

## SUMÁRIO

**Densidade por Imersão com Materiais Elastoméricos Microcelulares.....05**

*Jaqueline Coelho Pereira*

*Flávio Gramolelli Junior*

**Desenvolvimento e Construção de Protótipo de Fossa Séptica Biodigestora para Uso como Ferramenta de Ensino Sobre o Tratamento de Esgoto Doméstico.....27**

*Marcelo Marcelino*

*Reginaldo Piceli*

*Cristiane Rochi de Oliveira*

*Flávio Gramolelli Júnior*

*Raquel Carnivalle Silva Melillo*

**Desenvolvimento e Construção de Protótipo para Estudo de Jardim Filtrante como Alternativa para Destinação Adequada de Resíduos de Esgoto – A Chamada “Água Cinza” .....46**

*Ana Paula Henrique*

*Luciano Smanhoto kroll*

*Cristiane Rochi de Oliveira*

*Flávio Gramolelli Júnior*

*Raquel Carnivalle Silva Melillo*

**Envelhecimento Acelerado de Whisky através de Tratamento Térmico.....62**

*César S. Martini*

*Henrique S. Omote*

*Vanderlei de Paula*

**Estudo Comparativo: Uso de Extrato de Quinoa e Amaranto para Produção de Bebida Fermentada.....84**

*Carina de Oliveira*

*Isabela Bonaldo Gonçalves*

*Rafaela Aparecida Rodrigues*

*Claudemar José Trevizam*

**Implantação de Metodologia para Avaliação do Grau de Dispersão na Indústria de Tintas Flexográficas.....105**

*Mayara Nadir Cucharo  
Flávio Gramolelli Junior  
Carlos Eduardo Martins*

**Inertização de Medicamentos Sólidos Vencidos: Alternativas de Redução do Impacto Ambiental.....125**

*César Augusto Munhóz Angioluci  
Maria Eduarda Caum Meneguello  
Raquel Carnivalle Silva Melillo  
Vanderlei Inácio de Paula*

**Óleo de Soja Epoxidado: Uma Análise do Uso deste Plastificante da Produção de Pvc em Substituição aos Ftalatos.....144**

*Guilherme H. Z. Aleixo  
Tatiana Lança  
Claudemar José Trevizam*

**Otimização no Processo de Produção de Espumas de Poliuretano.....164**

*Paulo Sergio Silva  
Claudemar José Trevizam  
Hipólito Alberto Silva Gomes  
Tatiana Lança*

## DENSIDADE POR IMERSÃO COM MATERIAIS ELASTOMÉRICOS MICROCELULARES

**Jaqueline Coelho Pereira** (Centro Universitário Padre Anchieta)

**Flávio Gramolelli Junior** (Centro Universitário Padre Anchieta)

### RESUMO

Os elastômeros microcelulares, por possuírem densidades de 200 a 1000 Kg/m<sup>3</sup>, podem ser utilizados em várias aplicações sendo uma delas o filtro de ar de veículos automotores. Antes de iniciar o processo de aprovação da formulação no cliente é preciso avaliar sua criteriosidade para liberação e, para isso, é necessário validar alguns métodos de análise, sendo um deles o de densidade. A análise de densidade pode ser feita de várias maneiras: pelo Princípio de Arquimedes sob imersão ou área (sólido regular), assim será realizado um comparativo com duas formulações de alta e baixa densidade. O intuito é comprovar se os elastômeros microcelulares não possuem nenhuma interação com água já que o método de medida da densidade por imersão necessita de contato com o líquido e que se for realizar qualquer uns dessas análises não ocorrerá divergências nos resultados. A necessidade de realizar esses testes é avaliar qual é o método mais efetivo permitindo utilizar qualquer um deles sem discrepância nos valores. Foram feitas formulações com baixa e com alta densidade, para permitir uma melhor comparação. Os resultados indicam que para certas aplicações com densidade abaixo de 330Kg/m<sup>3</sup> a estrutura molecular dos elastômeros microcelulares não é muito efetiva, já que a células são mais abertas, permitindo mais rapidamente a absorção de água, com o uso do método de Arquimedes.

**Palavras-chave:** Elastômero microcelular; Densidade; Estrutura molecular.

### ABSTRACT

Microcellular elastomers, as they have densities of 200 to 1000 Kg / m<sup>3</sup>, can be used in several applications, one of which is the air filter for motor vehicles. Before starting the process of approval of the formulation at the client, it is necessary to evaluate its criterion for release and, for that, it is necessary to validate some methods of analysis, one of which is density. Density analysis can be done in several ways: by the Archimedes Principle under immersion or area (regular solid), a comparison will be made with two formulations of high and low density. The aim is to verify if the microcellular elastomers do not have any interaction with water since the immersion density measurement method requires contact with the liquid and that if any of these analyzes are to be carried out, there will be no divergence in the results. The need to perform these tests is to assess which is the most effective method allowing to use any of them without discrepancy in values. Low and high density formulations were made

to allow for a better comparison. The results indicate that for certain applications with density below 330Kg / m<sup>3</sup> the molecular structure of the microcellular elastomers is not very effective, since the cells are more open, allowing faster absorption of water, using the Archimedes method.

**Keywords: Microcellular elastomers; Density; Molecular Structure.**

## 1. INTRODUÇÃO

Os poliuretanos (PUs) são considerados como copolímeros em bloco segmentados, formados pela reação de poliadição entre diisocianatos, polióis e extensores de cadeia. Os mesmos são constituídos por segmentos rígidos e flexíveis. A reação entre diisocianato e extensores de cadeia forma o segmento rígido, enquanto que o polioliol é responsável pelo segmento flexível. (PACHECO *et al*, 2007).

Os elastômeros microcelulares de poliuretanos elastoméricos são materiais que resistem a condições severas encontradas em diversas aplicações, como em automóveis e máquinas industriais. É possível produzir PUs com propriedades variadas, o que possibilita a escolha do material mais adequado para cada aplicação, podendo-se assim optar por materiais mais elásticos e macios, ou por materiais mais duros e de estrutura reticulada. O elastômero de uretano microcelular é usado para vários absorvedores de choque elementos em suspensões de veículos, máquinas de precisão, solas de sapatos, esportes sapatos etc. (PACHECO *et al*, 2007).

Poliuretanos elastoméricos microcelulares podem ser manufacturados conforme as necessidades e aplicações específicas. Os filtros de veículos automotores possuem suas bordas fabricadas com espuma elastomérica microcelular com densidade aproximada de 250 a 600 Kg/m<sup>3</sup>. Os elastômeros, por possuírem estruturas microcelulares, têm a capacidade de recuperarem quase instantaneamente as suas dimensões originais após grandes deformações em compressão ou estiramento. Mas os elastômeros são também caracterizados por uma grande tenacidade sob tensões estáticas ou dinâmicas, grande resiliência, uma elevada resistência à abrasão, impermeabilidade à água e ao ar e, em muitos casos, uma alta resistência ao inchamento em solventes e ao ataque químico (ALEXANDRE, 2009).

O presente trabalho foi desenvolvido de acordo com o fluxograma descrito na figura 1. Para comprovar se os materiais reagidos de elastômeros não possuem nenhuma

interação com água para o método de Arquimedes, é necessário comparar as duas densidades sob imersão e pela área e como complemento analisar a morfologia dos sólidos e a tensão superficial das duas formulações líquidas.

A formação de poliuretanos se dá basicamente por ligações uretânicas. Os isocianatos podem ser aromáticos, alifáticos, ciclo-alifáticos ou policíclicos, o que permite a obtenção de diferentes compostos com propriedades físicas e químicas distintas, de acordo com as necessidades de aplicação.

O tipo de monômero utilizado e a adição ou não de substâncias modificadoras de propriedades mudam a densidade e a dureza do material. As duas propriedades são também influenciadas pelo grau de segregação das fases e da organização tridimensional e suas interações intermoleculares (VILAR, 2002).

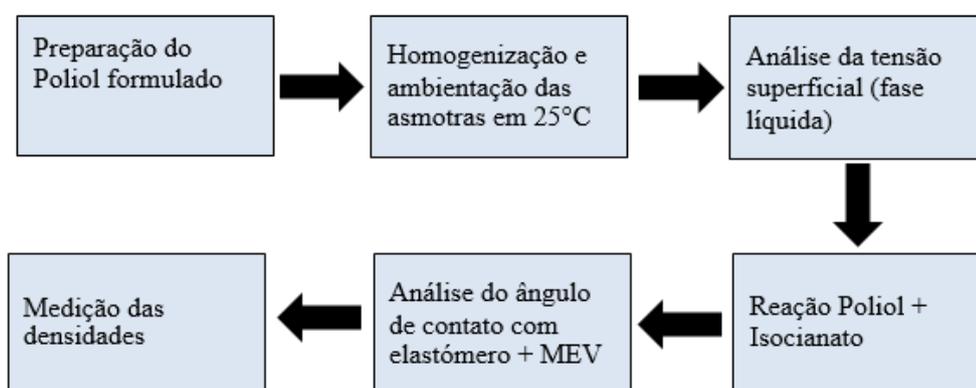


Figura 1 – Fluxograma de processo

Fonte: Dos Autores

Este trabalho busca relacionar as propriedades morfológicas, mecânicas e físico-químicas de elastômeros microcelulares. O intuito é analisar dois métodos de medida da densidade para que quando for necessário validar algum produto com esse material não ocorra alteração nos resultados apresentados. Com o princípio de Arquimedes podemos comprovar que a análise é eficiente para densidade de imersão, garantido que quando amostra estiver em contato com a água não possuirá nenhuma interação, ou seja o material não será absorvido pela água e assim evitará alteração no processo de análise.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Poliuretano elastomérico

Os materiais elastoméricos são originados da tecnologia do poliuretano, que é uma classe importante de materiais técnicos com utilização de inúmeras aplicações, desde produtos simples sem grandes especificações técnicas, até produtos de tecnologia avançada como os pneus e rodas especiais, passando por tubagens para vários tipos de líquidos, amortecedores, calçados, juntas para construção civil ou vedantes para motores. Os materiais de poliuretanos são formados por ligações uretânicas, com a junção do polioliol com o isocianato, resultando em um monômero uretano, que se repete inúmeras vezes formando o poliuretano. (SOARES, 2012).

O poliuretano é formado, então, a partir da reação de um isocianato e um polioliol, sendo sempre adicionados catalisadores, aditivos e surfactantes. Muitas vezes, substâncias modificadoras de propriedades são também adicionadas, pois o PU pode ter uma grande variedade de dureza e densidade (VILAR, 2002).

Aditivos também são utilizados e ajudam a melhorar de estabilidade química, entre outras propriedades. A formação de poliuretanos se dá basicamente por ligações uretânicas. Os isocianatos podem ser aromáticos, alifáticos, ciclo-alifáticos ou policíclicos, o que permite a obtenção de diferentes compostos com propriedades físicas e químicas distintas, de acordo com as necessidades de aplicação.

É possível produzir PU em propriedades variadas, o que possibilita a escolha do material mais indicado para cada aplicação, podendo-se assim, optar por materiais mais elásticos e macios, por tipos mais duros e de estrutura reticulada. A tabela 1 apresenta as propriedades típicas das espumas estruturais de PU em elastômeros microcelulares.

Tabela 1 – Propriedades típicas das espumas estruturais de PU em elastômeros microcelulares.

Propriedades	Unidades	Método de ensaio	Limites
Dureza Shore	A	DIN 53505	20 - 30
Tensão de Ruptura	PSI	DIN 53504	> 110
Alongamento de Ruptura	%	DIN 53504	> 100 < 120
Tensão ao rasgo	kgf/cm	DIN 53504	3 > 5
Compressão 40%	%	ISO 1856	10 < 20
Densidade	Kg/m <sup>3</sup>	DIN 53420	200 - 1000

Fonte: Vilar (2002).

Os poliuretanos são produzidos, na sua maioria, pela reação de poliadição de um isocianato (no mínimo bifuncional) e um polioliol contendo mais de duas hidroxilas livres.

Essa reação de adição ocorre no grupo (NCO), formando ácidos ésteres carbônicos, denominados uretanos, conforme figura 2. (PACHECO, 2007).

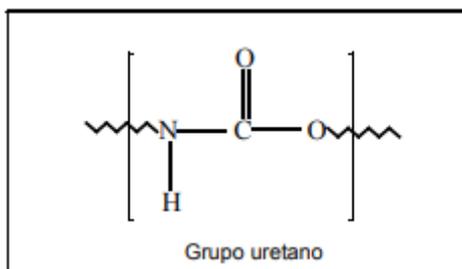


Figura 2 – Grupo característico dos uretanos  
Fonte: Pacheco et al (2007)

O tipo de monômero utilizado e a adição ou não de substâncias modificadoras de propriedades mudam a densidade e a dureza do material. As duas propriedades são também influenciadas pelo grau de segregação das fases e da organização tridimensional e suas interações intermoleculares (VILAR, 2002).

## 2.2 Filtros de carro com elastômero microcelular

Os poliuretanos elastoméricos são utilizados como adesivos e vedantes em filtros para colar o elemento (geralmente papel pregueado) à caixa – quanto melhor a vedação, mais eficiente é o filtro. Os elastômeros podem ser também utilizados para formar a caixa. Estas vedações eficientes podem ser utilizadas em muitas aplicações incluindo lavanderia a seco, automóvel, aspiradores, filtros de pólen e filtros de partículas de alta eficiência (HEPF) para aplicações de limpeza de salas, high tech e médicas (DOW, 2015).

Assim como os humanos precisam de oxigênio para respirar, um carro precisa de oxigênio para o processo de combustão. O filtro de ar evita que insetos, poeira, partículas, areia ou detritos cheguem ao motor e garante uma boa mistura de ar e combustível para apoiar o desempenho. Os filtros de ar do carro têm diferentes formas: painéis circulares ou cilíndricos.

A maioria dos filtros de ar para carros é feita de papel plissado. As pregas aumentam a área da superfície do filtro, aumentando sua respirabilidade e vida útil. Alguns carros usam filtros semipermanentes à base de espuma, alguns dos quais exigem limpeza e lubrificação regulares. Os filtros de espuma são normalmente usados em

aplicações de alto desempenho ou uso severo e são fornecidos como acessórios para o mercado de reposição (FULSTROM, 2016).

A aplicação do elastômero microcelular é realizada por meio injeção nas bordas do filtro de papel para uma melhor vedação (figura 3) impedindo partículas impuras do ar aspiradas pelo motor, garantindo que somente o ar livre de impurezas chegue à câmara de combustão, evitando desgaste prematuro de peças móveis do motor, como pistões e biela.

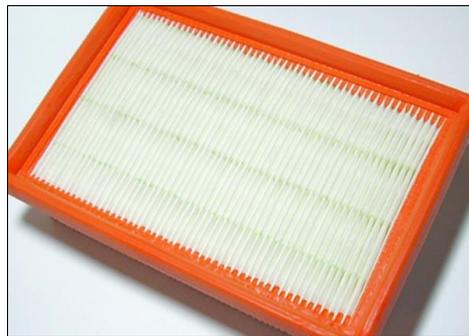


Figura 3: Filtro de ar com elastômero microcelular

Fonte: (FULSTROM, 2016)

### 2.3. Análise de densidade

Massa volumétrica ou densidade é a razão entre a massa de um corpo e seu volume. Enquanto que densidade relativa, que é adimensional, é a razão entre duas densidades, sendo uma de referência – geralmente água. Por exemplo, um corpo com densidade igual a 5 (cinco) representa uma massa volumétrica 5 (cinco) vezes superior à da água (no caso dos sólidos e líquidos).

Frequentemente, densidade é utilizada como densidade relativa. Nesse caso, a referência é a densidade da água a 25 °C onde a densidade,  $\rho$ , é representada matematicamente pela fórmula  $\rho=m*V$  e sua unidade no Sistema Internacional de Unidades (SI) é  $\text{kg/m}^3$ , embora comumente sejam empregadas  $\text{g/mL}$  ou  $\text{g/cm}^3$ .

A densidade depende das massas dos átomos, ou moléculas, individuais e do volume efetivo que ocupam nos diferentes estados de agregação (OLIVEIRA, 2018). Quando uma certa quantidade fixa de matéria se expande, verifica-se uma diminuição na sua massa volumétrica. Já a contração leva ao aumento da sua densidade.

Intuitivamente é esperado que o aumento na temperatura de uma determinada quantidade de matéria leve ao aumento do seu volume, em função da dilatação

ocasionada pela maior separação dos átomos e moléculas. Ao contrário, ao se diminuir a temperatura espera-se uma contração desse volume. (GUIMARÃES, *et al.*, 2013).

A densidade absoluta é definida como a quantidade de massa em uma unidade de volume, em Kg/m<sup>3</sup>. Uma forma de calcular a densidade sobre área é por meio do cálculo da Eq.1, enquanto pela Eq.2 é feita a medição da densidade por imersão. Nesse método, numa balança de densidades, a massa volumétrica é obtida pela medida do empuxo que um corpo de densidade conhecida e suspenso por um fio sofre quando é mergulhado em um líquido. Esse método é baseado no princípio de Arquimedes.

$$\rho = \frac{m}{V} \times 10^6$$

Eq. 1: formula para cálculo da densidade por área  
Fonte: DIN EN 845:2009-10

$$\rho = \frac{(W_a * d)}{(W_a - W_b)}$$

Eq. 2: fórmula para cálculo da densidade por imersão  
Fonte: ASTM D792-13

Onde:

$W_a$  = Peso do corpo de prova do ar;

$W_b$  = peso do corpo de prova no líquido;

$\rho$  = Densidade do líquido.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Materiais

Para os estudos realizados foram utilizados reagentes e matérias primas, bem como dados de equipamentos e processos da empresa Dow Brasil Indústria e Comércio de Produtos Químicos LTDA, onde é realizado o desenvolvimento de toda cadeia dos elastômeros e a produção de larga escala.

O processo de formulação do polioli e isocianato é o principal fator para ocorrer à reação e produzir o poliuretano. Neste experimento foram utilizados os equipamentos de medição em base nas normas e o procedimento interno da empresa (tabela 2).

Tabela 2 – Equipamentos utilizados no experimento

Equipamento	Fabricante	Modelo
Tensiômetro de Du Nouy	KRUSS	K20
Balança Arquimedes	SARTORIUS	ED 224S
Agitador	FERRARI	3000RPM
Balança	SARTORIUS	ED6202S-0CE
Balança	SARTORIUS	PRACTUM2102-10BR
Palito de madeira	-	Padrão
Copos descartáveis	-	250ml
Microscopia eletrônica de varredura	Phenom PROXY	EA 193Mi

Fonte: Dos autores.

Na figura 4, os líquidos vermelhos apresentam as formulações de polióis formulados com as mesmas matérias primas, porém com proporções diferentes principalmente de água, que influencia nas células, mais abertas ou fechadas, contribuindo para alteração na densidade. O líquido marrom é o isocianato.



Figura 4: Polioli formulado com catalisadores com alteração nas densidades (esquerda e centro) e isocianato (direita)

Fonte: Dos autores.

### 3.2. Métodos

O experimento é iniciado com a formulação do polioli, sendo este adicionado às matérias primas (catalisador, aditivo e surfactante) com agitação suave.

Após o polioli formulado foram realizados cálculos para a obtenção da relação dos reagentes. Esse processo é utilizado para calcular a quantidade de isocianato que irá reagir com uma determinada quantidade do polioli. Assim, depois de calculada a

quantidade, é realizada a mistura dos dois reagentes, poliol e isocianato, ocorrendo então a reação e formação de poliuretano.

### 3.2.1. Análise da tensão superficial

Depois de realizada a formulação do poliol foi analisada a tensão superficial no equipamento chamado tensiômetro, que é responsável por analisar a tensão das forças intermoleculares fazendo com que a maioria das moléculas presentes num líquido seja atraída em todas as direções pelas moléculas vizinhas, sendo utilizado o método de Du Nouy.

Antes de iniciar análise foi necessário homogeneizar o material e manter numa temperatura de 25C°, sendo adicionado num béquer de 10mL o poliol formulado. Depois do béquer colocado na base do tensiômetro de Du Nouy, o anel foi deslocado na superfície do líquido para que assim ocorresse a medição da força intermolecular.

O tensiômetro de Du Nouy utilizado para método do anel que consiste em medir a força necessária para arrancar um anel de diâmetro e espessura determinados, da superfície do líquido a ser analisado. O equipamento é constituído principalmente de uma balança de torção e de um anel metálico calibrado, como ilustrado na figura 5. O anel circular é imerso no líquido e, em seguida, retirado lentamente. Nesse caso, a tensão superficial é calculada a partir da medição da força máxima para levantar o anel.

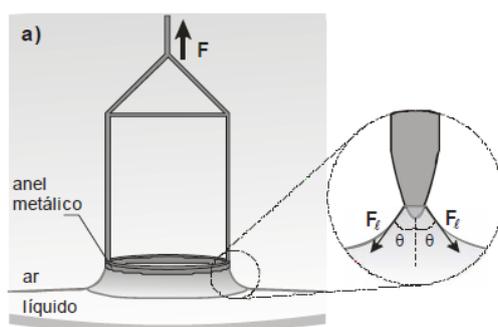


Figura 5: detalhe do anel no tensiômetro de Du Nouy.  
Fonte: Do Val *et al* (2013).

O líquido é colocado num béquer com dimensão bastante superior ao tamanho do anel do tensiômetro para manter a planaridade da superfície e evitar eventuais interferências das paredes do recipiente. O anel, pendurado por um fio no braço da balança de torção, é imerso no líquido cuja tensão superficial pretende-se medir. O equipamento fornece o valor da força  $f$  necessária para arrancar o anel do líquido. A

partir desse valor, pode-se calcular a tensão superficial aparente pela relação, pela eq.3, onde  $\ell$  é o perímetro do anel.

$$\gamma = \frac{f}{2\ell}$$

Eq. 3: fórmula para cálculo da tensão superficial.

Fonte: Do Val *et al* (2013).

Um fator corretivo levando em conta o raio do fio, o raio do anel e a densidade do líquido, deverá ser utilizado para calcular a tensão superficial real (DO VAL *et al.*, 2013). A figura 6 apresenta o tensiômetro de Du Nouy utilizado nesse trabalho.



Figura 6: Tensiômetro de Du Nouy.

Fonte: Dos autores.

### 3.2.2. Homogeneização do material

Os elastômeros, por conterem uma característica de não sofrer aeração e não possuir teor de água alto tem seu processo de produção realizado industrialmente por sistemas fechados com vácuo nos tanques, geralmente sendo utilizadas em máquinas de baixa pressão.

No teste experimental, em menor escala, foi utilizado o *Handmix*, uma mistura do polioli formulado com o isocianato MDI, com auxílio do agitador (figura 7) para homogeneização e posterior reação a poliuretano.



Figura 7: Agitador Ferrari de 3000 RPM para mistura do Polioli e isocianato.  
Fonte: Dos autores.

### 3.2.3. Performance do elastômero

Depois de 20 segundos de agitação começa a ocorrer a polimerização dos dois materiais, sendo despejado num copo de plástico de 250 mL. Assim é possível analisar o tempo de crescimento por densidade livre até a sua cura final. Na figura 8 estão apresentados os corpos de provas de espumas elastoméricas das duas formulações com densidades diferentes.



Figura 8: Espuma de poliuretano elastomérica microcelular de baixa densidade (esquerda) e de alta densidade (direita).

Fonte: Dos autores.

### 3.2.4. MEV: microscopia eletrônica de varredura

A morfologia das amostras foi obtida em um microscópio eletrônico de varredura Modelo PHENON PROX, da Empresa Dow Brasil Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda. (figura 9). “As amostras foram fraturadas e coladas no adesivo de carbono no suporte metalizado Modelo SPECIMEN MOUNT ½”.

A imagem encontra-se com aumento 220 vezes de aproximação sendo possível observar o número de células e diâmetro médio das células. Foi utilizado o software ImageJ Tool.



Figura 9: – Equipamento MEV - Microscopia eletrônica de varredura  
Fonte: Dos autores.

### 3.2.5. Densidade por imersão - ASTM D792-13

A análise de densidade por imersão foi realizada pelo método de Arquimedes que diz que todo corpo imerso em um fluido, sofre ação de uma força (empuxo) verticalmente para cima, cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo.

Quando um corpo mais denso que um líquido é totalmente imerso nesse líquido, observamos que o valor do seu peso, dentro desse líquido, é aparentemente menor que no ar. A diferença entre o valor do peso real (Preal) e do peso aparente (Paparente) corresponde à força de empuxo (E) exercida pelo líquido. Assim,

$$\text{Paparente} = \text{Preal} - E \quad (\text{Eq. 4})$$

Considere um objeto pendurado em um dinamômetro. Seja  $P$  a leitura no dinamômetro quando o objeto está no ar (peso real) e  $P'$  a leitura no dinamômetro quando ele está total ou parcialmente mergulhado em um líquido (peso aparente). Partindo-se da Eq.4, em uma situação de equilíbrio, pode-se escrever

$$P' = P - \rho g V \quad (\text{Eq.5})$$

Então, foi medido o peso aparente do objeto e o seu volume submerso na água para determinar a densidade do líquido.

Assim, os corpos de prova foram cortados no tamanho que coubessem na balança “dinamômetro”, sendo possível calcular a densidade dos sólidos. A figura 10 apresenta a balança que mede a densidade pelo método de Arquimedes utilizado nesse trabalho.



Figura 10: Balança de densidade pelo método Arquimedes.  
Fonte: Dos autores.

### 3.2.6. Densidade pela área - DIN EN 845:2009-10

A densidade por área é obtida por meio de um sólido regular no qual, para determinar seu volume, é necessário medir com uma régua o *comprimento x altura x largura* do corpo de prova.

Assim foi realizada a medição de cinco (5) corpos de provas de cada formulação, calculando-se a densidade em  $\text{Kg/m}^3$ .

### 3.2.7. Análise de Ângulo de contato

O teste foi realizado com uma seringa de 1 mL, sendo utilizado água destilada para a gota de 5 micromilímetros sob a superfície do material elastomérico. As fotos foram obtidas com um celular apropriado.

A finalidade desta análise é verificar a tendência do líquido em molhar a superfície sólida, sendo denominada de molhabilidade, que pode ser representada pelo ângulo entre o contorno da superfície da gota e a interface líquido/sólido como demonstra na figura 11.

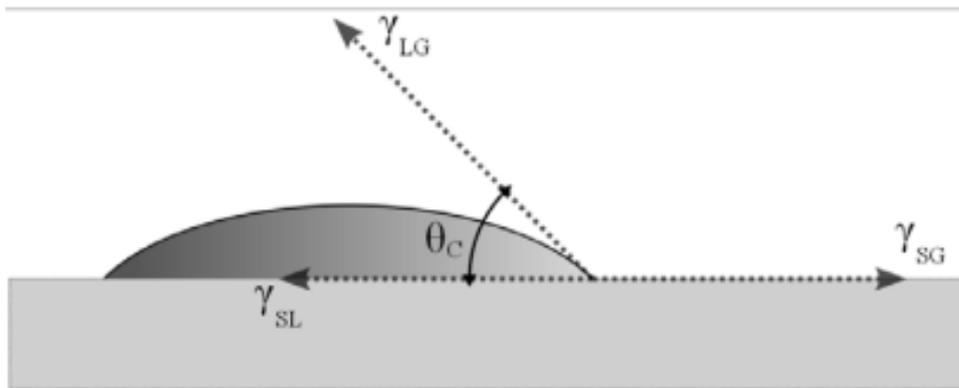


Figura 11: Ângulo de contato formado entre gota de um líquido sobre superfície sólida plana  
Fonte: Strauch, 2006.

Se o espalhamento é completo, o ângulo de contato tende a zero. Se o ângulo de contato é próximo a  $180^\circ$ , o coeficiente de espalhamento é altamente negativo, como ilustrado na figura 12.

Ângulo de Contato	$\theta < 10^\circ$	$\theta < 90^\circ$	$\theta > 90^\circ$	$\theta > 150^\circ$
Forma da gota				
Comportamento	super-hidrofílico	hidrofílico	hidrofóbico	super-hidrofóbico

Figura 12 – Comparação entre os possíveis comportamentos de fluido em uma superfície  
Fonte: Ferreira, 2013.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização é realizada por testes em máquinas ou equipamentos voltados a qualidade, mas nem todos os testes são críticos para uma aprovação de venda, após o desenvolvimento de um sistema novo é preciso avaliar os parâmetros de liberação para o controle de qualidade como a metodologia em que será usada e os ranges de liberação.

### 4.1 Análise da tensão superficial fase líquida

Na tabela 3 está indicados os valores da tensão superficial das formulações de baixa e alta densidade. Esse teste nos permite entender a sua diferença entre os dois líquidos e comprova que quanto mais água no polioliol formulado maior será a força de interação intermoleculares.

Tabela 3: tensão superficial das formulações.

<b>Amostra</b>	<b>Padrão (mN/m)</b>
<b>Poliol 1 (Baixa densidade)</b>	32.4
<b>Poliol 2 (Alta densidade)</b>	32.7

Fonte: Dos Autores.

### 4.2. Análise da densidade por Arquimedes (ASTM D792-13) e por Área (DIN ISO 845-2009-10)

Esse teste tem como finalidade comparar os dois tipos de medições uma pela área (corpo de prova regular) e o outro pelo Princípio de Arquimedes (sólido irregular), podendo-se verificar a diferença e o desvio padrão das formulações de alta e baixa densidade. Assim, foram realizadas 5 (cinco) medições de cada formulação e anotadas nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Resultados para a formulação de baixa densidade pelo método Área x Imersão.

Baixa densidade	Densidade Área	Densidade Imersão Kg/m <sup>3</sup>
1	269.95	326.5
2	300.4	321.3
3	312.97	366.3
4	296.95	324.4
5	293.17	333.4
Média	294.69	334.38
Desvio Padrão	14.04	16.45

Fonte: Dos Autores.

Tabela 5: Resultados para a formulação de alta densidade pelo método Área x Imersão.

Alta densidade	Densidade Área	Densidade Imersão Kg/m <sup>3</sup>
1	420.12	368.1
2	427.88	358.9
3	462.66	414.4
4	404.73	411
5	384.95	409.5
Média	420.068	392.38
Desvio Padrão	25.86	23.81

Fonte: Dos Autores.

Pelos resultados obtidos nas tabela 4 e 5 foi criado um gráfico (figura 13) para compreender melhor o comportamento das densidades pelos métodos apresentados, sendo possível avaliar que a formulação de baixa densidade possui uma diferença maior entre as médias, se comparado com a alta densidade.

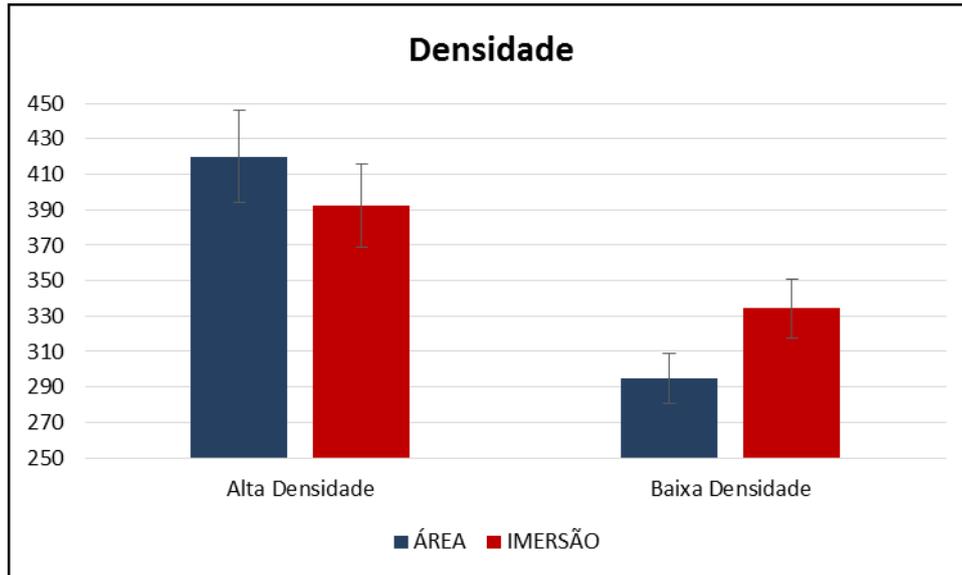


Figura 13 – Gráfico referente a densidades e desvio padrão.

Fonte: Dos autores.

### 4.3. MEV: Microscopia eletrônica de varredura

Esse teste consiste em analisar a morfologia dos materiais sólidos de baixa e alta densidade verificando as células e suas diferenças. Com o auxílio da ferramenta IMAGEJ é possível calcular as células e o tamanho de cada material, abaixo está representado a estrutura de cada formulação.

A figura 16 permite observar que a formulação de baixa densidade apresenta células mais abertas com estrutura anisotrópicas ao contrário da formulação de alta densidade.

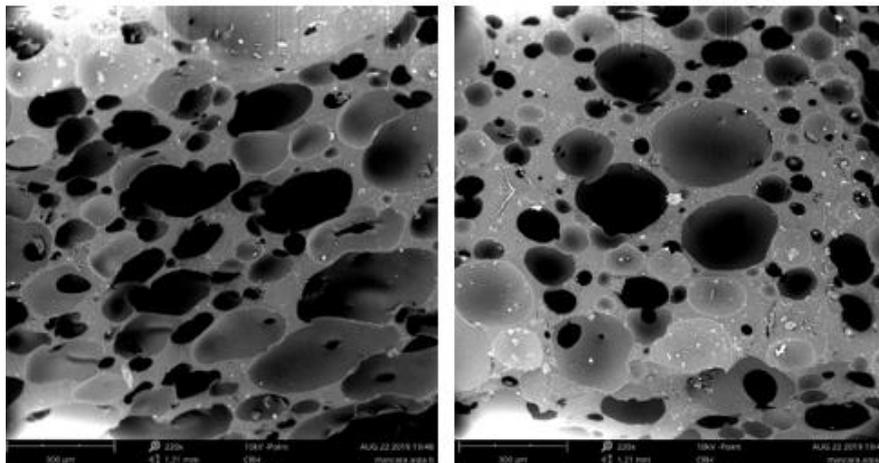


Figura 14: Estrutura morfológica – Densidade Baixa (Esquerda) Densidade Alta (Direita)

Fonte: Dos autores.

As figuras 15 e 16 apresentam os resultados obtidos pela ferramenta IMAGEJ que possibilita analisar a razão de aspecto ou seja verificar se as células são isotrópicas ou anisotrópica.

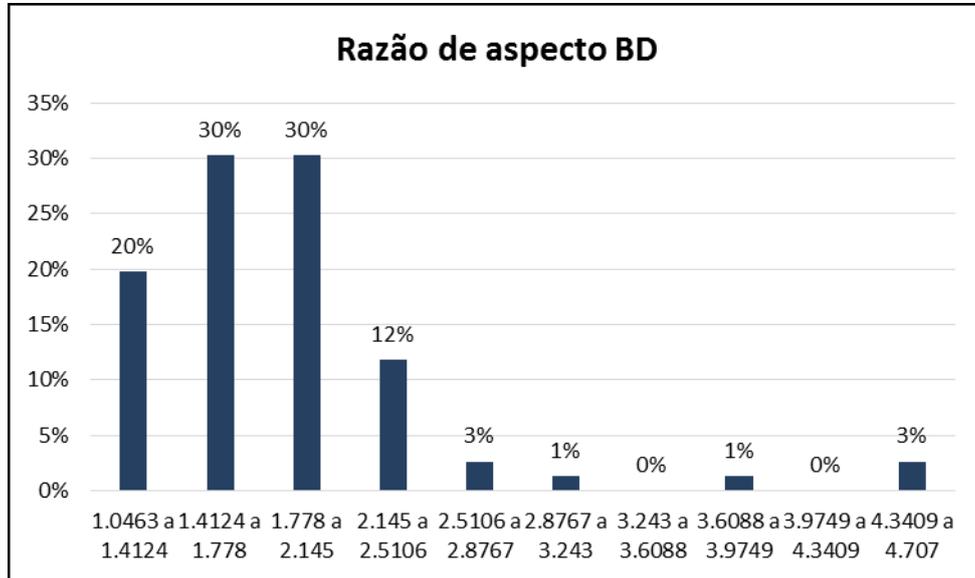


Figura 15: Razão de aspecto – Densidade Baixa (BD)  
 Fonte: Dos autores.

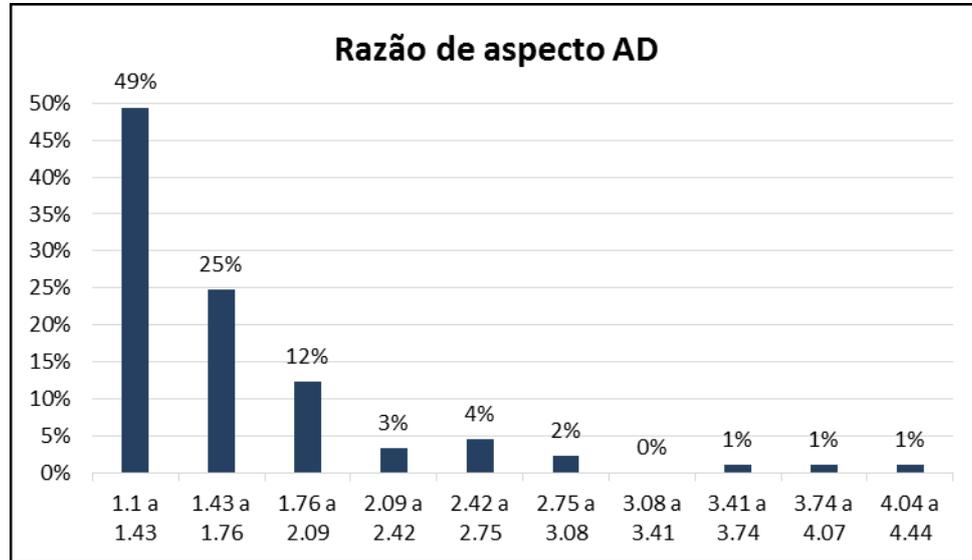


Figura 16 – Razão de aspecto – Densidade Alta (AD)  
 Fonte: Dos autores.

Nota se pelos gráficos e pelas imagens que a formulação de baixa densidade possui células mais abertas e com a razão de aspecto mais disperso se comparado com a densidade alta.

#### 4.4. Ângulo de contato

As imagens das figuras 17 e 18 foram utilizadas para a realização da análise ângulo de contato da superfície das duas formulações, para verificar se o material em contato com a água é hidrofílico ou hidrofóbico. Para melhor avaliação foi utilizada a ferramenta IMAGEJ, para medir a gota d'Água na superfície e sua interação com o material.

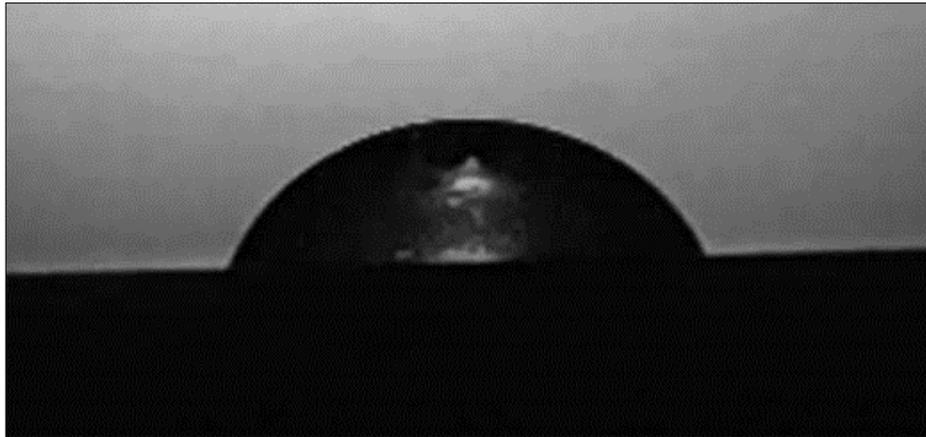


Figura 17: Ângulo de contato – Densidade Alta (AD)  
Fonte: Dos autores.

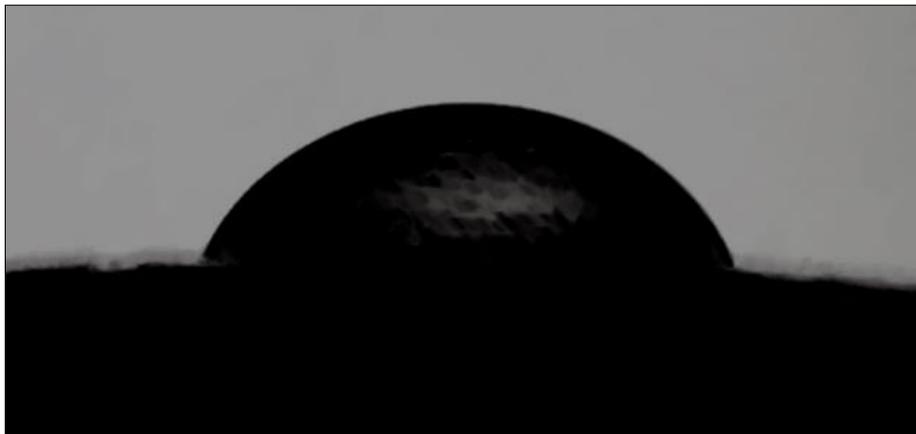


Figura 18 – Ângulo de contato – Densidade Baixa (BD)  
Fonte: Dos autores

Na figura 19 estão representados os resultados das medições realizadas na ferramenta ImageJ, que tem a finalidade de analisar o comportamento da gota d'água em contato com a superfície. Os resultados comprovam que a superfície junto com a gota é hidrofílica, pois os resultados estão abaixo de  $90^\circ$ . Com essa análise é possível notar que a gota d'água possui interação com a superfície de elastômero.

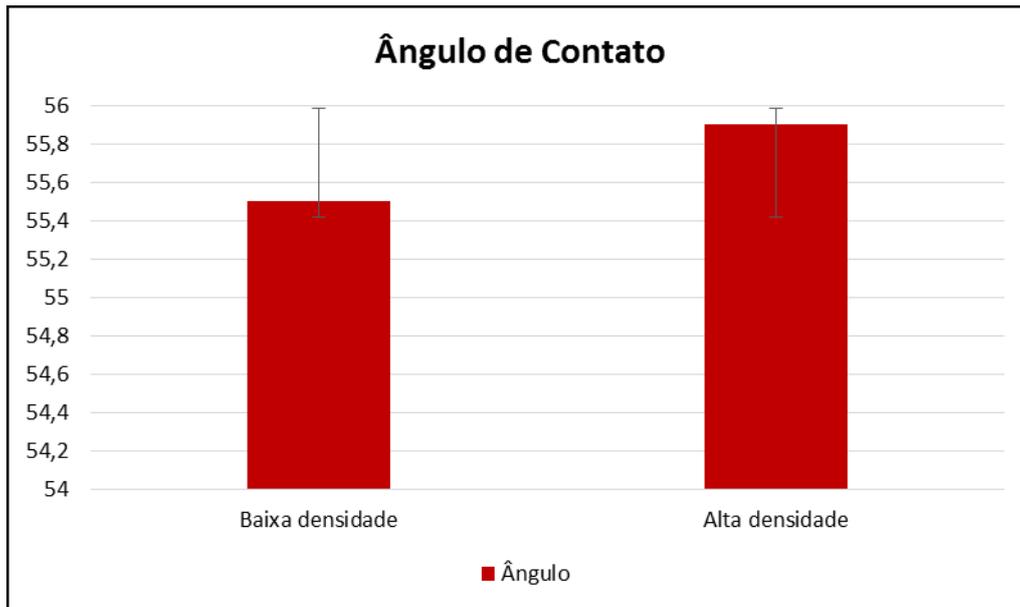


Figura 19: Gráfico do ângulo de contato.

Fonte: Dos autores

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que para certas aplicações com densidade abaixo de  $330\text{Kg/m}^3$  a estrutura molecular dos elastômeros microcelulares não é muito efetiva, já que as células são mais abertas, permitindo mais rapidamente a absorção de água, para o método de Arquimedes.

Comparando os resultados de densidade por área e imersão é possível obter uma variação de  $28\text{ Kg/m}^3$  para densidade alta e  $40\text{Kg/m}^3$  densidade baixa.

O ensaio de ângulo de contato demonstrou que a gota d'água em contato com a superfície do elastômero obteve um ângulo abaixo de  $90^\circ$  significando que os materiais de alta e baixa densidade são hidrofílicos.

As micrografias de MEV nos elastômeros de alta e baixa densidade evidenciaram a predominância de microcélulas fechadas e abertas obtendo comportamentos diferentes para os métodos de densidades.

Os resultados mostraram que o método por imersão possui interação com água apesar de o material ser microcelular, podendo ocorrer variáveis na análise.

Assim, para a criação de parâmetros na liberação da produção é necessário validar a metodologia desde o início do desenvolvimento com o cliente, para que não ocorra uma discrepância nos valores.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, João H. P. de Almeida. **Sistemas elastoméricos de rede aleatória: caracterização molecular, estrutural e dinâmica**. Dissertação apresentada para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia de Materiais, especialidade de Materiais Poliméricos, pela Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2009. Disponível em <<https://run.unl.pt/handle/10362/5667>>, acessado em 15 abril.2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement**. ASTM D792-13, ASTM, 2013.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (Instituto Alemão de Normalização). DIN, ISO 845: **Cellular plastics and rubbers – Determination of apparent density**. Editora: CEN (COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION). DIN, 2009.

DO VAL, Amélia. M. G., DOMINGUES, Rosana. Z., METENCIO, Tulio. – Físico-Química 2 - Fenômenos de Superfície, Tensão Superficial e Adsorção – Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Minas Gerais, 2013.

DOW. **Hyperlast em filtração**, Dow Engineering Elastomers – Dow Polyurethanes, Reino Unido, 2015.

FERREIRA, L.M.V. - “Revestimentos Hidrofóbicos”, Dissertação de Mestrado, FCT / Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2013.

FULSTROM, Mike. **Como Trocar um filtro de ar**. Disponível em: <<https://www.carwash.com/change-air-filter/>>. Acessado em: 20 Junho.2019.

GUIMARÃES, F. F, RABELO, D., MARTINS. F. T. – Manual de laboratório Físico-Química Experimental I – Universidade Federal de Goiás: Setor de Físico-Química, 2013.

OLIVEIRA, Anselmo E. de. **Densidade de Líquidos**. Apostila de Físico-Química Experimental. Instituto de Química: UFG, 2018.

