Solubilidade, lixiviação de ureia, taxa de volatilização do nitrogênio

Os filmes diferiram quanto a solubilidade, filmes de amido/quitosana com 50% de ureia foram os menos solúveis, seguidos dos filmes de amido/quitosana com 20% de ureia e filmes de quitosana com 20% de ureia (Tabela 2). Os resultados mostraram que o aumento do teor de ureia tornou os filmes mais solúveis. O efeito pode estar associado a formação de uma estrutura mais quebradiças e porosas com o aumento da quantidade de ureia, facilitando o contato entre a água as cadeias poliméricas. A lixiviação da ureia em água foi menor em filmes com maior teor de ureia, sendo um indicativo que houve uma associação química da ureia com os polímeros do filme, diminuindo a afinidade da mesma pela água. Filmes de amido/quitosana com 50% ou 80% lixiviaram duas vezes menos ureia que filmes com 20% de ureia. Outros autores verificaram liberação em 24h de 80-100% de ureia em filmes de amido com até 10% ureia. (4). Observado o comportamento da volatilização de nitrogênio em relação ao tempo verifica-se que filmes de amido/quitosana com 50% de ureia apresentaram tempo de meia vida de 25 dias contra 13 dias para ureia comercial, indicando que a incorporação da ureia neste filme dobrou o tempo de permanência da ureia no solo. Outros autores determinaram percentagens de volatilização semelhante (2,6,7).

Tabela 2 - Propriedades de solubilidade, lixiviação e volatilização da ureia incorporada em filmes de amido/quitosana

Filmes	Solubilidade (%)	Lixiviação Ureia (%ureia liberada)	Modelo de Regressão Volatilização	Coefficiente de Regressão	tempo <sup>1/2</sup> vida (dias)
FAQ20U	29,12 <sup>b</sup>	82,09 <sup>a</sup>	$y=0,0006x^3-0,0795x^2+3,36x+14,755$	0,96	14
FAQ50U	7,77 <sup>c</sup>	38,48 <sup>bc</sup>	$y=0,0005x^3-0,0554x^2+2,55x+0,9554$	0,98	25
FAQ80U	55,05 <sup>a</sup>	27,10 <sup>c</sup>	$y=0,0007x^3-0,0866x^2+3,35x+7,4156$	0,97	17
FQ20U	29,96 <sup>b</sup>	48,69 <sup>b</sup>	$y=0,0005x^3-0,0674x^2+2,87x+7,800$	0,97	19
FQ50U	47,63 <sup>a</sup>	38,28 <sup>bc</sup>	$y=0,0006x^3-0,0750x^2+2,76x+6,8875$	0,91	21
FQ80U	52,71 <sup>a</sup>	27,21 <sup>c</sup>	$y=0,0006x^3-0,0760x^2+3,10x+5,967$	0,96	19
Ureia	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	$y=0,0001x^3-0,1222x^2+4,67x+6,3984$	0,96	13

Fonte: Brandelero, et al. (7)

#### 4. Conclusão

Filmes elaborados com polímeros biodegradáveis como amido e quitosana adicionados de ureia reduziram a volatilização de nitrogênio, sendo que em comparação houve redução no teor de nitrogênio acumulado volatilizado. Os filmes elaborados com amido/quitosana na proporção de 1:1 e adicionados de 50% de ureia foram os menos solúveis, reduziram a solubilização da ureia e a velocidade de lixiviação de nitrogênio de forma mais eficiente que os demais filmes. Os resultados sugerem que polímeros biodegradáveis, como amido e quitosana, são eficientes para proteger a ureia da ação da urease retardando a volatilização do nitrogênio.

#### REFERÊNCIAS

(1) GlobalFert. Fertilizantes nitrogenados. Disponível: <https://globalfert.com.br/boletins-gf/19>. Acesso: 24/04/2019.

(2) SANGOI, L. et al. Ciência Rural, Santa Maria, v.33, p.87-692, 2003.