PACHECO, Marcos F. M.; FIORIO, Rudinei; ZATTERA, Ademir J.; ZENI, Mara; CRESPO, Janaina S. **Propriedades físico-mecânicas, químicas e morfologia de elastômeros microcelulares de poliuretano** - Polímeros: Ciência e Tecnologia, Caxias do Sul, vol.17, n3, p.234-239, 2007. Disponível em

<[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282007000300013](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282007000300013)>, acessado em 20 abril.2019.

PEREIRA, Jaqueline – **Fluxograma do processo de poliuretanos procedimento interno** – Dow Química – Brasil, Jundiaí, 2019.

SOARES, Márcio S. **Síntese e caracterização de espumas de poliuretano para imobilização de células íntegrase aplicação na síntese de biodiesel**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. Lorna: USP/EEL, 2012.

STRAUCH, Irene. **Transformada de Laplace em 9 aulas**. Notas de aula, Porto Alegre, 2006. Disponível em <[http://www.mat.ufrgs.br/~dmarcon/aplicada2016-2/laplace\\_strauch.pdf](http://www.mat.ufrgs.br/~dmarcon/aplicada2016-2/laplace_strauch.pdf)>. Acessado em 13 março.2019.

VILAR, Walter. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. 3ed. Vilar Consultoria: Rio de Janeiro, 2004. Disponível em <<http://www.poliuretanos.com.br>>. Acessado em 18 abr 2019.

## DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO DE FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA PARA USO COMO FERRAMENTA DE ENSINO SOBRE O TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

**Marcelo Marcelino** (Centro Universitário Padre Anchieta)  
**Reginaldo Piceli** (Centro Universitário Padre Anchieta)  
**Cristiane Rochi de Oliveira** (Centro Universitário Padre Anchieta)  
**Flávio Gramolelli Júnior** (Centro Universitário Padre Anchieta)  
**Raquel Carnivale Silva Melillo** (Centro Universitário Padre Anchieta)

### RESUMO

O presente trabalho destinou-se a apresentar uma opção de tratamento de efluentes domésticos de forma descentralizada principalmente para a população rural, devido à deficiência de saneamento básico público nessas áreas, a proposta foi a fabricação de um protótipo de uma Fossa Séptica Biodigestora, tecnologia desenvolvida pela Embrapa que tem como finalidade o tratamento das “aguas negras” provenientes do vaso sanitário das residências, que são comumente lançadas *in natura* causando impactos ambientais, sociais e a disseminação de doenças de veiculação hídrica. O despejo inadequado desse tipo de efluente vem trazendo sérios prejuízos para a população rural que sofre diretamente as consequências de suas ações impensadas. Apesar da Fossa Séptica Biodigestora já ser usada largamente no meio rural, o conhecimento sobre esse sistema ainda não chegou à maioria dos lares, e foi possível verificar resistência à sua implantação. O intuito do projeto assim, foi a fabricação de um protótipo do biodigestor para disseminar o conhecimento de uma maneira mais palpável e que permita maior interação com o sistema, esperando que dessa forma mais pessoas possam ser sensibilizadas quanto à problemática e implantem um modelo simples e viavelmente econômico que contribua para a melhoria de seu problema de saneamento básico, melhorando com isso a sua saúde e preservando o meio ambiente. A construção foi bem sucedida e a maquete funciona de maneira automática, é de fácil transporte e manutenção e permite visão de cada componente de diferentes ângulos.

**Palavras-chave:** Saneamento Básico; Fossa Séptica Biodigestora; Efluentes; Maquete.

**ABSTRACT:** The present work aims to present an option of treatment of domestic effluents in a decentralized way mainly for the rural population, due to deficiency of public basic sanitation in these areas, the proposal to be presented is the manufacture of a prototype of a Biodigester Septic Tank, a technology developed by Embrapa that has the purpose of treating “black water” from household sewage, which are commonly released without treatment causing environmental, social impacts and the spread of water transmission diseases. The inadequate discharge of this type of effluent has been causing serious damage to the rural population that directly suffers the consequences of their thoughtless actions. Although the Biodigester Septic Tank is already widely used in rural areas, knowledge about this system has not yet reached most homes, and it was possible to verify resistance to its implantation. The purpose of the project, therefore, was to manufacture a prototype of the biodigester to disseminate knowledge in a more palpable way that allows greater interaction with the system, hoping that this way more people can be made aware of the problem and implement a simple and economically viable that contributes to the improvement their basic sanitation

problem, thereby improving their health and preserving the environment. The construction was successful and the model works automatically, it is easy to transport and maintain and allows each component to be viewed from different angles.

**Keywords:** Basic Sanitation; Biodigester Septic Tank; Effluents; Model.

## 1. INTRODUÇÃO

A disposição e o correto tratamento dos efluentes de origem doméstica é uma problemática importante que causa efeitos graves para a qualidade ambiental e para a saúde humana. O cenário do aumento populacional e a intensificação das construções e instalações que recebem as populações, principalmente em áreas desprovidas de sistemas de saneamento é visto em diferentes regiões do mundo agravando a contaminação ambiental, o tratamento adequado dos efluentes domésticos é fundamental para assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água, saneamento básico e melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejos e minimizando a liberação de produtos químicos perigosos, reduzindo a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura (ONU, 2015).

A título de exemplo, no Brasil, em estudo desenvolvido pelo Instituto Trata Brasil, foram calculados os volumes de efluentes domésticos lançados diariamente em diferentes meios: solo, córregos, rios, mar e demais cursos hídricos e, chegou-se à soma de 2.091.080 m<sup>3</sup>/dia produzidas pelas 100 maiores cidades brasileiras (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2017a).

Vale destacar que, mesmo em cidades com expressivos índices de coleta e tratamento de esgoto, encontra-se uma porcentagem da população que não tem acesso ao tratamento adequado. É de conhecimento que a falta de saneamento básico é um problema que vem se agravando em todo o país, desde a ocorrência em grandes centros onde há mais infraestrutura, com maior impacto para populações em áreas periféricas ou rurais, em que há menor disposição de equipamentos urbanos e sistemas de abastecimento e coleta de efluentes domésticos (IBGE, 2010).

Segundo dados da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2017a) 29,8 milhões de pessoas vivem na zona rural, e estas pessoas estão permanentemente expostas aos riscos de contrair doenças infecciosas ou parasitárias, que são contraídas pelo contato direto com o esgoto doméstico ou através da contaminação do lençol freático. A situação se agrava pelo uso comum nestas áreas de sistemas mais precários como a fossa negra ou sumidouros, em

que são escavados poços sem nem um tipo de impermeabilização, e neste poço é depositado todo o efluente doméstico que em contato com o solo e proximidade ao lençol freático, ocasiona sua contaminação.

A cidade de Jundiaí-SP, apresenta dados expressivos de eficiência e eficácia com relação ao volume de esgoto coletado e tratado (IBGE, 2010; INSTITUTO TRATA BRASIL, 2017b).

Atualmente 98% do município é atendido com coleta, afastamento e tratamento de esgoto, os outros 2% estão concentrados na zona rural, que a partir de 2012/2013 começou a ser atendida com a inauguração de 2 miniestações de tratamento de esgoto (São José e Fernandes), com a inauguração dessas estações a empresa responsável pelo saneamento passou a atender e levar benefícios também a população da zona rural, onde predominavam fossas sépticas. A capacidade de tratamento da estação principal é de 1530 l/s, sendo 2520 l/s no pico, com eficiência atual de remoção de carga orgânica de 94% (DAE, 2019).

No entanto, há que se salientar que uma grande área de ocupação rural presente no município não tem acesso ao sistema. A região reconhecida como Território de Gestão da Serra do Japi (JUNDIAÍ, 2004), por seu zoneamento e vocação de preservação ambiental, fica de fora do tratamento disponibilizado pela empresa de saneamento e seus moradores tratam por si de seus efluentes.

Para resolver problemáticas como a apresentada, agências e institutos têm pesquisado e proposto alternativas a serem implantadas pelos moradores. Um exemplo é o modelo desenhado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, que propõe uma fossa séptica simples, projetada para tratar o efluente de residências rurais com até cinco moradores (EMBRAPA, 2014). Com este sistema, o esgoto é lançado dentro de um conjunto de três caixas de água, ligadas umas às outras como um biodigestor que permite o tratamento do esgoto e ainda gera como afluente o biofertilizante que pode ser usado como adubo para as plantas (EMBRAPA, 2014).

À medida em que as fossas sépticas forem sendo implementadas em ambientes rurais ou fora dos sistemas de abastecimento e coleta de esgoto, espera-se que haja redução da contaminação do solo, córregos e cursos d'água, sendo que o ecossistema regional também ganha com a melhoria da qualidade do solo e água. Por esse motivo, a fossa séptica é um instrumento de saúde pública e de melhoria da qualidade de vida no campo, com um custo acessível podendo ser incorporado em programas de saneamento nas áreas rurais.

Vale ressaltar que tais benefícios, no entanto, não são de conhecimento da população em geral e que muitos membros de comunidades ou residentes em áreas sem acesso aos sistemas de saneamento tendem a resistir a intervenções originando a necessidade de ações de educação ambiental que ajudem a melhor esclarecer a questão e propiciar melhorias a todos (PELICIONI, 2004).

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo desenvolver um protótipo de tratamento de efluentes domésticos, de baixo custo e boa eficiência, que possa ser transportado, montado e operado em salas de aula, exposições, palestras e ONG's com a finalidade de facilitar o ensino e o entendimento sobre o funcionamento do sistema de tratamento de efluentes domésticos e, por consequência, despertar o interesse e a consciência ambiental, desde o ensino fundamental até o superior, independente da área de estudo ou atuação profissional dos participantes. Sendo a principal finalidade do modelo apresentar uma alternativa para dar destino adequado ao esgoto proveniente de vasos sanitários das residências rurais, as chamadas “águas negras” (EMBRAPA, 2013).

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Em 05 de janeiro de 2007 a Lei Federal 11.445/2007 instituiu a Política Federal de Saneamento Básico (BRASIL, 2007), que tem como uma de suas diretrizes a garantia de meios apropriados para o atendimento da população rural dispersa, mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas, sociais e topográficas peculiares de cada região (FUNASA, 2017b).

O Brasil apresenta grande falta de eficiência e eficácia no acesso ao saneamento básico à sua população, especialmente quando se trata da população que vive na zona rural, que vem sentindo todo o efeito causado pela falta que este serviço público traz para suas vidas e saúde (IBGE, 2010). Especialistas da área de saúde estimam que para cada um real investido em saneamento, quatro reais são economizados no tratamento das doenças que a ausência dessa infraestrutura provoca. Conforme dados do Sistema Único de Saúde, os gastos com o tratamento de doenças ligadas à falta de higiene chegam a R\$ 300 milhões por ano (FUNASA, 2017b).

Segundo dados da (EMBRAPA, 2017a), o país se encontra entre os três maiores produtores agrícolas do mundo, tendo em nosso território condições favoráveis para o

crescimento do agronegócio, dentre as quais podemos mencionar a: disponibilidade de terras agricultáveis, abundância de água, tecnologia de ponta, luminosidade, clima favorável e solo.

Com todas essas condições, as tendências indicam que esse setor vai abrir novas vagas de trabalho para a zona rural, aumentando ainda mais sua população e dessa forma, inevitavelmente, teremos maiores volumes de efluentes domésticos sendo despejados no meio ambiente de maneira inadequada, poluindo as fontes de água potável e causando doenças na população da zona rural.

A ocupação rural e o uso de terras, considerando suas aptidões naturais, se ocorrer de maneira sustentável é um benefício importante para qualidade de vida humana e ambiental, ao minimizar o êxodo rural e o aumento das paisagens fabricadas que são altamente impermeabilizadas, no entanto, o planejamento correto para receber essas novas populações e amparar tal desenvolvimento é essencial (GASPAR, 2003). Os sistemas de captação de água, de tratamento e disposição de efluentes se tornam peças chaves.

Os serviços de saneamento prestados a esta parcela da população apresentam elevado déficit de cobertura. Conforme dados do censo demográfico de 2010 (Tabela 1), é possível observar que o maior déficit ocorre no componente esgotamento sanitário, onde 54,2% dos domicílios possuem atendimento precário e 28,6% são considerados sem atendimento. Em seguida, está o componente manejo de resíduos sólidos, em que 69,5% dos domicílios são considerados sem atendimento e 3,6% com atendimento precário. Por fim, aparece o componente abastecimento de água que tem 35,4% dos domicílios em situação de déficit.

Tabela 1: Caracterização da situação em relação ao déficit em saneamento rural no Brasil.

Serviço de Saneamento	Situação do Serviço					
	Adequado		Déficit			
			Atendimento Precário		Sem Atendimento	
	Nº de domicílios	%	Nº de domicílios	%	Nº de domicílios	%
Abastecimento de água	5.224.326	64,6%	1.392.989	17,2%	1.474.988	18,2%
<b>Esgotamento sanitário</b>	<b>1.387.456</b>	<b>17,1%</b>	<b>4.390.060</b>	<b>54,2%</b>	<b>2.314.786</b>	<b>28,6%</b>
Manejo de resíduos sólidos	2.180.154	26,9%	291.881	3,6%	5.620.268	69,5%

Fonte: Dos autores (2020), com dados do Censo Demográfico - IBGE, 2010.

O Gráfico 1 abaixo permite uma melhor visualização das proporções. Cabe ressaltar ainda que, neste caso, a qualidade da água não foi considerada, apenas o tipo de solução adotada. Portanto, o percentual de domicílios com atendimento precário em abastecimento de água pode ser maior.

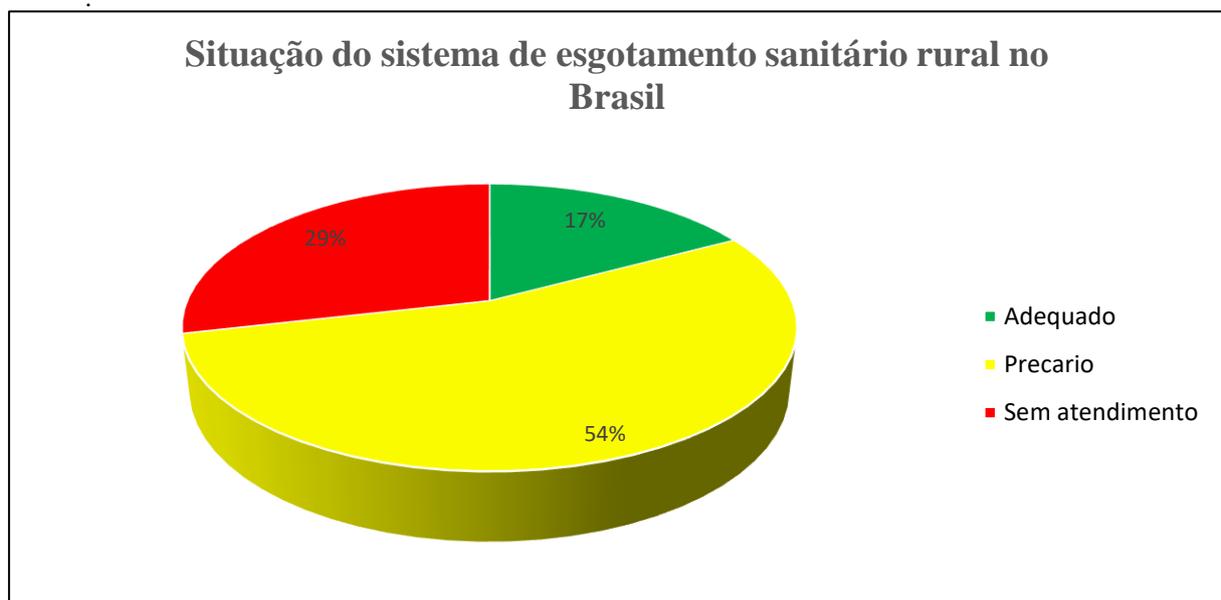


Gráfico 1: Serviço de saneamento sanitário prestado a população rural no Brasil.

Fonte: Dos autores (2020), com dados adaptados do Censo Demográfico - IBGE, 2010.

Considerando uma população de 210.147.125 pessoas (IBGE, 2019) e que, de um total de 5.570 municípios brasileiros, apenas 3206 possuem o serviço de esgotamento sanitário por rede coletora. Os sistemas de tratamento descentralizados se mostram como alternativa viável e economicamente acessível, principalmente para a população rural, mostrando grande eficiência de remoção de DBO e DQO, na ordem de 68% a 80% e 73% a 87%, respectivamente (FUNASA, 2017c). Com base nos resultados apresentados, nota-se a necessidade de sistemas alternativos e complementares para a resolução da falta de saneamento básico na área rural.

## **2.1 Educação ambiental e alternativas de saneamento.**

De acordo com (MILLER, 2014) a poluição das águas pode ocorrer de fonte única ou de várias fontes desconhecidas, a grande questão é como essa poluição, independente da proveniência afeta a saúde ambiental e a qualidade de vida das pessoas. Nesse sentido, qualquer sistema de tratamento já traz alguma melhoria que pode ajudar na saúde das populações.

Por desconhecimento, no entanto, muitos optam por apenas instalar fossas em suas propriedades, sem estudo prévio tanto em relação às adjacências para evitar contaminação de poços de captação de água ou espaços agricultáveis como em relação ao isolamento para que o material não contamine solo e águas subterrâneas. Assim, sistemas de baixo custo e que possibilitem melhorias são muito bem vindos mas devem ser desenvolvidos com cautela e análise prévia do local de instalação, da vazão necessária, quanto a materiais e processos, etc (GASPAR, 2003).

A necessidade de tais estudos e a disponibilidade de sistemas diferentes, além das intervenções que devem ser feitas para instalação podem inibir que comunidades busquem alternativas. As pessoas tendem a resistir ao desconhecido e essa verdade é recorrente quando se envolve o meio ambiente e a saúde ambiental e humana.

Desenvolver modelos que permitam caminhar rumo à situações mais sustentáveis e alavancar um novo pensamento coletivo de ânsia por melhorias é fundamental (PELICIONO, 2004). Modelos palpáveis e a possibilidade de efeitos casados podem atrair o interesse das populações e ajuda-los a se envolver em projetos de implementação de sistemas de tratamento.

No caso de biodigestores, o processo de biodigestão anaeróbica ocorre através de bactérias existentes, entre outros lugares, no sistema gastrointestinal dos humanos e animais, o processo de biodigestão anaeróbica ocorre na ausência de oxigênio e luminosidade e ao consumir a matéria orgânica as bactérias promovem uma fermentação, gerando gases como: o metano, o dióxido de carbono e amônia, que podem ser canalizados e utilizados como fonte de energia, assim, em um modelo de fossa séptica biodigestora de baixo custo, desenvolvido com caixas separadoras, o processo fermentação e consumo da matéria orgânica e dos coliformes ocorre nas primeiras caixas, sendo que na última caixa fica armazenado o efluente líquido estabilizado, que poderá ser utilizado como biofertilizante (EMBRAPA, 2017a).

Diante disso, há tratamento e geração de insumo, nosso estudo, então, busca apresentar uma proposta para o sistema de tratamento de efluente doméstico descentralizado que possa melhorar a realidade vivida pela população rural e o uso do protótipo seria uma ferramenta para facilitar a exposição e o entendimento aos interessados em relação a este sistema, permitindo a visualização do funcionamento, mostrando a simplicidade e a facilidade de instalação e operação do sistema, assim como sua eficiência no tratamento dos efluentes domésticos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto teve como ponto de partida o modelo desenvolvido pela EMBRAPA (2017), o memorial descritivo foi desenvolvido para atender com um sistema de tratamento de águas negras, de baixo custo, uma residência com 5 pessoas. O intuito inicial foi a aplicação de um modelo em tamanho real com vias de atender a demanda em uma comunidade rural que não dispõe de sistemas de saneamento.

Dessa forma, a primeira etapa metodológica foi selecionar uma comunidade para estudo, no caso do presente projeto, uma vila rural localizada em área de preservação ambiental. Os moradores foram contatados por intermédio da Fundação que cuida da área de preservação e foi realizada uma reunião seguida de visita técnica.

A etapa *in situ* possibilitou colher informações suficientes para concluir sobre a necessidade de criação de um protótipo do tipo maquete para fins didáticos. Então, partiu-se para a segunda etapa do projeto com a análise do modelo da EMBRAPA (2017b) e realização de memorial de cálculo que possibilitou a criação do sistema em escala, o escopo do projeto de confecção.

#### 3.1 Escopo do projeto.

Foram considerados para o desenho do protótipo: a) adequação ao projeto base; b) contribuição visual para facilitar caráter didático; c) autonomia do sistema; d) possibilidade de fácil deslocamento para apresentações; e) rigidez e durabilidade da estrutura.

Foi então desenvolvido o design para a fabricação do protótipo da Fossa Séptica Biodigestora que deu origem ao escopo do projeto, vide Figura 1. Note que o ponto de partida foi a construção de uma estrutura metálica, de padrão delgado e sem revestimentos ou

coberturas para visualização do sistema em diferentes ângulos, facilitando a compreensão; então, foram consideradas três caixas no sistema como no projeto base, optou-se por caixas com transparência que demonstrassem as entradas dos dutos; o protótipo é dotado de rodas e em módulos que se encaixam para facilitar o transporte; finalizando, foi desenvolvido dispositivo elétrico para funcionamento do sistema com acionamento de interruptor.

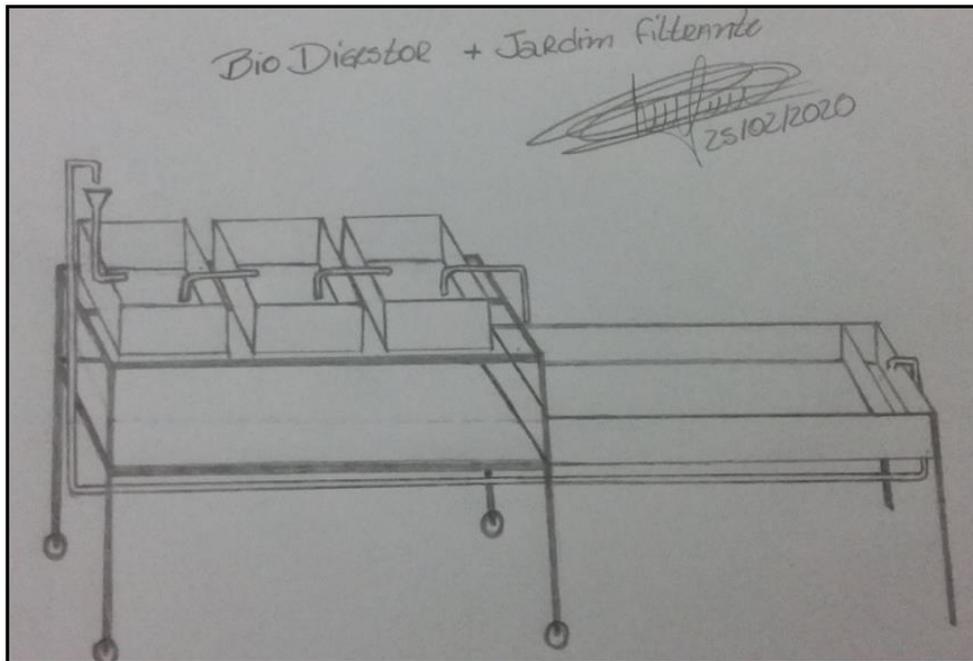


Figura 1: Esboço do biodigestor.

Fonte: Dos autores (2020).

### 3.2 Confeção do Protótipo.

Os materiais empregados na construção do protótipo do sistema de biodigestor estão apresentados na Tabela 2 e na Tabela 3 podem ser visualizadas as ferramentas que possibilitaram o processo.

Tabela 2: Materiais utilizados na construção da maquete do biodigestor.

Materiais	Quantidade	Unidade
Cantoneira 1" x 1" x 1/8" aço carbono	5	m

<b>Metalão 1" x 1" x 1/8" aço carbono</b>	10,2	m
<b>Eletrodo 6013 de 2,5mm</b>	1,5	kg
<b>Roldanas de silicone</b>	4	Unid.
<b>Caixas plástica 20L</b>	3	Unid.
<b>Cano PVC 1/2"</b>	6	m
<b>Flange PVC 1/2"</b>	6	Unid.
<b>Joelho PVC 90° 1/2"</b>	4	Unid.
<b>Adaptador PVC 1/2"</b>	3	Unid.
<b>Caps PVC 1/2"</b>	3	Unid.
<b>Cola para PVC</b>	1	Unid.
<b>Lixa</b>	2	Unid.
<b>Tinta acrílica branca</b>	1	L
<b>MDF - 1 placa (0,8m x 0,8m x10mm)</b>	1	Unid.
<b>Mangueira de PVC</b>	6	m
<b>Bomba de aquário 12v</b>	1	Unid.
<b>Disco de corte 7" para ferro</b>	4	Unid.
<b>Isopor</b>	1	Unid.

Fonte: Dos autores (2020).

Tabela 3: Ferramentas e equipamentos utilizados na montagem da maquete do biodigestor.

<b>Ferramentas e equipamentos</b>	<b>Quantidade/unidade</b>
<b>Furadeira 220v</b>	1
<b>Lixadeira de corte 220v</b>	1
<b>Cerra de ferro manual</b>	1
<b>Máquina de solda elétrica 220v</b>	1
<b>Martelo</b>	1
<b>Trena</b>	1
<b>Esquadro</b>	1
<b>Nível</b>	1
<b>Pistola para cola quente 220v</b>	1
<b>Rolo para pintura</b>	2
<b>Sargento</b>	1

Fonte: Dos autores (2020).

A estrutura de suporte do sistema foi desenvolvida com material metálico nas seguintes especificações: 4,22 metros de cantoneira de aço carbono de 1" x 1" x 1/8" e 10,20 metros de metalão de aço carbono de 1" x 1" x 1/8".

Para que fosse possível realizar o corte da cantoneira e do metalão foi utilizada uma lixadeira com disco de corte apropriado para corte de metal e disco de desbaste para acabamento, para a união das peças foi utilizada máquina de solda elétrica com eletrodo para

aço carbono do tipo 6013 de 2,5mm. Já para viabilizar a movimentação da estrutura, foram instaladas quatro roldanas giratórias com freio, com base metálica e roldanas de silicone de 2”.

A maquete do sistema de biodigestor, por sua vez, foi desenvolvida com emprego de três caixas retangulares de acrílico com tampa com capacidade de 20 litros cada, para interligar as caixas de água do sistema foi utilizado tubo e conexões de PVC marrom de ½ polegada que foram fixadas com flanges nas caixas e com cola específica para PVC nas conexões. Para simular os sólidos em suspensão nas caixas, foi utilizado isopor na cor branca, pintado na cor marrom e disposto na primeira caixa.

Para a recirculação da água e simular a descarga do vaso sanitário da maquete da casa, foi utilizada uma bomba de aquário 220 V com vazão informada de 90 a 120 litros/hora, acionada por um interruptor instalado na lateral da maquete.

Finalmente, para a confecção da maquete da casa, foi utilizado MDF de 10mm de espessura, para o corte do MDF, optou-se pelo uso de serra tico-tico com serra específica para madeira, e para fixação das peças, a cola quente com aplicador elétrico.

Para as apresentações da maquete as caixas deverão ser enchidas até o seu nível máximo. O fluxo do efluente no sistema se dará por pequenos desníveis existentes entre as tubulações que interligam as caixas, já com a finalidade de evitar transbordamento do sistema a bomba captará a água da última caixa para simular a descarga do vaso sanitário existente na maquete da casa, na Figura 2 é possível ver o protótipo.



Figura 2: Corte e preparação dos materiais, montagem da estrutura e do protótipo.

Fonte: Dos autores (2020).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

A busca pelo entendimento da real situação vivida pela população rural, nos levou a uma visita técnica promovida pela instituição de ensino Centro Universitário Padre Anchieta em parceria com a Fundação Serra do Japi e com o Centro de Orientação Ambiental Terra Integrada, em uma vila localizada em meio a uma área de preservação ambiental na Serra do Japi, Jundiaí, São Paulo.

A vila se situa no interior do Território de Gestão da Serra do Japi, uma área de preservação ambiental que segue o zoneamento disposto pela Lei municipal 417/2004 (JUNDIAÍ, 2004), sendo assim, a vila não dispõe de recursos de saneamento que não chegam até o local e carecem de um sistema alternativo tanto para melhora de sua qualidade de vida quanto para o meio ambiente. No entanto, mesmo com agendamento prévio da reunião com os moradores locais, houve pouca adesão e durante a reunião, percebeu-se a falta de interesse de alguns presentes tanto em função de uma visão negativa e desnecessária sobre a mudança em sua realidade em relação ao saneamento básico como pela preocupação da possibilidade de terem de arcar com custos, mesmo havendo explicação de que a ONG arcaria com o projeto.

Com a reunião prejudicada, optou-se por uma visita *in situ* imaginando que uma vez levantadas as residências e identificadas as áreas que poderiam receber os sistemas, poderia ser melhor explicado ao moradores com demonstração das dimensões e melhor contextualização do projeto. Novamente, porém, mesmo com a apresentação do sistema em material impresso, a população local apresentou dificuldade no entendimento do sistema e resistência ao projeto.

Foi nesse momento que surgiu a ideia de construção de uma maquete para ser usada como ferramenta para auxiliar a disseminar o conhecimento de maneira clara, palpável e lúdica. Entende-se que ao visualizar a maquete é despertada a curiosidade de manuseá-la, ampliando assim as possibilidades de aprendizagem, ao utilizar esse procedimento metodológico, contribui-se para a percepção das relações do homem com o ambiente e para compreensão da dinâmica do processo de transformação da realidade em que ele se encontra inserido, a maquete além de poder ser utilizada nas salas de aula em todos os níveis de ensino,

também pode ser transportada e apresentada em feiras de ciência, comunidades, associações, etc. Com o uso da maquete podemos explorar várias possibilidades de ensino como a preservação ambiental, saneamento básico, biologia, hidráulica, projetos, entre outros, além de proporcionar a visualização do sistema dentro da realidade dos ouvintes.

#### **4.1 Problemáticas e adaptações.**

No momento inicial da construção da maquete para demonstrar um sistema biodigestor, dava-se a impressão que seria uma tarefa fácil, porém, encontramos algumas dificuldades nessa etapa, como por exemplo: a escolha do material a ser usado para simular as caixas d'água, encontramos alguns modelos de caixas com de 50 L no mercado, mas devido ao seu volume e custo elevado tornaria nosso projeto inviável, neste momento ocorreu a primeira mudança do projeto inicial, a solução encontrada foi adaptar três caixas organizadoras de 20 L para montar o reservatório de água, também optou-se pelo uso de caixas transparentes para facilitar o entendimento através da visualização do fluxo do efluente no interior das caixas. Salienta-se todavia, que deve ficar claro que para um sistema real as caixas devem inibir a passagem de luz pois a luminância comprometeria o processo de biodigestão realizado pelas bactérias anaeróbicas (EMBRAPA, 2017b).

Com as mudanças, houve a necessidade de adaptar outros processos durante a fabricação, pois as caixas escolhidas eram fabricadas de material termoplástico e ao tentar furar a primeira caixa para instalar as conexões com uma serra copo, esta se quebrou. Então, em busca de alternativas, concluiu-se que um tubo metálico aquecido seria o mais adequado para realizar os furos onde seriam instaladas as conexões de PVC que interligariam o sistema, o que deu certo. Outra dificuldade encontrada foi no sistema de bombeamento que realiza a recirculação da água do final do processo para o início, simulando a descarga do vaso sanitário e dando uma vazão ao sistema de acordo com os acionamentos das descargas, no primeiro momento testamos algumas bombas indicadas para uso em aquário mas as mesmas apresentaram pouca vazão e baixa capacidade de transpor o desnível do sistema, através de pesquisas em comerciantes especializados, encontrou-se uma bomba indicada para a construção de maquetes que solucionou o problema, também surgiram alguns problemas estruturais durante a montagem do biodigestor, como por exemplo, a falta de suporte para impedir o deslizamento e queda das caixas durante o transporte do sistema, para a correção,

utilizou-se uma cantoneira de 1” soldada nas laterais da estrutura para fixar as caixas impedindo sua movimentação e queda.

Durante a organização das caixas do biodigestor na estrutura surgiu a ideia de construir uma maquete para representar uma residência e também serviria para abrigar a bomba e toda a instalação elétrica, dando segurança aos usuários pelo enclausuramento do sistema elétrico, para facilitar possíveis necessidades de manutenção a maquete foi pensada com teto removível e, ainda pensando na segurança, as mangueiras de água e os fios da instalação foram embutidos na própria estrutura do sistema inibindo o contato e dando maior resistência mecânica aos cabos da extensão. Durante os primeiros testes de bombeamento, percebeu-se que a mangueira estava pendurada, então foram instalados alguns suportes na parte inferior da estrutura para dar sustentação à mangueira.

#### **4.2 Funcionamento do protótipo do biodigestor.**

Ao acionar a descarga, inicia-se o fluxo do efluente no sistema através da recirculação da água captada pela bomba no final do ciclo, deste modo o efluente é direcionado por gravidade a partir da descarga da bomba até a primeira caixa e assim sucessivamente devido ao desnível existente entre as caixas, esse desnível deve ser mínimo, mas obrigatoriamente deve existir para que haja um escoamento laminar e proporcional ao regime de entrada do efluente no sistema. Na primeira caixa foram adicionados flocos de isopor pintado na cor marrom para simular os sólidos suspensos em decomposição, nas primeira e segunda caixas é onde ocorre o processo de biodigestão por meio das bactérias anaeróbicas existentes e fundamentais para o funcionamento do sistema. O resultado pode ser observado na Figura 3.



Figura 3: Protótipo do biodigestor abastecido.

Fonte: Dos autores (2020).

Durante os testes funcionais do sistema foi possível levantar alguns dados quantitativos referentes à vazão da bomba e à vazão do sistema, baseados no tempo de acionamento da descarga. Para a análise foram realizados três acionamentos para obter o volume de 200ml, os resultados foram os seguintes: no primeiro acionamento, demorou-se 6,9 segundos para coletar 200ml de água, no segundo acionamento, o tempo transcorrido foi de 6,2 segundos e no terceiro 6,3 segundos, a média destes valores apresentou uma vazão final de  $200\text{ml}/6,5\text{s}$  ou aproximadamente  $1\text{L}/32,5\text{s}$ , totalizando  $110\text{L}/\text{h}$  dados coerentes, pois se encontra entre os valores mínimo ( $90\text{L}/\text{h}$ ) e máximo ( $120\text{L}/\text{h}$ ) fornecidos pelo fabricante da bomba.

Com os dados de vazão da bomba realizou-se outra análise referente a vazão do sistema do biodigestor, com o sistema estabilizado acionou-se a descarga injetando 500ml de efluente no sistema e verificou-se o tempo de saída em relação ao de entrada coletando o mesmo volume em um recipiente graduado, essa análise apresentou uma vazão de  $1\text{L}/5\text{minutos}$ .

Considerando que um biodigestor real instalado em uma residência para até cinco pessoas necessita de uma vazão mínima aproximada de 300L/dia (EMBRAPA, 2017b), e que o protótipo fabricado foi idealizado em uma proporção de 1:50, escoariam pelo protótipo simulando uma situação proporcional, aproximadamente 6 litros de efluente, que seriam descarregados no sistema por 25 acionamentos de 8 segundos da descarga ao longo do dia, descarregando aproximadamente 240ml de efluente no protótipo a cada descarga.

Mesmo não tendo sido a principal preocupação dos idealizadores do protótipo o mesmo pode ser facilmente melhorado para um funcionamento real, pequenas adaptações proporcionariam testes com efluentes reais, sejam estes efluentes antrópicos ou animais. Entende-se, no entanto, que para a perenidade da maquete, por segurança e para possibilitar inclusive a demonstração das peças e materiais será mais interessante manter o sistema apenas com água e simuladores de sólidos, higienizando-o sempre que necessário.

Como sugestão para futuras atividades educativas ambientais envolvendo o protótipo, os organizadores podem solicitar aos participantes que identifiquem as necessidades de melhoria necessárias para por o sistema em funcionamento real por meio da ação das bactérias anaeróbicas, e solicitar uma tabela de materiais necessários para este trabalho de melhoria do protótipo. Os trabalhos necessários seriam a pintura das caixas na cor preta visto que a luminosidade atrapalha as atividades de decomposição realizadas pelas bactérias anaeróbicas e por último a instalação de uma saída de gases real, pois a existente no protótipo é apenas ilustrativa e está vedada para inibir o vazamento de água durante o transporte.

Para a partida do sistema também seria necessário adicionar 100 gramas de esterco bovino fresco em 400ml de água, além de abastecer o biodigestor com essa solução na primeira caixa do protótipo e a partir dessa adição seria necessário simular as descargas de efluentes no sistema, pensando em realizar as descargas proporcionais ao sistema real seriam necessárias 25 adições diárias de 240ml cada na mesma proporção da solução usada para a partida do sistema, distribuídas em um intervalo de 24 horas, feito isso na primeira semana, já é possível analisar o afluente do sistema que poderá ser coletado da descarga da terceira caixa e armazenado para ser usado como biofertilizante para plantas.

## 5. CONCLUSÃO

O protótipo do biodigestor contribuirá significativamente em práticas pedagógicas, proporcionando aos envolvidos a visualização de um sistema funcional já existente e com eficiência comprovada, com baixo custo de instalação e de fácil manutenção. Experiências anteriores mostram que a dinâmica utilizada para apresentações envolvendo protótipos prendem a atenção dos envolvidos e proporcionam a discussão de temas relacionados às questões econômicas, sociais e ambientais, além de despertar a curiosidade pela visualização tridimensional do sistema operando de forma proporcional à realidade, despertando o interesse e a visão crítica sobre a importância da preservação do meio ambiente em que se está inserido.

O projeto final do protótipo de biodigestor foi além das expectativas iniciais, pois durante o andamento do processo de construção do sistema novas ideias foram surgindo e abrindo novas possibilidades de uso, a princípio o protótipo foi pensado apenas para a finalidades pedagógicas, porém, seu uso pode ir muito além e levar o conhecimento a comunidades rurais carentes sobre a necessidade de tratamento de seus efluentes e a facilidade de implantação deste sistema. O protótipo auxiliará nesse entendimento e a partir da ideia de tratamento do efluente doméstico poderá ser levantada a necessidade e a importância do tratamento do efluente para a preservação do solo, dos recursos hídricos e da saúde individual e coletiva, visto que as doenças de veiculação hídrica podem ser disseminadas para áreas distantes do ponto onde existiu o lançamento irregular do efluente.

Por fim, esse estudo nos forneceu uma ferramenta para divulgação de um sistema de tratamento de efluente doméstico descentralizado para aplicação em áreas rurais, haja vista a falta de investimento público nessas áreas, com base na experiência com a comunidade visitada, entendemos que se faz necessário maior atenção dos governantes em relação a programas sociais que financiem a implantação de sistemas de tratamento de esgoto doméstico rural.

## 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRASIL. *Lei Federal nº 11.445/2007, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.*

Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>  
Acesso em: 28 ago. 2019.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, **Tecnologia sociais de Eco-habitação.** 2013. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1109190/1/DOC19002.pdf>>  
Acesso em: 08 fev. 2020.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, **Soluções tecnológicas fossa séptica biodigestora.** 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/721/fossa-septica-biodigestora>> Acesso em: 01 set. 2019

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Trajatória da agricultura brasileira.** 2017a. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>> Acesso em: 8 nov. 2019.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, **Memorial descritivo: Montagem e operação da fossa séptica biodigestora.** 2017b. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1081476/memorial-descritivo-montagem-e-operacao-da-fossa-septica-biodigestora>>. Acesso em: 01 set. 2019.

Departamento de Água e Esgoto – DAE. Jundiaí. **Esgoto.** Disponível em: <<https://daejundiai.com.br/esgoto/>>. Acesso em: 05 set. 2019.

Fundação nacional de Saúde – FUNASA. Panorama do Saneamento Rural no Brasil. 2017a. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/panorama-do-saneamento-rural-no-brasil>>. Acesso em: 09 set. 2019.

Fundação nacional de Saúde – FUNASA. **Para cada real investido em saneamento se economiza na saúde.** 2017b. Disponível em: < [http://www.funasa.gov.br/todas-as-noticias/-/asset\\_publisher/lpnzx3bJYv7G/content/-cada-real-gasto-em-saneamento-economiza-nove-em-saude-disse-ministro-da-saude?inheritRedirect=false](http://www.funasa.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/lpnzx3bJYv7G/content/-cada-real-gasto-em-saneamento-economiza-nove-em-saude-disse-ministro-da-saude?inheritRedirect=false)> Acesso em: 22 nov. 2019.

Fundação nacional de Saúde – FUNASA. **Programa nacional de saneamento rural PNSR. 2017c.** Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/programa-nacional-de-saneamento-rural-pnsr>> Acesso em: 18 nov. 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Censo 2010.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/multidominio/cultura-recreacao-e-esporte/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=downloads>>. Acessado em: 15 jan. 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e estatística – IBGE. **IBGE divulga as estimativas da população dos municípios para 2019.** Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25278-ibge-divulga-as-estimativas-da-populacao-dos-municipios-para-2019>> Acesso em: 15 out. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL **Ranking do saneamento instituto trata Brasil, 2017a.** Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/ranking/2017/relatorio-completo.pdf>> Acesso em: 12 out. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Como é o cenário do saneamento básico em área rural. 2017b.** Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/blog/2017/02/09/o-saneamento-em-area-rural/>>. Acesso em: 24 ago. 2019.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo - PR. 2003. 106 f.** Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC.

JUNDIAÍ. **Prefeitura do município de Jundiaí. Lei Complementar n°417, de 29 de dezembro de 2004.** Disponível em: <<https://serradojapi.jundiai.sp.gov.br/wp-content/uploads/2015/10/Municipal-Jundia%C3%AD-2004-Lei-Complementar-417.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2019.

JUNDIAÍ. **Prefeitura do município de Jundiaí. Secretaria do meio ambiente. Plano de manejo reserva biológica municipal da serra do Japi.** Disponível em: <https://jundiai.sp.gov.br/planejamento-e-meio-ambiente/wp-content/uploads/sites/15/2014/08/Reserva-Biol%C3%B3gica-da-Serra-do-Japi-%E2%80%93-Plano-de-Manejo.pdf>; Acesso em: 18 out.2019.

MILLER, G. TYLER. **Ciência Ambiental.** 11° ed. SP.Cengage Learning, 2014.

PELICIONI, M. C. F. **Fundamentos da Educação Ambiental.** In: PHILIPPI JÚNIOR, A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. Curso de Gestão Ambiental. São Paulo: Manole, 2004.

Organização das Nações Unidas – ONU. **Acelerando as transformações para a agenda 2030 no Brasil, 2015.** Disponível em: < <http://www.agenda2030.com.br/>> Acesso em: 16 out. 2019.

## DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO PARA ESTUDO DE JARDIM FILTRANTE COMO ALTERNATIVA PARA DESTINAÇÃO ADEQUADA DE RESÍDUOS DE ESGOTO – A CHAMADA “ÁGUA CINZA”

**Ana Paula Henrique** (Centro Universitário Padre Anchieta)  
**Luciano Smanhoto kroll** (Centro Universitário Padre Anchieta)  
**Cristiane Rochi de Oliveira** (Centro Universitário Padre Anchieta)  
**Flávio Gramolelli Júnior** (Centro Universitário Padre Anchieta)  
**Raquel Carnivalle Silva Melillo** (Centro Universitário Padre Anchieta)

### RESUMO

Diante do cenário atual o tratamento de água, esgotos e resíduos promovem novas decisões que envolvem todo o processo de tratamento de água em nosso planeta. Novas tecnologias surgem com foco em baixo custo, sustentabilidade e métodos para o tratamento de água, que vem sendo pesquisados e implantados em diversas esferas para ampliar a consciência sobre a preservação da água, sendo ela um bem maior de uso comum em nosso cotidiano. Dentre essas novas tecnologias para o tratamento de água estão os jardins filtrantes, conhecidos também como sistemas artificiais de zonas úmidas por plantas aquáticas. O sistema é vantajoso e esteticamente favorável ao utilizar plantas como meio de filtragem das partes sólidas. Foi apresentado no trabalho um modelo de jardim filtrante em escala de maquete para fins acadêmicos, tendo como método de análise a base em pesquisas de modelos reais em tratamento de águas cinza. Todo o trabalho foi realizado baseado em comprovações com foco na eficiência e resultados dos jardins no tratamento de águas cinza, que tem o intuito de apresentar uma condição natural, ecológica e sustentável, com foco em economia, reutilização de matérias-primas, paisagismos, conscientização em escolas e programas acadêmicos.

**Palavras chave:** jardim filtrante; tratamento de água; águas cinza; plantas, condição natural.

### ABSTRACT

In view of the current scenario, water, sewage and waste treatment has brought new decisions that involve the entire water treatment process on our planet. New technologies and have emerged with a focus on low cost, sustainability and methods for water treatment, which have been researched and implemented in different spheres raise awareness about water preservation, being it a greater asset for common use in our daily lives. Among these new technologies for water treatment are filter gardens, also known for artificial systems of wetlands by aquatic plants. The system is advantageous and aesthetically favorable when using plants as a means of filtering the solid parts. It was presented in the work a model garden filter on a scale model for academic purposes, having as a method of analysis the basis in research of real models in gray water treatment. All the work was carried out based on evidence focusing on the efficiency and results of the gardens in the treatment of gray waters, which aims to present a natural, ecological and sustainable condition, and with a focus on economics, reuse of raw materials, landscaping, awareness in schools and academic programs.

**Keywords:** filter garden; water treatment; gray waters; plants, natural condition.

## 1. INTRODUÇÃO

Sabemos que a água é um recurso indispensável em termos de quantidade e qualidade para o desenvolvimento humano e manutenção dos ecossistemas e de seus serviços (EMBRAPA, 2013). No entanto, com o crescimento demográfico que gera demandas crescentes do recurso em sistemas de abastecimento doméstico, industriais e para processamento e produção de alimentos, o mau e exagerado uso decorrente do gerenciamento inadequado, tem impactado fortemente nos parâmetros essenciais de manutenção do recurso, tanto pelo consumo como pela consequente geração de efluentes industriais e domésticos que o contaminam (MILLER, 2014).

Com esta problemática, e por conta da falta de saneamento básico que atinge todos os níveis da população, o fornecimento de água e de sistemas de coleta e tratamento de esgoto, aparece como importantes pontos cada vez mais estudados e discutidos. Segundo dados do Instituto Trata Brasil (2017), o consumo mais elevado ainda é oriundo das grandes regiões metropolitanas, mas em áreas rurais o problema se torna mais complexo assim como em regiões isoladas do país, já que o conhecimento acerca dos riscos e sobre sistemas alternativos é escasso.