- (3) YANG L.; AN D.; WANG, T. J.; KAN, C.; JIN Y. *Particuology*, 30 (2017), 73-82.
- (4) RYCHTER, P., KOT, M.; BAJER, K.; ROGACZ, D.; SISKOVÁ, A. KAPUSNIAK, J. *Carbohydrate Polymers*, 137, 2016, 127-138.
- (5) BHAVADASAN MK, RAJPUT YS & GANGULI NC 1982. *Indian Journal of Dairy Science* 35, 263–26.
- (6) SENGIK E., KIEHL, J. DE C.; SILVA, M. A. G.; PALANGANA, D. C., LAWDER, M. R. *Acta Scientarium*, v.23, n. 5, 1099-1105, 2011
- (7) BRANDELERO, R. P. H; BRANDELERO, E. M. B. Filmes de amido/quitosana como fertilizante de liberação controlada de nitrogênio. In: 15º Congresso Brasileiro de Polímeros (15 CBPOL). Anais Bento Gonçalves, RS, 27 a 31 de outubro de 2019.

.In

# Capítulo 6

## FILMES DE AMIDO/QUITOSANA ADICIONADOS DE FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS E NANOCRISTAIS DE CELULOSE

Renata Paula Herrera Brandelero  
Guilherme Landim Santos  
Evandro Martin Brandelero

# FILMES DE AMIDO/QUITOSANA ADICIONADOS DE FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS E NANOCRISTAIS DE CELULOSE

Renata Paula Herrera Brandelero

Guilherme Landim Santos

Evandro Martin Brandelero

## Resumo

Filmes de amido/quitosana apresentam elevada absorção de água e permeabilidade ao vapor de água (PVA), como são biodegradáveis e barreira à gases como O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> podem, se minimizada a hidrofiliabilidade, atuar em sistemas de embalagens para alimentos. O objetivo do trabalho foi avaliar a ação das fibras lignocelulósicas (CFS) e cristais de nanocelulose (NCS) extraídas de resíduos da colheita de sorgo na hidrofiliabilidade de filmes de amido/quitosana, para tal avaliou as isotermas e a PVA. Os filmes adicionados de NCS apresentaram valor de monocamada (m<sub>0</sub>) duas vezes menor que filmes só de polímeros, enquanto os CFS não sofreram modificações, o efeito está relacionado à maior capacidade de interação entre polímeros e nanofibras. Os filmes com CFS apresentaram menor PVA, já os filmes com NCS foram mais espessos e menos densos, não exercendo, efeito de barreira ao vapor de água. A adição de NCS foi importante para reduzir a higroscopicidade dos filmes, no entanto, a morfologia da fibra influenciou diferentemente a capacidade de sorção e a barreira ao vapor de água.

**Palavras-chave:** fibras lignocelulósicas, aproveitamento de resíduo, filmes finos, materiais biodegradáveis.

## 1. Introdução

Filmes de polímeros naturais, como amido e quitosana apresentam baixa permeabilidade à gases como oxigênio e gás carbônico, a quitosana possui ainda propriedades antimicrobianas e podem gerar filmes antimicrobianos. Filmes obtidos por misturas de amido/quitosana podem ser utilizados em filmes sintéticos co-extrudados para diminuir a permeabilidade ao oxigênio, no revestimento de superfícies para reduzir a oxidação, como embalagens ativas para conservação de alimentos, na produção de materiais para liberação controlada, entre outras aplicações (1,7)

A quitosana é um polímero obtido da carapaça de crustáceos sendo, portanto, um aproveitamento dos resíduos da pesca do camarão, tem a característica de ser solúvel apenas em soluções ácidas e resultam em filmes de baixa solubilidade em água e muito hidrofílicos,

sendo que a absorção de água acaba por alterar as propriedades dos filmes. O amido é um polímero de glicose que quando gelatinizado na presença de plastificantes apresenta capacidade de gerar filmes elásticos, porém com propriedades muito inferiores que as dos filmes de resinas sintéticas, principalmente devido a hidrofiliçidade (1,2,3,7). Os filmes de amido e quitosana podem ser obtidos por blendas destes dois polímeros, sendo que a associação entre estes pode diminuir a disponibilidade dos vários grupos hidroxilas, conseqüentemente, reduzindo a hidrofiliçidade, sendo que a incorporação de quitosana pode ainda diminuir a solubilidade em água dos filmes. (7)

As fibras são materiais de baixa solubilidade e podem ser obtidas de cascas, galhos, folhas e bagaços, quanto mais cristalina apresentam menor hidrofiliçidade e podem atuar melhorando a resistência dos materiais. A celulose nanocristalina (CNC) é uma nanofibra que apresentam alta cristalinidade e pouco mais de nanômetros de dimensão, além de serem rígidos e impermeáveis, desta forma a presença de celulose nanocristalina em filmes de polímeros hidrofílicos podem auxiliar na redução de permeabilidade ao vapor de água, aumentar a resistência mecânica dos materiais, bem como a cristalinidade e diminuir a hidrofiliçidade (4,7).

No presente trabalho o objetivo foi produzir filmes pela mistura de amido e quitosana e avaliar a hidrofiliçidade dos filmes quando adicionados de nanocelulose (NCS) obtida por método químico de extração e de fibras lignocelulósicas residuais da colheita de sorgo. (7)

## **2. Experimental**

### **2.1. Material**

A quitosana foi obtida da sigma-aldrich (USA) com peso molecular médio, com 75-85% de desacetilação. O amido de mandioca foi obtido sob marca Pinduca Alimentos (Araruna, Brasil) e apresentou 21% de amilose. O glicerol com 99% de pureza foi obtido da Anidrol. As fibras foram obtidas de resíduos da colheita agrícola do sorgo. O hidróxido de sódio com 99% de pureza foi obtido da Synth e o ácido sulfúrico concentrado com 95-98% de pureza da marca Anidrol (7).

### **2.2. Obtenção das Nanocelulose de sorgo (NCS), fibras naturais e confecção dos filmes**

As fibras naturais foram obtidas dos resíduos provenientes da colheita de sorgo, o material foi seco em estufa a 65°C e após foi triturado em moinho com peneira de 2 mm. As fibras trituradas foram submetidas ao processo químico de extração de nanocelulose, primeiro foi obtida a celulose pela mistura com uma solução de NaOH 10% por 1 hora a 70 °C, após a celulose foi lavada até neutralização, filtrada e seca em estufa a 90° C. A celulose foi então submetida a uma solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 45% por 1 hora a 55° C, o material precipitado foi então lavado à neutralização, após foi filtrado e seco em estufa (7).

Filmes de amido (ATP) foram obtidos gelatinizando 7,2 g de amido a 75°C por 10 minutos em 200 ml de solução, sendo adicionado 1,44 g de glicerol. Os filmes de amido/quitosana (ATPQUI) foram obtidos a partir de 100 mL de uma solução de amido gelatinizada preparada com 4,8 g de amido que foram misturadas a 100mL de solução de quitosana preparada com 2,4 g quitosana diluída com 50 mL de uma solução de ácido acético 2%, sendo a mistura adicionada de 1,44 g de glicerol, os filmes de amido/quitosana foram incorporados com 6,7% (sob a massa de polímeros) de fibras naturais (ATPQUICFS) e com 6,7% (sob a massa de polímeros) de nanocelulose (ATPQUINCS). As soluções foram colocadas sobre placas de acrílico e secas em estufa a 65° C até descolarem da placa. Filmes de amido e filmes de amido/quitosana sem adição de fibra foram obtidos e serviram como filmes controle (7).