Grande percentual da população se encontra à margem dos serviços de coleta de esgoto e tratamento de água, e sem esses serviços há grandes riscos à sua saúde e qualidade de vida. Dados apontam, porém, que a tendência é que o saneamento básico em áreas rurais continue em uma velocidade menor em relação às áreas urbanas, pela complexidade das regiões, distâncias e pela baixa concentração de pessoas, tornando inviável a construção das tradicionais redes de coleta e tratamento (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2017). Uma alternativa que visa contribuir para a solução da problemática e para a melhoria do tratamento de efluente doméstico que consiste em águas cinza, são os jardins filtrantes que apresentam condições interessantes como uma ótima eficiência, fácil instalação e custo baixo (EMBRAPA, 2013).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013), o sistema de tratamento de águas também conhecido como jardim filtrante, consiste em um tratamento que pode ser considerado como uma alternativa para dar destino adequado ao esgoto proveniente de pias, tanques e chuveiros, ricos em sabões, detergentes, restos de alimentos e gorduras – a chamada “água cinza”. O sistema jardim filtrante é feito de um pequeno lago com pedras, areia e plantas aquáticas onde o esgoto é tratado, e com uma manutenção muito simples, contribui com a sustentabilidade do meio ambiente e ainda traz harmonia paisagística (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2017).

O projeto do jardim filtrante traz uma nova visão na área do tratamento de águas cinza, com uma forma de gerenciamento ambiental nas áreas urbanas e uma alternativa barata e ao mesmo tempo com uma pegada visual que traz uma tecnologia bonita visualmente.

Neste cenário, o presente projeto visou realizar o planejamento e montagem de um modelo de jardim filtrante complementar ao uso de uma fossa séptica biodigestora, com visibilidade que sensibilize populações quanto à importância do tratamento de seus efluentes e se torne uma opção de instalação (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2017).

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A poluição das águas doces tornou-se uma preocupação mundial, seja pela perda em quantidade ou em qualidade e pelo impacto que gera as vidas humanas (ANA, 2020) A poluição hídrica ocorre quando qualquer junção ou mistura é responsável pela alteração das propriedades da água, afetando a saúde de pessoas, animais e vegetais, normalmente causada pelo lançamento inapropriado de resíduos industriais, agrícolas e esgotos domésticos sem tratamento.

Esgoto sanitário doméstico é o “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”. O esgoto doméstico é originado a partir da água advinda do abastecimento e, portanto, sua medida resulta da quantidade de água consumida, onde 99,9% deste esgoto doméstico é composto por água e os outros 0,1% de sólidos (IBGE, 2020). Esse é o composto que este estudo se destina a tratar com o advento do jardim filtrante.

Os Jardins Filtrantes surgem a partir desse cenário, como um tratamento alternativo para descontaminação natural baseado em um modelo de áreas alagadas, à imagem de áreas de brejo, pântanos e várzeas. Áreas alagadas são importantes para os ecossistemas, por conta da reciclagem de nutrientes dos meios aquáticos e depuração físico-química (EMPRAPA, 2013).

Naturalmente, a flora age nos processos de ciclagem de água e nutrientes, a observação de tais processos possibilitou o desenvolvimento de técnicas que recriassem esse serviço natural em modelos previamente calculados e destinados a tratamentos específicos. Dessa forma, os resíduos derivados de efluentes sanitários e esgotos, ou as “águas cinza”, poderiam ser tratados por mecanismos montados com plantas aquáticas (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2017).

Os Jardins Filtrantes, chamados também de artificiais de zonas úmidas, vem ganhando forças pela sua aceitação por tudo mundo, sendo um sistema com aspectos de design natural, fácil construção e operação, além de custo benefício bastante vantajoso.

A tecnologia é de origem francesa e sua aplicação como alternativa de tratamento teve início em meados da década de 1970, na Alemanha, e a partir de então há diversos estudos e aplicações. O jardim filtrante também pode ser utilizado para tratamento de efluentes, sendo uma técnica bastante utilizada como alternativa secundária ou terciária, responsável por diminuir na remoção de nutrientes e redução de DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) do efluente, sendo que as metodologias de implantação e modelos variam de acordo com o efluente tratado e eficiência final desejada para a remoção dos poluentes do curso d'água, além das possibilidades de paisagismo (TONETTI, 2018).

O processo para a utilização do sistema alternativo do Jardim Filtrante no tratamento biológico depende da utilização de áreas úmidas e plantas aquáticas, sendo necessário avaliar o clima, área e espécies. Os sistemas artificiais funcionam principalmente com foco na zona ativa, que é a região das raízes das plantas utilizadas (rizosfera), essa região concentra os processos físico-químicos e biológicos ocasionados da interação de plantas, microrganismos, solo e poluição (TONETTI, 2018).

É de extrema importância para funcionamento adequado do projeto, o emprego de plantas macrofilas aquáticas, conhecidas por estarem sempre situadas em brejos, lagos, ou um cursos

de água doce, salobra e salgada; essas espécies de plantas são caracterizadas como vegetais, que durante sua evolução retornam do ambiente terrestre para o aquático, mantendo suas características (EMBRAPA, 2013). O uso de vegetais para a melhoria das condições físico-químicas de meio aquoso é muito conhecido e aplicado no tratamento de efluentes (TONETTI, 2018) e nesse caso os efeitos são maximizados.

Os requisitos para as plantas utilizadas no Jardim Filtrante são: tolerância climática, adaptação ecológica, tolerância nas condições de inundação, resistência a poluentes, rápido crescimento, disseminação e desempenho adequada do sistema para remoção de poluentes (COOPER, 1998). Basicamente para a instalação do jardim filtrante, utiliza-se a raiz de plantas e os microrganismos presentes nelas e no meio para filtrar os poluentes químicos do efluente, sendo uma tecnologia considerada de baixo custo, comparada a outras tecnologias, além de sua manutenção simples e com baixa frequência, pois o sistema é composto por areia, pedras e as plantas (TONETTI, 2018).

O sistema jardim filtrante é usado para um tratamento de esgoto alternativo e correto de resíduos de chuveiros, pias, misturas de sabões, gorduras e restos de alimentos, chamada de “água cinza”, correspondendo entre 50% a 80% da água residual de uso doméstico. A “água cinza” não é a mesma que “água negra” (proveniente do vaso sanitário, pela alta composição dos produtos biológicos contaminantes). Ela recebe esse nome por se tratar de uma água turva e, portanto, apesar de seu grau ser inferior a “água cinza” também é muito importante ser realizado um tratamento para destinação correta, por se tratar de um resíduo impregnado de sabões e detergentes (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2017).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) e Organização das Nações Unidas (ONU) vêm realizando alerta sobre a escassez da água doce do mundo, sendo um recurso natural mais disputado pela maioria dos países, por isso a importância da reutilização da “água cinza”, podendo ser utilizada para irrigação, lavagem de pisos, vaso sanitário, entre outras limpezas em geral. E mesmo assim, se não há um interesse para o reaproveitamento da água pós-tratamento pelo jardim filtrante, ela será descartada com baixa concentração de contaminantes prejudiciais para a fauna, flora e curso d’água (EMBRAPA, 2013).

O jardim filtrante contribui com a sustentabilidade trazendo harmonia paisagística para o meio ambiente, com manutenção simples, sendo uma tecnologia adaptada pela Embrapa em conjunto com a fossa séptica biodigestora e do clorador (EMBRAPA, 2013). Essa técnica

pode ser aplicada em locais com zonas úmidas naturais, dando preferência à construção de sítios artificiais para evitar qualquer tipo de alteração do ambiente.

A utilização de plantas aquáticas para o tratamento de água justifica-se por sua intensa capacidade de absorver nutrientes e pelo crescimento acelerado, oferecendo também facilidades na sua retirada e pelo amplo uso de sua biomassa (SEZERINO, 2003).

No sistema natural de tratamento de esgoto são utilizadas plantas específicas que têm a função de poder realizar o tratamento do solo e também de executar a limpeza de esgotos. As plantas servem como recurso natural para a formação deste sistema, que tem por objetivo limpar os resíduos indesejáveis. Os sistemas de tratamento de esgotos são ditos naturais quando se baseiam na capacidade de ciclagem dos elementos contidos nos esgotos em ecossistemas naturais, sem o fornecimento de quaisquer fontes de energia induzida para acelerar os processos bioquímicos, os quais ocorrem de forma espontânea (SEZERINO, 2003).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Este projeto foi desenvolvido de maneira que seja compatível com modelos de fossa séptica biodigestores desenvolvidas pela EMBRAPA (2017), dessa forma, buscou-se um sistema de jardim filtrante que intensifique os resultados do citado modelo e que possa ser implementado com baixo custo e facilidade de manutenção, o modelo selecionado foi criado por EMBRAPA (2013).

Buscava-se, identificar uma comunidade rural que não dispõe de sistemas de saneamento e que notadamente sofre com problemas decorrentes de água de baixa qualidade para implantação *in situ* do modelo.. Então, partiu-se para levantamento de uma população compatível e foi identificada uma vila rural localizada em área de preservação ambiental. A recepção, no entanto, não prosseguiu como esperado e os moradores demonstraram desconfiança e insegurança quanto ao sistema.

Dessa forma, o projeto foi orientado para a criação de um protótipo móvel, do tipo maquete, para fins didáticos que pudesse melhor ajudar no processo de sensibilização, tirar dúvidas e tranquilizar a população para que possa tomar decisão em segurança quanto à

aplicação do sistema em sua vila. A segunda etapa, assim, foi prática e envolveu o estudo do modelo desenvolvido pela EMBRAPA (2013) e sua adaptação para uma maquete transportável.

### **3.1. Materiais utilizados para montagem do jardim filtrante em modelos reais.**

O importante é que o modelo trouxesse o máximo da realidade de como ficará o modelo, então foram levantados os materiais reais para sua instalação. Os materiais necessários para montagem de um jardim filtrante para uma residência de até cinco pessoas são (EMPRAPA, 2013):

- 1 geomembrana de EPDM ou equivalente (7 m x 4 m);
- 2 membranas geotêxteis (Bidin) (7 m x 4 m);
- 2 flanges para geomembrana (100 mm) ou equivalente;
- Pedra britada nº 2 ou 3 (2 m<sup>3</sup>);
- Tela de nylon (1,2 m x 10 m);
- Areia grossa (2,5 m<sup>3</sup>);
- Plantas aquáticas e ornamentais, também conhecidas como plantas macrófitas (que habitam brejos e alagados);
- Caixa d'água (50 a 100 litros) – retenção de resíduos sólidos;
- Caixa de gordura (DN 100) com tampa;
- Tubulações e conexões de PVC (6 m tubos de PVC 100 mm).

Tais materiais foram analisados e adequados ao projeto, que foi desenhado de maneira que se torne de fácil compreensão e objeto de estudo. Assim, precisava ser:

a) próximo em termos de construção do projeto original; b) translúcido para facilitar análise das camadas; c) leve o suficiente para viabilizar transporte; d) durável e de fácil manutenção.

Assim, após análises, os materiais originais foram reavaliados, testados e optou-se pelos materiais descritos na Tabela 1, com seus respectivos custos.

Tabela 1. Materiais utilizados.

Item	Material	Qtd	R\$	Valor
1	Placa de acrílico 1000 mm x 2000 mm de 4 mm	1	378,35	378,35
2	Cola para acrílico	1	80,00	80,00
3	Estilete para acrílico	1	20,50	20,50
4	Placa de automação	1	52,80	52,80
5	Mini bomba e fonte de alimentação	1	96,16	96,16
6	Eletrodo	1	7,08	7,08
7	Mangueira 5m	1	7,50	7,50
8	Rodízios	6	17,73	106,38
9	Tube / PVC 1/2"	1	7,59	7,59
10	Cola PVC	1	8,90	8,90
11	Registro esfera de PVC 1/2"	1	23,09	23,09
12	Joelho de PVC 1/2"	12	1,49	17,88
13	Luva de PVC 1/2"	1	0,99	0,99
14	Tê de PVC 1/2"	2	1,29	2,58
15	Metalon 3cm x 3cm	4	34,75	139,00
16	Chapa de MDF 40x50 3mm	3	9,60	28,80
			Total	R\$ 977,60

Fonte: Dos autores (2020).

Note que os custos foram expostos de maneira que possibilite orçar modelos de maquete móveis como a desenvolvida.

### **3.2. Etapas para a implantação do sistema jardim filtrante**

Partiu-se, então para o estudo do processo de construção e implantação do modelo, segundo Embrapa (2013). As etapas fundamentais são listadas abaixo:

- Defina a área para instalação do sistema na residência;
- Antes da entrada do Jardim Filtrante, realize a instalação de uma caixa de decantação (de 50 a 100 litros) e uma caixa de gordura;
- Realize a interligação da parte hidráulica para receber o esgoto das pias, chuveiros e lavagem de roupas;
- Cave uma abertura no solo com 50 cm de profundidade com área superficial de 2m<sup>2</sup> para cada morador;
- Realize a impermeabilização em todo o fundo e as laterais com a geomembrana de EPDM protegida por uma camada geotêxtil;
- Interligue todas as tubulações de entrada e saída do sistema Jardim Filtrante;
- Utilize a brita e areia grossa para preenchimento da caixa; em seguida encharque com água, a fim de evitar formações de lâmina d'água e para não permitir a procriação de mosquitos;
- Plante somente plantas aquáticas (ex: taboa, papiros, paisagístico, etc.), para retirar a poluição da água durante seu crescimento. Para esse sistema alternativo também se pode utilizar flores que suportam um meio saturado com água, como o copo-de-leite, helicônia e o lírio-do- -brejo, além de ornamentos, como pedras brancas.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

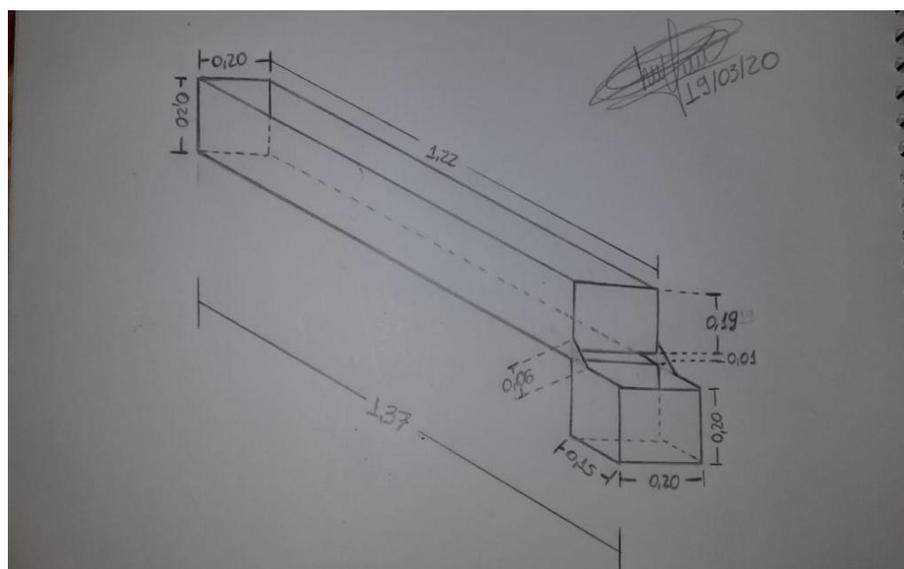
A ideia inicial para implantação do projeto jardim filtrante em conjunto com o biodigestor, seria em campo em uma vila rural situada no Território de Gestão da Serra do

Japi (JUNDIAÍ, 2004) no município de Jundiaí – São Paulo. No segundo semestre de 2019, agendamos com todos os moradores da vila para apresentação do projeto em estudo, ilustrando pesquisas e comprovações que o projeto apresentaria bons resultados e viabilidade aos moradores. Foram levados folders com ilustrações coloridas, explicações e proporções. Após a visita, por maioria dos votos, os moradores não concordaram com a implantação do projeto *in loco*, explicitando insegurança quanto ao modelo.

No primeiro semestre de 2020, entendemos que seria mais interessante primeiro criar uma maquete ou protótipo que demonstrasse em tempo real o funcionamento do sistema e pudesse ser estudado e testado. Optamos por um modelo móvel para viabilizar o trabalho de educação ambiental contínuo e em diferentes comunidades, em uma escala menor, com baixo custo, que propiciasse fácil entendimento do sistema na prática. A ideia foi aprovada e iniciamos a fabricação do protótipo.

A escala real para implantação do sistema jardim filtrante em uma área rural ou residencial é de  $1\text{m}^2$  por habitantes (EMBRAPA, 2013). Então, criamos um modelo em escala que se adaptasse melhor às nossas prerrogativas e iniciamos o levantamento de materiais e custos de acordo com o dimensionamento do projeto criado (Figura 1), as adequações foram sendo realizadas para que fosse possível atender os objetivos, observando custo, transparência do modelo, peso para transporte, mobilidade e facilidade de manutenção.

Figura 1. Ideia inicial do protótipo jardim filtrante.



Fonte: Dos autores (2020).

Com o processo de montagem buscamos os parâmetros similares aos do jardim filtrante proposto no modelo da Embrapa (2013), que possui parâmetros e metodologias que demonstrou em estudos ser eficaz e de baixo custo, atendendo não só as pequenas famílias, mas também áreas urbanas. O sistema para estudo foi simulado em uma escala de 1 para 20, destinado ao tratamento da chamada “água cinza”.

As camadas em escala menor foram colocadas cuidadosamente para que o projeto protótipo fosse idêntico e fácil entendimento a um projeto real. A montagem da estrutura metálica sendo toda base inferior, realizamos a montagem da caixa de acrílico simulando a abertura do solo. Após a instalação da caixa, utilizamos um plástico preto para ilustrar a manta impermeabilizante, conseqüentemente, a colocação das camadas, sendo 4 cm de pedrisco, 2 cm de feltro e 6 cm de areia grossa (EMBRAPA, 2013).

Após toda montagem externa e interna do protótipo, utilizamos mudas de plantas inhame para simulação em uma área rural e o enchimento de água na caixa para início dos testes (Figura 2). No projeto foi utilizada a planta inhame por apresentar grande aceitação no tratamento de águas cinza, suas raízes são responsáveis de absorver e filtrar alguns tipos de micropoluentes, partindo para despoluição das águas, deve-se observar, no entanto, que o tratamento não ocorre somente pelas plantas utilizadas no sistema, mas também pelos microrganismos que se multiplicam. Note que para o resultado ser ainda mais eficiente há possibilidade de implantar espécies vegetais variadas.



Figura 2. Protótipo jardim filtrante finalizado.

Fonte: Dos autores (2020).

Partiu-se assim, para a etapa de teste do modelo, o volume da caixa do protótipo jardim filtrante é de  $0,006\text{m}^3$ , com uma vazão de 0,5 Litros para 12 minutos, ou seja, 2,5 Litros a cada 1 hora. Após enchimento da caixa e com todo o sistema estabilizado, utilizamos um volume de 200 ml de água para realizarmos os testes iniciais. No primeiro teste, levou-se 6:99 segundos para escoamento até a saída do jardim filtrante. No segundo teste, 6:33 segundos, e no terceiro teste o tempo foi de 6:13 segundos.

Ao iniciarmos o primeiro teste, analisamos que após a circulação da água pelo ciclo no sistema jardim filtrante, a água foi drenada em boas condições para uso, com sua cor incolor (Figura 3), baixa turbidez, sem cheiro, podendo ser reutilizada como, por exemplo, em uma área residencial e principalmente em áreas rurais, para irrigação de plantas, lavagem de calçadas, etc.



Figura 3. Análise qualitativa da água após passagem pelo protótipo jardim filtrante.

Fonte: Dos autores (2020).

A implantação do sistema jardim filtrante é bastante funcional, barata e viável para o local estudado, pois sua principal função através das plantas aquáticas é purificar e renovar os resíduos domésticos encontrados nas águas de pias, ralos e chuveiros circulando pelo jardim para seu reaproveitamento (EMBRAPA, 2013). A educação ambiental é outro assunto essencial nos dias de hoje, aplicando técnicas eficazes, para que assim o projeto tenha aceitação de grandes áreas como interesses públicos e privados (EMBRAPA, 2013).

São inúmeros os benefícios após implantação do sistema de tratamento alternativo, incluindo a valorização da área pelo jardim, direcionamento e descarte adequado das águas domésticas residuais, irrigação de plantas após seu reaproveitamento, lavagem de calçadas e fins e dessedentação de animais (conforme sua classificação), redução na fatura e custos domésticos com a reutilização da água da rede de abastecimento pela companhia de água a depender do volume de água gerado pelo sistema (MILLER, 2014).

A supervalorização do espaço é o aspecto mais observado durante a implantação do jardim filtrante, pois ele além do tratamento do efluente trouxe sua função paisagística para

um ambiente possivelmente com um espaço antes desprezado. Essa melhoria foi observada no protótipo que demonstra com excelência a beleza do jardim criado.

Com o objetivo de divulgar a eficiência do jardim filtrante, o protótipo se mostra uma boa escolha. Há como analisar questões de estética, escala, funcionamento e implantação. Finalmente, se destaca que a reutilização da população de plantas pode ser feita para compostagem, que, posteriormente pode ser utilizada para adição nos canteiros de hortaliças ou de maneira ornamental.

## **5. CONCLUSÃO**

Com base no projeto, concluímos que sistema alternativo Jardins Filtrantes é eficiente no tratamento de efluente sanitário proveniente de “água cinza”, pois se trata de um projeto de baixo custo, fácil manutenção e conforme pesquisas realizadas, o sistema comprova resultados como DBO, pH, temperatura e sólidos sedimentáveis bastante eficientes (EMBRAPA, 2013). O uso dos Jardins Filtrantes no tratamento de esgotos sanitários cresceu substancialmente nos últimos anos por todo o mundo, sendo a maior escala em instalações de pequeno e médio porte, como áreas rurais, agricultores, entre outros (SEZERINO, 2003).

O sistema alternativo também já está disponível nas literaturas atuais, pela sua eficiência em diversas aplicações. Foi viável encontrar modelos e descrições de eficiência, implantação e sobre espécies empregadas no sistema. No entanto, não foram encontrados muitos dados sobre modelos instalados em áreas rurais no Brasil.

As críticas mais circunstanciais se relacionam à necessidade de uma área grande para instalação do equipamento, mas que pode se resolvido se aproveitadas áreas verdes e ou de lazer, pensando também no tratamento de esgotos em áreas urbanas (POTT, 2002). O protótipo demonstrou bem que o caráter estético foi um diferencial ao sistema.

Quanto à manutenção e o custo para instalação, nota-se que realmente é um sistema de baixo custo, com materiais acessíveis, espécies de plantas variadas e de fácil cuidado e de fácil manejo e implementação. A análise ocorreu tanto para o protótipo quanto em comparação com as etapas levantadas para o modelo real.

Pensando nos benefícios analisados, pudemos comprovar que o sistema funciona como esperado e pode contribuir na redução da poluição de rios e do impacto à fauna, fornecendo também melhorias na qualidade do ar local, reduzindo efeitos de ilhas de calor, poluição sonora do local, entre outros. A partir dos resultados qualitativos adquiridos neste estudo, recomendamos o uso de filtros plantados com macrófitas para estabilização no tratamento da “água cinza”.

## 6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. *Água Subterrânea 2010*. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua/agua-subterranea>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

BRASIL. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS - EMBRAPA. **Fossa Séptica Biodigestora. São Carlos, 2001**. Disponível em < <https://www.embrapa.br/> >. Acesso em: 02 de outubro de 2017.

CENTRO DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL TERRA INTEGRADA – COATI. *Serra do Japi: Reserva Hídrica da Região de Jundiá*. **Boletim do COATI, ed. 5, 2013**. Disponível em: <<http://www.coati.org.br/boletim-do-coati/>>. Acesso em: 29 out. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. *Águas Subterrâneas*. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/poluicao-das-aguas-subterraneas/>>. Acesso em: 15 mai. 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Jardins filtrantes: soluções tecnológicas. 2013**. Disponível em: [www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1307/jardim-filtrante](http://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1307/jardim-filtrante). Acesso em: 05 abr, 2020.

FUNDAÇÃO SERRA DO JAPI. A Serra do Japi. Disponível em: <<http://serradojapi.jundiai.sp.gov.br/institucional/>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Município de Jundiá, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/jundiai/panorama>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL - Organização da Sociedade Civil de Interesse Público. **Saneamento básico, como é o cenário do saneamento básico em área rural. 2017**. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2017/02/09/o-saneamento-em-area-rural/>. Acesso em: 10 jul, 2020.

MILLER, G. TYLER. *Ciência Ambiental*. **11° ed. SP. Cengage Learning, 2014**. Acesso em: 10 jul, 2020.

POTT, V. J.; POTT. A.. **Potencial do uso de plantas aquáticas na despoluição da água. 2002**. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/556127/potencial-do-uso-de-plantas-aquaticas-na-despoluicao-da-agua> >. Acesso em: 30 de setembro de 2017.

SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S. **Filtro plantado com macrófitas (wetlands) como tratamento de esgotos em unidades residenciais** – Critérios para Dimensionamento. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 22, Joinville, 1-30. 2003. Acesso em 10 mai, 2020.

TONETTI, A. L. et al. **Tratamento de Esgotos Domésticos em Comunidades Isoladas. Referencial para a escolha de soluções. 1ª Edição Outubro 2018**. Biblioteca Unicamp, Campinas-SP. 2018. 153 Páginas. Acesso em: 10 mai, 2020.

## ENVELHECIMENTO ACELERADO DE WHISKY ATRAVÉS DE TRATAMENTO TÉRMICO

**César S. Martini**(Centro Universitário Padre Anchieta)

**Henrique S. Omote** (Centro Universitário Padre Anchieta)

**Vanderlei de Paula** (Centro Universitário Padre Anchieta)

### RESUMO

Este artigo tem por objetivo verificar o processo de maturação do uísque, mediante o uso de técnicas de determinação de *shelf-life*. Para que essa avaliação fosse possível, a bebida foi produzida de acordo com seu processo padrão, entre os quais citamos a mosturação, fermentação do mosto, destilação do *wash*, maturação, e *blend* do produto final. Para acelerar a maturação, foram realizados dois testes com duas amostras distintas, adicionando a mesma quantidade de *chips* de carvalho americano. No primeiro, a amostra com 65% de álcool foi imersa em água a temperatura de 60°C, permanecendo nessa condição por quatro horas. No segundo a bebida passou por ciclos, ficando uma hora em 60°C e uma hora em temperatura ambiente, repetindo esse ciclo por quatro horas. Finalizado o período, foi realizada a diluição das amostras até que fossem atingidos percentuais de álcool dentro da faixa estipulada pela legislação. Para verificar a eficácia dos testes, foram realizadas análises de colorimetria e espectrofotometria das amostras coletadas, comparando-as com um uísque padrão, além disso, foram realizados cálculos de viabilidade de ambos os processos. Os resultados obtidos mostraram que, dentro do que foi analisado, é possível realizar o processo de envelhecimento rápido de uísque, atingindo padrões semelhantes ao produto avaliado.

**Palavras-chave:** Uísque; Maturação; Envelhecimento; Viabilidade; Vida de prateleira.

### ABSTRACT

This paper aims to verify the process of whiskey maturation through shelf-life determination techniques. To make this assessment possible, the beverage was produced according to its standard process, which includes the mashing, must fermentation, wash distillation, maturation, and blending of the final product. In order to accelerate maturation, two tests were performed with two distinct samples, adding the same amount of American oak chips. In the first, the sample with 65% alcohol was immersed in water at 60°C, remaining in this condition for four hours. In the second test, the drink went through cycles, staying for one hour at 60°C and one hour at room temperature, repeating this cycle for four hours. At the end of the period, the samples were diluted in order to make the alcohol percentage reach the range required by law. In order to verify the effectiveness of the tests, colorimetric and spectrophotometric analyzes of the collected samples were performed, comparing them with a standard whiskey. In addition to that, viability calculations of both processes were performed. The results show that, based on what was analyzed, it is possible to perform the whiskey rapid aging process, reaching similar standards to the evaluated product.

**Keywords:** Whiskey; Maturation; Aging; Viability; Shelf-life.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Lei nº 8918 de bebidas, publicada em 1994 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o uísque é definido como “uma bebida, com graduação alcoólica de trinta e oito a cinquenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida do destilado alcoólico simples de cereais envelhecido, parcial ou totalmente maltados, podendo ser adicionado de álcool etílico potável de origem agrícola, ou de destilado alcoólico simples de cereais, bem como de água para redução da graduação alcoólica e caramelo para correção da cor” (BRASIL, 1994).

A legislação vigente também define a bebida em quatro categorias: uísque puro malte (“*pure malt whisky*”), uísque cortado (“*blended whisky*”), uísque de cereais (“*grain whisky*”) e uísque *bourbon*, sendo os mesmos diferenciados de acordo com o coeficiente de congêneres e o tempo de envelhecimento (BRASIL, 1994).

Ainda em relação a sua regulamentação, de acordo com o Padrão de Identidade e Qualidade nº 15 de bebidas alcoólicas destiladas, publicado em 2011 também pelo MAPA, sabe-se que a bebida deve conter um limite mínimo de coeficiente de congêneres, variando de 100 a 350mg a cada 100 mL de álcool (BRASIL, 2011).

Esses congêneres são traços de componentes provenientes das matérias-primas utilizadas e dos processos de fermentação, destilação e maturação. Estes compostos conferem aos uísques suas características sensoriais únicas (FILHO, 2005, p. 391).

De acordo com a Tabela 1 abaixo, verifica-se que há uma considerável diferença no que diz respeito à presença de congêneres em um uísque puro malte e um *bourbon*, por exemplo:

Tabela 1 Concentrações dos principais congêneres voláteis (g/100L álcool absoluto) em amostras de diferentes uísques

Tipo de Uísque	Acetaldeído	Metanol	Acetato de Etila	n-Propanol	Isobutanol	2-metil-butanol	3-metil-butanol	2- e 3-metilbutanol
Escocês Puro Malte	17	6,3	45	41	80	46	130	176
Escocês de Grãos	12	8,5	18	72	68	6	17	23
Escocês Cortado	5,4	8,9	23	55	62	19	53	72
Irlandês	4,1	10	13	28	15	13	36	49
Bourbon	15	17	89	28	160	104	281	385
Canadense	13,3	7,9	7,1	6,2	6,9	5	11	16

Fonte: Venturini Filho (2005).

As diferenças relacionadas à quantidade de compostos em cada bebida se dão principalmente devido ao processo produtivo destas. De acordo com a legislação, o *bourbon* é

um estilo de uísque que obrigatoriamente tem de envelhecer em barris por no mínimo dois anos, já para o puro malte não há essa definição. Sabendo disso, é importante ressaltar que essas diferenças são de suma importância do ponto de vista sensorial, visto que compostos como acetato de etila e isobutanol carregam características de odor tradicionalmente frutado, agradável ao paladar (BURDOCK, 2005).

Do ponto de vista de mercado, os uísques estilo “*pure malt*” não entram na lista de 100 marcas de bebidas destiladas mais vendidas (FILHO, 2005, p. 385), devido ao seu elevado custo e sua característica sensorial. Já os *bourbons* aparecem em quinto colocado, com o conhecido Jim Beam, representando 5,1 milhões de caixas vendidas em 2001, conforme Tabela 2:

Tabela 2 Os cinco uísques mais vendidos no mundo (milhões de caixas contendo 9 Litros)

Posição no ranking	Marca	Categoria	Fabricante	Vendas em 2001	Mercado
10	Johnnie Walker Red Label	Escocês	Diageo	6,8	Internacional
12	Jack Daniels Tennessee	Americano	Brown Foreman	6,4	Internacional
13	J&B Rare	Escocês	Diageo	6,3	Internacional
16	Bagpiper	Indiano	UB Group	5,3	Regional
17	Jim Beam	Bourbon	Allied Domecq	5,1	Internacional

Fonte: Venturini Filho (2005).

Com um consumo de mais de 680 milhões de litros de bebidas destiladas em 2017 (EUROMONITOR, 2009), sendo o uísque o representante de 6% desse consumo trata-se de um nicho de mercado pouco explorado pelo mercado, visto que a bebida tem valor elevado e impede que a população adquira esse tipo de bebida (EUROMONITOR, 2018).

Dessa forma a elaboração de uma bebida feita sem a necessidade de longos períodos de envelhecimento, com características de um uísque estilo *bourbon* e com um baixo custo de processo é vista com bons olhos, de forma a fomentar um mercado pouco valorizado em relação a outras bebidas destiladas, como a vodca e a cachaça.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Uísque

O mercado de uísque vem crescendo nos últimos anos. Em 2014, essas vendas aumentaram 30% em relação ao ano anterior, seguido pela vodca, com um aumento de 12% (NIELSEN, 2014).

Segundo relatório da Organização Mundial de Saúde (OMS) de 2018, as bebidas destiladas correspondem ao tipo de bebida mais consumido no mundo, com 44,8% do consumo, seguido da cerveja, com 34,3% e do vinho, com 11,7% (OMS, 2018).

Escócia, Irlanda, Canadá, EUA e Japão são os principais países produtores de uísque no mundo, mas apenas os quatro primeiros países têm desenvolvido produtos tradicionais a partir de cereais obtidos de sua agricultura local (FILHO, 2005, p. 386). Na Europa a produção da bebida está presente em diversos outros países, tais como Inglaterra, Áustria, Bélgica, Espanha, Finlândia, Holanda, Letônia, República Checa, Suécia e Suíça (ARTHUR, 2011).

Além disso, em termos de receita, os valores obtidos pela comercialização de uísque no mercado nacional aumentaram 34% no período de 2000-2005, chegando a um faturamento de R\$ 2 bilhões em 2005 (FILHO, 2005, p. 388).

Diante de um mercado nacional próspero e com a tendência de consumo da bebida, a busca por um processo produtivo que desenvolva uma bebida com características sensoriais próximas aos uísques renomados, com valor reduzido, é vista como atrativa para a indústria.

De maneira geral, uísque é uma bebida produzida a partir da fermentação de grãos de cereais, os quais apresentam de 40% a 90% de sua massa seca constituída por amido (PANEK, 1989, p. 167). Em suma, o processo produtivo da bebida se baseia na maltagem da cevada, seguida da mosturação, destilação do mosto, maturação, corte (ou *blend*), filtração e envase da bebida.

#### 2.1.1 Maltagem

A maltagem é um processo que tem por finalidade elevar o conteúdo enzimático dos grãos de cevada (ou qualquer outro cereal) por meio da síntese de amilases, proteases, glucanases e de outras enzimas, aumentando assim, seu poder diastático (PANEK, 1989, p. 167). São essas enzimas sintetizadas que serão responsáveis por quebrar as longas cadeias de amido presentes no grão, proporcionando uma fermentação mais rápida e eficiente.

### 2.1.2 Mosturação

A cevada maltada é moída e misturada com a água na tina de mostura, e nas condições ideais, as enzimas do malte de cevada fazem a hidrólise do amido em açúcares solúveis (GOODWIN, FINLAYSON, LOW, 2011). A cevada maltada possui as enzimas responsáveis pela hidrólise enzimática do amido, sendo a  $\beta$ -amilase a principal delas. Nesse sentido é importante salientar que para essa enzima a faixa de temperatura ótima é de 60 a 65°C e o pH de atuação de 5,4 a 5,6 (BORTOLI et al., 2013).

### 2.1.3 Fermentação

A etapa de fermentação na produção de uísque é similar a qualquer outra fermentação alcoólica, em que os açúcares obtidos a partir da hidrólise do amido dos grãos são metabolizados pelas leveduras e convertidos em etanol, dióxido de carbono, subprodutos e material celular (TSCHOPE, 2001). Para o processo produtivo, é utilizada a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, a qual realizará a fermentação alcoólica do mosto doce, transformando-o em *wash*.

Vale ressaltar que a temperatura de fermentação deve ser controlada, sendo mantidos 30°C de processo, de forma a colaborar com a formação dos álcoois superiores, os quais desempenham papel importante no aroma de bebidas destiladas (MERRIT, 1966).

### 2.1.4 Destilação

Finalizada a fermentação, o processo pode seguir para a etapa seguinte. A destilação é o processo de separação utilizado para fracionar, separar os constituintes da bebida. A separação baseia-se na volatilidade de cada componente da mistura e as correntes de processo podem ser separadas em componentes mais “leves” e componentes mais “pesados” (GAUTO, ROSA, 2011, p. 87).

Em linhas gerais, o processo de destilação pode ser feito de duas formas, a destilação contínua e a descontínua. Para a destilação contínua, os destiladores de coluna são normalmente usados para produzir destilados suaves de grãos para cortes, e, ocasionalmente, para produzir destilados a serem consumidos como tal (FILHO, 2005, p. 405).

No caso de uísques puros de malte a destilação descontínua é o processo mais usual. O equipamento consiste em uma caldeira, onde se introduz o mosto e inicia-se o aquecimento. Na parte superior há o “capacete”, que fará a condensação do líquido. Posteriormente o destilado passa por um tubo de cobre (“pescoço de cisne”), o qual se prolonga em uma

serpentina imersa em um tanque de água fria, denominado refrigerante. Os equipamentos nesse processo são normalmente construídos em cobre, material que, além de ser bom condutor de calor, apresenta elevada resistência ao desgaste e é maleável. Além disso, o cobre é capaz de influenciar no sabor do destilado, pois esse material ajuda na remoção de compostos de enxofre (FILHO, 2005, p. 405).

Em bebidas destiladas como o uísque, o método de destilação utilizado é o da “dupla destilação”. Na primeira destilação é realizado o esgotamento de todo o etanol, sem cortes, até que o destilado de saída apresente 21% de etanol, sendo chamado de *low wines* (PIGGOT, CONNER, 2003).

A segunda destilação (dos vinhos fracos) é seletiva e requer um elevado nível de controle e de habilidade do operador. Durante essa etapa, são coletadas três frações: a cabeça, o coração (uísque) e a cauda. A seleção dos pontos de corte do começo e do fim da coleta do coração é decisiva para a qualidade do produto final e varia para cada destilaria (PIGGOT, CONNER, 2003).

Com relação à “cabeça” sabe-se que a mesma corresponde a aproximadamente 15% do destilado inicial. O líquido obtido nessa etapa possui alto percentual de álcool, variando entre 75-80% (YASUDA, 2015). Além disso, a mesma pode conter vários componentes secundários obtidos na fermentação do mosto, como acetaldeídos, com característica ácida e adstringente (LÉAUTÉ, 1990) e metanol (tóxico se ingerido), sendo necessário seu descarte ou reciclagem no processo.

Já em relação à “cauda”, é importante ressaltar que a mesma deve ser retirada devido à presença de compostos indesejáveis no produto. Nesse contexto, o ácido acético, por ter ponto de ebulição maior que o da água e ser muito solúvel nela, é volatilizado preferencialmente ao final do processo de destilação, acumulando-se na cauda do destilado (FILHO, 2005, p. 406).

### **2.1.5 Maturação / Envelhecimento**

A maturação é uma etapa importante no desenvolvimento do sabor, uma vez que os uísques recentemente destilados geralmente apresentam características sensoriais inaceitáveis. Por esse motivo, os destilados são maturados em barris (tonéis) de carvalho para que desenvolvam um sabor agradável. O tempo de maturação varia de acordo com as legislações de cada país, no Brasil o tempo mínimo para uísques de grãos e *bourbons* é de, no mínimo, 2 anos. Para uísques puro malte não há essa definição na legislação nacional (BRASIL, 1994).

O carvalho é constituído de aproximadamente 45% m/m de celulose, 15% m/m de hemicelulose, 30% m/m de lignina e 10% m/m de uma fração composta por óleos voláteis, ácidos voláteis e não voláteis, açúcares, esteróis, taninos, pigmentos e compostos inorgânicos (FILHO, 2005, p. 407). São as características da madeira, somados a concentração de álcool do destilado (concentração influencia na quantidade e na composição dos componentes de madeira extraídos na maturação), às reações ocorridas no decorrer do tempo de envelhecimento, além da superfície de contato entre a bebida e a madeira que proporcionarão as características únicas da bebida.

Com a relação de superfície de contato, sabe-se que em barris pequenos, onde a essa área é maior, a extração dos compostos da madeira é mais rápida, fazendo com que a bebida atinja os padrões sensoriais rapidamente. Nesse sentido, estudos vêm sendo realizados com a adição de fragmentos de madeira dentro do destilado ao invés da inserção da bebida em barris de madeira, no qual há um aumento substancial na superfície de contato bebida/barril e, dessa forma, proporciona uma maior extração dos compostos derivados das lenhinas presentes no carvalho, as quais possuem fenóis voláteis semelhantes à baunilha (CALDEIRA et al, 2009).

Ainda com relação a esse envelhecimento, a utilização de técnicas de conservação de alimentos como a pasteurização a 60°C, conhecida como *Low Temperature Long Time*, pode colaborar com esse envelhecimento, promovendo não apenas a destruição de prováveis micro-organismos patogênicos e deteriorantes, mas também colaborando com o envelhecimento acelerado da bebida. Em estudos realizados na Paraíba, verificou-se que a realização desse aquecimento prévio por duas horas, somados ao controle de temperatura ambiente e umidade colabora no desenvolvimento das características organolépticas de bebidas alcoólicas. (OLIVEIRA, 2015).

Dessa forma, entende-se que a combinação: aumento da superfície de contato, maturação com teor alcoólico alto, utilização de técnicas de aumento de *shelf-life* como a pasteurização podem propiciar na produção de uma bebida semelhante às bebidas comumente encontradas no mercado, as quais passam por longos períodos de envelhecimento e tem alto custo.

### **2.1.6 Corte / Mistura**

Basicamente, o corte consiste na mistura, em diferentes proporções de um destilado pouco encorpado (destilador contínuo) com vários destilados fortemente encorpados (destilador descontínuo), visando a obtenção de um produto consistente, de sabor

característico (FILHO, 2005, p. 408). Essa avaliação das proporções é feita por especialistas, os quais possuem muitos anos de experiência e treinamento dentro das indústrias, fazendo com que esse *blend* produzido tenha as características padrões da bebida.

Visto que a bebida é envelhecida com um percentual de álcool acima do permitido pela legislação, faz-se necessária a diluição da bebida através da adição de água. Para evitar precipitados no uísque, a água a ser usada nas diluições deve ser preferencialmente desmineralizada (FILHO, 2005, p. 408). Nessa etapa também pode ser adicionado corante caramelo para padronização de cor (BRASIL, 1994).

### 2.1.7 Filtração

Finalizada a etapa de corte, a bebida pode passar pela última etapa do processo, a filtração. A etapa tem como objetivo remover o material particulado a fim de que o produto se torne claro e translúcido para o consumidor (FILHO, 2005, p. 408). Apesar de não ser obrigatória, a maioria dos uísques passam por essa etapa, de forma a reduzir o risco de formação de turbidez. Depois de filtrada, a bebida é devidamente envasada e já pode ser comercializada.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O produto deste trabalho foi desenvolvido com materiais encontrados em qualquer loja de insumos cervejeiros, sendo os principais insumos utilizados, o malte do tipo *pilsen*, levedura tipo *ale* US-05, chips de carvalho americano com torra média. Os equipamentos foram aproveitados de um kit básico de produção de cerveja com painéis de controle de temperatura automático para quarenta litros úteis, tanque fermentador de setenta e cinco litros e destilador de cobre com capacidade de trinta litros. O destilador em questão foi adaptado para manter a água refrigerante abaixo dos vinte graus Celsius.

Na etapa de mosturação, foram produzidas duas bateladas idênticas de trinta litros. Para cada batelada, foram moídos 10 kg e meio de malte tipo *pilsen* e adicionado a três litros de água a 64°C para cada quilograma de malte, ou seja, 30 litros, medida essa corroborada por vários mestres cervejeiros para não comprometer a atuação das enzimas (beta-amilases, considerando a temperatura), além de reservar significativa quantidade de água secundária.

Vale ressaltar que a temperatura é a principal variável utilizada para selecionar as enzimas que atuarão no mosto. A Tabela 3 mostra as principais enzimas presentes no malte, assim como suas condições ideais de atuação:

Tabela 3 Principais enzimas presentes no malte

Enzima	Temperatura ótima (°C)	pH ótimo	Substrato
Hemicelulases	40 a 45	4,5 a 4,7	Hemiceluloses
Exopeptidases	40 a 50	5,2 a 8,2	Proteínas
Endopeptidases	50 a 60	5	Proteínas
Dextrinase	55 a 60	5,1	Amido
Beta-amilase	60 a 65	5,4 a 5,6	Amido
Alfa-amilases	70 a 75	5,6 a 5,8	Amido

Fonte: Bortoli et al., 2013

Conforme tabela, uma melhor atuação da  $\beta$ -amilase se dá em 64°C. Dessa forma a temperatura foi mantida durante uma hora e trinta minutos até que o teste de lugol estivesse satisfatório. Basicamente, o teste de lugol consiste na reação do iodo com a amilose e amilopectina resultando uma alteração de coloração do vermelho para tons azulados. A não alteração de cor indica que não há presença de amido, apenas carboidratos menos complexos que serão fermentados.

Realizado o teste do lugol, a temperatura do mosto foi aumentada para 78°C, mantendo-a nessa condição por 10 minutos com o objetivo de desnaturar as enzimas, processo importante para ter reprodutibilidade em lotes posteriores. Vale dizer que temperaturas muito altas podem extrair taninos da casca do grão, os quais devem ser baixos no mosto. Segundo estudos da EMBRAPA com vinhos, os elevados teores de taninos são responsáveis pela produção de gosto amargo desagradável no destilado (EMBRAPA, 2008).

No próximo passo, é feita uma recirculação do líquido para que o próprio bagaço do malte se torne um meio filtrante e possibilite a separação dos grãos e do mosto líquido. Logo em seguida foram adicionados 16 litros de água a 78°C para “lavar” o bagaço e aumentar a extração dos açúcares.

O bagaço de malte retém em média um litro de água por quilograma, portanto, 40 litros de mosto total são fervidos durante 30 minutos. A fervura tem o objetivo principal de esterilizar o mosto e volatilizar alguns compostos indesejáveis como diβmetilsulfito comumente chamado de “DMS” que é produzido durante a fervura e rapidamente evaporado (RIBEIRO, 2009, p. 59).

Antes de resfriar, o mosto passa pelo processo chamado *whirlpool*, uma técnica simples, onde o mosto é rotacionado até formar um vórtex. As partículas de proteínas coaguladas, restos de lúpulo e sedimentos aglomeram no centro da panela, diminuindo assim a passagem de compostos que saem pela válvula lateral do recipiente.

O resfriamento foi feito com ajuda de uma serpentina de alumínio imersa em água com gelo até que chegue a uma temperatura abaixo de 30°C para ser inoculado com 23 gramas de levedura tipo *ale* US-05.

Para ter uma estimativa teórica de graduação alcoólica, além de uma estimativa de rendimento, é aferida a densidade antes e depois da fermentação. Apesar de recomendada pela literatura uma fermentação acima de 30°C, foi utilizada temperatura de 18°C a qual é recomendada pelo fabricante da levedura, tendo sua duração de 10 dias.

Os 60 litros de *wash* foram destilados em duas bateladas e produziram 20 litros de *low wine* que, por fim, foram destilados da seguinte forma: foram eliminados os 15 primeiros minutos de destilado, reservando os próximos 1,2 litros para serem usados na maturação e o restante descartado, sendo dividida a cabeça, coração e cauda respectivamente. A Figura 1 expressa o procedimento adotado, o qual segue conforme literatura de Varnam e Sutherland (1994):

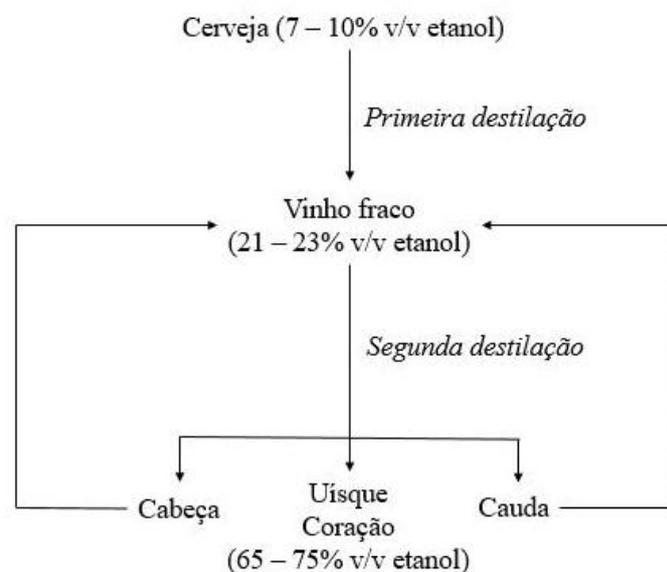


Figura 1 Fluxograma Processo Destilação

Fonte: Varnam e Sutherland (1994)

Na maturação, foram divididas duas amostras de 600 ml de destilado com 65% de álcool e nomeados como T1 e T2. Em cada amostra foram adicionados 6 gramas de chips de carvalho americano, número esse proveniente de uma estimativa da superfície de contato de um barril de 230 litros de carvalho. Para os cálculos, foram considerados 56 cm de diâmetro e 95 cm de comprimento, ou seja, 21.640cm<sup>2</sup> de área total por 230 litros, sendo obtidos 94cm<sup>2</sup> por litro. Foi feito então um quadrado aproximado de 7 cm de lado de chip de carvalho, totalizando 49 cm<sup>2</sup>, considerando apenas os 2 lados das lascas, obtendo-se 98cm<sup>2</sup> de superfície de contato por litro. Pesando essa quantidade, chega-se ao número de 10 gramas por litro, ou 6 gramas por 600ml.

O T1 foi deixado maturando a 60°C durante 4 horas (simulação de uma pasteurização *LTLT*) e o T2 foi submetido a ciclos de 1 hora a 60°C e 1 hora à temperatura ambiente até que também fossem completadas 4 horas de processo. Ao final desse período, foram adicionados 400mL de água na amostra, a diluição foi feita para correção da graduação alcoólica, passando de 65% para 39%. O valor alcançado deixou a bebida em um ABV dentro da faixa vigente pela legislação.

Uma das maneiras de se verificar a eficácia dos testes realizados seria a realização de análises colorimétricas e espectrofotométricas das amostras, as quais, em teoria, deveriam ter resultados semelhantes aos produtos existentes no mercado.

A colorimetria é a técnica que quantifica a cor medindo os três componentes primários da luz que são vistas pelo olho humano, mais especificamente; vermelho, verde e azul. Além disso, o colorímetro (equipamento responsável pela análise) também analisa a luminosidade, - ou claridade da amostra - variando entre o branco e o preto (MINOLTA, 2018). No estudo, a técnica foi utilizada para avaliar o produto final, comparando os dois testes realizados a um padrão de mercado e calculando a diferença de cor entre os mesmos. O equipamento utilizado para tal foi o Colorímetro Konica Minolta CR-400<sup>®</sup>. Posteriormente, com auxílio da plataforma Photoshop<sup>®</sup> seria possível isolar as cores obtidas, colocando-as em um plano 2D.

Quanto à espectrofotometria, define-se a mesma como responsável por medir a luz refletida ou transmitada de um objeto em todos os comprimentos de onda do espectro visível ao olho humano, permitindo a especificação precisa de qualquer cor (MINOLTA, 2018). Essa análise seria realizada utilizando as amostras coletadas durante o processo de maturação, avaliando a variação de cor no decorrer do tempo de processo. O equipamento utilizado para a análise foi o espectrofotômetro CELM - Modelo Smart.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise graduação alcoólica (ABV)

A graduação alcoólica foi medida de duas formas diferentes. Para a primeira etapa, de fermentação, é feito uma estimativa de acordo com a densidade inicial chamada OG e a densidade final chamada FG (SCHLÜTER, 2019), utilizando a seguinte equação:

$$ABV = (OG - FG) * 131,25 \quad (I)$$

Onde: ABV = graduação alcoólica / OG = densidade original em gravidade específica / FG = densidade final em gravidade específica

De forma a facilitar as análises, na etapa de destilação, o ABV foi medido diretamente através de um alcoômetro e uma proveta. A Tabela 4 reúne os dados obtidos neste processo:

Tabela 4 Dados Fermentação / Destilação

Descrição	Valor
OG	14,50
FG	2,50
ABV do <i>wash</i>	6,6%
ABV do <i>low wine</i>	15,0%
ABV do destilado	65,0%
ABV do uísque pronto	39,0%

### 4.2 Análise colorimétrica:

Para avaliar se a cor atingida no final do processo teve um resultado considerado padrão, foi necessária a realização de análise colorimétrica das amostras (T1 e T2), comparando-as a um padrão conhecido no mercado (P). Visualmente, verifica-se que as amostras possuem características semelhantes entre si conforme Figura 2:



Figura 2 Comparativo visual: Padrão, Teste 1 e Teste 2

Com auxílio de colorímetro, os dados obtidos foram expressos na escala L\*, a\*, b\*, conforme Tabela 5:

Tabela 5 Resultados análises colorimétricas

	P	T1	T2
L*	83,56	82,86	83,27
a*	-1,64	-0,53	-0,38
b*	11,12	8,11	6,76

De acordo com os dados contidos no manual do equipamento, a escala L\* representa a luminosidade da amostra, de forma que quanto mais próximo o valor atingido está de 100, mais próximo do branco encontra-se o produto. Já em relação ao a\*, quanto maior a tendência do resultado a um valor negativo a cor da amostra tende ao verde, enquanto b\* varia entre o azul (negativo) e amarelo (positivo).

Dessa forma, verifica-se que há uma tendência das amostras em atingir valores próximos ao amarelo com luminosidade maior, assim como é notada uma variação do parâmetro b\*, indicando que os testes estão menos amarelos que o padrão analisado, sendo T2 a amostra que tem uma maior diferença. O gráfico abaixo expressa a divergência citada:

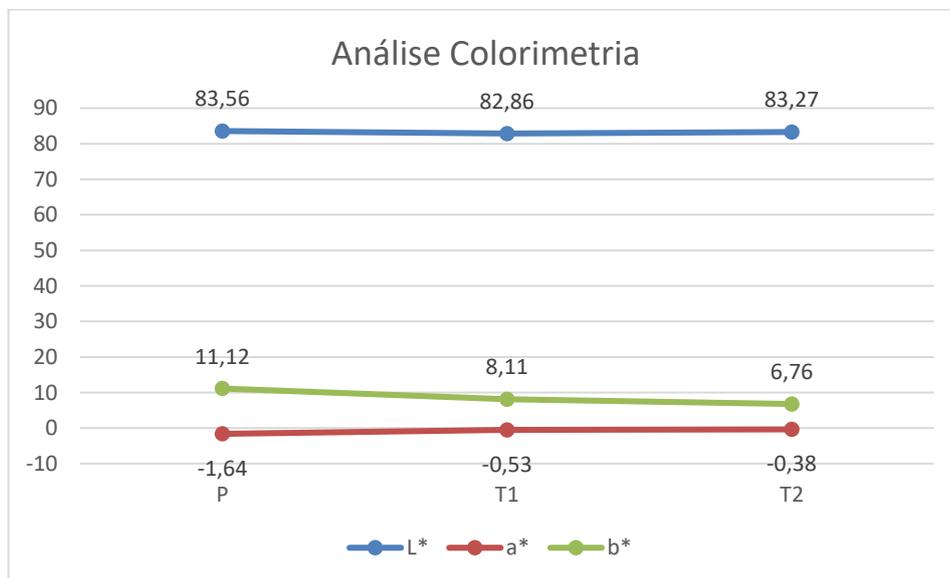


Figura 3 Gráfico Resultados Colorimetria

A variação pode ser explicada pelo fato de que T2 teve um período menor em temperatura de aquecimento, culminando em uma extração menor dos compostos de cor existentes no carvalho adicionado nas amostras. Vale dizer que os valores L\* e a\* atingiram valores semelhantes entre si, apresentando resultados satisfatórios comparados ao padrão avaliado.

Com os resultados obtidos e com o auxílio da metodologia do fornecedor do colorímetro (MINOLTA, 2013), é possível calcular a diferença real de cor entre as amostras, obedecendo a fórmula abaixo, onde  $\Delta E^*$  representa a diferença total de cor:

$$\Delta E^* = [\Delta L^*^2 + \Delta a^*^2 + \Delta b^*^2]^{1/2}$$

Utilizando a fórmula acima, os seguintes resultados foram obtidos:

$$\Delta E^*_{P/T1} = 4,82$$

$$\Delta E^*_{P/T2} = 5,81$$

Os resultados mostram que T1 teve uma maior similaridade de cor com o padrão do que em relação a T2. Dessa forma, pode-se dizer que, do ponto de vista de cor, o melhor processo de extração é o realizado em T1 (aquecimento a 60°C durante quatro horas).

Para facilitar a visualização das cores das amostras, foi possível isolar as mesmas com auxílio de Photoshop®. A Figura 4 mostra que realmente há uma diferença entre as amostras em relação ao padrão:



Figura 4 Comparativo cores – Uso Photoshop

### 4.3 Espectrofotometria

Primeiramente foi feito uma varredura do T1 com 1 hora de maturação do comprimento de onda de 350 nm até 1000 nm de 10 em 10 nm para encontrar a evidência de determinados compostos e, conforme abaixo, o gráfico gerado teve pico entre 350 nm e 380 nm.

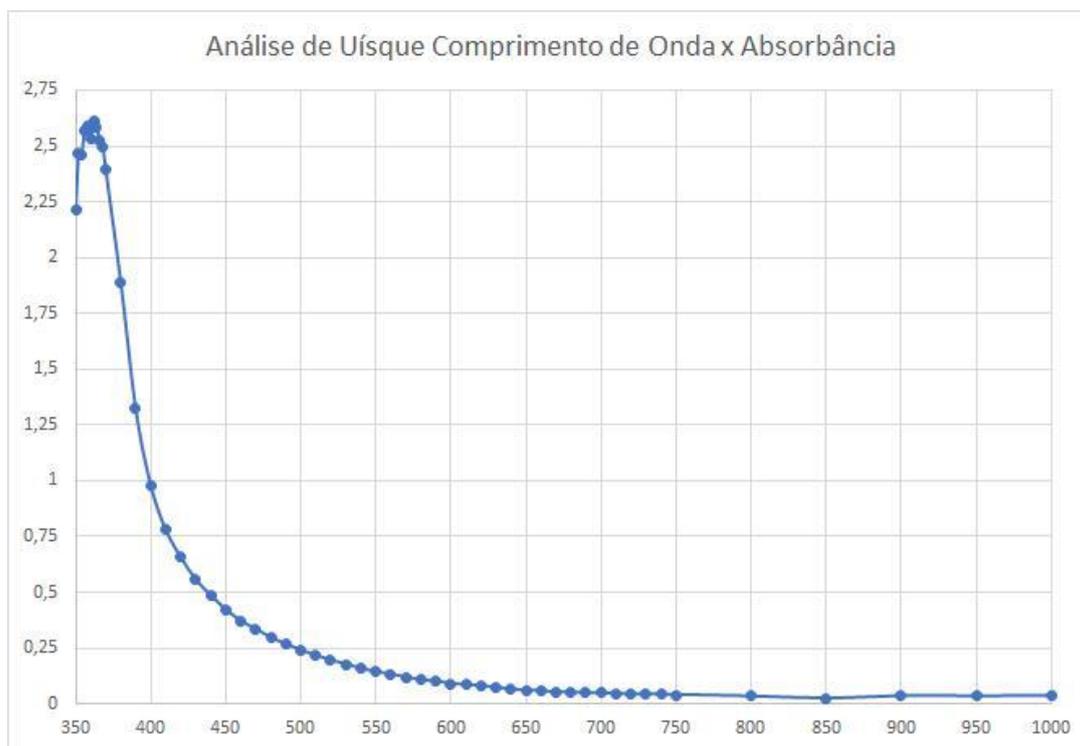


Figura 5: Análise de Uísque - Comprimento de onda x absorbância

Essa absorbância evidenciada na faixa específica de comprimento de onda de 350-380nm se dá devido a presença de compostos que conferem a cor da amostra: cromatos ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) e dicromatos ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ), os quais, em solução aquosa, apresentam coloração amarela e laranja, respectivamente (MARTINS, 2017). Além disso, de acordo com a metodologia da referida análise, verifica-se que as demais moléculas dos compostos existentes na bebida são excitadas ao serem expostas aos comprimentos de onda, gerando os picos no gráfico. A determinação/quantificação desses compostos pode ser feita através de análise cromatográfica.

No próximo gráfico, foi realizada uma análise do T1 durante os tempos de maturação e do T2 na faixa de 350nm a 380nm, onde o equipamento mostrou maiores picos.



Figura 6 Análise Comparativa - Amostras coletadas no decorrer do teste

Pode-se perceber que ao passar do tempo, os picos e vales se tornam mais definidos, com alguns picos se esvaindo e outros se formando. O resultado demonstra que, ao longo das 4 horas, os compostos existentes na amostra são consumidos, dando lugar a produção de outros.

Evidencia-se também uma queda na absorvância das amostras conforme o comprimento de onda se aproxima de 380nm, ou seja, a presença de compostos que seriam absorvidos em um comprimento de onda maior inexistem na amostra.

Ainda em relação à espectrofotometria, vale dizer que estudos vêm sendo realizados utilizando essa mesma análise para discriminar as marcas de uísque no mercado, além de detectar possíveis fraudes na bebida (MARTINS, 2015).

#### 4.4 Sensações

Finalizado os testes, evidenciou-se que T1 teve sua aparência mais turva, com a cor mais próxima do padrão, porém com sabor mais adstringente, enquanto T2 teve a aparência mais translúcida e menos adstringente. Essa diferença se dá devido à extração de polifenóis, tais como os taninos, que aumentam conforme o tempo de exposição do produto a temperaturas elevadas. A Tabela 6 apresenta o resumo das percepções:

Tabela 6 Percepções avaliadas

Teste	Método	Cor	Sabor	Sensação de Adstringência
-------	--------	-----	-------	---------------------------

Padrão	Padrão	Padrão	Padrão	Ausente
T1	60°C por 4h	Ligeiramente menos amarelado	Característico	Presente
T2	Ciclos de 60°C/Ambiente	Menos amarelado	Característico	Ausente

#### 4.5 Cálculos

Considerando o laudo do fornecedor (AGRARIA, 2019), o malte tem 80,5% de extrato seco e um rendimento esperado de 76,6%. Como foi utilizado 10kg de malte em cada batelada, teoricamente o mosto deveria ter 6,166 kg de sólidos solúveis em 30 litros, ou seja, 20,55° Brix antes da fermentação (OG).

Na prática, foi obtida uma OG de 14,50° Brix, o que representa 70,55% de rendimento real, considerando os 20,55° Brix como total. Esta perda tem várias influências, as principais são moagem, taxa de conversão enzimática, açúcar acumulado no bagaço, perda de mosto da diferença de altura das válvulas e o fundo das panelas e perda do *chiller*.

Considerando a equação e o FG de 2,5° Brix, a graduação alcoólica do *wash* foi de aproximadamente 6,6%. Vale ressaltar que os cálculos de ABV foram feitos com as unidades em gravidade específica, medidas pelo densímetro, já que o refratômetro teria um desvio na medição, justamente por ter uma quantidade de etanol significativa.

Os 60 litros de *wash* a 6,6% de álcool, geraram 20 litros de *low wine*, com 15%, não sendo evidenciadas quaisquer perdas na primeira destilação, diferente da segunda destilação que teve a cabeça e a cauda descartada originando 1,2 litros a 65% de álcool realmente aproveitado. O rendimento, dessa forma, teve valor de cerca de 20%.

No processo de maturação não houve perdas significativas, e logo após, foi feito um ajuste de volume com água potável, assim como é feito nas destilarias de uísque.

As maturações com tempo de 4 horas podem aumentar a produção em 800 vezes ao longo de dois anos, considerando duas maturações por dia, 200 dias por ano, além de poder gerar fluxo de caixa antecipadamente.

Por fim, as Tabelas 7 e 8 ilustram os custos totais para a fabricação de 2 litros de bebida e os custos do equipamento. Verifica-se que o custo do produto (desconsiderando embalagens e gestão visual) seria de  $\approx$  R\$ 46,00/L, valor cerca de 50% menor do que o padrão avaliado nos testes (Jameson Whiskey – R\$ 100,00/L), o qual é envelhecido por 8 anos:

Tabela 7 Cálculos Insumos - Produção Acelerada

Descrição	Quantidade	Valor Total
Água	Menos de 1m <sup>3</sup>	R\$ 5,25

Energia	5h com resistência 4kw	R\$ 11,40
Malte	10 kg	R\$ 57,36
Levedura	11,5 gramas	R\$ 17,57
<b>Total (2L)</b>		<b>R\$ 91,58</b>

Tabela 8 Custos Equipamento

Descrição	Valor
Kit cervejeiro 30 litros	R\$ 593,96
Destilador de 30 litros	R\$ 2.150,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 2.743,96</b>

## 5. CONCLUSÕES

Devido ao longo período de maturação, podendo chegar a mais de dezoito anos, o uísque é uma bebida que tem elevado custo para o consumidor final, sendo a maturação a etapa de maior valor agregado. O presente trabalho teve objetivo de avaliar se a utilização de métodos de aumento de *shelf-life* poderia implicar em um envelhecimento rápido de um uísque puro malte, bebida comumente produzida com longos anos de maturação.

Para acelerar essa maturação, um destilado de cereais foi produzido, onde posteriormente dois processos de maturação acelerada foram utilizados: O primeiro contemplava o aquecimento do destilado em temperatura de pasteurização (60°C) por quatro horas (T1), já o outro previa a realização de ciclos, intercalando temperatura ambiente e aquecimento a mesma temperatura do teste anterior (T2). Ambas as amostras tiveram chips de carvalho adicionados nos recipientes em mesma proporção.

Do ponto de vista sensorial, verificou-se que os melhores resultados foram evidenciados em T2 devido à ausência de adstringência na amostra. Nesse sentido, foi verificado que T1 apresentou essa sensação devido ao longo período em que o destilado ficou em aquecimento junto com os chips de carvalho, que culminou em uma maior extração de polifenóis, como os taninos.

Em relação à cor das amostras, viu-se que ambas as amostras tiveram coloração inferior ao do padrão avaliado, sendo T1 a amostra com maior proximidade ao padrão. Apesar do problema encontrado, é sabido que, de acordo com legislação vigente, a padronização da cor pode ser feita através do uso de corante caramelo.

Os resultados de espectrofotometria apontaram picos em comprimentos de ondas específicos, contudo, a elucidação de quais compostos foram encontrados será comprovada através de cromatografia.

Os custos de processo tiveram valores pouco acima do esperado, mas ainda assim viáveis, devido ao grande aumento de produtividade e por proporcionar uma lucratividade desde os primeiros meses, não havendo necessidade de ter um produto “parado” em estoque, aguardando o tempo de maturação.

Em um segundo ciclo de estudo, uma Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) será realizada, a qual apontará quais os compostos de aroma e sabor (congêneres) foram formados em cada um dos processos, sendo possível comparar os testes aos produtos do mercado. Além disso, uma análise sensorial com avaliadores devidamente especializados na área de destilados também será feita, de forma a verificar as diferenças notadas e a preferência do público.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRARIA. **Malte Pilsen:** Extrato Seco. 2019. Disponível em: <<http://www.agraria.com.br/malte/pilsen>>. Acesso em: 09 set. 2019.

ARTHUR, Helen. Whisky de A a Z: o guia perfeito para o bom apreciador. Belo Horizonte: Gutenberg, 2011.

BRASIL. Constituição (1994). Lei nº 8918, de 14 de julho de 1994. DISPÕE SOBRE A PADRONIZAÇÃO, A CLASSIFICAÇÃO, O REGISTRO, A INSPEÇÃO, A PRODUÇÃO E A FISCALIZAÇÃO DE BEBIDAS. **Legislação Bebidas**. Distrito Federal, DF, Disponível em: <[http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw\\_Identificacao/lei%208.918-1994?OpenDocument](http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/lei%208.918-1994?OpenDocument)>. Acesso em: 10 ago. 2019.

BRASIL. Constituição (2011). Instrução Normativa nº 15, de 31 de março de 2011. O MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Anexo do Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009. **Instrução Normativa Bebidas Alcoólicas:** MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Distrito Federal, DF, Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/instrucao-normativa-no-15-de-31-de-marco-de-2011.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

BORTOLI, Daiane A. da S. et al. **Leveduras e produção de cervejas:** Revisão. 2013. FATEC - Piracicaba. Disponível em: <<http://www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/77/49>>. Acesso em: 09 set. 2019.

BURDOCK, G.A. (ed.). **Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients**. 5th ed. Boca Raton, FL 2005, p. 920. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Isobutanol>.

EMBRAPA. **Sistema de Produção de Destilado de Vinho**. 2008. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Vinho/SistemaProducaoDestiladoVinho/elaboracao.htm>. Acesso em: 08 set. 2019

EUROMONITOR. **Consumo Bebidas Destiladas - Brasil**. 2009. Euromonitor. Disponível em: <https://m.folha.uol.com.br/comida/2009/04/549273-recife-tem-o-maior-consumo-de-uisque-do-mundo-diz-revista-especializada.shtml>. Acesso em: 11 ago. 2019.

EUROMONITOR. **Consumo Bebidas Destiladas - Brasil. 2018**. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/brasil-e-o-10-maior-mercado-de-vodca-a-bebida-anfitria-da-copa.ghtml>. Acesso em: 11 ago. 2019.

FILHO, Waldemar Gastoni. **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2005. p. 385-409;

GAUTO, Marcelo Antunes; ROSA, Gilber Ricardo. **Processos e Operações Unitárias da Indústria Química**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2011. p. 87.

GOODWIN, J. A. S.; FINLAYSON, J.M.; LOW, E. W. **A further study of the anaerobic biotreatment of malt whisky distillery pot ale using an USAB system**. Bioresource Technology, v. 78, p. 155-160, 2011.

I, CALDEIRA et al. **ENVELHECIMENTO ACELERADO DE AGUARDENTES VÍNICAS NA PRESENÇA DE FRAGMENTOS DE MADEIRA. INFLUÊNCIA NOS COMPOSTOS ODORANTES**. 2009. IPCB. Disponível em: <https://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/1961/1/Caldeira%20et%20al%202009%20QA.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2019.

KONICA MINOLTA. **Controle de Cor Na Indústria Alimentícia: A Cor Da Qualidade**. Disponível em: <http://sensing.konicaminolta.com.br/learning-center/case-studies/FoodIndustryApps.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2019.

KONICA MINOLTA. **Entendendo o Espaço de Cor L\*a\*b\***. 2013. Disponível em: <http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>. Acesso em: 30 ago. 2019.

LÉAUTÉ, R.; Am. J. Enol. Vitic. 1990, 41, 103.

MARTINS, Angélica Rocha. **Desenvolvimento de método para discriminação entre marcas de uísque e identificação de adulteração por espectroscopia UV-Vis e PLS-DA**. 2015. Universidade de Brasília - Instituto de Química. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/80745653.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.

MARTINS, Jefferson Willian. **ESPECTROFOTOMETRIA DE UV-VIS**. 2017. UFJF. Disponível em: <http://www.ufjf.br/baccan/files/2010/10/Espectrofotometria-de-UV-Vis-aula-2.pdf>. Acesso em: 12 set. 2019.

MERRIT, N. R. Influence of temperature on some properties of yeast. **J. Inst. Brew.**, v.72, p.374-383, 1966.

NIELSEN: Consumo Bebidas Destiladas - Brasil. **Consumo Bebidas Destiladas - Brasil**. 2014. Nielsen. Disponível em: <<http://www.pautasdeguarda.com.br/n/clipping-crescimento-da-renda-faz-crescer-a-procura-por-bebidas-destiladas/>>. Acesso em: 10 set. 2019.

OLIVEIRA, Emanuel N. A. de et al. **Estabilidade física e química de licores de graviola durante o armazenamento em condições ambientais**: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2015. Agriambi. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v19n03/v19n03a08.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2019.

OMS. **Relatório Global sobre Álcool e Saúde**: OMS. 2018. Organização Mundial de Saúde. Disponível em: <<http://www.cisa.org.br/artigo/10049/relatorio-global-sobre-alcool-saude-2018.php>>. Acesso em: 11 ago. 2019.

OSWALDO CRUZ. **Acetato de Etila**. 2003. Disponível em: <<https://www.oswaldocruz.br/download/fichas/Acetato%20de%20etila2003.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

PANEK, R. J.; BOUCHER, A. R. **The Science and technology of whiskies**. Ed. By Piggot, J. R.; Sharp, R.; Duncan, R.E.B. London: Longman, 1989. p. 167;

PIGGOTT, J. R.; CONNER, J. M. **Whiskies**. In: LEA, A.G.H.; PIGGOTT, J. R. (Ed.) Fermented beverage production. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Klumer Academic, 2003. Cap. 11, p. 239-262.

RIBEIRO, Bruno M. G. **Optimização energética da etapa de ebulição do mosto, mantendo a estabilidade coloidal da cerveja**. 2009. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57588/1/000136529.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2019.

SCHLÜTER, Jéssica Moreira. **ELABORAR O PROCESSO DE OPERAÇÃO PADRÃO E APLICAR O CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO NAS ETAPAS DE BRASSAGEM E FERMENTAÇÃO EM UMA CERVEJARIA**. 2019. UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/7627/ELABORAR%20O%20PROCESSO%20DE%20OPERA%20O%20PADR%20O%20E%20APLICAR%20O%20CONTROLE%20ESTAT%20ISTICO%20DO%20PROCESSO%20NAS%20ETAPAS%20DE%20BRASSAGEM%20E%20FERMENTA%20EM%20UMA%20CERVEJARIA.pdf?sequence=5&isAllowed=y>>. Acesso em: 08 set. 2019.

TSCHOPE, E. C. **Microcervejarias e Cervejarias. A história, a arte e a tecnologia**. São Paulo, ed. Aden, 2001. 223p.

VARNAM, A. H.; SUTHERLAND, J. P. Alcoholic beverages: distilled spirits. In: ---. **Beverages: Technology, chemistry and microbiology**. London: Chapman & Hall, 1994, p. 400 - 447.

YASUDA. ESALQ (Org.). **Whisky**. 2015. USP. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4311997/mod\\_resource/content/1/Apresenta%C3%A7%C3%B5es%2015-5.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4311997/mod_resource/content/1/Apresenta%C3%A7%C3%B5es%2015-5.pdf)>. Acesso em: 11 ago. 2019.

## ESTUDO COMPARATIVO: USO DE EXTRATO DE QUINOA E AMARANTO PARA PRODUÇÃO DE BEBIDA FERMENTADA

**Carina de Oliveira (Centro Universitário Padre Anchieta)**

**Isabela Bonaldo Gonçalves (Centro Universitário Padre Anchieta)**

**Rafaela Aparecida Rodrigues (Centro Universitário Padre Anchieta)**

**Claudemar José Trevizam (Centro Universitário Padre Anchieta)**

### RESUMO

Considerada um pseudocereal, a quinoa (*Chenopodium quinoa*) é um grão de alto valor biológico devido suas propriedades nutricionais. É vista como excelente fonte de proteínas, alto teor de lipídios e composição equilibrada de aminoácidos. Outro grão que possui alto valor nutritivo é o *Amaranthus spp.*, que influencia positivamente no organismo, uma vez que promove alterações benéficas na absorção de micronutrientes. O propósito deste trabalho é a obtenção de uma bebida fermentada a base de quinoa e amaranto composto por cepas de *Streptococcus salivarius subsp. termophilus* e *Lactobacillus delberuckii subsp. Bulgaricus*, estabelecendo um comparativo com a análise de pH e acidez titulável com outros trabalhos, para a obtenção de uma bebida fermentada a base de quinoa. Para obtenção do produto, os grãos foram preparados para fermentação por métodos de trituração, filtração e temperatura. Para fermentação utilizou-se a cultura Biolact Y04. Ao final da preparação, iniciou-se as análises de pH, acidez titulável e viabilidade de Lactobacilos a fim de determinar a eficiência e qualidade da fermentação e do produto obtido. Ao término das análises, observou-se que os resultados atenderam as especificações e a existência de um produto de fabricação e características que se assemelham às bebidas fermentadas disponíveis no mercado, além de agregar valor nutricional e apresentar uma alternativa viável a pessoas com restrições alimentares.

**Palavras-chave: Quinoa; Fonte de proteínas; Amaranto; Bebida fermentada.**

### ABSTRACT

Considered a pseudocereal, a quinoa (*Chenopodium quinoa*) is a grain of high biological value due to its nutritional properties. It is an excellent source of protein, high lipid content and balanced amino acid composition. Another grain that has high nutritional value is *Amaranthus spp.*, Which positively influences the body as it promotes beneficial changes in micronutrient absorption. The aim of this work is to use a quinoa and amaranth fermented beverage composed of *Streptococcus salivarius subsp. termophilus* and *Lactobacillus delberuckii subsp. Bulgaricus* established a comparison with a titratable pH and acidity analysis with other works to use a quinoa-based fermented beverage. To obtain the products, the beans were prepared for fermentation by grinding, filtering and temperature methods. For fermentation the Biolact Y04 culture was used. At the end of the preparation, was initiated the pH analysis, titratable acidity and viability of Lactobacilli, in order to determine the efficiency and quality of fermentation and product used. At the end of the analysis, the results are accepted as specifications and display of a manufactured product and features that resemble

commercially available fermented beverages, in addition to adding nutritional value and displaying a viable alternative for people with misuse.

**Keywords:** *Quinoa; Protein source; Amaranth; Fermented drink.*

## 1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais a indústria alimentícia tem papel preponderante na dieta e estilo de vida da população, uma vez que os indivíduos exigem produtos que promovam a saúde e o bem-estar. Desta maneira, torna-se um desafio desenvolver novos produtos alimentícios que atendam a demanda dos consumidores e simultaneamente, sejam saudáveis e atrativos.

Interessados pela oportunidade de optar por alimentos dotados de benefícios à saúde, os consumidores visam por produtos funcionais em substituição aos tradicionais.

Segundo a European Commission Concerted Action on Functional Food Science in Europe (1999, p.81), alimentos funcionais são “alimentos para os quais pode ser satisfatoriamente demonstrado que eles afetam benéficamente uma ou mais funções do organismo, além de garantirem efeitos nutricionais adequados, conduzindo a uma melhoria do estado geral de saúde e bem estar e/ou a uma redução do risco de doenças”. Esses alimentos são capazes de proporcionar saúde por meio de mecanismos aos quais não são presumidos na nutrição convencional.

Diante do interesse em desenvolver alimentos funcionais, surge os recentes avanços em priorizar as pesquisas nas áreas de probióticos, prebióticos e simbióticos.

Há inúmeras definições que descrevem os probióticos. Logo, a definição aceita declara que são microrganismos vivos, que quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefícios ao hospedeiro (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2001; SANDERS, 2003). Podem-se levar em consideração as bactérias lácticas, particularmente os lactobacilos, como os probióticos mais estudados e utilizados como ingredientes funcionais.

Já os prebióticos, são definidos como ingredientes fermentáveis que admitem alterações específicas na estrutura e/ou atividade da microbiota gastrointestinal que acarretam vantagens à saúde e bem-estar do hospedeiro. Dentre os prebióticos mais empregados na indústria alimentícia, a inulina e os frutooligossacarídeos (FOS) são os mais estudados.

Os leites fermentados são considerados os principais veículos alimentícios de culturas probióticas e prebióticas em âmbito mundial, dessa forma têm-se estudado e desenvolvidos métodos que substituam o leite fermentado por grãos de alto valor nutritivo, removendo seu

extrato aquoso para produção de leite vegetal e conseqüentemente, a obtenção de novos produtos.

Caracterizados como pseudocereais, a quinoa e o amaranto são considerados alimentos completos, devido seu equilíbrio de nutrientes e composição. Pelo fato da ausência de glúten, são excelentes fontes proteicas para intolerantes ao leite de vaca, além de não possuírem grandes quantidades de gorduras saturadas e colesterol.

A quinoa é um pseudocereal que atraiu a atenção das pessoas muita pela sua utilidade como suplemento na alimentação, já que as suas sementes contêm 12% de proteína, com equilíbrio de aminoácidos (KONISHI et al., 2004). Apresenta fonte de minerais e vitaminas do complexo B (riboflavina), quando comparada com aveia, arroz e milho (KOZIOL, 1992). Esse grão pode ser inserido em pães, massas, saladas e tortas, uma vez que as agroindústrias processam os grãos em flocos e farinha.

O amaranto, por sua vez é atualmente definido como “um alimento rico em proteínas de alto valor biológico (14 a 20%), quando comparado com outros cereais. A sua qualidade proteica é comparada com a da caseína do leite, uma vez que apresenta um notável valor de aminoácidos essenciais” (COELHO, 2006).

Juntamente com a quinoa, o amaranto apresenta em sua composição, um baixo teor de gliadina, uma prolamina formadora do glúten; portanto, é uma ótima opção para portadores da doença celíaca (AWAYA-FARFAN, 2005).

Segundo Spehar (2003), diversos produtos podem ser fabricados com o amaranto, tais como: farinhas, biscoitos, cereais matinais, barras de cereais, sendo também um complemento alimentar destinado a dietas especiais para celíacos, indivíduos com colesterol alto e vegetarianos. Pode, ainda, ser utilizado como fortificante de outros cereais.

Portanto, as principais propriedades funcionais e de saúde do amaranto relacionam-se à redução do LDL- colesterol, o que diminui o risco de doenças cardiovasculares. Esse pseudocereal apresenta, ainda, atividade anticancerígena, antienvhecimento, em prol de sua ação antioxidante, além de amenizar quadros de ansiedade, TPM e depressão, função esta que se relaciona à presença do triptofano, aminoácido precursor da serotonina (COSTA, 2009).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A elaboração de extratos hidrossolúveis vegetais representa uma alternativa para serem utilizados como “substitutos lácteos” devido ao seu valor nutricional, principalmente no que se refere ao teor de proteínas, bem como ao seu baixo custo de produção (BOÊNHO, 2014). Diversos são os benefícios relacionados com o consumo habitual de alimentos funcionais, entre eles estão o auxílio no funcionamento do intestino, ação antioxidante, manutenção de níveis saudáveis de triacilgliceróis, contribuição para o equilíbrio da flora intestinal, redução da absorção de gordura e colesterol (BRASIL, 2008).

Com a crescente demanda por produtos veganos e que possam ser consumidos por pessoas com intolerância láctea, é cada vez mais presente às alternativas vindas de plantas para diversas áreas da indústria alimentícia. Nos países desenvolvidos é crescente a popularidade dos alimentos funcionais contendo probióticos e isto se deve aos avanços nas pesquisas em desenvolvimento de novos produtos, que resultaram na incorporação de probióticos não só em produtos lácteos, mas também em bebidas, e até mesmo em cereais e chocolates (KASHI, 2014; MATTILASANDHOLM, 2002, apud CARDOSO et.al., 2015). Dentre eles destacam-se os que possuem culturas probióticas, ingredientes prebióticos ou a combinação de ambos, denominados de simbióticos (HOLZAPFEL; SCHILLINGER, 2002).

Probióticos são definidos como microrganismos vivos que, administrados regularmente e em quantidades adequadas, conferem benefícios à saúde do hospedeiro (WHO/ FAO, 2001; SANDERS; KLAENHAMMER, 2001). Os prebióticos são ingredientes seletivamente fermentáveis que permitem mudanças específicas, tanto na composição quanto na atividade da microbiota gastrintestinal, conferindo benefícios e bem-estar à saúde do hospedeiro (ROBERFROID, 2007). Neste caso, hospedeiro é a pessoa que ingere os prebióticos.

Alguns vegetais apresentam alto valor nutritivo, ausência de lactose, e propriedades funcionais, como é o caso da quinoa e do amaranto, que podem ser transformados em extrato aquoso para o desenvolvimento de bebidas vegetais e elaboração de bebidas fermentadas (BIANCHI, 2013).

Dentre as várias possibilidades de matéria-prima para produção de bebidas fermentadas derivadas de vegetais destacam-se a quinoa (*Chenopodium quinoa*) e o amaranto (*Amaranthus*), que por possuírem alto teor de óleo apresentam certa facilidade na sua extração.

A quinoa é um pseudocereal que vem atraindo a atenção em escala global devido ao seu alto valor nutritivo, principalmente no que diz respeito à qualidade proteica e a grande variedade de vitaminas e minerais, além de ser adequada para pessoas que sofrem de alergias alimentares e/ou querem ter uma alimentação saudável (SPEHAR; SANTOS, 2002). Pelo fato de sua composição em aminoácidos essenciais, ser bastante aproximada à da caseína, fração proteica do leite, possui todos os aminoácidos essenciais (ASCHERI et al., 2002). Segundo Borges (2013) o teor lipídico da quinoa varia de 5 a 7%. É possível observar os grânulos da quinoa e seu interior na Figura 1.

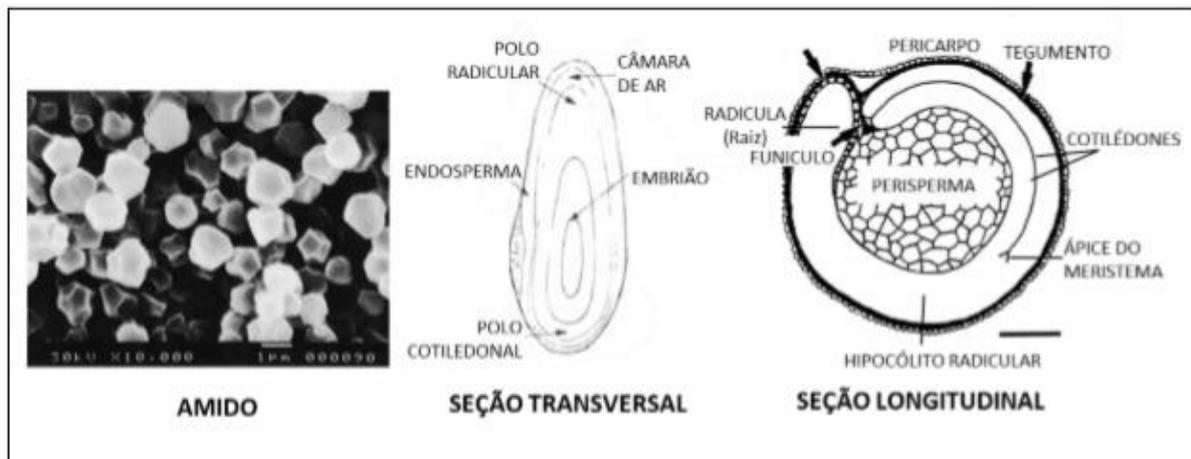


Figura 1. Grânulos de amido de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) e ilustração da semente em corte transversal e logitudinal. Adaptado de: Ando et al. (2002), Gallardo, Gonzáles e Ponessa (1997) e Prego, Maldonado e Otegui (1998).

Fonte: Yamani (2015)

O amaranto é considerado um pseudocereal, pois não pertence à família das gramíneas, o que o descaracteriza como cereal (SAUER, 1950 apud AMAYA-FRAFAN, MARCÍLIO e SPEHAR, 2005). A importância do consumo do amaranto está relacionada às suas características nutricionais, já que apresenta aminoácidos essenciais, sendo considerado de alto valor biológico, comparável às proteínas de origem cárnea, ele apresenta comparável potencial nutritivo, pois sua semente possui aproximadamente 15% de proteínas, com qualidade biológica superior a outros vegetais, como a soja e o feijão e comparáveis à do leite (MASSON, VIGANÓ, 2013). Contém fonte de fósforo, cálcio e zinco, além de ser rico em fibras. O teor de óleo de amaranto, entre 1,9 a 8,7%, varia conforme espécie e genótipo; é um teor elevado se comparado aos cereais, mas bastante inferior aos das leguminosas (24 – 48%) (HE e CORKE, 2003). Pode-se observar o exterior e interior do amaranto na Figura 2.

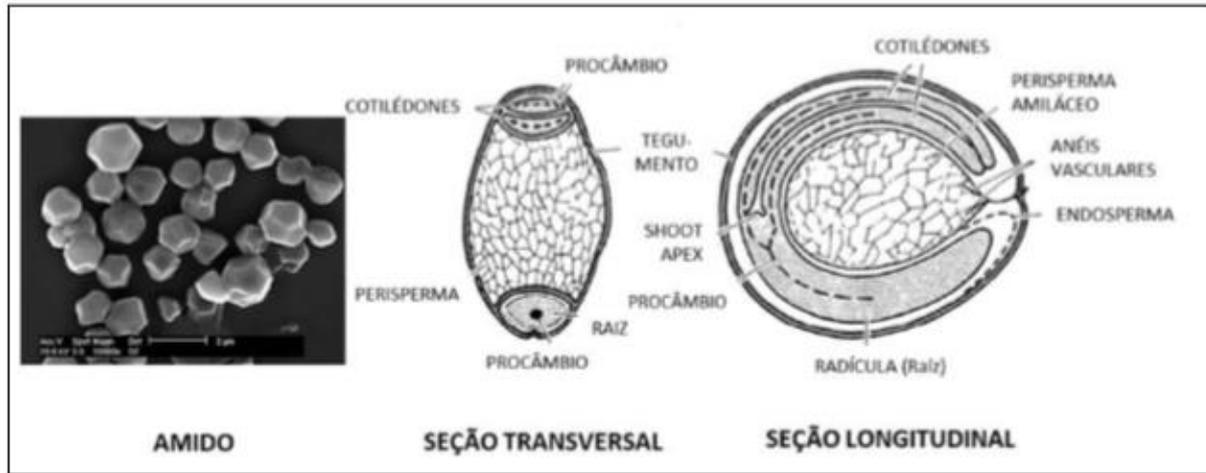


Figura 2. Grânulos de amido de amaranto (*Amaranthus ssp.*) e ilustração da semente em corte transversal e longitudinal. Adaptado de: Irving, Betschart, Saunders (1981) e Kong, Bao e Corke (2009).

Fonte: Yamani (2015).

Com todos os benefícios e características da quinoa e do amaranto é possível produzir uma bebida láctea que não se derive do leite animal. Para tal produção utiliza-se da fermentação dos extratos oleosos retirados dos pseudocereais já citados. A fermentação promove alterações bioquímicas e modificações desejáveis no produto promovido por ação de microrganismos ou enzimas.

A fermentação permite ao produto ganhar as características desejadas, sendo uma reação totalmente natural. Outro benefício da fermentação do extrato vegetal é a formação de compostos que conferem aroma e sabor característicos oriundos direta ou indiretamente dos microrganismos fermentadores, além de aumentar a vida útil de produtos alimentícios fermentados, quando comparada com matérias-primas as quais foram elaborados (AGUIAR & CATANEO, 1998). Para produzir bebidas lácteas utiliza-se da fermentação láctea como base do processo.

Em relação à fermentação láctea, segundo Ferreira (2007), trata-se de uma oxidação anaeróbica parcial de carboidratos com a produção final de ácido láctico, além de várias outras substâncias orgânicas; as bactérias utilizadas industrialmente são as anaeróbias e microaerófilas, para a produção de alguns tipos de ácidos ou para a produção de alimentos. É um processo bioquímico realizado por bactérias lácticas como o *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus pentosus*, *Lactobacillus leichmannii* e o *Streptococcus lactis*, entre outros (OLIVEIRA, 2009).

Para auxiliar na fermentação láctea é necessário fornecer alimentos em abundância para que os microrganismos responsáveis pelo processo de fermentação a realizem. No caso da

fermentação láctea é ideal acrescentar fontes de sacarídeos com prebióticos eficientes, como no caso a inulina.

Inulina é um composto polissacarídeo não digerível, composto de resíduos de frutose com ligação  $\beta$ -(2-1) com resíduo terminal de glicose, extraído de plantas com um grau de polimerização variando de 2 a 60 (CRITTENDEN et al., 1996). Sendo assim, a frutose proveniente da inulina torna-se o alimento necessário para que a fermentação ocorra de maneira eficiente.

Para utilizar-se da inulina e dos extratos oleosos para fermentação láctea destaca-se uma cultura mista, o *Lactobacillus delbrueckii* spp. *bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*, os quais se referem à microrganismos probióticos que auxiliam o sistema imunológico. Estes microrganismos utilizam a lactose como substrato de energia e consequente produção do ácido láctico.

Ainda de acordo com Ferreira (1999), descreveu *Lactobacillus delbrueckii* spp. *bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus* como culturas bioajustadoras de pH empregadas na fabricação de produtos lácteos fermentados probióticos, para que estas possam atingir uma acidez segura no período aceitável.