### 2.3. Isotermas de Sorção

As isotermas de sorção dos filmes foram determinadas em diferentes umidades relativas (11,8%, 32,8%, 43,2%, 52,9%, 64,5 e 90%) a 25°C. Corpos de provas (20 mm x 20 mm) foram condicionados por 30 dias em cloreto de cálcio. Posteriormente foram colocados em recipientes fechados contendo soluções salinas saturadas para obter a URE desejada. Os filmes foram pesados em intervalos regulares até obter três pesagens consecutivas iguais (condição de equilíbrio). A umidade absoluta (em base seca) foi determinada pelo método em estufa (105°C, 4 horas). Todos os testes foram conduzidos em triplicata. As isotermas foram modeladas a partir dos valores de umidades obtidos em 11,8% de UR utilizando o modelo de GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer) conforme equação 1. O programa Statistica 6.0 foi utilizado para realizar a modelagem. Os parâmetros convergiram pelo método de Quasi-Newton (7).

$$X_w = \frac{C.k.m_o.a_w}{[(1-k.a_w)(1-k.a_w + C.k.a_w)]} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde: **C** (calor de sorção da monocamada), **k** (calor de sorção da multicamada) e **m<sub>o</sub>** (monocamada dada em g água/g sólidos) são os parâmetros do modelo, **X<sub>w</sub>** é a umidade em base seca (g água/g sólidos) e **a<sub>w</sub>** é a UR/100 (7).

### 2.4. Permeabilidade ao vapor de água, Espessura e densidade

A PVA dos filmes foi determinada conforme o método gravimétrico adaptado da normativa E 96-95 da ASTM [3] (Manteve-se o gradiente de umidade relativa (UR) em 73%). As umidades relativas (UR) empregadas foram de 2% (UR<sub>2</sub>) e 75% (UR<sub>1</sub>). A PVA foi calculada através da equação 1. (7)

$$PVA = \frac{TPVA \cdot \delta}{A \cdot P_s \cdot \frac{UR_1 - UR_2}{100}} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde: TPVA é a taxa de permeabilidade ao vapor de água (g água/dia),  $\delta$  é a espessura média dos filmes (m), A é a área de permeação da cápsula ( $28,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ),  $P_s$  é a pressão de saturação do vapor de água a 25 °C (163.678,8) e UR é a umidade relativa no interior do dessecador (sub-índice 1) e no interior da cápsula (sub-índice 2) (7).

A espessura foi determinada utilizando um micrômetro, foram cortados corpos de de 20x20 mm em triplicatas e acondicionados em 75% de umidade após foram realizadas 5 medidas de espessura em cada corpo de prova e obtida a média dos valores. A densidade foi obtida pesando corpos de provas de 20x20 mm condicionados a 75% de umidade e dividindo pelo volume dos corpos de provas, foram realizadas triplicatas (7).

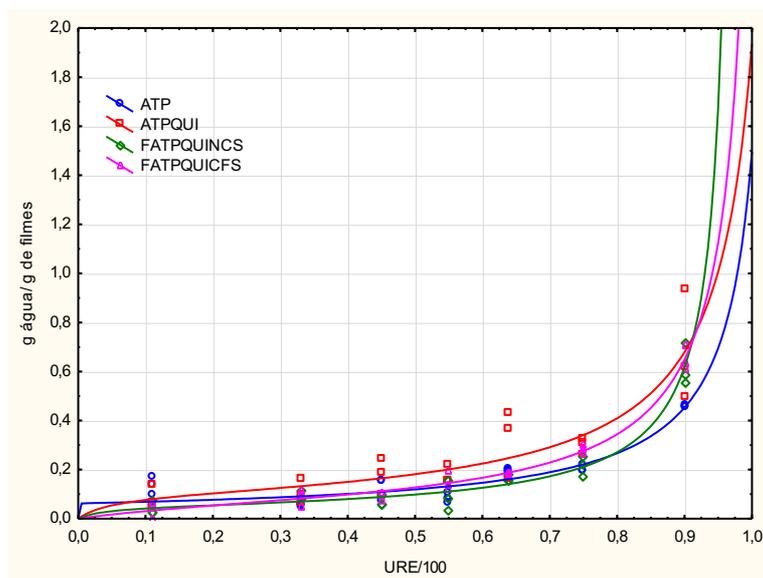
### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Isotermas de Sorção

As isotermas dos filmes estão apresentadas na Figura 1, sendo a absorção de água maior em condições de umidade maiores que 75%, comportamento característico de filmes hidrofílicos, resultados similares foram obtidos por outros autores (3,5,7). Filmes obtidos por blendas de amido e quitosana foram mais hidrofílicos que filmes elaborados com 100% de amido em todas as condições de umidade avaliadas, similarmente ao encontrado por Leceta (3,7). A adição de fibras em filmes de amido/quitosana permitiu obter filmes com menor hidrofílicidade, principalmente quando adicionados de NCS, uma vez que a absorção de água foi menor em todas as condições de umidade, comportamento similar ao encontrado por Muller et al (5,7).

Os parâmetros das isotermas foram determinados utilizando o modelo de GAB (Tabela 1), os valores de monocamada obtidos confirmaram o efeito apresentado nas isotermas (Fig. 1), observando os valores de monocamada ( $m_0$ ) verifica-se que filmes de amido/quitosana com nanocelulose apresentaram menor higroscopicidade, este comportamento pode estar ligado ao aumento de regiões cristalinas na matriz do filme devido a presença da nanocelulose. Os valores de k igual a 1 para filmes com nanocelulose indica que os mesmos foram mais homogêneos, ou mais orientados que filmes de amido/quitosana sem adição de fibras. O aumento da cristalinidade dos filmes diminui a água de sorção uma vez que as regiões cristalinas são menos permeáveis ao vapor de água (7).

Figura 1 - Isotermas de Sorção de filmes de amido (ATP), amido/quitosana (ATPQUI), amido/quitosana com NCS (ATPQUINCS) e amido/quitosana adicionados de fibras de sorgo (ATPQUICFS).



Fonte: Brandelero et al, (7)

Tabela 1 - Parâmetros das isotermas de sorção ajustadas pelo do Modelo de GAB.

Filmes	$m_o$ (g água/g filme)	$C$	$k$	$R$
ATPQUI	0,100	21,14	0,95	0,90
ATPQUINCS	0,050	25,28	1,02	0,98
ATPQUICFS	0,078	5,07	0,98	0,99
ATP	0,067	83,93	0,94	0,94

Fonte: Brandelero et al. (7).

A adição de fibras naturais também reduziu a monocamada dos filmes de amido/quitosana, resultados similares foram obtidos por Muller et al (5,7), segundo estes autores o efeito ocorre pela diminuição da interação polímero-água e aumento das interações polímero-fibras (7).

### 3.2. Permeabilidade ao vapor de água, espessura e solubilidade

A adição de nanocelulose não alterou a PVA de filmes de amido/quitosana (Tabela 2), uma vez que na presença das NCS os filmes foram menos densos o que facilita a passagem de vapor de água por difusão. No entanto outros autores verificaram que a presença de nanocelulose nestes materiais tornou os filmes menos permeáveis (6,7).

Filmes adicionados de fibras naturais apresentaram PVA igual a  $1,25 \times 10^{-12}$  g. s<sup>-1</sup>. Pa<sup>-1</sup>. m<sup>-1</sup> enquanto filmes de amido/quitosana sem fibras apresentaram PVA de  $2,31$  g. s<sup>-1</sup>. Pa<sup>-1</sup>. m<sup>-1</sup>,

sendo, entretanto, similares quanto à espessura e densidade. Resultados similares foram observados por Muller et al. (5,7), indicando que a presença da fibra pode ter reduzido a solubilidade do vapor de água na matriz do filme.

Tabela 2 - Valores de PVA, espessura, solubilidade e densidade.