Durante o estudo e desenvolvimento dessa bebida simbiótica a base de extrato aquoso extraído de quinoa e amaranto foram levados em conta propriedades nutritivos, associadas a uma alimentação saudável e balanceada com a adição de microrganismos probióticos e prebióticos que eleva as propriedades da bebida, potencializando a ação do organismo na flora intestinal.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, foi analisado o artigo: “Obtenção de bebida fermentada a base de quinoa (*Chenopodium quinoa*)”, elaborado pelos departamentos de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Maringá, com o intuito de elaborar um produto semelhante e comparar os dados obtidos através de análises laboratoriais.

#### 3.1. Ingredientes

- 200g de grãos de Quinoa;
- 200g de grãos de Amaranto;
- Inulina;
- Fermento Láctico Biolact Y04, gentilmente doado pela empresa “Simples Assim”, localizada em Paulínia, São Paulo;
- Reagentes: fenolftaleína 1% e NaOH 0,1N, gentilmente doados pela empresa Ecolab Química.

#### 3.2. Ficha técnica Biolact YO4

De acordo com a fabricante, AEB Bioquímica Latino Americana S/A, o Biolact YO4, é um fermento láctico composto por cepas de *Streptococcus salivarius subsp. termophilus* e *Lactobacillus delberuckii subsp. bulgaricus*, cuidadosamente selecionados para proporcionar características organolépticas ideais, com tons suaves, aromas e sabores característicos lácticos. De alta qualidade e acidificação controlada é adequado para produção de iogurte e bebidas lácteas. Por sua rápida acidificação é possível aumentar a capacidade de produção, melhorando os processos produtivos com aumento da qualidade do produto.

Para ativação da cultura láctica é recomendada uma dose de 100 U para 500L de leite. Após a pasteurização do meio, deve-se controlar a temperatura até atingir 42°C para a inoculação. Então, acrescenta-se o Biolact YO4 e deve-se aguardar um período de 4 horas e 30 minutos para a fermentação, a qual pode ser observada através da queda do pH da solução, devido a formação de ácido láctico.

#### 3.3. Produção do extrato vegetal fermentado de quinoa e amaranto

Para a produção do extrato vegetal foi utilizado 200g de quinoa e 200g de amaranto. Antes de iniciar a produção do extrato, pesam-se os grãos, lava e fricciona-os em água corrente para retirada dos componentes antinutricionais (saponinas) e conseqüentemente, redução do gosto residual amargo. Os grãos de amaranto e quinoa são deixados em descanso,

mergulhados em 1L de água por um período de 6h para a hidratação e melhor aproveitamento. Ao final do descanso os grãos são triturados, juntamente com a água, até atingir uma mistura homogênea. Em seguida, é utilizada uma tela de 250 Mesh para a filtração do líquido.

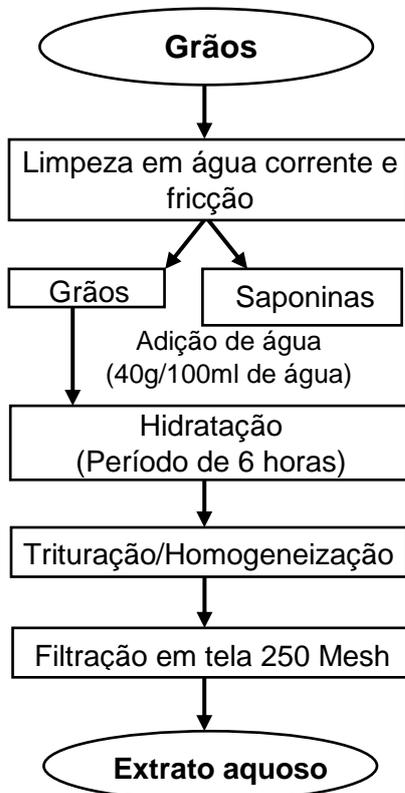


Figura 3. Fluxograma de elaboração do extrato aquoso de quinoa e amaranto.

Fonte: Dos autores.

### 3.4. Solução

Para ativação e fermentação da cultura láctica foram seguidas instruções do fabricante; Utilizou-se 1L do extrato de quinoa e amaranto, levado a fogo brando até atingir 42°C, em seguida acrescentou-se 2g de inulina e 0,02g de Biolact Y04 e homogeneizou-se a mistura, que foi mantida em repouso para fermentação por um período de 4 horas e 30 minutos.

### 3.5. Avaliação físico-química

Durante a fermentação inicial da bebida, foi analisado o pH através de contato direto, utilizando pHmetro mPA210, da marca MS Tecnopon Instrumentação. As análises foram realizadas nas horas 1, 2, 3 e 4 de fermentação e posteriormente ao 6º e 11º dia de estocagem refrigerada do produto.



Figura 4. Bebida sendo submetida à temperatura de 42°C para ativação da cultura láctica.

Fonte: Dos autores.

Para análise de acidez titulável foram retiradas amostras a cada 1 hora de fermentação (1,2,3 e 4 horas, após adição do composto Biolact Y04) e utilizado método de titulação volumétrica com indicador com os resultados foram expressos em graus Dornic. Para cada teste, utilizou-se 10 mL da bebida e adicionaram-se três gotas de fenolftaleína a 1% e titulou-se sob agitação, utilizando hidróxido de sódio 0,1N até o aparecimento de cor rósea persistente. Para o cálculo, anotou-se a leitura do volume da solução de NaOH 0,1N gasto na titulação, sabendo-se que cada 1mL da mesma correspondente a 0,009g de ácido láctico. Abaixo, podemos ver exemplos da solução após titulação realizada.



Figura 5. Testes de acidez titulável realizados em laboratório.

Fonte: Dos autores

Para cálculo dos resultados a fórmula foi expressa da seguinte forma:

$$^{\circ}D=V \times 0,9 \times 10 \quad (I)$$

### 3.6. Avaliação da viabilidade do Lactobacilos e microbiologia

A viabilidade do Biolact Y04 foi avaliada na formulação proposta, nos tempos 1, 2, 3 e 4 horas e no 6º e 11º dia de armazenamento à 5°C. Para contagem de células viáveis foi utilizado o meio de cultura.



Foram coletados 10 mL do produto a cada amostragem, que foram mantidos em sacos para coleta de amostra 3M™ BP118S, utilizados com o intuito de manter condições assépticas, em condições de refrigeração. Para as análises de microbiologia, o material utilizado foi previamente esterilizado.

Uma alíquota de um mL foi transferido para um tubo com rosca contendo 9ml de solução de água peptonada estéril 0,1%. A partir desta diluição foram feitas diluições subsequentes, necessárias à análise do produto. A análise das amostras foi através do método de diluição decimal seriada em placa para isolamento e contagem de microrganismo total. A contagem total de bactérias lácticas viáveis foi

*Figura 6. Amostras recolhidas para contagem de células vivas*

*Fonte: Dos autores.*

total de bactérias lácticas inoculada por método de plaqueamento em profundidade e sobre camada do meio MRS e após a inoculação, as placas de Petri foram incubadas invertidas em jarras contendo gerador de anaerobiose Anaerobac (PROBAC) a 37°C por 72 horas.

Para identificação de coliformes totais e fecais, foi utilizado teste presuntivo. Foi utilizado frasco estéril e transferidos 10 mL da amostra, para três séries de três tubos com 10 mL de Caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) com tubos de Durham invertidos, incubados a 35-37°C por 48h.

Para a análise de bolores e leveduras, foi empregado o meio YEPG (Extrato de levedura 10g; Peptona 20g; Glicose 20g; Ágar 15g/ L de água destilada), com o pH 3,5 ajustado com ácido tartárico (1 N). A inoculação foi feita utilizando 5 mL de inóculo e o método usado foi o de incorporação do meio à placa ("Pour Plate"). As placas foram então incubadas a 28°C por sete dias. Cada isolado foi repicado e, após observação microscópica, as culturas puras foram repicadas para tubos de ensaio contendo meio YW, (Extrato de levedura 3g, Extrato de malte 3g, Peptona 5g, Glicose 10g, Ágar 15g/ L) inclinado, colocando-se óleo mineral estéril na superfície para manutenção. As lâminas foram observadas em microscópio ótico, onde foi feita a contagem de bactérias tipo cocos e bastonetes em cinco campos diferentes, fazendo-se a média dessas contagens, a fim de verificar a presença de lactobacilos e estreptococos característicos.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O principal objetivo do estudo foi à obtenção de uma bebida vegetal fermentada com lactobacilos vivos, semelhante às encontradas no mercado que são elaboradas com leite reconstituído. Durante o período de fermentação, foram realizados testes para constatar a viabilidade do meio ao crescimento do microrganismo de interesse, com a formação de compostos característicos do leite fermentado como o ácido láctico. Ao que se refere à obtenção do extrato vegetal de quinoa e amaranto, após horas de repouso observou-se a formação de duas fases no produto, com deposição de amido e proteínas ao fundo e fase aquosa na parte superior, conforme podemos ver na figura 7.



Figura 7. Separação de fase do extrato de quinoa e amaranto.

Fonte: Dos autores

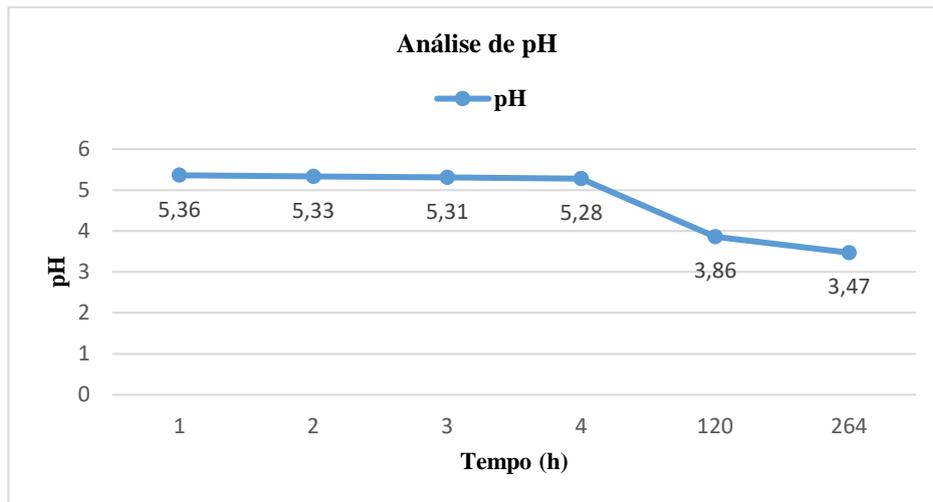
Em seguida ao processo de fermentação, as amostras foram submetidas às análises microbiológicas (quantificação de coliformes totais, contagem de bactérias lácticas e contagem de bolores e leveduras), nas quais os resultados obtidos foram analisados e comparados, sendo eles negativos ou positivos, e assim estando dentro ou não da legislação brasileira.

Através das análises foi possível observar variações de pH e acidez (mensuráveis indiretas que indicam o crescimento microbiano desejável). Abaixo, demonstra-se a partir de gráficos que ocorreu uma variação significativa de pH (gráfico 1) e acidez (gráfico 2) do produto durante as primeiras 4 horas de fermentação, o que pode indicar uma possível adaptação do microrganismo ao meio que foi submetido.

Após esse tempo, a atividade dos microrganismos mostra-se mais evidente, podendo ser avaliada indiretamente pela curva decrescente e acentuada pelo gráfico 1. No 6º dia e 11º dia de fermentação foram apresentados resultados satisfatórios, atingindo pH 3,86 e 3,47 respectivamente, o que indica queda de pH durante uma possível vida de prateleira (*shelf life*) do produto.

O pH está relacionado com o aspecto visual do produto. É fundamental que haja controle rigoroso para que não ocorra separação de fases, acidificação elevada influenciada pelo tempo de fermentação, além de alterações nas características sensoriais que poderão tornar o produto indesejável (VINDEROLA et al., 2000).

Gráfico 1 – Análise de pH

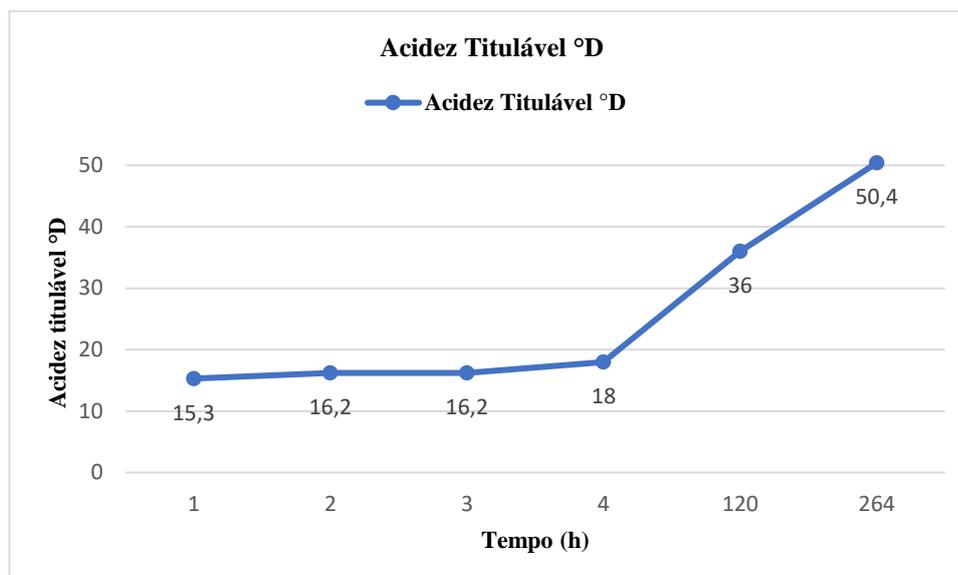


Fonte: Dos autores.

Após 24 horas de fermentação a bebida foi submetida à refrigeração na faixa de 3 à 5°C. De acordo com KLAVER, KINGMA & WEERKAMP, o *Lactobacillus delbrueckii spp. Bulgaricus*, composto do Biolact YO4, produz ácido lático durante a estocagem refrigerada, conhecido como pós-acidificação, podendo-se tornar um fator que afeta a viabilidade das bactérias probióticas.

No processo de pós-acidificação houve uma diminuição no valor do pH e consequentemente um aumento significativo em ácido lático durante o armazenamento refrigerado do produto, demonstrando que os valores seguiram essa tendência oposta esperada, devido à contínua produção de ácidos pelas bactérias lácticas. Tal fato ocorreu devido ao metabolismo das bactérias que degradam o substrato presente no meio, obtendo-se como produto final, principalmente, ácido lático (FERREIRA, 2002). Como se pode observar no gráfico 2.

Gráfico 2 – Análise de acidez titulável



Fonte: Dos autores.

Com a formação de ácido lático (principal produto formado pelas bactérias lácteas), os valores de acidez titulável são crescentes em função do tempo. Este resultado evidencia que a formulação foi processada em condições higiênicas e sanitárias adequadas.

Thamer e Penna (2006) relataram que o armazenamento do produto a temperatura de refrigeração e após acidificação provocada pelo metabolismo das culturas usadas podem contribuir para o aumento da acidez no período de estocagem.

A produção de ácidos que reduzem o valor de pH abaixo de 4,0 e a presença de outros componentes antimicrobianos durante a fermentação podem promover a segurança e estabilidade do produto final, uma vez que a maioria dos patógenos não sobrevivem em pH baixo (BLANDINO et al., 2003).

Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), a contagem de microrganismos específicos nas bebidas lácteas fermentadas e a contagem total de bactérias lácticas viáveis devem ser no mínimo de  $10^6$  UFC/g (um milhão de Unidades Formadoras de Colônias por grama) no produto final, durante todo o prazo de validade.

A contagem de bactérias lácticas totais (UFC/mL) no primeiro dia aumentou ao decorrer das horas, e foi monitorada durante as quatro primeiras horas, apresentando na 4ª hora  $7.10^6$  UFC/mL e ao 6º dia foi de  $6.10^6$  UFC/mL, onde houve uma pequena redução de bactérias lácticas, enquanto ao 11º dia foi apresentada uma redução no ciclo logarítmico de  $4.10^3$  UFC/mL, o que indica estar fora do permitido pela legislação brasileira. Como se pode observar na tabela 1.

Tabela 1. Amostras

Amostra	Bactérias lácticas UFC/mL	Contagem de Bolores e Leveduras (UFC/mL)	Contagem de Coliformes a 45 °C (UFC/mL)*
Início		1.10 <sup>0</sup>	< 10 <sup>0</sup>
H1	2.10 <sup>3</sup>	2.10 <sup>0</sup>	< 10 <sup>0</sup>
H2	3.10 <sup>5</sup>	4.10 <sup>0</sup>	< 10 <sup>0</sup>
H3	4.10 <sup>6</sup>	1.10 <sup>1</sup>	< 10 <sup>0</sup>
H4	7.10 <sup>6</sup>	2.10 <sup>1</sup>	< 10 <sup>0</sup>
6º dia	6.10 <sup>6</sup>	3.10 <sup>1</sup>	< 10 <sup>0</sup>
11º dia	4.10 <sup>3</sup>	4.10 <sup>1</sup>	< 10 <sup>0</sup>

Fonte: Dos autores

O acúmulo de ácido láctico inibe o crescimento das bactérias ácido lácticas, favorecendo, com a diminuição do pH, o crescimento de bolores e leveduras (SURIYARACHCHI & FLEET, 1981).

A queda excessiva de pH ressalta a hipótese da produção de metabólitos tóxicos, ou seja, durante a fermentação surge a possibilidade de que o metabolismo dos lactobacilos tenha gerado um produto altamente tóxico que seria a possível causa para morte ou inativação de parte dos microrganismos. O consumo de substrato também está diretamente ligado ao crescimento da bactéria láctica, que em comparação a uma fermentação convencional em meio láctico, propicia uma abundância em relação à disponibilidade de recursos para fermentação. Aplicado a um novo meio, os recursos são escassos, podendo resultar na falta de substrato para consumo.

A contaminação por bolores e leveduras, pode causar alterações nas características sensoriais, devido à capacidade de produzir enzimas hidrolíticas (XAVIER; LIMA; SOUZA, 2006), podendo ocorrer alteração organolépticas ao produto.

Na análise para contagem de bolores e leveduras, foi apresentada uma média de 1.10<sup>1</sup> UFC/mL estando dentro do que é permitido pela legislação, já que o valor máximo permitido é de 5.10<sup>1</sup> UFC/mL, indicando procedimentos higiênico sanitários adequados quanto à sua produção.

O crescimento simultâneo de bolores e leveduras é favorável em bebidas e alimentos fermentados, uma vez que as mesmas são favorecidas pela acidificação gerada pelas bactérias, e o crescimento das bactérias é estimulado pela presença de leveduras, que fornecem fatores

de crescimento, como vitaminas e componentes de nitrogênio solúvel (MIGUEL et al., 367 2015).

Quanto aos parâmetros contidos na Instrução Normativa nº46, de 23 de outubro de 2007, a contagem de coliformes à 45°C tem como critério de aceitação 2UFC/mL, sendo assim o produto desenvolvido se encontra dentro do padrão estabelecido, já que de acordo com os resultados apresentados a contagem de coliformes foi menor  $10^0$  UFC/mL, não detectando coliformes totais. A contagem do grupo de coliformes totais indica a qualidade no processamento de alimentos através da higiene sanitária do ambiente, alimento e manipulação, além da potabilidade da água utilizada na produção.

## 5. CONCLUSÃO

A bebida fermentada a base do extrato de quinoa e amaranto foi considerada uma alternativa altamente viável, uma vez que o processo de fabricação e suas respectivas características aproximam-se as bebidas lácteas fermentadas expostas no mercado.

A bebida fermentada vegetal desenvolvida conseguiu atingir vários aspectos positivos durante as análises realizadas, nos critérios estabelecidos pela legislação brasileira, caracterizado como um leite fermentado (produto mais próximo, utilizado como referência), segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária.

No entanto acreditamos serem necessário e viável que fossem realizados estudos detalhados a fim de justificar a razão pelo qual a contagem de bactérias lácticas totais decaiu de maneira significativa, e conseqüentemente não atingiu o mínimo imposto pela legislação, já que no presente artigo foram apresentadas possíveis hipóteses que pudessem esclarecer o ocorrido.

Por fim, o produto desenvolvido é considerado uma opção viável para pessoas que buscam uma alimentação saudável, tendo em vista os benefícios que esses grãos promovem, tanto fisiológicos, quanto metabólicos, já que diminuem o colesterol, previne doenças crônicas e é uma excelente alternativa para pessoas intolerantes a lactose, veganos e alérgicos a proteína do leite, além da sua utilidade com o acréscimo de saborizantes e demais aditivos alimentares, considerando a bebida desenvolvida como um produto de elevado potencial em escala industrial.

## 6. REFERÊNCIAS

AMAYA-FRAFAN, Jaime; MARCÍLIO, Roberto; SPEHAR, Carlos Roberto. Deveria o Brasil investir em grãos para a sua alimentação? a proposta do amaranto (*Amaranthus sp.*). Segurança Alimentar e Nutricional, Campinas, SP, v.12, n.1, p. 47-56, 2005. Disponível em:

<[http://www.unicamp.br/nepa/arquivo\\_san/A\\_proposta\\_do\\_Amaranto.pdf](http://www.unicamp.br/nepa/arquivo_san/A_proposta_do_Amaranto.pdf)>. Acesso em: 07 abr. 2019.

AGUIAR, D.M.P.; CATANEO, A.L. Proposta de uma bebida amilácea naturalmente acidulada obtida de fécula de mandioca gomificada e leite em pó. Energ. Agric., v.3, n.1, p.48-58, 1998.

ASCHERI, J. L.; SPEHAR, C. R.; NASCIMENTO, N. E. Caracterización química comparativa de harinas instantâneas por extrusión de quinua (*Chenopodium quinoa willd.*), maíz y arroz. Alimentaria, v.39, n.331, p. 82-89, 2002.

BIANCHI, Fernanda. Desenvolvimento e avaliação em simulador do ecossistema microbiano humano de uma bebida simbiótica à base de extratos aquosos de quinua (*chenopodium quinoa willd*) e de soja. 2013. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Estadual Paulista, Araraquara - Sp, 2013. Cap. 1.

BOÊNO, J. A. Bebidas lácteas fermentadas formuladas com leite, soro de leite e extrato de arroz vermelho: aspectos físicos, químicos, microbiológicos e sensorial. 2014. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/4217/5/Tese%20%20Josianny%20Alves%20Bo%20C3%AAno%20%20-%202014.pdf>>. Acesso em 01 abr. 2019.

BORGES, João T. et al. Saiba mais sobre os benefícios da quinua. 2013. Disponível em: <<https://www.giassi.com.br/noticia/saiba-mais-sobre-beneficios-quinua-2353>>. Acesso em: 07 jun. 2019.

BRASIL. ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos - IX Lista de alegações de propriedade funcional aprovadas, 2008. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno\\_lista\\_alega.htm](http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno_lista_alega.htm)>. Acesso em: 07 abr. 2019.

BLANDINO A, AL-ASEERI ME, PANDIELLA SS, CANTERO D, WEBB C (2003) 622 Review: Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Res Int* 36, 527–543.

CARDOSO, Bárbara Verônica Sousa et al (Ed.). **Prospecção tecnológica e científica de alimentos probióticos funcionais na forma de barra de cereais**. Geintec: Gestão, Inovação e Tecnologia, Teresina, v. 5, n. 3, p.2273-2283, 2015. Anual.

CRITTENDEN R.G., MORRIS L.F., HARVEY M.L., TRAN L.T., MITCHELL H.L., PLAYNE, M.J. “**Selection of a *Bifidobacterium* strain to complement resistant starch in a symbiotic yoghurt**”. *Journal of Applied Microbiology*, v.90, p.268-278,2001.

FERREIRA, C. L. L. F. **Acidez em leites e produtos lácteos: aspectos fundamentais**. Viçosa: UFV, 1999, 26 p.

FERREIRA, C. L. L. F. **Acidez em leite e produtos lácteos: Aspectos fundamentais**. Viçosa: UFV, 2002. 26 p.

FERREIRA, J. **Fermentação**. Salvador, BA, 2007. Disponível em: <<http://julia3mcesb.blogspot.com/>>. Acesso em: 18 jul. 2019.

GEWEHR, Márcia Flach et al. Análises químicas em flocos de quinoa: caracterização para a utilização em produtos alimentícios. **Brasil Journal of Food Technology**, v. 15, n. 4, out./dez., 2012.

HE, H.P.; CORKE, H. **Oil and Squalene in *Amaranthus* grain and leaf**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 51, n. 27, p. 7913-7920, 2003.

MAPA. **Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007**. Disponível em: <<http://www.cidasc.sc.gov.br/inspecao/files/2012/08/instru%C3%87%C3%83o-normativa-n%C2%BA-46-de-23-de-outubro-de-2007.pdf>>. Acesso em 10 set.2019

MASSON, Ana Paula; VIGANO, Otávio José. **Bebida láctea com amaranto**. E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial, Florianópolis, 2013. Disponível em: <<http://etech.sc.senai.br/index.php/edicao01/article/view/323/317>>. Acesso em: 13 jun. 2019.

MATTILA-SANDHOLM, T. et al. **Technological challenges for future probiotic foods**. *International Dairy Journal*, v.12, p. 173-182, 2002.

MIGUEL MGCP, COLLELA CF, ALMEIDA EG, DIAS DR, SCHWAN RF (2015) **Physicochemical and microbiological description of Caxiri – a cassava and corn alcoholic beverage**. *Int J Food Sci Technol* 50, 2537-2544.

OLIVEIRA, M.N. **Tecnologia de produtos lácteos funcionais**. v.1. São Paulo: Atheneu, 2009.

ROBERFROID, M. Prebiotics: **The Concept Revisited**. *The American Society for Nutrition*, v.137, n.3, p.830-837, 2007.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. de B. **Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) BRS. Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.6, p.889-893, 2002.

SURIYARACHCHI, V. R.; FLEET, G. H. **Occurrence and growth of yeasts in yogurts**. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 42, n. 3, p. 574-579, 1981

THAMER KG, PENNA ALB (2006) **Caracterização de bebidas lácteas funcionais 742 fermentadas por probióticos e acrescidas de prebiótico**. *Ciência e Tecnologia de 743 Alimentos*. Campinas, v.26, n.3, p.589-595.

VINDEROLA, C.G. et al. A. **Survival of probiotic in Argentina yogurts during refrigerate storage**. *Food Research International*, v.33, n.2, p.97-102, 2000.

XAVIER, L. S.; LIMA, E. O.; SOUZA, E. L. **Presença de leveduras em produtos lácteos: uma abordagem especial para a significância de leveduras em queijos**. *Higiene Alimentar*, v. 20, n. 139, p. 61-64, 2006.

WHO/FAO. **Evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria**. Genebra: Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization, 2001.

YAMANI, Beatriz Valcárcel. **Substituição parcial da farinha de trigo por farinha de amaranto (Amaranthus cruentus L.), quinoa (Chenopodium quinoa W.) e maca (Lepidium meyenii W.) na elaboração de panetone**. 2018. 260 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Tecnologia Bioquímico-farmacêutica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ZACARCHENCO, B. P; ROIG, M. S. **Avaliação sensorial, microbiológica e de pós-acidificação durante a vida-de-prateleira de leites fermentados contendo Streptococcus thermophilus, Bifidobacterium longum e Lactobacillus acidophilus**. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612004000400033](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612004000400033)>. Acesso em 07 set. 2019.

## IMPLANTAÇÃO DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO GRAU DE DISPERSÃO NA INDÚSTRIA DE TINTAS FLEXOGRÁFICAS

**Mayara Nadir Cucharo** (Centro Universitário Padre Anchieta)

**Flávio Gramolelli Junior** (Centro Universitário Padre Anchieta)

**Carlos Eduardo Martins** ( Apa Color)

### RESUMO

A indústria de tintas e vernizes é um dos ramos com diversas necessidades dos profissionais da área de Química (Orgânica, Inorgânica, Polímeros, Físico-Química, etc.), sendo que esse setor tem como principais objetivos fornecer proteção e embelezamento nas superfícies aplicadas. Para a produção de tintas, se faz necessário o processo de fabricação das bases pigmentadas concentradas, no qual a etapa de pré-moagem ou também chamada de dispersão do pigmento em um veículo de umectação é essencial para adquirir um produto com alto rendimento e qualidade. Este trabalho aborda estudos efetuados para apresentar uma nova metodologia de avaliação do grau de dispersão em pigmentos na indústria de tintas flexográficas, considerando o embasamento em especificações técnicas no sentido de liberação para a etapa de moagem, garantindo assim maior desempenho, redução de custo e eficiência no processo. Os métodos utilizados para análise de desempenho da nova metodologia foram aplicados em um Pigmento Orgânico base água Azul 15:0. A análise foi realizada em duas etapas: teste em escala laboratorial e escala industrial. Cada etapa foi realizada com duas formulações. O primeiro teste foi feito a partir da formula padrão F1, que é utilizada atualmente no processo de fabricação da empresa. Em seguida foi notória a melhoria de formulação para o processo e foi realizado o teste com nova formulação F2. Levando-se em consideração os resultados obtidos, conclui-se que é viável a implementação da nova metodologia, tendo em vista que os resultados indicaram maior eficiência e possibilidade de aumento de produção, bem como redução de operação do processo e menor consumo de mão-de-obra e maquinário.

**Palavra-chave:** Dispersão de pigmentos, tintas flexográficas, moagem, pigmentos base de água.

### ABSTRACT

The paint and varnishes industry is one of the branches with diverse needs of professionals in the area of Chemistry (Organic, Inorganic, Polymers, Physical Chemistry, etc.), and this sector's main objectives are to provide protection and beautification on the applied surfaces. For the production of paints, the manufacturing

process of concentrated pigmented bases is necessary, in which the pre-grinding step or also called pigment dispersion in a wetting vehicle is essential to acquire a product with high yield and quality. This work addresses studies carried out to present a new methodology for assessing the degree of dispersion in pigments in the flexographic ink industry, considering the basis on technical specifications in the sense of release for the grinding step, thus ensuring greater performance, cost reduction and efficiency in the process. The methods used for performance analysis of the new methodology were applied in a 15: 0 Blue Water-based Organic Pigment. The analysis was carried out in two stages: testing on a laboratory scale and industrial scale. Each stage was performed with two formulations. The first test was made using the standard formula F1, which is currently used in the company's manufacturing process. Then the formulation improvement for the process was noticeable and the test was performed with a new formulation F2. Taking into account the results obtained, it is concluded that the implementation of the new methodology is feasible, considering that the results indicated greater efficiency and the possibility of increasing production, as well as reducing the operation of the process and lower consumption of labor. labor and machinery.

**Keywords: Dispersion of pigments, Flexographic paints, Grinding, Water-based pigments.**

## **1. INTRODUÇÃO**

A indústria de flexografia envolve a impressão de substratos, sejam rótulos ou papéis ondulados, por meio de um clichê, que é um material feito de fotopolímero ou outro tipo de borracha com a informação desejada em relevo, para que assim a tinta seja transferida do clichê para o substrato (GRAVAPAC; INSTITUTO DE IMPRESSÃO, 2014?).

Para a fabricação da tinta que é aplicada no substrato é necessária a produção dos seus componentes básicos, como verniz e base pigmentada, sendo que na fabricação da base pigmentada encontra-se o processo de dispersão e moagem do pigmento, conforme fluxograma da Figura 1.

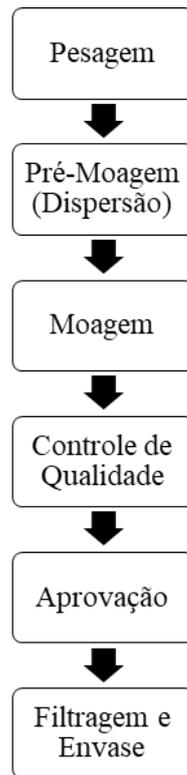


Figura 1: Fluxograma de processo de fabricação de bases pigmentadas  
Fonte: da autora.

Os processos de dispersão e moagem de pigmento são fundamentais para a obtenção de um produto com alto rendimento e qualidade, podendo ser um ponto chave na melhoria dos processos industriais. Sabe-se que atualmente cada vez mais o mercado pressiona a redução de custos em todas as áreas de uma empresa, principalmente na área de processos produtivos. No entanto, para reduzir custo, aumentar a produtividade e otimizar o processo não se torna viável a aquisição de equipamentos inovadores e outras tecnologias. O que se torna interessante é melhorar o processo utilizando novas técnicas e controles nas tecnologias já existentes no processo (CRUZ, 2018?).

No processo de fabricação das bases pigmentadas existem algumas etapas conforme fluxograma demonstrado na Figura 1, sendo que uma das etapas é a pré-moagem ou também chamada de dispersão do pigmento em um veículo de umectação. Após a etapa de dispersão é feita a moagem da base pigmentada, sendo esta última acompanhada pelo laboratório de controle de qualidade. No entanto, na etapa de dispersão, não há controle de qualidade que aprove a base para a etapa seguinte, ou seja,

de moagem, acarretando conseqüentemente na ocorrência de dificuldades nesse processo.

Desta forma, para a metodologia de estudo deste trabalho, foi escolhido o pigmento orgânico base água Azul 15:0, levando em consideração tanto características intrínsecas do material como absorção a óleo, como também características da mistura subsequente como viscosidade, homogeneização da base, pH, grau de moagem e poder tintorial.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A flexografia é um sistema de impressão gráfica no qual se utiliza um molde, denominado clichê, que pode ser de borracha ou fotopolímero, o qual tem a sua superfície impressa em relevo. Esta tecnologia é usada para imprimir em diferentes filmes plásticos e papéis. São usadas tintas líquidas, a base de água ou solvente, e uma de suas vantagens é a diversidade de impressão em variados suportes com diferentes durezas e superfícies (ABTG, 2018?). O tipo de tinta que está sendo amplamente utilizado nesse tipo de impressão, por questões ambientais, é a tinta base d'água, sendo esta menos poluente comparada à base solvente.

Define-se tinta como uma dispersão de componentes sólidos em meio líquido no qual, ao ser aplicada sobre um substrato, sofre um processo de cura, formando uma película com a função de proteger, decorar ou dar acabamento para o determinado tipo de uso. E ainda, segundo Fazenda (2005), tintas aquosas são produzidas com resinas sintéticas compatíveis com o uso da água como solvente. A modificação para a compatibilidade neste meio é realizada por meio dos polímeros contidos nas matérias-primas e também no processo geral de fabricação da tinta.

O processo de sistemas base d'água é similar ao processo base solvente, apresentando desempenho equivalente, entretanto possui algumas vantagens como não ser inflamável, menor quantidade de emissões de gases poluentes no ar e adequação facilitada em processos de pintura, por outro lado, dispõe da desvantagem de necessitar de matérias-primas específicas, menor variedade de resinas compatíveis e secagem mais lenta quando comparada a sistemas base solvente.

De maneira geral, a tinta é composta por resinas, solvente, pigmento e aditivos, visto que o solvente atua com a finalidade de dissolver a resina e regular a viscosidade. A resina é responsável pelas propriedades de aderência, impermeabilidade e flexibilidade das tintas, além de ser o ligante do pigmento. Os pigmentos são responsáveis em conferir cor e propriedades de resistências, já os aditivos têm funções de melhoramento da tinta, tais como eficiência de espuma, secagem, brilho, etc. (FAZENDA, 2005).

Os pigmentos podem ser inorgânicos ou orgânicos, sendo que os pigmentos inorgânicos são todos os pigmentos brancos, cargas, coloridos, sendo sintéticos ou naturais, de estrutura de compostos inorgânicos. (FAZENDA, 2005). Já os pigmentos orgânicos são classificados como corantes orgânicos insolúveis no meio em que estão sendo utilizados. (FAZENDA, 2005). A tabela 1 apresenta a diferença das características entre pigmentos orgânicos e inorgânicos.

Para a área gráfica, algumas características dos pigmentos devem ser levadas em consideração, tais como: preço, qualidade, poder de intensidade, tonalidade correta, transparência ou opacidade, brilho, fluidez e estabilidade.

Tabela 1: Diferença das características entre pigmentos orgânicos e inorgânicos.

<b>Característica</b>	<b>Pigmento Orgânico</b>	<b>Pigmento Inorgânico</b>
<b>Resistência térmica</b>	Média a baixa	Alta
<b>Solidez à luz</b>	Diversos níveis	Sempre alta
<b>Poder de cobertura</b>	Baixo	Alto
<b>Poder de tingimento</b>	Alto	Baixo
<b>Densidade</b>	Baixa	Alta
<b>Tamanho de partícula primária</b>	Pequeno (0,01 a 0,2 microns)	Grande (>0,2 microns)
<b>Gama de cores</b>	Grande	Limitada
<b>Impacto ambiental</b>	Mínimo	Crítico em alguns casos

Fonte: Clariant, 2012.

Um exemplo de estrutura de pigmento pode ser observado na figura 2. Trata-se de um pigmento orgânico azul 15:0, sendo este constituído por hidrocarbonetos, nitrogênio e cobre.

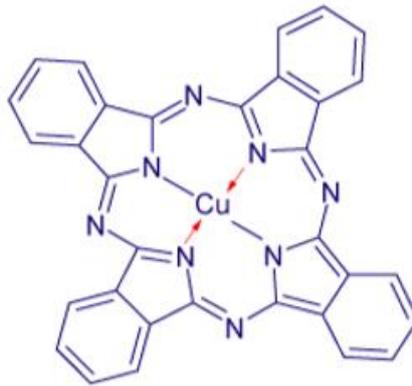


Figura 2: Estrutura de pigmento orgânico Ftalocianina de cobre.

Fonte: Clariant, 2012.

A indústria de tintas compreende a sua produção em lotes, facilitando possíveis ajustes no processo. Além disso, é possível a fabricação de bases pigmentadas concentradas e vernizes compostos para otimização do processo de produção de tintas. As principais etapas de fabricação são dispersão, moagem e completagem (FAZENDA, 2005), conforme fluxograma na figura 3.

A dispersão de pigmentos é a integração de partículas em pó em um veículo de umectação em fase líquida, acarretando em um componente homogêneo e estável.

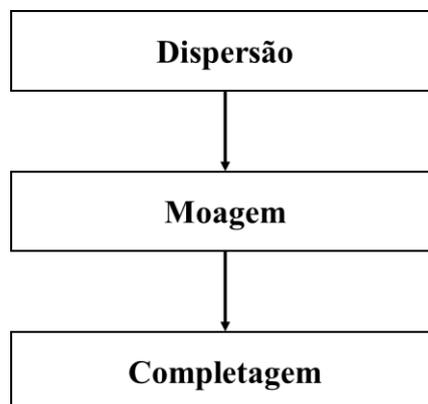


Figura 3: Principais etapas do processo de fabricação.

Fonte: da autora.

O propósito da etapa de dispersão é quebrar mecanicamente os aglomerados, possibilitando maior umectação da superfície do pigmento (FAZENDA, 2005). A figura 4 demonstra a quebra do aglomerado de pigmento, sendo transformados em agregados e partículas primárias.

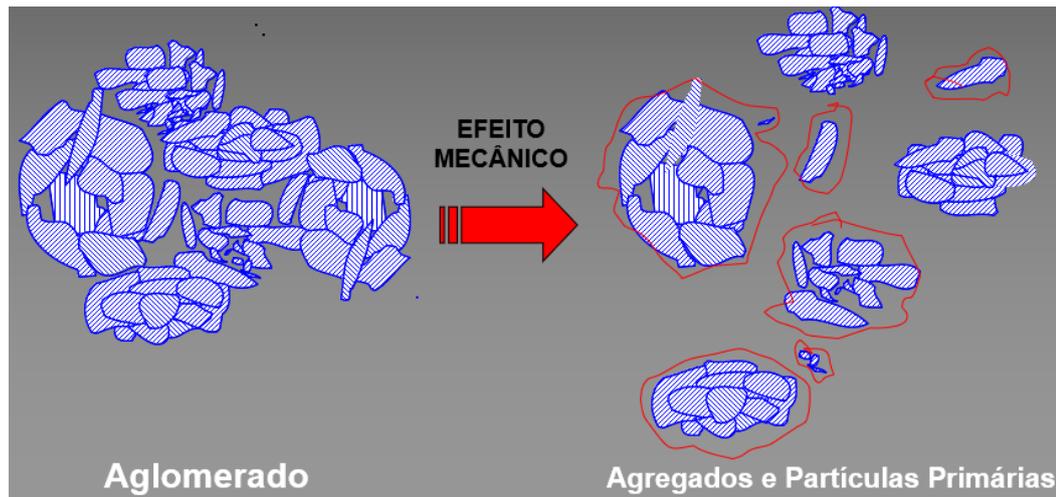


Figura 4: Efeito mecânico da dispersão de pigmentos.  
Fonte: HARBS, 2006.

Para obtenção de uma dispersão adequada é necessária a utilização de um disco dispersor conhecido como cowless, no qual consiste em um disco serrado com as bordas alternadas, conforme figura 5.



Figura 5: Disco dispersor tipo cowless.

Fonte: Soluções industriais, 2019.

Para a realização desse processo são realizados diversos cálculos, como: diâmetro e altura do tanque, diâmetro do disco, velocidade de rotação e posicionamento da haste com disco. Além disso, a formação do vórtice deve funcionar através do movimento de uma partícula que está localizada na superfície se mova até o fundo antes de completar uma revolução no tanque de mistura, de acordo com a figura 6 (FAZENDA, 2005).

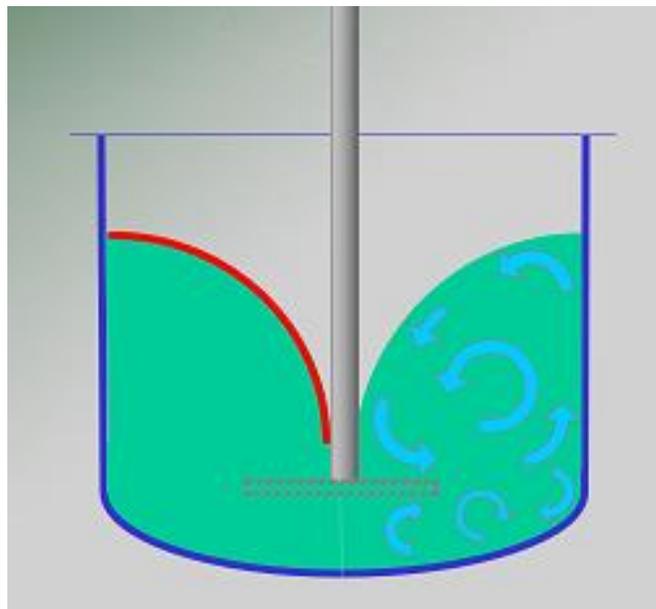


Figura 6: Circulação do produto e formação do vórtice.

Fonte: HARBS, 2006.

Para a etapa de moagem, podem ser utilizados diversos tipos de moinhos, sendo os mais usuais o moinho vertical e o horizontal, sendo que este último possui o melhor desempenho. O moinho horizontal apresenta melhor eficiência, pois a energia cinética é maior, favorecendo a moagem de bases pigmentadas com viscosidades mais altas e com pigmentos de difícil dispersão.

O moinho agitador de esferas horizontal tem a função de realizar a moagem contínua de dispersões pigmentadas. O eixo agitador de disco atua sobre a base pigmentada com alta intensidade através de toda a câmara de moagem. (HARBS, 2006)



Figura 7: Moinho agitador de esferas horizontal

Fonte: HARBS, 2006.

A base de moagem passa através da região de cisalhamento, neste momento ocorre a quebra dos aglomerados, sendo que o pigmento possui um tamanho de partícula definido. Nessa etapa é definida todas as especificações da base final, que dependerá do resultado esperado na tinta utilizada (FAZENDA, 2005).

Levando em consideração as etapas finalizadas de dispersão e moagem, o processo é finalizado com a etapa de completagem, que se constituem na redução da base pigmentada concentrada com o restante dos componentes, como o solvente, neste caso água, resinas acrílicas e aditivos, tais como antiespumantes e preservantes. Além disso, essa etapa caracterizará as especificações finais do produto, tais como viscosidade e pH.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Os métodos utilizados para análise de desempenho da nova metodologia foram aplicados em um Pigmento Orgânico base água Azul 15:0. A análise foi realizada em duas etapas: teste em escala laboratorial e escala industrial.

Com base no fluxograma apresentado na figura 1, a produção de uma base pigmentada passa por algumas etapas, iniciando pela pesagem das matérias-primas,

sendo que pelo procedimento de operação existe a primeira parte, no qual será adicionado o veículo de moagem e em seguida o pigmento.

Para o teste realizado em escala laboratorial foram necessários os seguintes equipamentos: cuba de moagem de laboratório, dispersor de laboratório, esferas de vidro, baguetas, béquer de plástico e balança semi-analítica. Além disso, as matérias-primas necessárias foram: água, resina acrílica, estabilizador de pH, dispersante, antiespumante, preservante e pigmento.

A análise inicial tratou-se de viscosidade e pH, sendo que a temperatura da amostra estava similar à temperatura do processo (aproximadamente 45°C). Após as medições e compilação dos resultados, o produto foi liberado para a etapa de moagem, sendo que nesta etapa foi feito um acompanhamento no processo, para análise da moagem feita nessas condições iniciais, obtendo assim um parâmetro de controle para o próximo teste de dispersão em escala industrial. Após a finalização da moagem, as seguintes análises foram realizadas: viscosidade, pH, grau de moagem, poder de tingimento e tinta monopigmentada, todas estas comparadas ao padrão do pigmento pesquisado.



Figura 8: Viscosímetro Copo Ford 8.

Fonte: Generalmed, 2019.

A análise de viscosidade inicial foi praticada em viscosímetro Copo Ford 8 (figura 8), cuja operação consistiu em fechar o orifício do Copo Ford com o dedo e preenche-lo com a amostra até o nível mais elevado, retirando-se posteriormente o dedo do orifício e acionando simultaneamente o cronômetro. Quando o fluxo de escoamento é cessado, anota-se o tempo do escoamento transcorrido em segundos.

O teste de pH foi feito com aparelho pHmetro. Após a calibração do pHmetro, com a amostra na temperatura de controle (seja de processo ou ambiente), mede-se o

valor de pH. Lava-se o eletrodo com água corrente e insere-se na amostra, aguarda-se o som “beep” e confere-se o valor apontado no equipamento.



Figura 9: pHmetro de bancada.

Fonte: ANALYSER, 2019.

O teste de grau de moagem foi realizado com o equipamento grindômetro (figura 10). Após etapa de dispersão e moagem foi recolhida uma alíquota da amostra e aplicada com a régua raspadora levemente inclinada para frente, estendendo-se a base pigmentada ao longo de todo equipamento. Efetua-se a leitura, levando o grindômetro à altura dos olhos e contra luz, verificando no grindômetro a parte da extensão que apresenta visualmente a amostra com aspecto uniforme e sem partículas. Na lateral do equipamento checa-se a escala, em microns. Em fase de moagem final o valor ideal é abaixo de cinco microns.

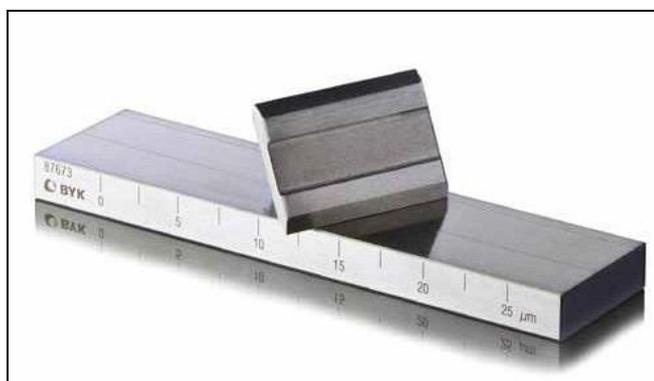


Figura 10: Equipamento grindômetro e régua raspadora.

Fonte: Direct Industry, 2019.

O teste de poder de tingimento é baseado em um método interno, que é realizado após o processo de moagem, onde é comparado com um padrão físico. Esse método consiste em pesar 20g de base pigmentada feita com Dióxido de Titânio e 2g de amostra da base analisada, e em outro béquer realizar o mesmo procedimento, porém utilizando 2g da base padrão. Após a pesagem realiza-se a homogeneização com pincel e, em seguida, retira-se uma alíquota e aplica-se sobre um papel branco tarjado, no qual é possível verificar a diferença de tingimento e tonalidade, conforme demonstrado na figura 11.



Figura 11: Determinação de poder de tingimento em papel tarjado.

Fonte: da autora.

Além desses testes é preparada uma tinta monopigmentada para conclusão da avaliação de desempenho da nova metodologia aplicada no processo de fabricação da base pigmentada. A composição da tinta resume-se em: verniz composto, base pigmentada, água e antiespumante. Após a pesagem desses itens é feito a homogeneização em agitador, mede-se a viscosidade em viscosímetro copo Zahn 2 e pH, após verificado se os parâmetros estão similares entre amostra e padrão, é feita uma aplicação da tinta em papel branco tarjado utilizando equipamento Handproofer, conforme Figura 12.

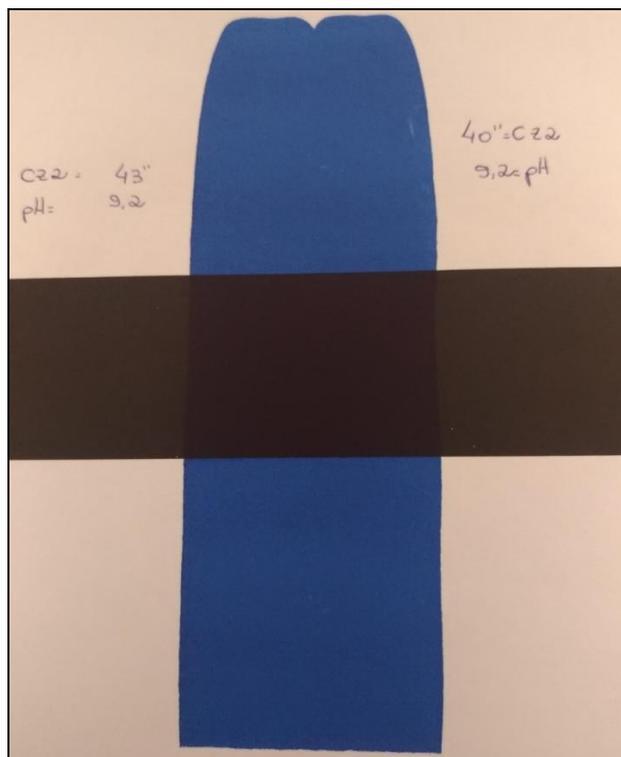


Figura 12: Aplicação tinta monopigmentada em papel tarjado.

Fonte: da autora.

No procedimento em escala industrial, foram necessários os seguintes equipamentos: dispersor, balança, moinho de esferas horizontal. Além disso, as matérias-primas necessárias foram: água, resina acrílica, estabilizador de pH, dispersante, antiespumante, preservante e pigmento. As análises realizadas foram as mesmas do procedimento em escala laboratorial, levando em consideração alguns parâmetros de controle como: tempo de dispersão, vazão no moinho, temperatura e pressão de processo de moagem.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os comparativos na tabela 2 apresentam dados obtidos pela metodologia aplicada em um pigmento orgânico azul, relativo ao colour index PB 15:0.

Para realização dos testes foram feitos primeiro um em escala laboratorial para conferência do processo e em seguida um teste em escala industrial, para comprovação da reprodutibilidade da metodologia.

O primeiro teste foi feito a partir da formula padrão F1, que é utilizada atualmente no processo de fabricação da empresa. Em seguida foi notória a melhoria de formulação para o processo e foi realizado o teste com nova formulação F2, conforme Tabela 1.

Tabela 2: Comparativo de formulações testadas em laboratório.

<b>Testes</b>	<b>Teste 1</b>	<b>Teste 2</b>
<b>Formulação</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>
<b>Resina</b>	27%	23%
<b>Dispersante</b>	3%	4%
<b>Água</b>	35,30%	37%
<b>Pigmento</b>	34%	33%
<b>Aditivos</b>	1%	3%
<b>Total</b>	100%	100%

Fonte: da autora.

No teste em laboratório com formulação F1, foi possível notar maior dificuldade no processo de dispersão, sendo necessário um tempo de 45 minutos para dispersão completa, além disso verificou que foi necessário adicionar uma correção com solvente (água) para facilitar o processo de dispersão, pois a viscosidade da base pigmentada ficou alta para o processo podendo gerar dificuldade na etapa de moagem. Foi verificado que o pigmento azul orgânico PB 15:0 apresentou uma maior absorção a óleo, tornando maior a viscosidade do meio, sendo necessário aperfeiçoamento da formulação, com maior adição de dispersante e solvente, além disso foi evidenciado que a formulação F1 não incluía um tipo de glicol (inclusive no item aditivos na formulação F2), no qual também auxiliou a melhoria na nova formulação. Após as constatações feitas no teste com formulação F1, foi realizado um teste com nova formulação F2, e notou-se que houve melhora no tempo dispersão diminuindo para 30 minutos. Além disso foi possível verificar que o grau de moagem e viscosidade melhoraram, conforme dados na tabela 3.

Esses parâmetros obtidos servirão de base para implementação da nova metodologia de avaliação do grau de dispersão, utilizando-os como valores de referência de aprovação para a etapa seguinte (moagem).

Tabela 3: Resultados de testes com as formulações F1 e F2 na etapa de dispersão.

<b>Testes</b>	<b>Teste 1</b>	<b>Teste 2</b>
<b>Formulação</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>
<b>Grau de fineza - Grindômetro</b>	8 microns	6 microns
<b>Tempo de dispersão</b>	45 minutos	30 minutos
<b>Viscosidade Copo Ford 8</b>	20 segundos	13 segundos
<b>pH</b>	9,3	9,3

Fonte: da autora.

Em seguida, foi feito um comparativo de teste de poder tintorial, pleno e tinta monopigmentada, de forma a conferir o desempenho final da nova reformulação, e cujos resultados foram similares à fórmula padrão, conforme dados na tabela 4.

Tabela 4: Resultados obtidos após moagem das formulações F1 e F2.

<b>Testes</b>	<b>Teste 1</b>	<b>Teste 2</b>
<b>Formulação</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>
<b>Poder tintorial</b>	100%	98%
<b>pH</b>	9,2	9,3
<b>Viscosidade Copo Zahn 2</b>	30"	17"
<b>Tinta monopigmentada</b>	Similar ao padrão	Similar ao padrão

Fonte: da autora.

Após certificação de desempenho superior da formulação e parâmetros de controle iniciais estabelecidos, foi produzido um teste industrial utilizando nova formulação F2 e realizado acompanhamento em todas as etapas de processo, validando a nova metodologia de avaliação.

Na etapa de dispersão foi verificado que a nova formulação apresentou bom desempenho. Foi possível notar que a dispersão estava mais "leve", sem dificuldades para homogeneizar com o remo, no qual verificou-se que não havia fundo de pigmento no tanque da base pigmentada. Após essa verificação, mediu-se a temperatura, utilizando um termômetro do tipo espeto (T=43,6°C) e realizou-se a coleta de uma amostra, executando-se os testes dos parâmetros da nova avaliação do grau de dispersão, conforme dados na tabela 5.

Tabela 5: Resultados obtidos após avaliação do grau de dispersão.

<b>Métodos</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	40°C - 45°C	43,6°C
<b>Viscosidade CF 8 (s)</b>	6” – 10”	7”
<b>pH</b>	9,0 – 10,0	9,3
<b>Grau de fineza</b>	6 – 8 microns	6 microns
<b>Tempo de dispersão</b>	Máx.: 30 minutos	30 minutos

Fonte: da autora.

Em seguida, a base pigmentada dispersa foi aprovada para a etapa de moagem, tendo sido feita avaliação durante os 3 passes realizados no processo (tabela 6), onde foi possível verificar maior eficiência e controle tanto na temperatura, como na pressão do moinho, além de constatar melhora de vazão, quando comparado com a formulação F1 (fórmula padrão no processo).

Tabela 6: Resultados dos parâmetros observados durante o processo de moagem.

<b>Parâmetros</b>	<b>Passe 1</b>	<b>Passe 2</b>	<b>Passe 3</b>
<b>Rotação</b>	1200 RPM	1200 RPM	1200 RPM
<b>Vazão</b>	9,33 kg/min	10,76 kg/min	9,66 kg/min
<b>Temperatura</b>	44°C	48°C	48°C
<b>Pressão da câmara</b>	0,7 Bar	0,7 Bar	0,7 Bar
<b>Pressão da bomba</b>	7,5 kgf/cm <sup>2</sup> .	7,0 kgf/cm <sup>2</sup> .	7,0 kgf/cm <sup>2</sup> .

Fonte: da autora.

A tabela 7 apresenta um comparativo entre as duas formulações, sendo que a formulação F1 não havia sido formulada com base nos parâmetros da metodologia de avaliação do grau de dispersão e, por sua vez, a formulação F2, foi a adequação do método padrão para o novo método, objetivando o aprimoramento e ajuste aos critérios estabelecidos como fundamentais para um processo eficiente. No qual notou-se maior vazão no processo, sendo que a nova formulação quase dobrou o valor de vazão da primeira. Por outro lado, também se observou que o moinho operou com maior

eficiência e sem apresentar desgastes e correções durante o processo, permanecendo constante e dentro dos limites estabelecidos pelo controlador do equipamento.

Tabela 7: Comparativo da vazão entre formulações F1 e F2.

<b>Testes</b>	<b>Formulação</b>	<b>Cálculo: Vazão em L/h</b>
<b>Teste 1</b>	F1	263,16
<b>Teste 2</b>	F2	512,07

Fonte: da autora.

Após finalização do ciclo de moagem e etapa de completagem foram feitas as análises de controle da etapa e comparadas com padrão da base pigmentada azul, no qual obteve-se os resultados apresentados na tabela 8.

Tabela 8: Resultados obtidos após a completagem.

<b>Análises</b>	<b>Especificações técnicas</b>	<b>Resultados</b>
<b>Viscosidade em Copo Zahn 2</b>	25'' – 30''	27''
<b>pH</b>	9,0 – 10,0	9,5
<b>Poder tintorial</b>	98% - 100%	100%
<b>Rendimento</b>	Mín.: 95%	100%

Fonte: da autora.

Logo após a aprovação da base pigmentada, foi feito o último teste para validação do processo, no qual consistiu em pesagem de uma tinta monopigmentada, composta por verniz, base pigmentada e água. No qual foi feita a comparação com formulação padrão (F1), obtendo mesmo resultado de transferência, viscosidade, pH, brilho, tonalidade e estabilidade, como pode ser observado na Figura 12.

## 5. CONCLUSÃO

O objetivo esperado para este trabalho foi atingido, onde o principal foco foi apresentar uma metodologia de avaliação para o grau de dispersão na indústria de tintas flexográficas, pretendendo contribuir para um processo produtivo com maior eficiência e redução de custos.

Ao testar a sistemática, foi estabelecido um novo critério de aprovação da base pigmentada concentrada, incluindo controle das especificações de viscosidade, pH e grau de fineza, no qual sucedeu em um aprimoramento da qualidade do processo, assegurando maior efetividade em todos os aspectos técnicos na etapa de moagem.

Nesse sentido, os dados discutidos demonstraram o desempenho de duas formulações, sendo uma delas padrão (F1) e a outra com adequação a nova metodologia (F2). Foi verificado que a formulação F2 apresentou resultado superior ao padrão em vários aspectos técnicos como a diminuição do tempo de dispersão, quantidade de pigmento e vazão no moinho. Com isso, tornou-se possível dobrar a produção da fabricação atual de base pigmentada azul, reduzindo custos e otimizando o processo, além disso também cooperou para o aperfeiçoamento da administração da operação de moagem, visto que a dispersão inadequada do pigmento poderia ocasionar problemas maiores, e também poderão auxiliar na melhora da investigação caso ocorra alguma falha no processo, visto que os parâmetros de pH e viscosidade já estariam analisados e aprovados na etapa de dispersão (pré-moagem).

Portanto, levando-se em consideração os resultados obtidos, conclui-se que é viável a implementação da nova metodologia, visto que houve maior eficiência e possibilidade de aumento de produção, bem como redução de operação do processo e menor consumo de mão-de-obra e máquina, favorecendo a empresa em maior lucratividade e redução de custos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABTG – Associação Brasileira de Tecnologia Gráfica. *Manual de impressão flexográfica* [2014?]. Disponível em: <<http://www.abtg.org.br/download/738428p486n44626d7s22958g269e4f85977q587h2c96>>. Acesso em: 09 maio 2019.

ANALYSER. Figura de pHmetro. Disponível em: <<https://www.analyser.com.br/medidor-ion-seletivo>>. Acesso em: 01 maio 2019

CLARIANT BRASIL. *Pigmentos orgânicos para tintas gráficas*. 2012. 120 slides.

CONVEREXPO. Conferência Intercontinental Flexografia. Disponível em: <<https://www.converexpo.com.br/pt/noticias/conferencia-intercontinental-flexografia-2017-brasil-novidades>>. Acesso em: 07 set. 2018

CRUZ, Gleison. **Otimização de processos industriais** [s.d.]. Disponível em: <<https://www.senai-ce.org.br/blog/otimizacao-de-processos-industriais-por-onde-comecar/>>. Acesso em: 07 set. 2018

DIRECT INDUSTRY. Figura de grindômetro. Disponível em: <<http://www.directindustry.com/pt/prod/byk-gardner-usa/product-11684-1183051.html>>. Acesso em: 01 maio 2019.

FAZENDA, Jorge M. R. **Tintas & Vernizes – Ciências e Tecnologia**. Associação Brasileira de Fabricantes de Tinta, 3ª ed. São Paulo, Edgar Blücher, 2005.

FLEXO & LABELS. **Flexografia sem medo**. Disponível em: <<http://flexoelabels.com/2018/09/04/flexografia-sem-medos/>>. Acesso em: 07 set. 2018

GENERALMED. Figura de Viscosímetro Copo Ford 8. Disponível em: <<http://www.generalmed.com.br/viscosimetro-copo-ford-pr-2203-371454.htm>>. Acesso em: 01 [maio 2019](#).

GRAVAPAC. **O que é flexografia**. [2014?]. Disponível em: <<http://www.gravapac.com.br/o-que-e-flexografia/>>. Acesso em: 07 set. 2018

HARBS, Theron W. *Informação técnica NETZSCH: O processo de pré-dispersão*. 2006. 9 slides.

INSTITUTO DA IMPRESSÃO. **O que é flexografia**. [2014?]. Disponível em: <<http://www.institutodeimpressao.com/o-que-e-flexografia/>> Acesso em: 07 set. 2018

OLIVEIRA, Antônio. **Um ano melhor na indústria de tintas**. [2018] Disponível em: <<https://www.quimica.com.br/um-ano-melhor-para-a-industria-de-tintas-abrafati/>>. Acesso em: 07 set. 2018

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. Figura de dispersor tipo cowles. Disponível em: <<https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/metais-e-artefatos/processo-inox/produtos/equipamentos-vibratorios-e-abrasivos/dispersor-tipo-cowles>>. Acesso em: 09 maio 2019

## INERTIZAÇÃO DE MEDICAMENTOS SÓLIDOS VENCIDOS: ALTERNATIVAS DE REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL

**César Augusto Munhóz Angioluci** (Centro Universitário Padre Anchieta)  
**Maria Eduarda Caum Meneguello** (Centro Universitário Padre Anchieta)  
**Raquel Carnivalle Silva Melillo** (Centro Universitário Padre Anchieta)  
**Vanderlei Inácio de Paula** (Centro Universitário Padre Anchieta)

### RESUMO

Com o crescimento acelerado da população mundial, crescem as demandas e a produção de medicamentos pela indústria farmacêutica. O aumento do consumo de fármacos associado a uma fiscalização precária e até mesmo por negligência gerou grande problemática quanto à sua disposição final. Este estudo se propôs a discutir metodologias que podem ser empregadas em relação ao descarte de medicamentos vencidos e inutilizados, visando à redução do impacto ambiental. Foram levantados e comparados métodos de inertização por incorporação em cimento da construção civil e em gesso acartonado. O gesso se apresentou mais viável financeiramente, quase nenhuma geração de resíduos, e por incorporar em aplicações que não necessitem de tanta resistência física, como o cimento.

**Palavras-chave:** Gestão de resíduos sólidos; Resíduos farmacêuticos; Sustentabilidade; Inertização, Preservação do meio ambiente.

### ABSTRACT

With the accelerated growth of the world's population, the demands and production of drugs are growing by the pharmaceutical industry. The increase in the consumption of drugs associated with a precarious supervision and even by negligence generated a great problem regarding its final disposition. This study proposes to discuss methodologies that can be used in relation to the disposal of expired and unused medications, aiming at reducing the environmental impact. Methods of inertization were raised and compared by incorporation into cement of civil construction and gypsum plasterboard. The plaster presented more viable financially, almost no generation of residues, and by incorporating in applications that do not require so much physical resistance, such as cement.

**Keywords:** Solid waste management; Pharmaceutical waste; Sustainability inertization, Preservation of the environment.

## **1 INTRODUÇÃO**

Conforme a população cresceu e se desenvolveu muitas doenças surgiram, por este motivo, uma das áreas mais importantes da ciência contempla hoje a indústria farmacêutica. Porém, nunca antes houve um gerenciamento de resíduo adequadamente sustentável devido aos recursos naturais ter sido considerado ilimitado. Contribuindo para o aumento da problemática, o consumo de fármacos aumentou globalmente sem o devido tratamento ou disposição final, seja por desinteresse sobre o assunto associado a uma fiscalização precária ou até mesmo negligência, a logística reversa tem sido pouco eficiente. Recentemente apenas, com o assunto sobre a sustentabilidade ganhando notoriedade, é que se tem dada a devida atenção sobre a gestão de resíduos em geral e a necessidade de sistematizar um gerenciamento eficiente de medicamentos inutilizados considerados contaminantes emergentes (GERALDO, 2012).

A fim de minimizar danos à saúde e ao meio ambiente, a Suécia criou uma base de dados online, que teve início em Estocolmo, e depois se estendeu ao restante do país, cuja ferramenta permite aos médicos consultar a classificação ambiental dos fármacos com o objetivo de possibilitar o uso de opções de tratamento que, eventualmente, ofereçam menos danos ambientais (ONU, 2019).

É interessante mencionar que enquanto este trabalho tem como finalidade abordar a problemática sobre a gestão dos resíduos sólidos farmacêuticos, há países que já investem na gestão de resíduos de todos os tipos. Os resultados dessa gestão são inspiradores para outros países, conforme um levantamento de dados da Suécia, apresentado na Figura 1 abaixo.

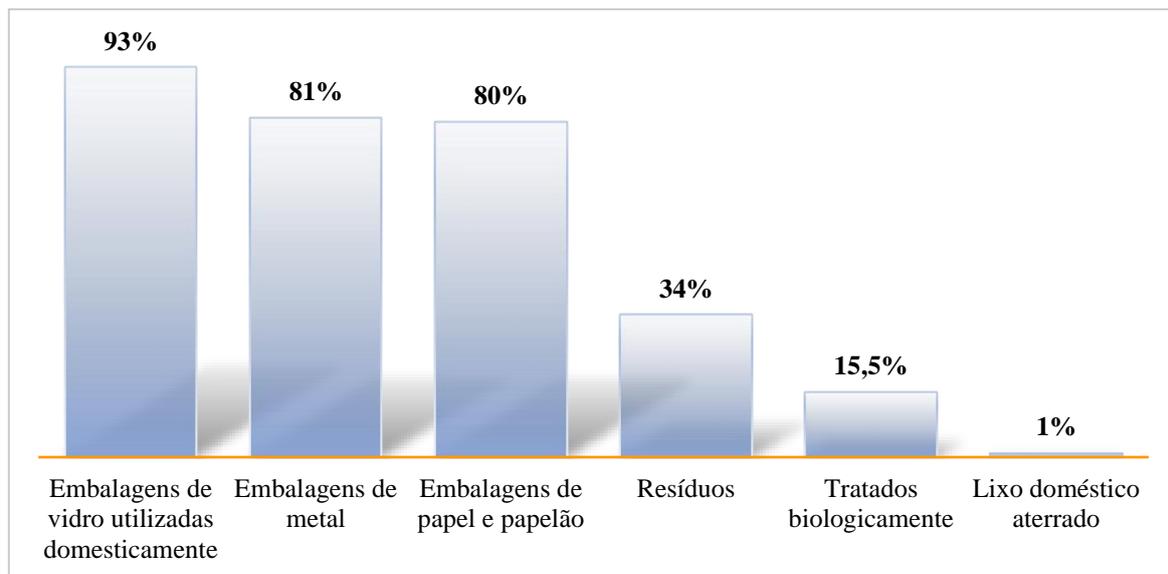


Figura 1 – Gestão de Resíduos na Suécia em 2017.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em ONU (2019).

Como pôde ser observado, apenas um por cento do lixo doméstico foi para aterro sanitário em 2017, o restante foi reciclado ou recuperado para a geração de energia, e esse processo tem sido cada vez mais aprimorado servindo de incentivo para os outros países, visto que contribui não apenas para o meio ambiente como para a qualidade de vida da população e para a economia, com novas frentes de atuação e nichos de mercado.

Neste cenário, o objetivo deste trabalho foi, justamente, discorrer sobre a destinação mais sustentável dos resíduos provenientes do uso de medicamentos, enfocando os processos e metodologias que se tornam primordiais para este tipo de resíduo. Dessa forma, o enfoque foi apresentar meios de inertização dos princípios ativos dos fármacos sólidos descartados, sem necessariamente recorrer diretamente à incineração ou à disposição em aterros. Para tanto, foi realizada uma análise de referências que tratem sobre a possibilidade de incorporar uma parte dos resíduos sólidos de medicamentos vencidos a cimentos da construção civil, mediante análises e testes de lixiviação em laboratório, no intuito de compreender quais substâncias químicas podem ser integradas nesse processo e a quantidade, visto que misturar vários tipos de medicamentos desconhecidos com outras substâncias químicas pode gerar resultados inesperados.

Espera-se que os resultados obtidos neste estudo sirvam como base para futuras investigações mais detalhadas, que permitam delinear estratégias para a gestão de resíduos farmacêuticos, em procedimentos mais assertivos e sustentáveis.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para elaborar um programa de gerenciamento de resíduos, uma estratégia de amparo que pode ser tornar um diferencial para o sucesso é estar em conformidade com um Sistema de Gestão Ambiental – SGA. Neste sentido, o modelo de SGA mais mundialmente difundido e que passa por constantes atualizações com vistas a facilitar seu emprego nos mais diversos ambientes, é proposto pela *International Organization for Standardization – ISO*, no formato da ISO 14001 (ISO, 2015).

Muitos setores, dessa forma, acabam implementando o sistema supracitado e a gestão de resíduos é iniciada. Independentemente do modelo de gestão, há necessidade de adequação a normas obrigatórias ou compulsórias, que logo são levantadas para adequação. No Brasil existem algumas diretrizes legais que visam a padronização, manutenção e fiscalização das atividades corporativas em relação à saúde pública e ao meio ambiente, como:

- Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA: órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90 (MMA, 1981).
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA: promove a proteção da saúde da população por meio do controle sanitário da produção e consumo de produtos e serviços, bem como o controle de portos, aeroportos, fronteiras e recintos alfandegados (ANVISA, 1999).

Existem, ainda, algumas Normas Técnicas, denominadas NBRs aprovadas pela ABNT, específicas para o gerenciamento de resíduos farmacêuticos e relacionados, tais como:

- NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação;
- NBR 7500 – Símbolos de risco e manuseio para o transporte e armazenamento de material – Simbologia;
- NBR 12235 – Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos – Procedimento;
- NBR 13221 – Transporte de Resíduos – Procedimento;
- NR 9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais.

De acordo com a Resolução ANVISA/RDC 306/04, que até o ano de 2018 estabelecia diretrizes referentes à gestão de resíduos de saúde, tais como: segregação, acondicionamento, identificação, transporte, armazenamento, tratamento, coleta e disposição final, foi revogada.

A nova Resolução ANVISA/RDC 222, de 28 de março de 2018, torna a gestão mais didática e objetiva que a anterior, com menor citação de outros normativos e alterações textuais para facilitar a compreensão e a inclusão de obrigações administrativas referentes ao gerenciamento, classificação de Resíduos de Serviços de Saúde – RSS e a capacitação de pessoal (ANVISA, 2018).

Contudo, não há uma legislação que trate do assunto em relação ao consumidor doméstico. Nem mesmo há informações nas bulas dos medicamentos que identifiquem o manejo e a disposição final a serem realizados em relação à geração de resíduos, pois as normas somente se aplicam aos grandes geradores de resíduos, como a indústria, os hospitais, as farmácias e drogarias e afins. O que tem sido feito para reduzir a quantidade de resíduos farmacêuticos, isto quando não são descartados como lixo comum, é a incineração. Mas apesar do volume desses resíduos ser reduzido consideravelmente, muitos gases tóxicos são lançados na atmosfera, bem como aqueles provenientes da incineração das embalagens de blisters<sup>1</sup> que armazenam e transportam os comprimidos, o que a longo prazo inviabiliza o processo pela poluição ambiental (FALQUETO et al., 2010).

O conceito da inertização, portanto, é reduzir a incineração de resíduos e evitar a contaminação do meio ambiente, como idealizado no fluxograma da Figura 2.

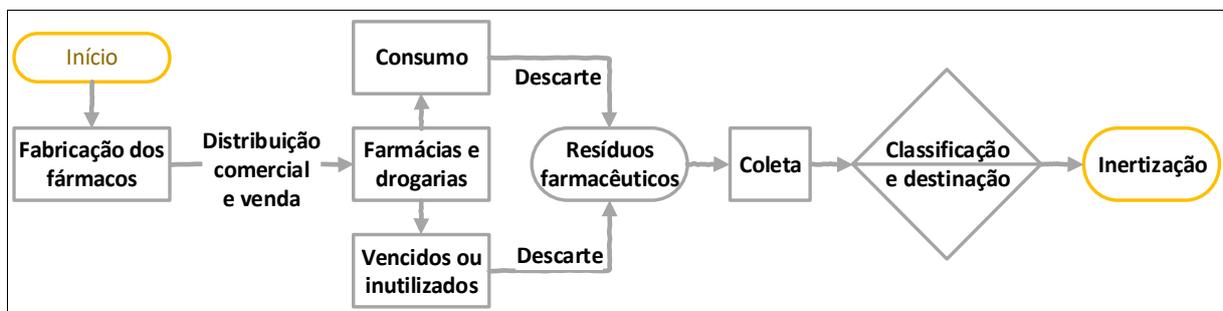


Figura 2 – Fluxograma do processo de descarte proposto.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em última instância, o processo de destruição dos resíduos ocorre por meio da incineração em temperatura controlada.

<sup>1</sup> Blistér: “Embalagem feita em cartela de plástico transparente semirrígido, em que pequenos produtos (comprimidos, pilhas etc.) são acondicionados em cavidades, coberta na parte posterior com papel-alumínio ou papelão fino.” (MICHAELIS, 2019).

Outros fatores, também considerados indispensáveis, contribuem para a escassez de tratamento e disposição final dos resíduos, dentre eles, destaca-se a falta de pessoal treinado e qualificado para exercer as atividades de vigilância sanitária e ambiental e a falta de programas de conscientização ambiental para a população, o que contribui para tornar inadequados os processos de descarte e tratamento (FALQUETO et al., 2010).

## **2.1 Conceitos de resíduos sólidos**

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (NBR 10.004/2004), os resíduos sólidos podem ser definidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido [sic], que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT NBR 10004, 2004, p.1).

A Norma visa classificar os resíduos sólidos em relação aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública mediante um laudo, com o objetivo de realizar um gerenciamento adequado.

A classificação dos resíduos sólidos consiste em identificar, com base nos resultados analíticos por amostragem, a atividade ou processo de forma a caracterizar e comparar os resultados com a listagem de substâncias, cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido, de acordo com as características físicas, químicas e/ou biológicas da amostra com a verificação de alguns critérios: se a amostra é inerte ou não, o grau de periculosidade, inflamabilidade, corrosividade e patogenicidade (ANVISA, 2006).

## **2.2 Resíduos farmacêuticos e suas problemáticas**

Os resíduos farmacêuticos são um subconjunto de resíduos químicos, sejam eles naturais ou sintéticos, que necessitam ser descartados de maneira segura e adequada, conforme as diretrizes legais vigentes, de forma a minimizar os danos à saúde humana e ao meio ambiente, pois suas formulações possuem princípios ativos que os impossibilitam de serem descartados como lixo comum.

Estudos demonstram que uma quantidade entre 50% e 90% dos medicamentos ingeridos é excretada, chegando aos esgotos na sua forma ativa. São dezenas de substâncias que não são

totalmente removidas durante os processos convencionais de tratamento de esgotos e acabam retornando para o reabastecimento de indústrias e residências (FALQUETO et al., 2010). Um exemplo disso são as tradicionais Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs brasileiras, como o DAE S/A – Água e Esgoto da cidade de Jundiaí, São Paulo, que empregam métodos que consistem em utilizar microrganismos para decompor a matéria orgânica, não eliminando, portanto, todas as substâncias tóxicas provenientes dos resíduos farmacêuticos apenas os atenuam (CSJ, 2019). As técnicas de remoção de fármacos da água consistem em ultrafiltração, ozonização, oxidação avançada, mas são utilizadas em pequena escala, geralmente em laboratórios de análises físico-químicas, pois “os elevados custos não viabilizam sua implantação para o tratamento de esgoto em larga escala” (ECYCLE, 2013).

Os princípios ativos dos fármacos, considerados contaminantes emergentes, são de difícil monitoramento nos corpos hídricos (PONTES, 2014). Os impactos ambientais deste tipo de resíduo, que inclui os antibióticos, estrogênios, antineoplásicos e imunossupressores utilizados em quimioterapia, interferem nos ecossistemas aquáticos, mesmo em baixas concentrações, causando alterações na biota, na fisiologia, no metabolismo e no comportamento das espécies que interagem com essas substâncias, além de serem resistentes e bioacumulativas, o que motivou a inclusão de três substâncias de fármacos a serem monitoradas nos corpos hídricos superficiais na União Europeia, como etinilestradiol, beta estradiol e o diclofenaco (PONTES, 2014).

Por conta dessa problemática é importante que haja uma política nacional de gerenciamento de resíduos sólidos que atue também na logística reversa de resíduos domiciliares, para que haja uma destinação ambientalmente adequada, além da inclusão de programas de conscientização nos meios de comunicação, a fim de evitar o consumo e o descarte incorretos de medicamentos que podem trazer não só riscos à saúde, mas um aumento de geração de resíduos farmacêuticos.

Existem algumas técnicas para a redução da poluição, seja por meio de redução de contaminantes na fonte geradora, ou mesmo por reciclagem ou tratamento de resíduos, conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3 – Técnicas para redução da poluição.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Fagundes et al., (2014).

Como pôde ser observada, a redução na fonte representa o estágio mais ideal sob o ponto de vista ambiental, cujas mudanças estão relacionadas à redução de contaminantes por meio de mudanças no produto, insumos, tecnologia ou processo.

A reciclagem está situada entre aquilo que mantém a poluição concentrada de forma mais organizada por meio do tratamento de resíduos, e aquilo que mais é almejado em virtude da necessidade da preservação do meio ambiente. Este trabalho pode ser identificado exatamente neste meio, mais especificamente na regeneração e reuso, cujos objetivos consistem na substituição de matéria-prima em outro processo a ser discutido subsequentemente.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, a metodologia adotada como base de estudo foi definida a partir de uma coleta de dados de revisões bibliográficas de trabalhos publicados anteriormente, elaborada de acordo com critérios que apontem, primeiramente, a grande geração de resíduos sólidos farmacêuticos como a problemática a ser tratada. A partir desse

apontamento, foram analisadas as metodologias mais comuns empregadas no processo de tratamento dos respectivos resíduos, assim como conduzir uma avaliação sobre as vantagens e desvantagens, e realizar análises comparativas dos diferentes processos abordados, para, então, delinear meios mais adequados de tratamento de resíduos sólidos farmacêuticos.

### **3.1 Tratamento de resíduos**

As metodologias comumente adotadas para o tratamento de resíduos consistem na separação, com o objetivo facilitar o processo de tratamento, e sua disposição final. Isso possibilita que sejam classificados e tratados de acordo com as Normas Técnicas vigentes, conforme a legislação. Para cada tipo de resíduo deve ser feito um tratamento diferenciado, quanto mais rigoroso for à segregação, melhor será a possibilidade de tratamento (FALQUETO et al., 2010).

A partir das análises bibliográficas sobre o tratamento de resíduos, obtêm-se duas vertentes que se destacam neste estudo: a primeira delas consiste em identificar a grande geração de resíduos, cuja deficiência de uma gestão adequada, aliada a uma ineficácia de fiscalização e de conscientização para com a população, esses fatores contribuem para a geração de muitos resíduos sólidos farmacêuticos descartados como lixo comum, e que motivam a problemática discutida. A segunda aponta que muitas empresas adotam meios alternativos para diminuir a quantidade de resíduos sólidos por meio do processo de incineração.

### **3.2 Incineração**

A coleta de dados sobre a incineração destaca uma nova problemática: a poluição ocasionada pela queima, com geração de gases tóxicos e outros contaminantes sólidos, o alto custo de processo, capacitação profissional e manutenção periódica. Esses pontos têm motivado os órgãos de preservação do meio ambiente a buscar meios alternativos à incineração de resíduos sólidos farmacêuticos (VGRESÍDUOS, 2019). Foi definido como importante, portanto, realizar um levantamento bibliográfico a respeito de metodologias de inertização mais viáveis.

### **3.3 Inertização**

Com base em revisões bibliográficas sobre a inertização, cujo objetivo é reduzir a quantidade de material incinerado para que seja incorporado em outros nichos de mercado,

obteve-se a ideia de buscar estudos que sustentem esse conceito e quais seriam os processos envolvidos e os resultados esperados, cujos critérios metodológicos priorizam um processo de baixa complexidade, baixo custo e baixa ou nenhuma geração de resíduos.

Ressaltam-se duas metodologias de inertização: a primeira delas consiste em inertização por meio da incorporação em cimento da construção civil; a outra por incorporação em gesso acartonado a serem discutidas subsequentemente.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Por meio de um levantamento dos instrumentos legais provenientes dos órgãos reguladores quanto ao gerenciamento de resíduos sólidos farmacêuticos vencidos e em desuso, este estudo identificou que com modificações de hábitos e uma logística reversa sustentável, o meio ambiente e a população podem ser beneficiados com o descarte de medicamentos vencidos e inutilizados, que poderiam culminar em impactos ambientais importantes se nenhuma medida reguladora funcional for tomada.

Conforme citado por CRF-SP (2013), “A legislação brasileira é suficiente, mas infelizmente, falta fiscalização e bom senso por parte dos profissionais”.

Ainda observamos que muitos farmacêuticos descartam medicamentos nos vasos sanitários, no lixo comum ou também dentro das caixas coletoras de resíduos perfurocortantes. Estes resíduos são destinados geralmente à prefeitura e são tratados como resíduos infectantes (a própria caixa utilizada erradamente é a de infectante), depois são depositados em aterros, sendo que nem o tratamento nem a destinação final conseguem eliminar o material químico. Se todos os estabelecimentos descartassem seus resíduos corretamente como químicos, nós garantiríamos a inativação deste material (CRF-SP, 2013).

Há outro consenso que ainda precisa ser acordado por parte das empresas: conforme alega Tondowski (1998), se uma empresa quiser tratar os seus próprios resíduos por valorizar a importância da preservação do meio ambiente, sabe que isso representa custo. Mesmo a reciclagem gera custo. Porém, se a empresa fizer o tratamento, mas o seu concorrente não, isto colocará a empresa ecologicamente correta numa posição de menor competitividade no mercado. O que tem sido observado é que as iniciativas, de modo geral, normalmente surgem a partir da obrigatoriedade legal em vez da conscientização espontânea, e isso culmina em um desenvolvimento ecologicamente correto a passos lentos (TONDOWSKI, 1998).

O que tem chamado atenção é o aumento do consumo de medicamentos. De acordo com Sindusfarma (2019), em 2018 foram vendidas 4,2 bilhões de caixas, um acréscimo de 6,56% em relação a 2017, conforme mostra a Figura 4.

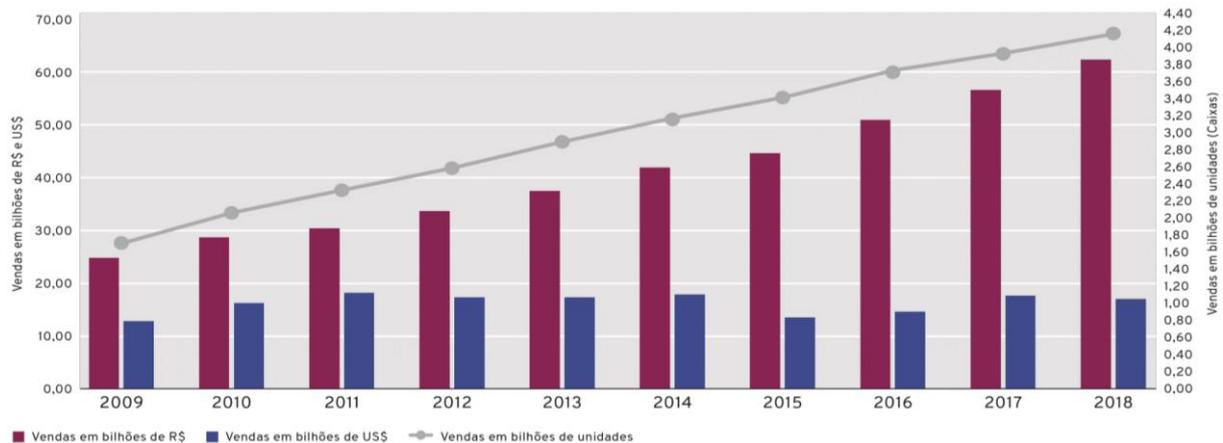


Figura 4 – Comparativo sobre o aumento do consumo de medicamentos entre 2009 e 2018 no Brasil.

Fonte: Sindusfarma (2019).

Nota-se que as vendas alcançaram 17,1 bilhões em 2018, uma redução de 3,80% na comparação com os resultados do ano anterior devido à alta variação do dólar no período, mas apesar disso, as vendas só aumentaram.

Outro dado importante a ser analisado é a detecção de contaminantes em águas superficiais, pois os métodos tradicionais de tratamento de esgoto por degradação microbológica não eliminam todas as substâncias tóxicas provenientes dos resíduos farmacêuticos. Alguns países têm monitorado essa contaminação, como mostra a Figura 5.

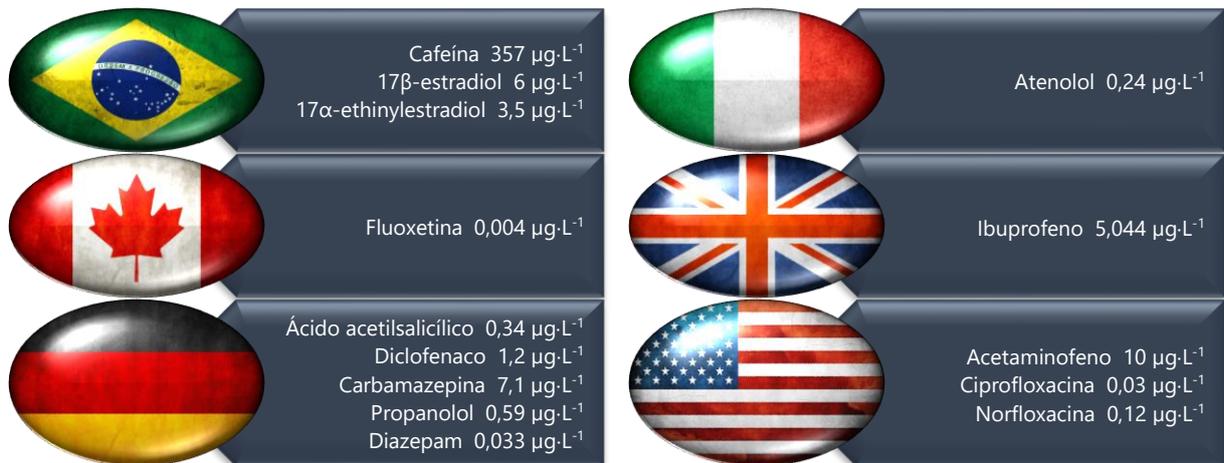


Figura 5 – Concentrações ambientais de alguns medicamentos reportadas em águas superficiais em diferentes países.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em ECO. QUADRA et al. (2018).

Mesmo em baixas concentrações, alguns estudos já apontam os efeitos causados por essas substâncias em alguns organismos aquáticos. Os hormônios são capazes de causar alterações sexuais, como hermafroditismo e feminização em peixes; o ibuprofeno altera os padrões de reprodução e a fluoxetina altera o comportamento dos peixes na fuga de predadores. Ocorrem ainda efeitos sinérgicos, que são quando duas ou mais substâncias potencializam seus efeitos, por exemplo: a combinação de ibuprofeno e diclofenaco pode elevar a mortalidade do microcrustáceo *Daphnia Magna* (ECO QUADRA et al., 2018).

#### 4.1 Incineração

O conceito da incineração consiste basicamente em reduzir entre 70 e 90% da massa de resíduo sólido incinerado, restando o produto sólido resultante da queima que é encaminhado aos aterros sanitários (VGRESÍDUOS, 2019). Na Tabela 1 segue uma análise sobre as vantagens e desvantagens deste processo.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens da incineração de resíduos.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do volume de resíduo em até 90%;</li> <li>• Destruição de resíduos altamente contaminantes e perigosos, como os orgânicos e hospitalares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto investimento em capacitação de profissionais especializados, equipamentos e manutenção periódica acarretada pelo desgaste;</li> <li>• Geração de gases tóxicos que necessita lavagem e purificação de gases que demanda alto custo e manutenção.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em FRAGMAQ (2015) e VGRESÍDUOS (2019).

Conforme abordado, a incineração é o meio mais utilizado para a redução do volume de resíduos sólidos farmacêuticos, que visa a eliminação de matéria orgânica e os riscos de contaminação de agentes patogênicos, diminuindo o volume dos resíduos e sua periculosidade por meio da combustão; no Brasil, as aplicações da incineração, até o momento, se aplicam principalmente ao processamento de Resíduos Sólidos de Saúde – RSS (FALQUETO et al., 2010).

É importante ressaltar que a incineração apresenta riscos para o meio ambiente e para a saúde humana. Um dos principais riscos são os gases emitidos pela incineração, como por exemplo, dioxina, cianeto e outros poluentes comprovadamente perigosos para a saúde pública (FALQUETO et al., 2010). Os gases efluentes de um incinerador carregam grandes quantidades de substâncias em concentrações muito acima dos limites das emissões legalmente permitidas, são potencialmente cancerígenos e de alto nível de toxicidade que necessitam de um tratamento adequado e de equipamentos modernos com alta eficiência de filtração para diminuir os riscos, embora os filtros precisem ser eliminados com altíssima concentração desses compostos, podendo poluir os próprios aterros onde são descartados.

#### **4.2 Inertização por incorporação em cimento da construção civil**

Esse tipo de inertização implica na mistura de medicamentos triturados junto ao cimento ou outras substâncias em vez de descartá-los ou incinerá-los, como é feito até então. Como o cimento é um material de construção usual, o mesmo é produzido em grande escala, sem a necessidade de equipamentos sofisticados, considerados de baixo custo em comparação aos processos de tratamento que demandam grande consumo de energia, como a incineração. Os principais requisitos para sua produção são: uma trituradora ou cilindro de estrada para triturar os resíduos sólidos farmacêuticos, uma misturadora, cimento, cal e água (SILVA, 2007).

Para a inertização de resíduos farmacêuticos, a embalagem é removida e separada para outro processo que seria o da reciclagem, o medicamento é triturado e adicionada uma mistura de água, cal e cimento, formando uma massa homogênea. Por fim, são produzidos os blocos de cimento. As proporções da mistura são (SCMS, 2016):

- 65% de resíduos farmacêuticos;
- 15% de cal;
- 15% de cimento;
- 5% de água.

Existe também a possibilidade de se criar um cimento mais resistente, chamado Portland, que é uma mistura heterogênea formada principalmente pelos seguintes compostos (SILVA, 2007, p.31):

- 50-70% de C3S - silicato tricálcico ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_4$ ), conhecido como alita;
- 20-30% de C2S - silicato dicálcico ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), conhecido como belita;
- 5-12% de C3A - aluminato tricálcico ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ );
- 5-12% de C4AF - ferroaluminato tetracálcico ( $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$ ).

A hidratação do cimento constitui a formação de outros produtos, dentre eles são: (SILVA, 2007 apud. YOUSUF et al, 1995):

- 20-25% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (portlandita, CH, de “*Calcium Hydroxide*”);
- 60-70% de  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (Silicatos de cálcio hidratado, C-S-H, de “*Calcium-Silicate-Hydrate*”);
- 5-15% de outras fases sólidas como trissulfoaluminato de cálcio (etringita), o monossulfoaluminato de cálcio e outros.