<b>Filmes</b>	<b>PVA (g.s<sup>-1</sup>.Pa<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>x 10<sup>-12</sup>)</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Densidade (x 10<sup>6</sup>g/m<sup>3</sup>)</b>
<b>FATPQUI</b>	2,31 <sup>a</sup>	0,077 <sup>bc</sup>	2,06 <sup>a</sup>
<b>FATPQUINCS</b>	2,35 <sup>a</sup>	0,210 <sup>a</sup>	0,63 <sup>b</sup>
<b>FATPQUICFS</b>	1,25 <sup>b</sup>	0,067 <sup>c</sup>	1,85 <sup>a</sup>
<b>FATP</b>	0,92 <sup>b</sup>	0,120 <sup>b</sup>	1,52 <sup>a</sup>

Fonte: Brandelero, et al. (7)

A densidade diminuiu para filmes com nanocelulose. Já para os demais filmes os valores não diferiram significativamente. A difusão da água é inversamente proporcional a densidade, assim as fibras de nanocelulose na quantidade adicionada aos filmes de fibra produziu materiais menos densos o que favorece a migração do vapor de água e, portanto, a difusão. A espessura também foi maior nos filmes com nanocelulose, sendo que em filmes hidrofílicos quanto mais a espessura maior o contato entre o filme e o vapor de água o que aumenta a solubilidade do vapor de água. Assim o efeito da nanocelulose sobre a densidade e espessura explica o efeito das NCS sobre a PVA, mesmo os filmes sendo menos higroscópicos quanto incorporados de nanocelulose (7).

#### 4. Conclusões

A redução do valor de monocamada indica redução da disponibilidade dos sítios ativos para ligação com a água na presença de cristais de nanocelulose, este efeito pode estar associado a presença de regiões cristalinas de menor afinidade pela água na matriz destes filmes. No entanto, a presença de cristais de celulose aumentara a permeabilidade ao vapor de água, enquanto, as fibras lignocelulósicas diminuiram a permeabilidade. Filmes com cristais de nanocelulose foram menos densos e mais espessos o que acredita ter facilitado a permeação do vapor de água por difusão, já filmes no fibras naturais tiveram maior densidade e menor espessura, portanto, são mais compactos o que pode ter dificultado a passagens do vapor de água por difusão. Desta forma a morfologia diferenciada das fibras resultaram em efeitos diferentes sobre a Hidrofilicidade dos filmes.

## REFERÊNCIAS

- (1) L. REN; X. YAN; J. ZHOU; SU, J. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 105, 1636.
- (2) E. BASIAK. A. LENART, F. DEBEAUFORT. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 98, 348.
- (3) L. LECETA; A. GUERRERO; K. CABA. *Materials Letters*. 2014, 128, 125.
- (4) P. PHANTHONG; P. REUBROYCHAROEN; X. HAO; B. XU; ABUDULA, A.; G. GUAN. *Carbon Resources Converion*, 2018, 1, 32.
- (5) C. MÜLLER; J. LAURINDO; F. YAMASHITA. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23, 1328.
- (6) B. MONTERO; M. RICO; S. RODRIGUEZ-LANAZONES, S.; BARRAL, R. SOUZA. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 157, 1054.
- (7) BRANDELERO, R. P. H., SANTOS, G. L., BRANDELERO, E. M. Hidrofilicidade de filmes compósitos de amido/quitosana e nanocristais de celulose. In: 15º Congresso Brasileiro de Polímeros (15 CBPOL). Anais. Bento Gonçalves, RS, 27 a 31 de outubro de 2019.

## **Anderson Andrade Fontes**

Graduação em andamento em Química Industrial pela Universidade Federal de Pernambuco. Técnico em andamento em Artes Visuais pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. Sua principal linha de pesquisa é voltada para a área de materiais poliméricos.

## **Angelica Fernandes Lima**

Graduação em Engenharia Civil – UniRedentor (2018).

## **Camila Aparecida Peixoto Muruci**

Graduação em Engenharia Civil – UniRedentor (2018).

## **Cristiano Pena Miller**

Graduação em Engenharia Civil – UENF (2005) - Mestre em Engenharia Civil - UENF (2008). Engenheiro Civil concursado da PMI – Itaiva/RJ. Superintendente de Obras e Serviços Públicos do Município de Itaiva. Inspetor do CREA/RJ. Professor, tutor e conteudista do curso de Graduação em Engenharia Civil (Presencial e EaD) da UNIRedentor. Engenheiro Civil da GeoTec - Sondagens e Soluções em Fundações.

## **Efraim Ribas Linhares Bruno**

Graduado em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário do norte – UNINORTE (2012). Pós-graduado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Estado do Amazonas (2018). Atualmente é analista acadêmico nos cursos de engenharias no Centro Universitário do Norte.

## **Evandro Martin Brandelero**

Graduação em Agronomia pelo Centro Federal Ciência e Tecnologia do Paraná (1999). Mestre em Agronomia pela Universidade Federal da Bahia (2001). Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina – UEL (2009). Sua principal linha de pesquisa é em Engenharia Agrícola, bem como tem participado em pesquisas de desenvolvimento de matérias para agricultura. Atualmente é professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

## **Fábio Furtado**

Graduação em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2014). Atualmente mestrando pela Universidade Federal do Paraná (2020). Sua principal linha de pesquisa é voltada para a área de materiais e manufatura.

## **Felipe Gonçalves Jedyn**

Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Paraná (2010) e mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Paraná (2017). Tem experiência na área de Ensino de Engenharia Mecânica. Atualmente é doutorando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Paraná. Sua principal linha de pesquisa é voltada para a área de materiais e manufatura.

## **Fernanda Rangel de Azevedo de Paula**

Graduação em Engenharia Civil – UENF (2002) - Especialização em Gestão Educacional em IES - UNIRedentor (2015). Mestre em Engenharia Civil - UENF (2006). Engenheira concursada da PMI –

Itaperuna/RJ. Conselheira do CREA/RJ. Coordenadora, professora, tutora e conteudista do curso de Graduação em Engenharia Civil (Presencial e EaD) da UNIRedentor.

### **Gabriel Pereira Gonçalves**

Graduação em Engenharia Civil – Faculdade Redentor (2008) e Engenharia de Segurança do Trabalho – Faculdade Redentor (2010). Mestre em Engenharia Civil com ênfase em Estruturas - UENF (2011). Docente dos cursos de Engenharia da UniRedentor da modalidade presencial e conteudista, professor e tutor do Curso de Engenharia Civil e de Produção EaD da UniRedentor. Inspetor Regional do CREA-RJ.

### **Guilherme Landim Santos**

Graduando de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Atuou em pesquisas voltadas para desenvolvimento de materiais biodegradáveis para uso agroflorestal.

### **José Costa de Macêdo Neto**

Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFCG (2003). Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFCG (2006). Doutorado em Engenharia Química pela Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas (2011). Atualmente é professor Doutor da Escola Superior de Tecnologia da UEA. Principal linha de pesquisa na área de solidificação rápida, nano compósitos poliméricos e polimerização em emulsão.

### **Juarez Dantas do Nascimento Junior**

Graduação em andamento em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco. Suas principais linhas de pesquisa são ecologia de ecossistemas, com ênfase em contaminação por resíduos sólidos, e materiais poliméricos.

### **Marcia Cristina Gomes de Araújo Lima**

Graduada em Engenharia de Produção - Universidade Salgado de Oliveira (2016). Pós Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Joaquim Nabuco (2017). Pós Graduação em Ciências e engenharia dos Materiais pela Universidade do Estado do Amazonas (2018). Mestranda em Ciências e Engenharia dos Materiais na área de Nano partículas (Antioxidantes) UFAM (2019).

### **Mike Monteiro Custodio**

Graduação em Engenharia Civil – UniRedentor (2018). Pós-graduando em Estruturas – Faculdade Unyleya. Engenheiro Civil da empresa Blocom. Representante da Aditive.