O principal produto de hidratação, C–S–H, representa uma composição variável e a sua morfologia é dependente da razão Ca/Si, das condições de fixação e da razão água/material sólido (SILVA, 2007, p.31): “O processo de cimentação fixa a água livre, aumenta o pH e altera outras propriedades químicas da mistura, reduz a área superficial e aumenta a resistência. Todos estes mecanismos contribuem para a melhora nas qualidades do resíduo tratado.” (Ibid, apud EPA, 1993, p.31).

Esse tipo de mistura para incorporação em cimento alcança os objetivos propostos pela inertização devido a “formação de um sólido granular ou monolítico que incorpora o material residual e imobiliza os contaminantes. A formação da matriz sólida ocorre devido a hidratação dos silicatos no cimento, fornecendo silicatos de cálcio hidratado” (SILVA, 2007, p.29).

Dos agentes ligantes inorgânicos, o cimento Portland provavelmente tem tido a maior diversidade de aplicação a diversos resíduos perigosos, especialmente quando combinados com cinzas volantes. Como o cimento é um material de construção usual, os materiais e equipamentos são geralmente produzidos em larga escala e geralmente de baixo custo quando comparado a processos de tratamento de grande consumo de energia como a vitrificação e a incineração (SILVA, 2007, p.31).

As vantagens e desvantagens do processo baseado em cimento Portland foram listadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens do Cimento Portland.

Cimento Portland	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidade de encontrar facilmente os materiais;</li> <li>• Baixo custo dos materiais e dos equipamentos de mistura;</li> <li>• Uso de minerais de ocorrência natural como matéria-prima para a matriz;</li> <li>• Capacidade de formar uma barreira física forte sob condições adversas;</li> <li>• Flexibilidade na formatação das propriedades conforme a aplicação;</li> <li>• Baixa variabilidade na composição;</li> <li>• Reações de fixação e endurecimento razoavelmente bem conhecidas e alguns dados disponíveis sobre a imobilização de metais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A eficiência do processo é sensível à presença de algumas substâncias em concentrações altas;</li> <li>• Os resíduos processados apresentam porosidade que pode permitir a lixiviação dos contaminantes em casos de uma fixação ineficiente;</li> <li>• O volume do resíduo aumenta devido a adição do agente ligante;</li> <li>• Existe a necessidade de especialistas para que uma aplicação seja bem-sucedida, embora o processo aparentemente pareça simples.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Silva (2007), p.30.

O processo de inertização por incorporação em cimento atende aos requisitos propostos devido à formação de um sólido que incorpora ao material residual e imobiliza os resíduos contaminantes para que não entrem em contato com o meio ambiente (SILVA, 2007, p.30).

### 4.3 Inertização por incorporação em gesso acartonado

A incorporação de resíduos farmacêuticos ao gesso tende a diminuir o risco dos princípios ativos tóxicos contidos nos medicamentos contaminarem as águas superficiais e subterrâneas e é apropriado para resíduos farmacêuticos, produtos químicos e cinzas de incineração com grande quantidade de metais; o processo consiste em uma estabilização (SCMS, 2016).

Esta incorporação segue os mesmos critérios da inertização em cimento, entretanto, a composição da massa para formar as placas de gesso pode sofrer alterações de acordo com as necessidades.

Conforme foram analisados os meios mais adequados de inertização de resíduos sólidos farmacêuticos, além da inertização por incorporação desses resíduos em cimento de construção civil, verificou-se ainda a possibilidade de incorporá-los a outros materiais, como por exemplo, ao gesso acartonado, também chamado *drywall*, um material muito utilizado na arquitetura, principalmente para a elaboração de sancas.

Esse tipo de material consiste basicamente de painéis de gesso constituídos de sulfato de cálcio hidratado, com ou sem aditivos, de acordo com a finalidade, envolvido por lâminas de papel-cartão; é um material mais leve e com menor espessura em relação às paredes de alvenaria, cujas variações consistem em aplicações para diferentes finalidades, como resistência a fogo ou umidade, isolamento acústico, cimentícia para ainda mais resistência, entre outras (NUNES, 2015). A inertização no gesso seria uma alternativa a mais a ser incorporada. Ressalta-se ainda uma curiosidade interessante: devido a sua tecnologia “seca”, o *drywall* evita a proliferação de insetos em ambientes devido a sua composição rica em aditivos não favorecer um ambiente propício para a multiplicação destes.

Diante disso, surgiu como proposta para este estudo incorporar os resíduos sólidos farmacêuticos junto ao gesso acartonado, entretanto, alguns testes laboratoriais podem ser necessários para verificar a qualidade e a dureza do produto final, bem como a quantidade máxima de resíduos farmacêuticos que pode ser incorporada ao gesso sem comprometer suas propriedades físico-químicas.

#### 4.4 Vantagens e desvantagens dos processos abordados

Conforme os estudos realizados e os processos existentes de tratamento ou redução do volume de resíduos sólidos farmacêuticos gerados, a Tabela 3 aborda as vantagens e desvantagens dos principais aspectos desses processos:

Tabela 3 – Vantagens e desvantagens dos processos.

	Vantagens	Desvantagens
<b>Inertização em cimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixo impacto ambiental;</li> <li>Baixo custo;</li> <li>Processo relativamente simples e prático.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Testes laboratoriais ainda precisam ser feitos para garantir que as propriedades físico-químicas sejam mantidas.</li> </ul>
<b>Inertização em gesso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixo impacto ambiental;</li> <li>Baixo custo;</li> <li>Processo relativamente simples e prático.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Testes laboratoriais ainda precisam ser feitos para garantir que as propriedades físico-químicas sejam mantidas.</li> </ul>
<b>Incineração</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Redução do volume de resíduos em torno de 90%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alto custo na aquisição de equipamentos e qualificação de profissionais;</li> <li>Geração de gases tóxicos que necessita lavagem e purificação de gases que demanda alto custo e manutenção.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Silva (2007); Nunes, (2015) e VGResíduos (2019).

Conforme apresentado na tabela acima, nota-se que não há somente uma forma de inertização de resíduos, e sim processos distintos, de acordo com a necessidade, avaliando os pontos positivos e negativos para decidir qual método usar para a inertização dos medicamentos sólidos, em vez de simplesmente incinerá-los e dispô-los em aterros sanitários.

## 5 CONCLUSÃO

O descarte dos resíduos sólidos farmacêuticos no meio ambiente advém da negligência dos próprios profissionais envolvidos, falta de fiscalização, de instrução e de incentivos governamentais para com a população em geral. Um dos caminhos para impedir tais problemas e agir com responsabilidade é conscientizar a população e aumentar a fiscalização dos profissionais da saúde que deveriam adotar uma logística reversa adequada, uma vez que o Brasil já possui legislação suficiente para isso.

Analisando comparativamente métodos de inertização, verificou-se que a metodologia por incorporação em gesso acartonado se mostrou muito viável, não só em relação aos benefícios ao meio ambiente e à saúde humana, mas pela viabilidade financeira, quase nenhuma geração de resíduos, diferente da incineração, e por incorporar em aplicações que não necessitem de tanta resistência física, como no caso do cimento.

É uma iniciativa muito promissora na atual conjuntura, mas que ainda precisa de incentivos governamentais que estimulem cada vez mais a população e as empresas a adotarem meios alternativos de produção visando o menor impacto possível ao meio ambiente, sem que as empresas ecologicamente corretas sejam colocadas em desvantagem em relação aos meios de produção tradicionais.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 10004:2004. Norma Brasileira ABNT NBR 10004, Resíduos sólidos - Classificação. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, v. 2, n. 01, p. 71, 2004.

ANVISA. **Institucional**. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/institucional>>. Acesso em: 1 set. 2019.

ANVISA. **Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde**. Brasília, 2006. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/servicosaude/manuais/manual\\_gerenciamento\\_residuos.pdf](http://www.anvisa.gov.br/servicosaude/manuais/manual_gerenciamento_residuos.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2019.

ANVISA. **RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº222, DE 28 DE MARÇO DE 2018.** DOU nº 61, 2018. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/3427425/RDC\\_222\\_2018\\_.pdf/c5d3081d-b331-4626-8448-c9aa426ec410](http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/3427425/RDC_222_2018_.pdf/c5d3081d-b331-4626-8448-c9aa426ec410)>

CRF-SP. Resíduos e Gestão Ambiental. **Revista do Farmacêutico 114**, 2013.

CSJ. **Tratamento de esgoto com segurança e respeito ao meio ambiente.** Disponível em: <[www.saneamento.com.br](http://www.saneamento.com.br)>. Acesso em: 5 set. 2019.

ECO. QUADRA et al. **Medicamentos e Meio ambiente: soluções individuais, problemas coletivos**, 2018. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/colunas/colunistas-convidados/medicamentos-e-meio-ambiente-solucoes-individuais-problemas-coletivos>>. Acesso em: 1 nov. 2019.

ECYCLE. **Descarte de medicamentos vencidos: como e onde descartar corretamente.** Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/149-descarte-de-medicamentos>>. Acesso em: 13 set. 2019.

FAGUNDES, A. B.; SILVA, M. C. DA; MELLO, R. DE. A gestão dos resíduos industriais em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos: Uma contribuição para as Micro e Pequenas Empresas. Vol. 36 (Nº 01), 2014. Disponível em: <<https://www.revistaespacios.com/a15v36n01/15360106.html>>. Acesso em: 13 set. 2019.

FALQUETO, E.; KLIGERMAN, D. C.; ASSUMPÇÃO, R. F. **Como realizar o correto descarte de resíduos de medicamentos? Ciência & Saúde Coletiva.** Rio de Janeiro, SciELO, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-81232010000800034](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232010000800034)>

FRAGMAQ. **Quais são as vantagens e desvantagens da incineração do lixo?**, 2015. Disponível em: <<https://www.agmaq.com.br/blog/sao-vantagens-desvantagens-incineracao-lixo/>>. Acesso em: 13 set. 2019.

GERALDO, V. F. **Medicamentos vencidos: descarte consciente para uma política cidadã.** Disponível em: <[http://repositorio.faema.edu.br:8000/bitstream/123456789/608/1/GERALDO%2C V. F. - MEDICAMENTOS VENCIDOS.. DESCARTE CONSCIENTE PARA UMA POLÍTICA CIDADÃ.pdf](http://repositorio.faema.edu.br:8000/bitstream/123456789/608/1/GERALDO%2C%20V.%20F.%20-%20MEDICAMENTOS%20VENCIDOS..%20DESCARTE%20CONSCIENTE%20PARA%20UMA%20POLÍTICA%20CIDADÃ.pdf)>. Acesso em: 27 nov. 2018.

ISO. **Sistemas de Gestão Ambiental**, 2015. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3203163/mod\\_folder/content/0/NBRISO14001.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3203163/mod_folder/content/0/NBRISO14001.pdf?forcedownload=1)>. Acesso em: 13 set. 2019.

MICHAELIS. **Blister.** Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=blister>>. Acesso em: 13 set. 2019.

MMA. **O que é o CONAMA? Criação do CONAMA: Lei 6938/81**, 1981. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm>>. Acesso em: 31 ago. 2019

NUNES, H. P. **Estudo da Aplicação do Drywall em Edificação Vertical**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6691/1/CM\\_COECI\\_2015\\_2\\_16.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6691/1/CM_COECI_2015_2_16.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2019.

ONU. **Suécia - Pioneira em boas práticas na gestão de químicos e resíduos**, 2019. Disponível em: <<https://www.unenvironment.org/pt-br/noticias-e-reportagens/story/suecia-pioneira-em-boas-praticas-na-gestao-de-quimicos-e-residuos>>. Acesso em: 8 set. 2019.

PONTES, A. T. Modelo de processos de negócio para a logística reversa de resíduos domiciliares de medicamentos incorporando a avaliação de sustentabilidade do ciclo de vida de produtos, 2014. Disponível em: <<http://www.producao.ufrj.br/index.php/br/teses-e-dissertacoes/teses-e-dissertacoes/doutorado/2014-1/41--34>>. Acesso em: 3 set. 2019.

SCMS. Descarte de produtos médicos não utilizáveis nas campanhas de circuncisão masculina médica voluntária e de intervenções de saúde, 2016. Disponível em: <[https://aidsfree.usaid.gov/sites/default/files/scms\\_umpmanagementguide\\_100716-pt.pdf](https://aidsfree.usaid.gov/sites/default/files/scms_umpmanagementguide_100716-pt.pdf)>. Acesso em: 1 set. 2019

SILVA, M. A. DO R. **SOLIDIFICAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INORGÂNICOS INDUSTRIAIS: estudo da eficiência do processo e evidência de mecanismos de imobilização**. 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/90024/240986.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 5 set. 2019.

SINDUSFARMA. **Relatório Anual de Atividades 2018**, 2018. Disponível em: <<https://sindusfarma.org.br/arquivos/RAASindusfarma2018.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

TONDOWSKI, L. **O cuidado com as soluções criativas**. Revista Saneamento Ambiental, p. 16–24, 1998.

VGRESÍDUOS. **Quais são as vantagens e as desvantagens da incineração do lixo?**, 2019. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/quais-sao-as-vantagens-e-as-desvantagens-da-incineracao-do-lixo/>>. Acesso em: 13 set. 2019.

## ÓLEO DE SOJA EPOXIDADO: UMA ANÁLISE DO USO DESTES PLASTIFICANTE NA PRODUÇÃO DE PVC EM SUBSTITUIÇÃO AOS FTALATOS

Guilherme H. Z. Aleixo (Centro Universitário Padre Anchieta)

Tatiana Lança (Centro Universitário Padre Anchieta)

Claudemar José Trevizam (Centro Universitário Padre Anchieta)

### RESUMO

Os compostos de policloreto de vinila (PVC) são versáteis e empregados nos mais variados setores da indústria, entretanto diversos aditivos são inseridos no processamento para que haja tal versatilidade. A fim de se obter produtos flexíveis através da resina de PVC são utilizados plastificantes, em grande parte ftalatos, que aparecem em pesquisas como substâncias prejudiciais à saúde. Este trabalho teve por objetivo verificar a possibilidade de substituição total dos plastificantes dioctil ftalato (DOP) e diisobutil ftalato (DIBP) por óleo de soja epoxidado (OSE), plastificante de menor custo e isento de substâncias tóxicas, além de estudar as alterações de propriedades físicas do PVC com diferentes proporções dos plastificantes. Foram realizados testes de dureza (ShoreA), propriedades após envelhecimento acelerado em estufa e extração do plastificante por solventes, comparando compostos com diferentes proporções de OSE e DOP/DIBP, até a substituição total. Através dos resultados obtidos, ficou evidente que a substituição dos plastificantes DOP e DIBP pelo OSE pode ser realizada sem que haja alterações negativas nas propriedades do produto final.

**Palavras-chave:** PVC; Plastificante; Óleo de soja epoxidado.

### ABSTRACT

Polyvinyl chloride (PVC) compounds are versatile and employed in a wide range of industry segments, however various additives are inserted into the processing for such versatility. In order to obtain flexible products, PVC compound uses plasticizers, mostly phthalates, which appear in research as harmful substances to health. The objective of this work was to verify the possibility of total replacement of dioctyl phthalate (DOP) and diisobutyl phthalate (DIBP) plasticizers with epoxidized soybean oil (OSE), lower cost plasticizer and free of toxic substances, and to study the PVC physical properties changes with different proportions of plasticizers. Hardness tests (ShoreA), properties after accelerated kiln aging and extraction of plasticizer by solvents were performed, comparing compounds with different proportions of OSE and DOP / DIBP, until total replacement. From the results obtained, it was evident that the substitution of plasticizers DOP and DIBP by OSE can be performed without negative changes in the properties of the final product.

**Keywords:** PVC; Plasticizer; Epoxidized soybean oil.

## 1. INTRODUÇÃO

Materiais utilizados em grande escala na indústria, os compostos de policloreto de vinila (PVC) oferecem alternativas interessantes para muitos setores por suas diversas características que atendem a uma alta gama de produtos, como tubos para construção civil, revestimentos de fios e cabos, brinquedos, calçados, filmes plásticos, entre outros. Os plastificantes são aditivos amplamente utilizados no processamento do PVC, são responsáveis por alterar a característica da resina, possibilitando a geração de compostos flexíveis, a IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) define plastificantes como “substâncias incorporadas a plásticos ou elastômeros com a finalidade de aumentar sua flexibilidade, processabilidade ou capacidade de alongamento”, como reforçam Rodolfo Jr., Nunes e Ormanji (2002) alteram a viscosidade do fundido, a temperatura de gelificação – transição vítrea -, e o módulo de elasticidade, reduzindo a dureza e aumentando a flexibilidade. Os plastificantes podem ser divididos em dois grupos, de acordo com sua compatibilidade com a resina:

Plastificantes primários são os que possuem alta compatibilidade com o PVC, promovendo sua rápida gelificação. [...] e plastificantes secundários são os que possuem em média boa compatibilidade com o PVC e exercem menor influência em sua gelificação. (RODOLFO Jr.; NUNES; ORMANJI, 2002, p.77)

Existem atualmente diversos tipos de plastificantes, entre os mais utilizados estão os constituídos por ftalatos que realizam fortes interações físicas com o PVC, porém os ftalatos de baixo peso molecular como o dioctil ftalato (DOP) são conhecidos por oferecerem riscos à saúde, e estão listados no artigo XIV do REACH (Registration, Evaluation, Authorization Chemicals), principal órgão regulador de produtos químicos da União Européia, segundo Vargas e Santana (2014). Portanto, existe alguma substância que empenhe satisfatoriamente as funções dos plastificantes de ftalatos, sem oferecer os riscos presentes nos mesmos?

Utilizado como plastificante secundário, o óleo de soja epoxidado (OSE) vem sendo empregado como plastificante primário do policloroeteno por algumas empresas, o que traz benefícios ambientais e à saúde, uma vez que trata-se de uma substância oriunda do óleo do grão da soja e isenta de substâncias tóxicas em sua composição, além de ser mais barato que os tradicionais ftalatos. O presente artigo busca aliar elementos teóricos já existentes, presentes na revisão bibliográfica, com experimentos práticos para efeito de comparação,

relacionando o uso do óleo de soja epoxidado como plastificante primário com as características do produto final. Além de favorecer melhor visualização do comportamento de compostos de PVC, por meio de análise das propriedades físicas, tendo plastificantes usuais gradativamente substituídos pelo OSE.

## **2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. História**

O policloreto de vinila (PVC) é um ótimo exemplo da versatilidade dos polímeros, segundo Rodolfo Jr., Nunes e Ormanji (2002, p.14) sua descoberta se iniciou com a obtenção do monômero cloreto de vinila (MVC), realizada por Justus von Liebig em 1835, por meio da reação do dicloroetileno com hidróxido de potássio em solução alcoólica. Entratanto, como afirmam Rodolfo Jr., Nunes e Ormanji (2002, p.14), a polimerização do MVC para obter-se o PVC só ocorreu 37 anos mais tarde, por E. Baumann, que observou a mudança do monômero em estado gasoso para um produto sólido branco, com propriedades que indicaram tratar-se do polímero. Segundo Diacenco e Fernandes (2013, *on-line*) o procedimento para a produção comercial do PVC foi descoberto por Fritz Klatte, em 1912 na empresa Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, para qual trabalhava, tal processo consistia em obter o MVC por meio da reação do gás acetileno com o cloreto de hidrogênio.

O início da produção em escala industrial passou por diversos entraves, devido sobretudo pela instabilidade térmica característica do material, e a empresa alemã Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, que era a grande responsável pelos avanços relacionados ao processamento do PVC, abriu espaço para outras indústrias buscarem o aperfeiçoamento de processos para a fabricação comercial do mesmo. Em 1926 ocorreu uma das maiores e mais importantes descobertas do seguimento, “W. Semon, pesquisador da B. F. Goodrich, descobriu que misturando-se o PVC com tricresil fosfato ou dibutil ftalato – hoje conhecidos como plastificantes, era possível processá-lo e torná-lo altamente flexível” (RODOLFO Jr.; NUNES; ORMANJI, 2002, p.15), tal descoberta proporcionou o crescimento do setor, e a gigantesca gama de produtos conhecida atualmente. Além da flexibilidade, a estabilidade térmica foi outra característica do PVC a ser manipulada, por meio de compostos

desenvolvidos posteriormente a base essencialmente de chumbo, cálcio, bário e zinco, hoje conhecidos como estabilizantes, que possibilitam facilidade no processamento do material.

## **2.2. Plastificação**

Existem dois mecanismos de plastificação diferentes citados por Rodolfo Jr., Nunes e Ormanji (2002, p.79) que buscam facilitar a compreensão do processo realizado pelo plastificante, a teoria da lubrificação e a teoria do gel. A teoria da lubrificação foi elaborada através do trabalho de Kirkpatrick e propõe que os plastificantes atuam como lubrificantes internos, diretamente no atrito intermolecular das cadeias poliméricas. Em contrapartida, a teoria do gel, ou da gelificação, sugere que os plastificantes atenuam as ligações de Van der Waals, reduzindo assim a rigidez do composto. Ainda segundo Rodolfo Jr., Nunes e Ormanji (2002, p.79), tal fenômeno ocorre devido ao posicionamento do plastificante entre as cadeias de PVC, espaçando-as e conseqüentemente aumentando a força de atração entre elas, flexibilizando o polímero.

A gelificação ocorre durante a transformação da resina PVC em produto final, geralmente sob aquecimento, em processos como calandragem, extrusão, entre outros. Como colocado por Alves e Rodolfo Jr. (2006), a gelificação tende a modificar a estrutura das partículas granulares da resina, destruindo a identidade das partículas primárias e da região cristalina. Em seguida, com o resfriamento a cristalização secundária acontece e é formada uma rede tridimensional de emaranhados de cadeias com regiões ordenadas, formando um composto morfologicamente diferente do original. Em suma, o fenômeno consiste na “desintegração de vários níveis morfológicos através da combinação de temperatura, pressão e tensão local acompanhado pelo desenvolvimento de um fundido mais ou menos homogêneo e com o resfriamento o desenvolvimento de uma cristalização secundária.” (ALVES; RODOLFO Jr., 2006, p.166), sendo essencial na fabricação de qualquer produto constituído pelo poli(cloreto de vinila), sendo favorecido pela incorporação de plastificantes à resina.

## **2.3. Plastificantes**

Diversos tipos de plastificantes são empregados para a geração de compostos flexíveis de PVC, de modo geral podem ser destacados de acordo com algumas características que atendem a diferentes tipos de processos e produtos finais desejados. Algumas propriedades são consideradas essenciais para que o plastificante cumpra sua função, segundo Rodolfo Jr., Nunes e Ormanji (2002, p.78) são elas: a permanência, a compatibilidade e a eficiência; que são referentes à resistência a extração por solventes e a migração para a superfície do produto, à relação da polaridade da molécula da resina e do plastificante, e o poder de solvatação do plastificante, respectivamente. Além das características citadas, existem outras que são desejáveis para uma boa classificação do plastificante, como ausência de substâncias tóxicas, baixa inflamabilidade, ausência de cor e odor, baixa volatilidade e alta resistência térmica para não sofrer perdas no processamento, e baixo custo.

Há muitas classes de plastificantes disponíveis para o uso em resinas de PVC, com diversas características para melhor atender cada uma das inúmeras aplicações do polímero. Destacam-se os Ftalatos, por sua importância e vasta utilização na indústria, porém existem outros tipos também empregados de acordo com as necessidades do produto, como os plastificantes fosfatados – que conferem propriedades antichama ao produto final, os diésteres alifáticos – para melhorias no desempenho a baixas temperaturas, os plastificantes poliméricos – com perda por extração e exsudação mínima, e os óleos epoxidados – utilizados como plastificante secundário para melhoria da estabilidade térmica, entre outros. (RODOLFO Jr.;NUNES; ORMANJI, 2002, p.90). No vigente estudo serão considerados os ftalatos, por se tratar do grupo de plastificantes mais utilizados atualmente e tema de debates por algumas proibições relacionadas com seu efeito prejudicial à saúde, e o óleo epoxidado, devido ao baixo custo e origem limpa, sendo um potencial substituto para os tradicionais ftalatos.

### **2.3.1. Ftalatos**

Amplamente utilizados na indústria, os ftalatos são geralmente empregados como elementos primários no processamento do PVC, “são os plastificantes mais utilizados em compostos de PVC, sendo os mais comuns aqueles obtidos a partir de alcoóis de cadeias ramificadas, desde o isopentanol até o isononanol.” (PERITO, 2011, p.6). “Embora os ftalatos

estejam em uso extensivo há mais de cinquenta anos, uma série de trabalhos sobre toxicidade [...] demonstrou a existência de alguns problemas” (NETTO, 2007, *online*), o que gerou diversas proibições principalmente nos ramos de brinquedos e alimentos. Existem diversos tipos com propriedades e fins variados disponíveis no mercado, no presente trabalho serão citados os grupos dos ftalatos de uso geral e dos ftalatos de alto poder de solvatação, devido à alta taxa de aplicação de ambos em resinas vinílicas.

Os ftalatos de uso geral pertencem ao grupo químico de plastificantes mais utilizados em compostos de PVC, e segundo Perito (2011) dentre eles o dioctilftalato (DOP) é considerado plastificante padrão da indústria do PVC, por apresentar a melhor relação custo/desempenho e bom balanço de propriedades físicas, mecânicas, térmicas e reológicas em aplicações de uso geral.

Os ftalatos de alto poder de solvatação são altamente voláteis e mais caros que os ftalatos de uso geral, são utilizados em processos de baixas temperaturas, e rápida gelificação, como afirmam Rodolfo Jr., Nunes e Ormanji (2002, p.89). Diversos plastificantes podem ser encontrados entre os ftalatos de alto poder de solvatação, entre eles o Diisobutil ftalato (DIBP), utilizado no processamento do PVC geralmente em conjunto com outros plastificantes para se alcançar melhores resultados a baixas temperaturas. A Figura 1 ilustra as estruturas moleculares encontradas nos dois plastificantes empregados nos compostos testados no presente estudo, DOP e DIBP.

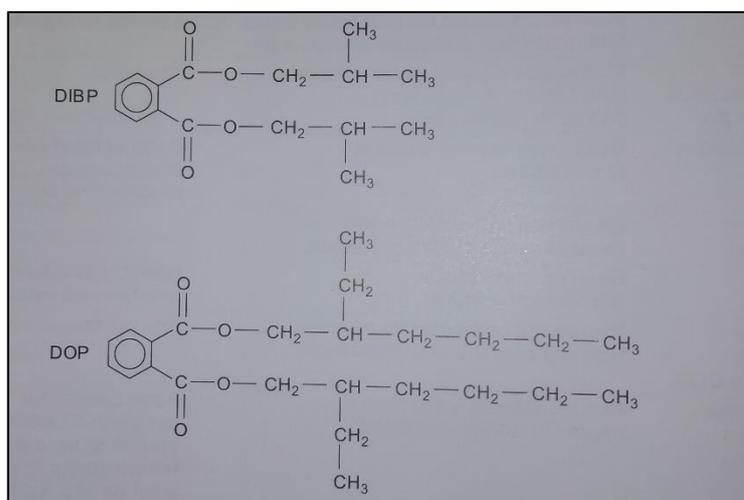


Figura 1: Estruturas moleculares do DIBP e do DOP.

FONTE: RODOLFO Jr.;NUNES; ORMANJI, 2002, p.88.

### 2.3.2. Óleo de Soja Epoxidado (OSE)

No que se refere aos plastificantes naturais: “os tipos mais conhecidos de plastificantes de fontes naturais para o uso com o PVC são produzidos pela epoxidação de óleos vegetais ou de ésteres insaturados, sendo que esta reação emprega, em geral, um perácido orgânico.” (MADALENO, et.al, 2009, p.264). Segundo Rodolfo Jr., Nunes e Ormanji (2002, p.94), não possuem uma estrutura química precisa, devido a sua origem natural, mas é característico a presença do grupo químico epóxi ou oxirana (Figura 2), que é determinante na compatibilidade com a resina, assim como na permanência no composto e a estabilização térmica. Portanto, quanto maior o índice de oxirânico, maior a qualidade e eficiência do óleo epoxidado no PVC.

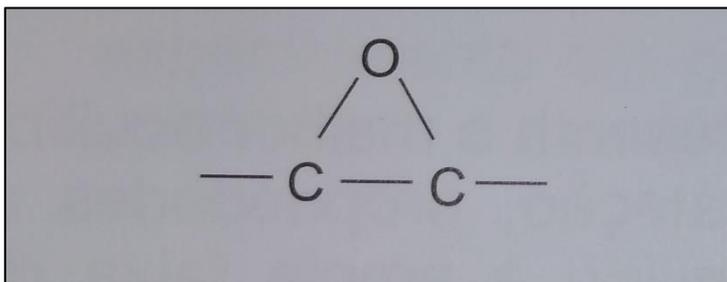


Figura 2: Grupo químico oxirana, presente no OSE.

FONTE: RODOLFO Jr.;NUNES; ORMANJI, 2002, p.94.

O óleo de soja epoxidado (OSE) é obtido através da reação de epoxidação do óleo de soja, onde as duplas ligações do óleo são quebradas pela reação com perácido fórmico, formando os anéis oxirânicos que garantem a permanência do plastificante no polímero. Amplamente utilizado na indústria de PVC no Brasil, devido à disponibilidade de matéria-prima (óleo de soja) em território nacional, e também por suas vantagens como explicam Madaleno et.al (2009, p.264), “apresenta massa molar de  $1.000 \text{ g.mol}^{-1}$  e viscosidade de  $500 \text{ mPa.s}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e é largamente utilizado na indústria do PVC, devido às suas características de sinergia com os estabilizantes térmicos para o PVC, além do seu efeito como plastificante secundário”. “As características de residência à migração e extração são comparáveis às exibidas pelos plastificantes primários de menor peso molecular” (RODOLFO Jr.;NUNES; ORMANJI, 2002, p.94), tal conceito limitou sua aplicação durante muito tempo, e o restringiu apenas para o papel de plastificante secundário, auxiliando na estabilidade

térmica, porém, segundo Quadros Junior (2015, p.21), o emprego do OSE como plastificante principal é cada vez mais comum devido aos avanços nos processos industriais, que garantem maior qualidade e padronização dos produtos, assim como seu baixo custo e fonte renovável. Observa-se o crescimento do setor no aumento do volume de participação dos plastificantes epoxidados no Brasil, que passou de 5% em 1995, para 30% em 2012, com uma demanda total de 50 mil toneladas (QUADROS JUNIOR, 2015, p.21), valor que tende a ser ainda maior no ano em que este trabalho foi elaborado.

### **3.MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram realizados afim de se obter maior entendimento do comportamento dos compostos flexíveis com os plastificantes DOP e DIBP, sendo substituídos gradativamente pelo óleo de soja epoxidado. Foram obtidos resultados referentes à dureza, perda de massa em estufa, perda de resistência mecânica após envelhecimento, e variação de massa por exposição à solventes, utilizando os materiais e métodos descritos a seguir.

#### **3.1. Materiais**

Os materiais empregados nas formulações dos corpos de provas foram a resina de PVC K65 (Unipar), carbonato de cálcio Micron 2 CD (Imerys), estabilizante térmico a base de cálcio e zinco Lubstab 44 (BBC), ácido esteárico (Braidó), e os plastificantes Dioctil ftalato (Eleikeroz), Diisobutil ftalato (FORNECEDOR) e óleo de soja epoxidado Soyflex (BBC). Além dos compostos utilizados nas formulações, foram usados equipamentos para a confecção dos corpos de prova e realização dos experimentos, estes serão descritos na metodologia de cada ensaio.

#### **3.2. Preparação dos Corpos de Prova**

A preparação dos corpos de prova foi realizada a partir da obtenção de um *dryblend*, mistura sólida composta por resina e aditivos incorporados, em um misturador intensivo com resfriador vertical Avalong, com capacidade de 6 kg. O processo consiste no carregamento da resina, lubrificante e estabilizante térmico, seguido pela mistura até aproximadamente 90°C, temperatura na qual a resina é mais receptiva à incorporação dos plasfificantes. Ao atingir a

temperatura os plastificantes são lentamente adicionados, seguidos pelas cargas minerais (RODOLFO Jr.; NUNES; ORMANJI, 2002, p.188).

Quando o interior do equipamento atinge 120°C há um sinal sonoro e desligamento automático do mesmo, nesse momento a mistura foi movida para o resfriador vertical e removida após alguns minutos, com temperatura próxima de 50°C.

As formulações preparadas foram descritas na Tabela 1 em Pcr, valor utilizado no setor plástico que corresponde à quantidade de aditivos a cada cem partes de resina.

Tabela 1: Formulações dos corpos de prova.

MATERIAIS	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8	F-9
RESINA K65	100	100	100	100	100	100	100	100	100
DOP	70	-	50	-	10	-	-	90	-
DIBP	-	70	-	50	-	10	-	-	90
SOYFLEX 6250	20	20	40	40	80	80	90	-	-
MICRON 2 CD	50	50	50	50	50	50	50	50	50
LUBSTAB 44	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ACIDO ESTEARICO	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
*Valores em Pcr (Partes por cem de resina)									

Após repouso de 12 horas a resina com os aditivos incorporados foi direcionada para o processo de calandragem em calandra simples de dois rolos (Mecanoplast), “que consiste na alimentação de certa massa do composto entre dois cilindros à temperatura aproximada de 180°C, que o comprimem para a formação de um filme de espessura controlada pela abertura dos rolos da calandra, segundo RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI (2002, p.221)”.

Obtidos três filmes de aproximadamente 750x300x1.5mm de cada formulação, foram cortados e inseridos em um molde de 100x100mm para prensagem (NBR-9628) em prensa Luxor de pressão máxima de trabalho 210 kgf/cm<sup>2</sup> regulada à 200°C, com o objetivo de obter-se uma placa de 5mm e três de 1mm de espessura, de cada formulação. A placa de maior espessura foi separada para medição de dureza inicial, em seguida dividida em três corpos de prova retangulares (55x55) para extração por solventes. Duas placas de menor espessura foram recortadas com molde representado na Figura 3, para a obtenção dos corpos de prova

em forma de halteres para o teste de perda de resistência mecânica, enquanto a placa restante foi destinada ao teste de perda de massa em estufa.



Figura 3: Molde para corpos de prova do dinamômetro.

### 3.3. Dureza (Shore A)

Após aproximadamente 24 horas em descanso, foi medida a dureza (NBR-7456) das placas de espessura 5mm em três pontos diferentes, através da aplicação de uma carga de compressão durante 10 segundos, o valor registrado foi correspondente à média aritmética das três leituras. Repetiu-se o mesmo método após o teste de extração por solvente, nos três corpos de prova correspondentes a cada formulação. Para o ensaio foi utilizado o durômetro Shore A Teclock, modelo GS-719N, dentro da norma ASTM D 2240 A.

### 3.4. Extração do Plastificante por Solvente

O experimento foi realizado com o intuito de simular a exposição prolongada dos compostos de PVC com três solventes: água, óleo mineral e querosene. Partindo do princípio do ataque químico citado por Rodolfo Jr., Nunes e Ormanji (2002, p.262) “no PVC o ataque geralmente envolve absorção do reagente químico com posterior amolecimento [...], podendo até mesmo haver ganho de massa. Por outro lado, a perda de massa pode ocorrer em casos em que ocorra a diluição do PVC”. A metodologia foi baseada na norma brasileira “NBR-8514: Plásticos – Determinação da Absorção de Água”, com algumas adaptações.

Para analisar a variação de massa e um possível amolecimento dos compostos, foram confeccionados três corpos de prova (um para cada tipo de solvente) a partir da placa de maior espessura, com dureza inicial já conhecida. Todos foram identificados, pesados em balança analítica Mettler Toledo modelo AB204 com precisão de 0,0001g e inseridos em

frascos de vidro. Os frascos foram preenchidos com água, óleo mineral e querosene, e colocados em repouso ao abrigo de luz durante 30 dias.

Decorrido o período de 30 dias foram retirados dos frascos os solventes e as amostras, que foram dispostas sobre papel absorvente e separadas para secagem. Estando totalmente secas, as amostras foram pesadas e medidas as durezas, para obtenção de resultados quanto à perda de massa e resistência dos plastificantes a cada solvente. O cálculo da porcentagem da perda ou ganho de massa foi feito conforme a equação abaixo.

$$\frac{\text{Peso Final} - \text{Peso Inicial}}{\text{Peso Inicial}} \cdot 100 = \% \text{Peso}$$

### 3.5. Resistência Mecânica

O ensaio de resistência mecânica foi efetuado com base na norma NBR-9622 e consiste na medição da resistência à tração das amostras, com o auxílio de um dinamômetro Kratos modelo K500S MP, com capacidade máxima de 500kgf, equipado com extensômetro. Para os testes realizados, foi ajustada a velocidade de afastamento entre as pinças de 250mm/min.

Foram obtidos dez corpos de prova de cada formulação, cinco foram separados para leitura e os restantes colocados em estufa, à 105°C durante 7 dias (Figura 4). Após o envelhecimento acelerado, deixou-se aproximadamente 12 horas em repouso e iniciou-se o ensaio no dinamômetro.

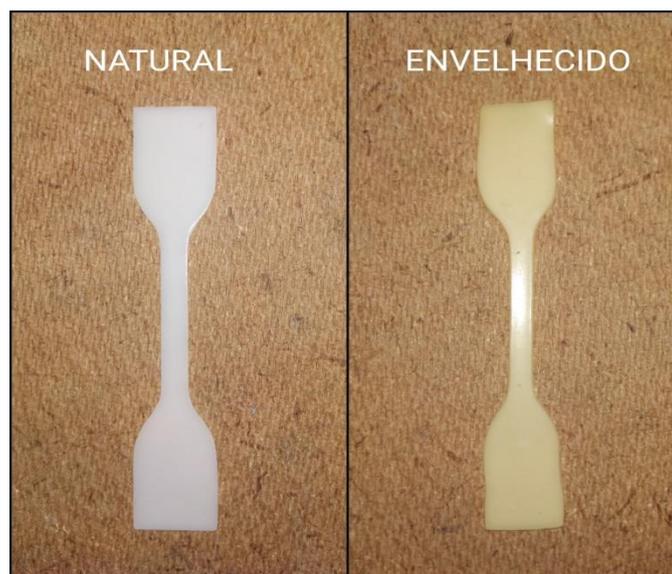


Figura 4: Corpos de prova para medição em dinamômetro.

O equipamento realiza a leitura da tração e do alongamento do material por meio do estiramento do corpo de prova até que haja o rompimento, os valores são enviados para o software que fornece tabelas e curvas referentes às propriedades mecânicas de cada amostra.

### 3.6. Perda de Massa em Estufa

O ensaio foi realizado com o intuito de simular a perda de massa para a atmosfera e comparar os dados obtidos das diferentes composições, além de observar se há indícios de migração do plastificante para a superfície das amostras.

As placas confeccionadas para o ensaio foram pesadas em balança analítica Mettler Toledo modelo AB204 com precisão de 0,0001g, para registro da massa inicial. Posteriormente, preparou-se um suporte para evitar o contato das amostras entre si e com as paredes da estufa. A estufa foi ajustada para uma temperatura de 70°C, e o suporte com as amostras foi inserido e mantido durante 7 dias.

As amostras foram retiradas após o período, e pesadas para registro dos novos valores de massa. Também foram verificados possíveis vestígios de exsudação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A proporção de todos os materiais, exceto os plastificantes, foi mantida para os corpos de prova afim de garantir que os resultados obtidos sejam reflexo da variação da quantidade de cada plastificante empregado. Em todos os casos foi utilizado 90% de plastificantes em relação à resina, seja na mistura dos ftalatos com o OSE, ou de forma isolada para comparação das mudanças com o acréscimo do óleo epoxidado.

Os corpos de prova F-8 e F-9 representam um polímero com DOP e DIBP utilizados como único plastificante, para observar qual o desempenho de cada um. A partir da amostra F-1 até a amostra F-6, os plastificantes de Ftalatos são substituídos pelo óleo epoxidado gradativamente, até a substituição total em F-7, como descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Proporção dos plastificantes em cada formulação.

PLASTIFICANTES	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8	F-9
DOP	70	-	50	-	10	-	-	90	-
DIBP	-	70	-	50	-	10	-	-	90
SOYFLEX 6250	20	20	40	40	80	80	90	-	-
*Valores em Pcr (Partes Por Cem de Resina)									

#### 4.1. Exposição à Solventes

Os dados obtidos do ensaio de variação de massa tendo água como solvente extrator, são demonstrados na Tabela 3. Percebe-se que houve aumento da massa de todas as amostras após 30 dias, indicando uma pequena absorção da água, tal acontecimento é documentado por Rodolfo Jr. e colaboradores (2002, p.263) que acrescentam que “essa discreta absorção de água não é considerada ataque químico, e nenhuma falha [...] tem sido observada devido ao contato com a água ou soluções diluídas”.

Não houve diferenças relevantes neste teste, o que já era esperado devido à baixa reatividade do PVC com a água, o que fica ainda mais evidente nas baixas porcentagens de variação da massa das amostras, que não chegaram à meio por cento.

Tabela 3: Resultados da extração por água.

Solvente: Água									
Formulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Peso inicial	13,7457	13,4553	13,1571	12,9429	13,5549	13,0237	13,4315	12,7928	13,8993
Peso final	13,796	13,5134	13,1982	13,0009	13,5917	13,0742	13,4938	12,8255	13,9549
Diferença	0,0503	0,0581	0,0411	0,058	0,0368	0,0505	0,0623	0,0327	0,0556
% ΔPeso	0,37%	0,43%	0,31%	0,45%	0,27%	0,39%	0,46%	0,26%	0,40%

A Tabela 4 contém os dados tocantes ao ensaio realizado com óleo mineral. Diferente dos resultados apresentados anteriormente, houve perda de massa em todos os casos exceto a formulação onde foi utilizado apenas OSE como plastificante (F-7), onde constatou-se aumento da massa do corpo, indicando uma provável absorção de óleo mineral pelo corpo de prova.

Solvente: Óleo Mineral									
Formulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Peso inicial	13,1191	12,5281	13,9341	11,7513	14,0382	13,4717	13,348	12,7708	13,1209

Peso final	12,6573	12,2483	13,834	11,5043	13,9151	13,3335	15,3661	11,4231	12,5601
Diferença	-0,4618	-0,2798	-0,1001	-0,247	-0,1231	-0,1382	2,0181	-1,3477	-0,5608
% ΔPeso	-3,5%	-2,2%	-0,7%	-2,10%	-0,9%	-1,0%	15,12%	-10,6%	-4,27%

Tabela 4: Resultados da extração por óleo mineral.

Interpreta-se que presença do óleo de soja epoxidado no composto, mesmo que de forma secundária, confere maior resistência à extração pelo óleo mineral. Visto que nas formulações 8 e 9, onde foram empregados apenas o DOP e o DIBP, foram extraídos respectivamente 10,60% e 4,27% de massa da amostra, valores reduzidos gradativamente com a inserção do plastificante natural.

Os dados resultantes do último ensaio referente à exposição a solvente são demonstrados na Tabela 5, trata-se do querosene, substância onde se observou maior influência nas amostras.

Tabela 5: Resultados da extração por querosene.

<b>Solvente: Querosene</b>									
<b>Formulação</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Peso inicial	13,3609	13,5855	12,7358	13,2427	13,5055	12,9384	14,8788	14,4977	13,3217
Peso final	12,1355	12,8908	12,4246	12,8254	13,4213	12,8824	13,313	10,5646	12,8465
Diferença	-1,2254	-0,6947	-0,3112	-0,4173	-0,0842	-0,056	-1,5658	-3,9331	-0,4752
% ΔPeso	-9,2%	-5,1%	-2,44%	-3,15%	-0,6%	-0,4%	-10,52%	-27,1%	-3,57%

Todos os corpos de prova, sem exceção, sofreram extração durante a imersão no querosene. O material F-8 (DOP isolado) foi o que sofreu maior perda de massa, seguido pelo F-7 (OSE isolado), 27,1% e 10,52% respectivamente, enquanto a menor porcentagem ocorreu na amostra F-6 (10 DIBP/80 OSE).

Quanto à influência do plastificante na resistência química: “o aumento do teor de plastificante reduz a resistência química do composto, uma vez que o plastificante possui menor resistência química que o polímero PVC” (RODOLFO Jr.; NUNES; ORMANJI, 2002,

p.264), portanto formulações com menor quantidade de plastificante em relação à resina podem alcançar melhores resultados.

#### 4.2. Dureza (Shore A) dos Compostos

Os valores oriundos do ensaio de dureza das amostras inicialmente e após a exposição aos diferentes solventes, estão dispostos no gráfico presente na Figura 5.

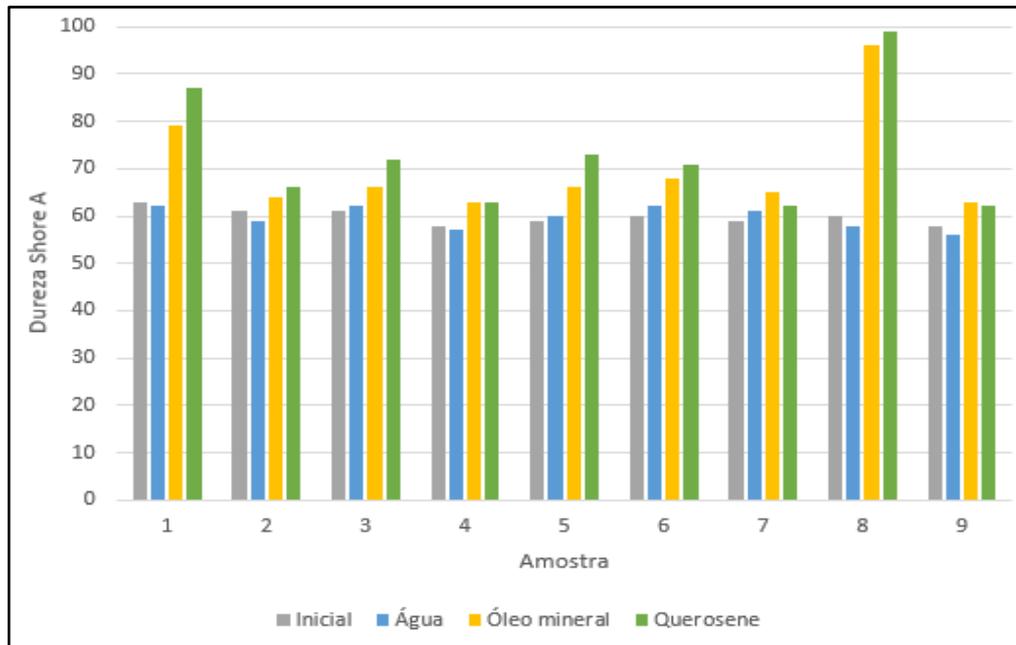


Figura 5: Gráfico de dureza antes e após contato com solventes.