### **Muriel Batista de Oliveira**

Graduação em Engenharia Civil - FURG (2002) e Engenharia de Segurança do Trabalho UNIRedentor (2011). Esp. em Docência do Ensino Superior - UNIREDENTOR (2007), Esp. em Educação Ambiental - FETREMIS (2014). MBA em QSMS - UniRedentor (2019). Mestre em Engenharia Civil - COPPE/UFRJ (2005). Doutora em Educação - Universidad Americana (2016)/UFPE (2018). conteudista, professora e tutora. Diretora de Graduação EaD da UNIRedentor.

### **Perla Alves de Oliveira**

Graduada em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário do Norte - UNINORTE (2012). Pós Graduada em Ciências e Engenharia dos Materiais pela Universidade do Estado do Amazonas (2018).

### **Pietro Valdo Rostagno**

Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Espírito Santo (2002) e Engenharia de Segurança do Trabalho – Faculdades Integradas Jacarepaguá (2009). Especialista em Docência do Ensino Superior - UNIREDENTOR (2007). Docente dos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo da UniRedentor da modalidade presencial e conteudista, professor e tutor do Curso de Engenharia Civil EaD da UniRedentor. Inspetor Regional do CREA-RJ.

### **Renata Paula Herrera Brandelero**

Graduação de Química pela Universidade Estadual de Londrina- UEL (1999). Mestre em Ciência dos Alimentos (2001 pela Universidade Estadual de Londrina- UEL). Doutor em Ciência de Alimentos (2010) pela Universidade Estadual de Londrina- UEL. Sua principal linha de pesquisa é voltada para área de materiais e matérias-primas poliméricas e biodegradáveis. Atualmente é professora titular da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

### **Suelem de Jesus Pessoa**

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Luterana de Manaus (2016). Pós-graduada em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Estadual do Amazonas (2018). Atualmente é engenheira química no setor de laboratório no polo industrial de Manaus.

### **Thaís Helena Sydenstricker Flores-Sahagun**

Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1984), mestrado e doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1991 e 1997). Atualmente é professora titular aposentada da Universidade Federal do Paraná, participante do programa professor sênior da UFPR. Experiência na área de Polímeros, fibras vegetais, sorventes para o setor do petróleo, compósitos e valorização de produtos reciclados.

### **Thiago Monteiro Maquiné**

Graduado em Engenharia Mecânica pela UEA (2009). Pós Graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UNINORTE (2012). Pós Graduado em Ciência e Engenharia dos Materiais pela UEA (2018). Atualmente é mestrando no Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFAM (2020) e é Coordenador de Engenharia na área de construção naval, gasoduto com ênfase em processo de soldagem na indústria de Manaus.

### **Tiago Lopes de Araújo**

Graduação em Química Industrial pela UFPE (2011). Especialização em Docência no Ensino Superior pela Faculdade SENAC Pernambuco (2015). Mestrado em Ciência de Materiais pela UFPE (2016). Complementação Pedagógica em Química pela Faculdade Geremário Dantas (2017). Suas principais linhas de pesquisa são química analítica, espectroscopia no infravermelho, quimiometria e materiais poliméricos. Atualmente, é professor EBTT de Química do IFTO.

### **Yêda Medeiros Bastos de Almeida**

Graduação em Engenharia Química pela UFPE (1986). Mestrado em Engenharia Química pela UNICAMP (1991). Doutorado em Química de Materiais pela Université de Montpellier II (1996). Suas principais linhas de pesquisa são materiais poliméricos (degradação e estabilização, polímeros biodegradáveis, modificação de polímeros, blendas poliméricas e reciclagem de polímeros), biodiesel e biocorrosão. Atualmente, é professora titular do DEQ da UFPE.



# ORGANIZADORA

## **Thaise Ribeiro Luz**

Entusiasta da área de tecnologia, marketing digital e empreendedorismo; possui graduação em Marketing pelo Centro Universitário Internacional (2017), e atualmente é pós graduanda em Engenharia de Produção pela Universidade Cruzeiro do Sul.



**EDITORA KREATIK**