Os dados referentes à dureza inicial, medida após a confecção e repouso do corpo de prova, são semelhantes entre os compostos, variando de 58 até 63. Entre as formulações que fornecem informações da atuação do OSE, DOP e DIBP isoladamente, houve uma discreta diferença de dureza assim como preveem os dados do Boletim Técnico da Braskem (2002, p.8), que determina durezas Shore A máximas de aproximadamente 60 e 57 para DOP e DIBP respectivamente, em uma proporção de 90pcr.

Quando expostos a água, observou-se o aumento da dureza proporcional à quantidade de OSE na formulação, já que as amostras sem a presença da substância (F-8 e F-9) passaram a ter uma menor dureza após 30 dias imersos. Nos compostos onde houve a mistura dos plastificantes convencionais com o óleo epoxidado também notou este fenômeno, principalmente com o DIBP, que teve sua dureza reduzida em todos os casos exceto na proporção 10 para 80 de OSE.

No teste utilizando óleo mineral é perceptível a deficiência presente no Dioctil Ftalato, que teve uma variação de +36 pontos de dureza Shore A, diferença consideravelmente

reduzida a +5 quando há mistura com OSE, o que justifica a utilização conjunta na maioria dos processos industriais atuais. Quando utilizados isoladamente, o óleo de soja epoxidado e o Diisobutil ftalato se comportaram de forma similar, com uma variação de +6 e +5 respectivamente.

O querosene promoveu aumento da dureza de todos os corpos de prova, no entanto a diferença de dureza apresentada no corpo de prova 7 (apenas com OSE) foi de apenas +3, o que é considerável já que nas blendas com DOP os aumentos ultrapassaram 10 pontos, e quase 40 pontos maior quando utilizado somente o plastificante ftalato. O DIBP, quando utilizado sem plastificante secundário também se mostrou eficiente, passando da dureza 58 para 62 após o período de extração.

Com esses resultados constata-se melhor desempenho do óleo de soja epoxidado comparado ao DOP, quanto à resistência à extração por óleo mineral e querosene. A dureza inicial de ambos também merece destaque pois coincide com o óleo vegetal modificado e epoxidado, outro tipo de óleo epoxidado analisado e citado por Madaleno *et.al* (2009), “o plastificante OVME se mostrou mais eficiente na plastificação das formulações do PVC, evidenciado pelos valores médios de dureza Shore A inferiores [...] as formulações em que o DOP foi empregado”. Nota-se também uma ligeira vantagem do DIBP sobre o OSE, principalmente na extração por água, todavia o custo elevado do ftalato de baixa solvatação torna interessante o uso do plastificante epoxidado quando viável.

#### 4.3. Alteração das Propriedades Mecânicas

A alteração das propriedades mecânicas após envelhecimento é uma característica extremamente relevante, pois indica a o comportamento do polímero após determinado tempo. Em compostos flexíveis de PVC o mantimento de características como alongamento e resistência à tração são fatores decisivos na escolha dos aditivos empregados, visto que a redução destes interfere diretamente no desempenho do produto final. As Tabelas 6 e 7 dispõem os dados obtidos no ensaio de tração e alongamento através de dinamômetro.

Tabela 6: Resistência mecânica original.

AMOSTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TRAÇÃO	8,584	7,901	8,322	7,96	9,047	10,472	9,952	8,737	6,372
ALONGAMENTO (%)	304,00	330,88	291,84	222,4	285,92	293,04	301,52	304,24	238,24

Tabela 7: Resistência mecânica após 7 dias a 105°C.

AMOSTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TRAÇÃO	13,641	21,740	13,663	16,030	10,555	12,383	9,621	21,540	17,613
ALONGAMENTO (%)	246,96	176,00	274,08	198,60	333,60	309,60	292,24	89,76	4,40

Os valores das tabelas referem-se à média aritmética das cinco leituras de tração em kgf/cm<sup>2</sup> e de alongamento em porcentagem do corpo de prova, até seu rompimento. Quanto mais próximos os resultados medidos antes e após o envelhecimento acelerado, mais satisfatório o desempenho dos plastificantes na composição do corpo de prova, pois constata-se a manutenção de suas propriedades após longos períodos. Neste aspecto o Óleo de Soja Epoxidado foi o plastificante com o melhor desempenho, tendo em vista que a amostra onde o foi utilizado como único plastificante (F-7), houve uma perda mínima de 3% na capacidade de alongamento e na tração. Em contrapartida, a amostra com DIBP em totalidade foi a com pior desempenho se tornando pouco flexível após os dias na estufa, totalizando uma perda de 98% no alongamento, e um aumento de 178% de tração. Os valores detalhados da porcentagem de variação da tração e alongamento dos corpos de análise estão expostos no gráfico a seguir (Figura 6).

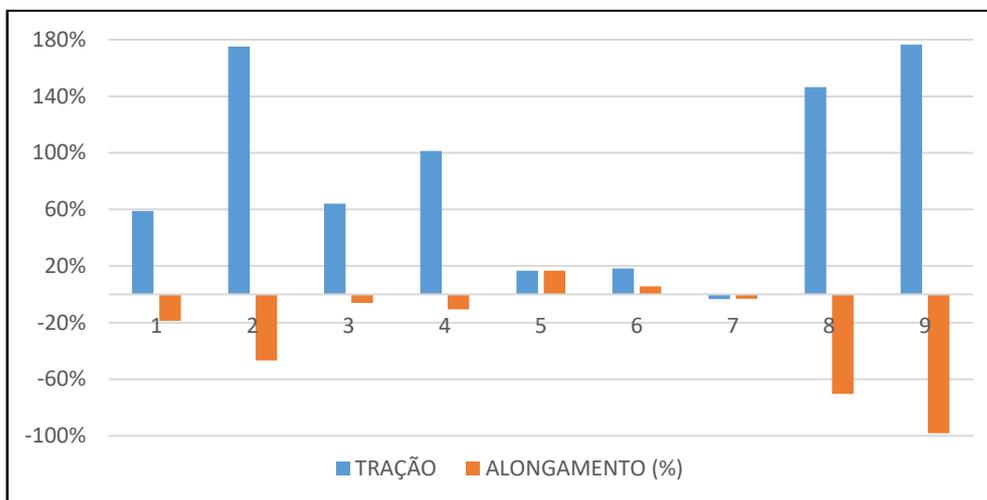


Figura 6: Gráfico de variação das propriedades mecânicas.

#### 4.4. Perda de Massa em Estufa

Após 7 dias em estufa a uma temperatura de 70°C houve diferentes comportamentos nas placas de ensaio das formulações estudadas, conforme a Tabela 8.

Tabela 8: Perda de massa após 7 dias em estufa.

AMOSTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PERDA DE MASSA (%)	-3,07	21,11	-3,91	17,32	0,27	1,84	-5,35	-4,49	20,13

Fica evidente nas amostras constituídas por DIBP a grande perda de massa após o período na estufa, entre 17,32% e 21,11%, o que se justifica pelo baixo peso molecular do plastificante. Tal fenômeno coincide com a literatura referente ao produto, “por possuir elevada eficiência facilita o processamento, porém apresenta limitada permanência.” (BRASKEM, 2002), portanto era esperado que sua permanência fosse a menor dentre os plastificantes estudados.

Os valores são referentes à perda de massa, portanto os resultados negativos presentes nas amostras 1, 3, 7 e 8 significam que houve aumento na massa das mesmas.

## 5. CONCLUSÕES

A utilização do óleo de soja epoxidado como plastificante secundário em conjunto com os plastificantes ftalatos se mostrou eficaz, o que justifica tal uso na maioria das indústrias do setor atualmente. Como plastificante primário também proporcionou excelentes propriedades físicas ao PVC, mostrando-se uma boa alternativa aos produtos tradicionais.

O plastificante OSE se mostrou mais resistente à extração por óleo mineral quando comparado com o DOP e DIBP, sua incorporação resultou na diminuição significativa da perda de massa dos corpos de prova expostos ao solvente. No teste realizado com querosene o desempenho do OSE foi novamente superior ao DOP, e pouco inferior ao DIBP.

Os resultados referentes à dureza ShoreA mostrou que apesar da similaridade inicial, o óleo de soja epoxidado garante melhor conservação da característica após exposição aos

diferentes tipos de solventes em relação ao DOP, e chega a resultados muito próximos dos observados no DIBP.

Quanto às propriedades mecânicas de tração e alongamento dos compostos de PVC, o Diisobutil ftalato foi o plastificante que apresentou pior desempenho, enquanto o óleo epoxidado e o Dioctil ftalato chegaram a resultados bastante parecidos. Já na preservação dessas propriedades após o envelhecimento é indiscutível a superioridade do OSE, que sofreu variação mínima após 7 dias em estufa, enquanto os corpos de prova referentes aos tradicionais ftalatos perderam flexibilidade, e se tornaram quebradiços após o envelhecimento. É válido salientar que nos casos onde foi feita a mistura de uma grande parte de OSE com uma pequena parte de DOP ou DIBP, os resultados também foram satisfatórios.

Portanto se conclui que a substituição dos plastificantes tradicionais como o DOP e DIBP pelo OSE é executável sem que haja alterações negativas no produto, assim como o plastificante similar de origem vegetal OVME, estudado por Madaleno et.al (2009), com a vantagem de não apresentar exsudação, como no composto do estudo do autor. Além das propriedades estudadas, é conveniente por seu custo mais acessível, a ausência de substâncias tóxicas, e sua fonte renovável e abundante no país.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. P. D.; RODOLFO Jr., A. *Análise do processo de gelificação de resinas e compostos de PVC suspensão*. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 16, n. 2, p. 165-173, 2006.

BRASKEM. *Efeito dos plastificantes na dureza dos compostos de PVC*. Boletim Técnico nº 01- PVC revisão 2– jul/02. 2002. Disponível em: <[https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm\\_tecnico/Plastificantes.pdf](https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Plastificantes.pdf)>. Acesso em: 13 jul 2019.

MADALENO, E.; ROSA, D. dos S.; ZAWADZKI, S. F.; PEDROZO, T. H.; RAMOS, L. P. *Estudo do uso de plastificantes de fontes renovável em composições de PVC*. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v.19, n. 4, 2009, p. 263-270. São Paulo: Associação Brasileira de Polímeros. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47020179004>>. Acesso em: 10 jul 2019.

NETTO, M. B. **Proibição de ftalatos em brinquedos**. Conselho Regional de Química – IV Região, 2007. Disponível em: <[www.crq4.org.br/default.php?p=informativo\\_mat.php&id=200](http://www.crq4.org.br/default.php?p=informativo_mat.php&id=200)>. Acesso em: 14 jul 2019.

PERITO, E. D. **Estudo de plastificantes alternativos ao dioctilftalato (DOP) para um composto de poli(cloreto de vinila) (PVC)**. 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/712/Dissertacao%20Eder%20Dutra%20Perito.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 14 jul 2019.

QUADROS JUNIOR, Jacyr Vianna de. **Estudo da reação de epoxidação do óleo de soja em condição de remoção de calor máxima**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo: 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-12072016-072526/pt-br.php>>. Acesso em: 15 jul 2019.

RODOLFO Jr., A.; NUNES, L. R.; ORMANJI, W. **Tecnologia do PVC**. 2.ed. São Paulo: Pró Editores Associados, 2002.

VARGAS, D. S. de; SANTANA, R. M. C. **Estudo comparativo da influência de diferentes tipos de plastificante no PVC**. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá, nov. 2014. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/21cbecimat/CD/PDF/404-012.pdf>>. Acesso em: 03 jul 2019.

## OTIMIZAÇÃO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ESPUMAS DE POLIURETANO

**Paulo Sergio Silva** (Centro Universitário Padre Anchieta)

**Claudemar José Trevizam** (Centro Universitário Padre Anchieta)

**Hipólito Alberto Silva Gomes** (Centro Universitário Padre Anchieta)

**Tatiana Lança** (Centro Universitário Padre Anchieta)

### RESUMO

Espumas de poliuretanos são produtos extremamente versáteis, podendo ser utilizadas nos mais diversos segmentos e de diferentes aplicações. Escolhendo se adequadamente o isocianato, polioliol e um silicone surfactante, se consegue fazer espumas de diferentes propriedades que vão desde suaves e flexíveis de baixa densidade, até rígidas de alta densidade. A produção de espumas poliuretânicas dependem de vários fatores sendo que, situações climáticas são as que mais influenciam nos testes. Nos EUA o clima é bastante úmido devido a tornados, chuvas e furacões enquanto que no Brasil predomina o clima tropical. Os materiais utilizados pela unidade brasileira são iguais aos utilizados na Matriz, porém os equipamentos norte-americanos são mais tecnológicos. Então reproduzir os mesmos testes de espumas no Brasil com as mesmas especificações e qualidade dos norte-americanos, seria um grande desafio de processo e algumas alterações teriam que ser feitas para atingir o objetivo. Nesse caso foram feitas algumas mudanças como troca de matérias primas, introdução de novos equipamentos como um novo sistema de agitação e uma chicana. Com as mudanças feitas, a mistura do material ficou mais eficiente atingindo os parâmetros de especificações exigidos pela matriz norte-americana.

**Palavras-chave; Espumas; Poliuretano; Agitação;**

### ABSTRACT

Polyurethane foams are extremely versatile products and can be used in the most diverse segments and for different applications. By properly choosing isocyanate, polyol and a silicone surfactant, it is possible to make foams with different properties, ranging from soft and flexible to low density, to rigid, high density. The production of polyurethane foams depends on several factors, and climatic situations are the ones that most influence the tests. In the USA the climate is quite humid due to tornadoes, rains and hurricanes while in Brazil the tropical climate prevails. The materials used by the Brazilian unit are the same as those used at the headquarters, but the North American equipment is more technological. So reproducing the same foam tests in Brazil with the same specifications and quality as the USA, would be a major process challenge and some changes would have to be made to achieve the objective. In this case, some changes were made, such as the exchange of raw materials, the introduction of new equipment such as a new agitation system and a baffle. With the changes made, the mixing of the material became more efficient reaching the specifications parameters required in the USA.

**Keywords; Foams; Polyurethane; Agitation;**

## 1. INTRODUÇÃO

Os testes de espumas poliuretânicas tiveram início em 1849 porém, ganhou grande importância no Brasil entre as décadas de 60 e 70. Atendia-se na época os segmentos como automobilístico e imobiliário. Com o passar dos anos passou a atender também outros ramos como construções civil, aeronáutico e naval. Grandes empresas antes de produzirem nos reatores em grandes escalas de produções, fazem testes pilotos em laboratórios simulando situações reais. Nesses testes, são feitas várias formulações com pesos moleculares diferentes para se escolher a formulação ideal. No mercado de espumas tem diferentes tipos de espumas desde flexíveis, moldadas até a rígidas. Segundo Vilar (2004), em 1980 o mercado brasileiro consumia 80.000 toneladas de poliuretano (PU), e em 1995 esse mercado cresceu cerca de 275%, a produção chegou a aproximadamente 300.000 toneladas. Em 2016 a produção estimada foi de 620 mil toneladas ao ano somente aqui no Brasil. Segue abaixo um organograma dos mercados atendidos pela indústria de poliuretanos na figura 1.

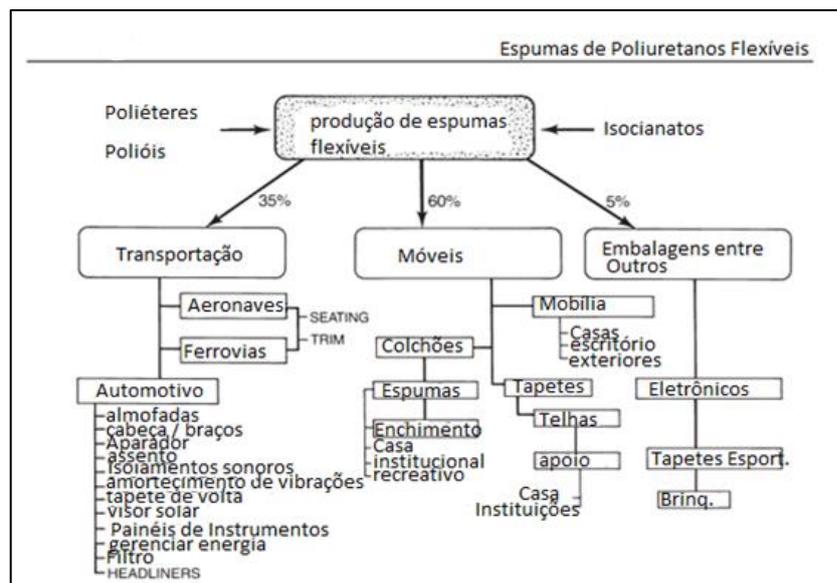


Figura 1. Mercados importantes da Indústria de Poliuretanos.

Fonte (Dow Flexíveis Espumas).

A demanda do mercado de poliuretano é tão alta que além de espumas, há outros derivados como os plásticos e elastômeros. Atualmente o mercado brasileiro de poliuretanos está em torno de 2,2 milhões de toneladas, e isso corresponde a 28% do mercado mundial. É um mercado em expansão e cresce ano a ano. Atualmente a concorrência com o mercado externo é muito grande, pois há pequenas empresas na

China com produtos de qualidades similares ao de grandes empresas nacionais e com custos operacionais mais baixo, que mesmo com as taxas de importação e impostos o preço final ainda é menor. Segundo Vilar (2004), para que os testes fiquem dentro dos parâmetros definidos e das tolerâncias especificadas, é necessário matérias primas corretas e dentro dos prazos de validade, pois alguns materiais perdem eficiência conforme entram em contato com o ambiente, dentre os principais estão os catalizadores organometálicos.

Em unidades fabris brasileiras de produção de poliuretano, são feitos testes de performance de espumas em caixotes, o que caracteriza uma rotina em várias empresas. Esse tipo de teste causa grandes desperdícios de materiais para esquentar a caixa dos testes antes do teste real. Portanto gasta-se mais material em esquentar as caixas do que para o teste real. Para diminuir esse desperdício sugerimos outro tipo de teste também no laboratório, só que em baldes ou caixas de papelão pequenas, sem a necessidade de esquentar caixas. apenas fazer um padrão mais o lote testado o que eliminou a perda. Os caixotes foram deixados apenas para desenvolvimentos, porém só são usados quando surgem novos pedidos de espumas. As unidades de Leverkusen na Alemanha, e outra no México já faziam o novo teste, mesmo quando no Brasil e na China ainda se usava o caixote, porém cada unidade fazia o teste de performance da sua maneira.

Com a globalização dos testes, todas unidades filiadas tiveram que se adequar ao processo feito nos EUA além da obrigatoriedade de atingir os mesmos resultados para poder continuar a produzir espumas de poliuretano. Por outro lado, foi uma grande oportunidade da unidade brasileira trabalhar em termos de métodos, no mesmo nível da Matriz, melhorando seu conceito frente a todas as plantas da empresa no mundo conforme relatado em entrevista com o responsável pela área de operações, onde o desenvolvimento dos testes de Controle de Qualidade de espumas de poliuretanos, possibilitaram a transferência de tecnologia de diversos silicones, promovendo o crescimento desse mercado na América Latina, o aumento de volume de produção local, ganho de produtividade, além de um melhor serviço para os nossos clientes. Com essas mudanças, a capacidade produtiva aumentou significativamente, porque outros produtos que estavam na fila de transferência de tecnologia, foram liberados para serem produzidos na unidade brasileira, mantendo assim competitividade e novos projetos para o crescimento da produção local e mais força frente a concorrência.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Segundo Pinto (2011), a tecnologia de espumas de poliuretanos surgiu em 1849 com dois cientistas, mais especificamente, Wurtz e Hoffman que testaram reações entre polióis e isocianatos, mas ambos não chegaram a nenhuma conclusão. Foi então que em 1937, na Alemanha, o alemão Bayer com novas tecnologias montou nova indústria de poliuretanos a base de poliésteres e o primeiro produto dessa nova tecnologia foi o nylon.

Conforme Lima (2007), os testes de espumas poliuretânicas chegaram ao Brasil apenas na metade da década de 70. Segundo o mesmo autor a maior dificuldade no entanto, era a importação de matérias primas. Os testes eram simples, apenas teria que ter os equipamentos adequados para que os testes fossem feitos. Com o tempo essas dificuldades foram superadas e atualmente no Brasil são feitos vários tipos e diferentes testes de espumas desde a flexíveis à rígidas. Segundo Vilar (2004) e Mark (1988), para produzir espumas de poliuretanos, devem ser consideradas várias situações, e entre as principais são condições climáticas e materiais adequados para cada situação. Dessa forma, os materiais do processo de espumação também devem estar ambientados ao local da espumação para que não se formem produtos indesejados como espumas fora dos padrões de qualidade.

De acordo com Pinto (2011), materiais considerados de bases necessários para fabricação de espumas poliuretânicas são polióis, isocianatos, silicones surfactantes e catalisadores amínicos e organometálicos. As reações de espumas poliuretânicas são interações de isocianatos com grupos hidroxilas como polióis, água e do surfactante que além de baixar a tensão superficial entre os grupos Iso e Hidroxilas, também fazem interações entre os grupos ativos como gliceras e a participação de um catalizador organometálico (HERRINGTON,1997). Conforme Ligabue (1995), uretano se refere ao termo da reação de um álcool com um isocianato e do resultado dessa reação é que se encontra a uretana chamada assim antigamente ou uretano mais recentemente. Vide figura 2 .

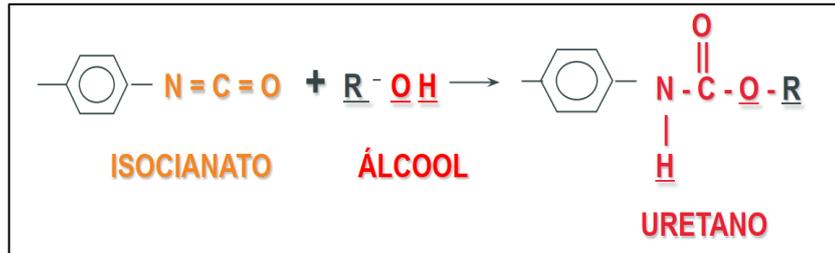


Figura 2. Reação do Uretano. Fonte (BAIXO, R.; Dow Química 2013).

No Brasil, as primeiras fábricas de espumas flexíveis foram instaladas na região sudeste entre as décadas de 60 e 70. Estas fábricas foram montadas com equipamentos trazidos da Europa, e dependiam de matérias-primas importadas para o seu funcionamento (VILAR, 2004). Os poliuretanos foram uma grande descoberta pelo fato de serem versáteis, podendo ser utilizados em diferentes setores, além de ser fácil a sua produção. Diversas empresas no Brasil fazem espumas poliuretânicas, o mercado é bem vasto e dentre elas podemos destacar:

- Dow Química
- Evonik
- Momentive
- Univar

Para espumas flexíveis, que é a mais comercializada no mercado, as empresas utilizam métodos de performance iguais e que pouco se diferenciam entre elas. Normalmente as diferenças estão em equipamentos, partes por percentual de matérias-primas para determinadas especificações e tipos desejados ou especificados, além dos processos que podem ser por bateladas ou contínuos.

Segundo Alimena (2009), no processo por batelada a mistura é feita em um vaso (misturador) com de agitação mecânica eficiente e em seguida feita a transferência rápida para um recipiente maior que é o caixote de madeira ou metal, com superfícies planas laterais articuladas, e coberto por um sistema de tampa móvel antes de ocorrer aumento significativo da viscosidade da mistura. As laterais móveis e o movimento viscoso, nas paredes do caixote levam à obtenção de espumas com densidades maiores do que as que seriam obtidas pelo processo contínuo.

Este fenômeno é contornado pelo ajuste da formulação utilizada. É importante evitar a formação de bolhas de ar, durante o escoamento da mistura, pois poderá

acarretar buracos e rachos na estrutura da espuma. Esse processo desperdiça muitos materiais, apesar disso é um sistema mais barato de ser montado, pois basta ter um caixote e um dispersor ou misturador para se fazer blocos de espuma, constitui-se em um sistema bem prático. Nesse tipo de processo, especificamente, é adicionado ao tanque um Polioliol e na sequência a ASA (Água, Silicone e Amina) e o Resfriador de mistura junto a um catalisador organometálico, e em uma última etapa o TDI(Tolueno Diisocianato). A reação da mistura é rápida pois assim que é despejada no caixote existe um tempo de assentamento, começa o creme e crescimento reacional da espuma até seu Blow Off final. Vide reação passo a passo nas figuras 3 e 4 respectivamente.

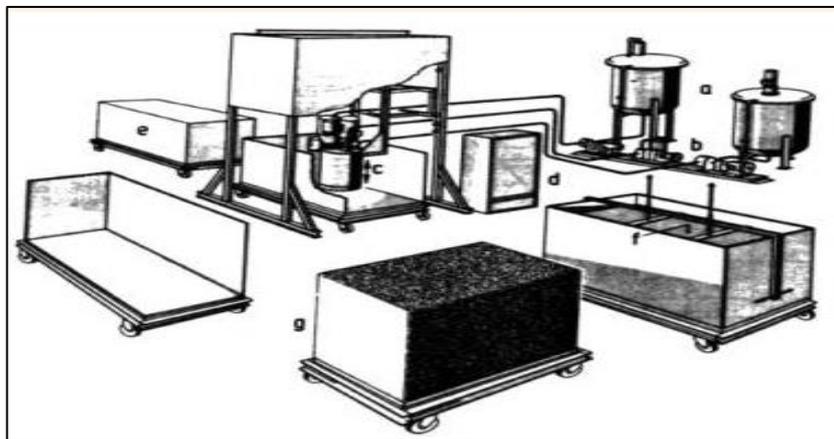


Figura 3. Processo descontínuo ou Batelada. Fonte (Dow Química).

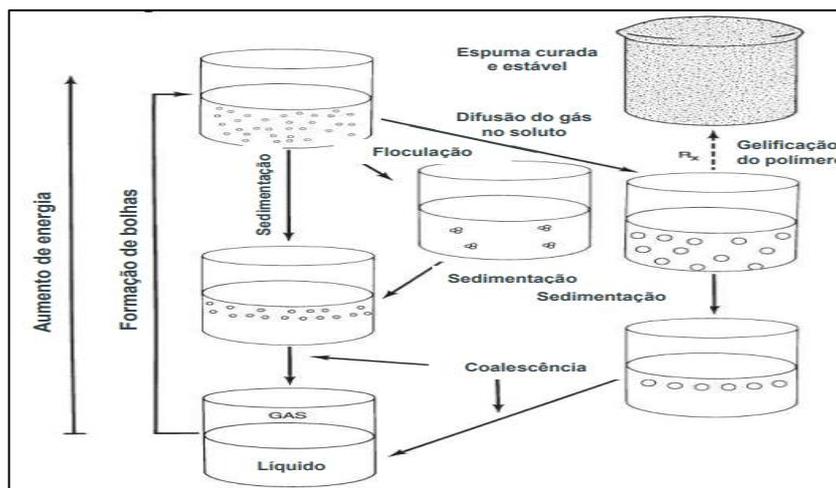


Figura 4. Processo de batelada. Fonte (Dow Química)

Em um processo contínuo são necessárias linhas contínuas de esteiras que vão de 30 a 40 m. No início dessas linhas, são posicionados estrategicamente dosadores de

vazões com Isocianato, poliois, água, surfactante, resfriador e aditivos, que despejam em um misturador central de acordo com a função e tempo na reação e são misturados sob alta ou baixa pressão, e distribuídos sobre um leito horizontal que se move continuamente com velocidade controlada, revestida no fundo por uma folha horizontal, que faz o transporte. Em segundos, a massa torna-se cremosa e em cerca de dois minutos a espuma cresce rapidamente e continua na linha sendo transportada passando por um forno de 4 a 6 minutos para que a cura seja processada e, posteriormente, cortada no final da linha. Esse processo é mais barato e mais fácil de ser ajustado, ao contrário do processo por batelada, caso o material segregado no tanque esteja fora da especificação, tem que embalar tudo para liberar o reator, sem contar perdas de embalagens e horas perdidas de processo e nem sempre é garantia de se conseguir recuperar o lote fora da especificação. Caso algo esteja fora do especificado na própria esteira se descarta fora aquela parte que não serve.

A vantagem do processo contínuo é que além de mais rentável, as variações são quase inexistentes e quando são necessárias as correções, o processo não precisa ser interrompido, pois as intervenções são fáceis e rápidas além de poucos desperdícios. Porém apenas grandes empresas possuem esse sistema devido ao alto investimento para ser montado o que o torna inviável para pequenas empresas. Vide um modelo de sistema contínuo na figura 5.



*Figura 5. Esteira de sistema contínuo de Espumação na Indústria.*

Fonte (Sanko).

São perdidos cerca de 20% do bloco final que acabam virando subprodutos, porém ainda assim essas perdas nem se comparam ao do sistema de batelada, onde as

perdas são maiores e podem ser por lotes fora de especificações, como também em cortes e partes não necessárias que são descartadas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS.

O processo de Espumação de espumas poliuretânicas basicamente consiste em reações de Polióis com Isocianatos a base de surfactantes, retardantes de chama, aminas, aditivos e água. Primeiramente são feitos testes pilotos em caixotes de 60 x 60 cm ou baldes de 20 litros feitos em laboratórios. Com os resultados dentro dos parâmetros especificados, são vendidas e reproduzidas nos clientes na maioria das vezes em processos contínuos ou semicontínuos. Em algumas situações vemos processos contínuos com blocos que chegam a atingir 30 metros em uma esteira em que os mesmos são cortados no final conforme as necessidades de cada fornecedor. Para que a reação ocorra da forma mais plena possível, alguns elementos são essenciais nesse processo. Abaixo citamos os principais.

#### 3.1 Isocianato.

Este material funciona como se fosse um Ácido de Lewis ( $H^+$ ) reage com as partes negativas do Poliál e da Água ( $OH^-$ ). O Isocianato principal para espumas flexíveis é o TDI (Tolueno Diisocianato) que possui isômeros 2,4 e 2,6. Uma interação de 80:20 de isômeros TDI é obtida pela nitração dupla de tolueno, seguido de redução para a amina e fosgenação para o diisocianato. Segundo verificou Herrington (1997), o TDI também tem outras variações do tipo 65:35 menos reativo que o 80:20 o mais utilizado no mercado de poliuretanos. O TDI é comercializado principalmente nas de dois tipos. Vide abaixo Tabela 1.

Tabela 1. Tipos de TDI

<b>TDI 80/20</b>	<b>TDI 65/35</b>
80 % Isômero 2,4	65 % Isômero 2,4
20 % Isômero 2,6	35% Isômero 2,6

Fonte (Interbrasil SA, 2016).

Na molécula 2,4 ,o isômeros de NCO estão mais perto um do outro e devido a isso a molécula fica mais reativa do que a molécula do isômero 2,6. Dentro de uma dada molécula, os impedimentos estéricos afetam a reação dos vários isômeros posições. Abaixo veremos os isômeros 2,4 e 2,6 do TDI na figura 6.



Figura 6. Isômeros 2,4 e 2,6 do TDI.

Fonte (Ciência dos polímeros – Canevarolo Jr. Sebastião V. Polyurethanes as Specialty Chemicals Principles and Applications – T. Thomson, 2016) .

### 3.2 Polioli

O polioli juntamente com a água faz o papel da parte negativa ( $\text{OH}^-$ ) das reações químicas, quando ocorre a reação nos sítios catalíticos em conjunto com Isocianato começa reação. Existem diversos tipos de Polióis e o que o faz mais ou menos reativos é o Índice de Hidroxila. Veja características de um Polioli na tabela 2.

Tabela 2. Características do Polioli

	Espumas Flexíveis		Espumas Rígidas
	Convencional	Alta resiliência (HR) (viscoelástica)	
<b>Peso molecular</b>	3000 +- 200	4800 +- 300	440 +- 35
<b>OH (mg KOH/g)</b>	56 +- 3	35 +- 2	380 +- 25
<b>Funcionalidade</b>	2,5 - 3	3 - 3,5	3 - 3,5
<b>Viscosidade (25°C)</b>	450 - 550	750 - 900	600 - 700

Fonte (Ciência dos polímeros – Canevarolo Jr. Sebastião V. Polyurethanes as Specialty Chemicals Principles and Applications – T. Thomson, 2016).

Os principais Polióis utilizados na fabricação das espumas flexíveis convencionais e de alta resiliência são os polióis poliéteres, polióis poliméricos de diferentes estruturas, polióis poliésteres. Esses materiais possuem estruturas hidroxílicas que favorecem a reação com elementos que possuem  $\text{H}^+$  em sua reação (LIMA, 2007). Os polióis influenciam em propriedades tais como flexibilidade, dureza e características de processamento. Segundo Pinto (2011), o polioli é um dos produtos mais importantes para as características finais de uma espuma e reage apenas com o TDI. Cerca de 90% dos polióis consumidos são do tipo polióis poliéteres e dentre 95% de todos os

Isocianatos consumidos são à base do tolueno diisocianato (TDI) e do metileno difenil isocianato (MDI) e seus derivados, e dentre os dois ainda destaca-se o MDI e seus derivados. Vide dois modelos de Polioliol na figura 7

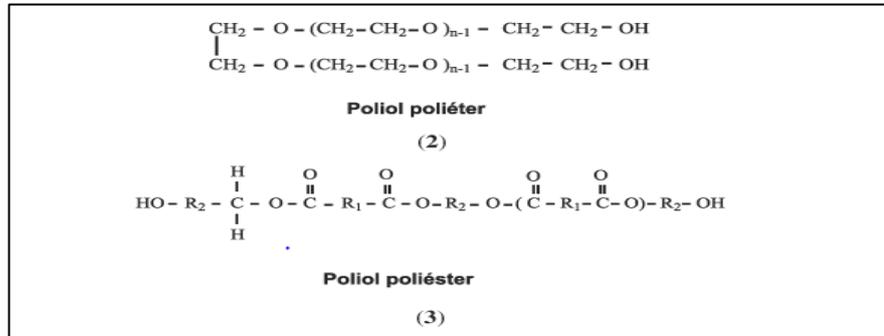


Figura 7. Estruturas de Poliois Poliéteres e Poliésteres.

Segundo Soares (2012), a maioria dos polióis que são poliésteres possuem alta viscosidade e isso facilita na rápida polimerização com isocianato facilitando na estabilização da espuma no crescimento sem contar que é reativo o suficiente para o emprego de catalisadores menos efetivos, a base de aminas terciárias (LIMA, 2007).

### 3.3 Surfactante.

O Surfactante tem a função de fazer o elo de ligação entre todos os grupos e moléculas envolvidos na reação, sem o surfactante essa reação não ocorre. Os surfactantes também ajudam a controlar o tempo preciso e o grau de abertura da célula. Dentre suas funções o surfactante tem como principais atividades:

- Baixa tensão superficial;
- Emulsionar ingredientes de formulação incompatíveis;
- Promover a nucleação de bolhas durante a mistura;
- Estabilizar a espuma em seu crescimento, reduzindo as concentrações de tensão na fixação celular;
- Neutralizar o efeito anti-espuma de quaisquer sólidos adicionados ou formados por exemplo.

O silicone surfactante faz essa interação de uma forma mais homogênea e a transição é mais branda de forma que a tensão superficial no encontro entre o Polioliol, água e o Isocianato seja perfeita. Conforme Junior (2001), os surfactantes são materiais essenciais na produção da maioria dos poliuretanos, pois auxiliam na mistura de reagentes imiscíveis. São particularmente usados na fabricação de espumas, onde

auxiliam no controle de tamanho de células, estabilizando as bolhas formadas durante a nucleação. Como exemplo podemos citar surfactantes à base de silicone, tais como sua base é composta de polióis de polioxipropileno. As aminas terciárias junto com os polióis participam dessa reação com o intuito de ajudar formar a estrutura celular de acordo com o produto a ser formado tanto rígido ou flexível.

### 3.4 Catalizadores Organometálicos.

Segundo Soares (2012), são usados catalisadores para a diminuição da energia de ativação das reações de espumas poliuretânicas e promover a estequiometria correta entre a extensão da cadeia e a reação de formação de espuma. Os catalisadores mais usados são do tipo aminas terciárias e compostos organometálicos principalmente o octoato de estanho. Em associação eles promovem a reação entre isocianatos, polióis e água, atuando como ácidos de Lewis regulando a formação das espumas e o octoato em especial tem a flexibilidade de trabalhar em rotas preferenciais. Também conseguem dar a estabilização necessária e consistência para que essas reações ocorram (VILAR, 2004). A tabela abaixo mostra o efeito da quantidade de estanho na formação de uma espuma flexível de poliuretano como porcentagem da quantidade ideal para uma certa formulação. Faixa de % de catalizador em uma espuma. Vide Tabela 3.

Tabela 3. Efeito de atividade do Estanho.

% de Estanho	Efeito
0 – 0,09	Colapso
0,10 – 0,19	Rachos
0,20 – 0,30	Espuma Boa
0,31 – 0,40	Espuma Fechada, Morta
acima de 0,41	Encolhimento

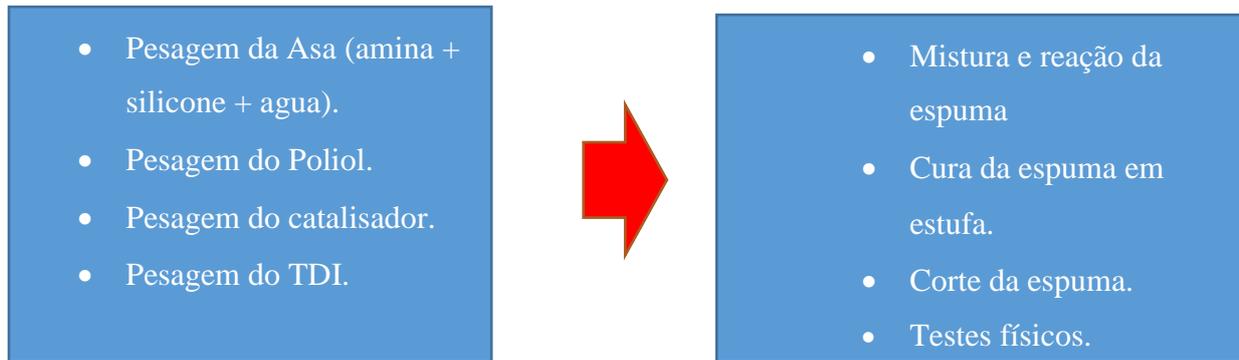
Fonte (Univar).

Segundo Ligabue (1995), os catalisadores organometálicos, não apenas se limitam apenas a diminuir a energia de ativação e aumentar a velocidade da reação, como também influenciam diretamente na formação da espuma ou seja, na formação da espuma, eles são catalisadores que participam diretamente da reação.

#### 4. Resultados e discussões.

##### 4.1 Reação da Espuma.

#### FLUXOGRAMA DOS TESTES DE PERFORMANCE.



- Pesagem do Poliols, amina + silicone + água (1).
- Em um segundo copo TDI (2).
- Em terceiro copo Resfriador (3).
- Em seringas de 3 ml pesa o catalisador (4).
- Adiciona o item do copo (3) no Item (1).
- Adiciona catalisador.
- Adiciona o TDI.
- Cura da espuma em estufa e corte da espuma.
- Testes físicos.

##### 4.1.2 Agitação e Misturas

Como dito anteriormente é necessário equipamentos corretos para que a reação seja feita de forma satisfatória, não somente crescimento da espuma, mas também crescimento de células e estabilização dos testes físicos dentro dos parâmetros. Isso implica em rotação correta com tempos e formas de agitação, já que ambos são fatores primordiais nas reações do processo. Delas dependem como ficará a viscosidade da mistura ou reação, mais líquida ou mais viscosa, com mais bolhas ou menos bolhas. Existem vários tipos de agitadores e misturadores, tanto para líquidos mais viscosos quanto mais fluídos.

Segundo Cremasco (2012), o rendimento das agitações dependem da criação das correntes para que atinjam todas as partes do líquido e a agitação seja a ideal. Quando a mistura é líquida, geralmente ocorre a formação de vórtices e a agitação não é a ideal pois a mistura não fica muito homogênea. A agitação para ser homogênea também depende de alguns fatores que podem ajudar nessa mistura. Agitadores que possuem dentes criam turbulências principalmente em misturas líquido - líquido de forma que as bolhas influenciam no produto dependendo da aplicação do mesmo. Os agitadores tipo turbinas fazem com que a agitação seja mais homogênea e linear sem criar muita turbulência no meio e fica melhor ainda, caso no mesmo agitador, tenha o anel que fecham com as pás.

De acordo com Silva (2013) e Cremasco (2012), o vórtice pode gerar problemas, tais como: substâncias com homogeneização ineficiente, sem fluxo longitudinal de um nível a outro, se houver a presença de sólidos, estes poderão ser lançados a parede e descenderem, acumulando embaixo do agitador; ao invés de obter mistura haverá concentração de sólidos; em altas velocidades o vórtice pode ser tão grande que o agitador fica descoberto, introduzindo ar (bolhas) no líquido; oscilação de massa flutuante. Na Unidade de brasileira já era feito o teste de menor escala no laboratório sem a interferência da matriz. A agitação usada no Dispensor era hélice tipo cowles, e isso gerava muita turbulência e bolhas e ao curar a espuma na estufa pra os testes físicos era visível que a célula ficava muito maior devido a essa turbulência. Então para que essa célula ficasse menor, foram feitas algumas alterações como:

- Mudança do Polioliol para um semelhante ao da Matriz.
- Redução na velocidade de homogeneização (maior e depois menor que a padrão).
- Mudança de catalisador amínico.

Não era possível no momento utilizar o mesmo Polioliol pois teria que importar da matriz, e dessa forma a unidade brasileira ficaria refém porque muitas das vezes os materiais ficam retidos no Porto e sua liberação demora até três dias. Em uma indústria tão concorrida como a de Espumas no Brasil é inviável devido a grande concorrência. Então se usou um polioliol vendido no Brasil com cerca de 98% de características do original e se compensaria com outras mudanças que foram introduzidas e também foi

utilizado uma amina terciária mais reativa no processo que encurtou o tempo de reação fazendo com que o creme fosse mais rápido.

Mesmo com essas mudanças, a estrutura celular exigida pela matriz ainda não seria atingida. Então era necessário que fossem feitos mais alterações para que chegasse a tamanho de estrutura celular da matriz Sisterville 8 e aqui era 12, como tempos de homogeneização foram colocados semelhantes aos da matriz norte-americana. Os resultados ainda não eram suficientes. Testou-se mais formulações com tipos de rotações diferentes, tanto altas como baixa e não se chegou a nenhum resultado conclusivo.

Para solucionar o problema foi feito mais uma última tentativa, trocou-se a agitação do tipo cowles para hélice lisa tipo turbina com três pás perpendicularmente ao fundo e adição de uma chicana ao copo de mistura para verificar a que resultados chegaríamos com essas novas mudanças. Vide figuras 8, 9, tabela 4 e figuras 10 e 11 respectivamente.



Figura 8. Hélice tipo cowles.

Fonte ( Moinho Piramide).



Figura 9. Hélice tipo Turbina.

Fonte (Splabor).

Tabela 4. Dados das hélices cowles e turbina respectivamente.

Escoamento axial (pás inclinadas)	Fluxo axial
Pás planas são úteis para agitação de fluidos viscosos, fluidos poucos viscosos	Alta velocidade para líquidos de baixa viscosidade.
Para pequenos tanques: 1800 ou 2500 rpm;	Para pequenos tanques: 1150 ou 1750 rpm;

Alta tensão de cisalhamento nas pontas do impulsor ou escoamento.	Este tipo de agitador cisalha o líquido vigorosamente
---	---



Figura 10. Chicana ou Barras defletoras.      Figura 11. Chicana ou Barras defletoras.

Segundo Martini (2010), chicanas (inibidores de vórtice, dificultores), são tiras perpendiculares à parede do tanque. Normalmente são quatro tiras, que interferem no fluxo rotacional sem interferir no fluxo radial e axial. Com ela a agitação da mistura fica mais eficiente, pois elas não permitem a formação do vórtice. O vórtice é uma força gravitacional que se forma em torno do eixo de um sistema em uma mistura. Nesse fenômeno a mistura fica girando em torno de si mesmo sem se colidir adequadamente. Por isso a inclusão da chicana no processo foi uma das mudanças primordiais para que se atingisse a meta, já que nos testes da Matriz também é utilizado chicanas. Com a chicana é interrompido esse vórtice, e todas as partículas da mistura se colidem de forma que o contato do líquido com a substância a ser incorporada seja mais rápida e eficaz.

Quanto ao tipo de agitação tecnicamente falando, umas das hélices mais utilizadas na indústria é do tipo cowles. Ela agita muito bem, mas ela é ideal para quebrar partículas e cisalhar fluídos de médias a altas viscosidades. Em misturas líquidas, ela causa turbulências junto com bolhas devido a seus dentes laterais para cima e para baixo que corta a mistura e isso em espumas poliuretânicas que exigem células menores é extremamente prejudicial. Já a hélice tipo turbina é ideal para viscosidade de médias a baixas, porque seu fluxo é linear sem causar perturbações devido ao seu formato liso, ela homogeneiza a mistura sem causar bolhas e turbulências. Depois de testar as três

rotações, percebeu se que com a rotação de 2000 rpm a estrutura celular não reduzia nos testes de porosidade.

Na rotação de 1700 rpm ficou com cerca 97% da eficiência exigida igual a estrutura da espuma final de Siserville, faltando apenas ajustes de estanho e partes de Polioliol para chegar no objetivo. Ainda assim foi testada a rotação de 1500, ficou a sensação que o produto ficou sem a homogeneização adequada criando alguns pequenos buracos indesejados na espuma. Abaixo veremos o resultado de antes e depois das mudanças. Vide figuras 12 e 13 respectivamente.



Figura 12. Células 12 e 8 respectivamente.

Fonte: Dos autores



Figura 13. Células 12 e 8 respectivamente.

Fonte: Dos autores

Olhando atentamente nota se que após a mudança nos testes, o tamanho da célula diminuiu do índice 12 inicial para 8 final que é o desejado pela matriz. Abaixo veremos como eram as especificações no Brasil antes das mudanças como ficaram depois das mesmas após mudança de Polioliol e Amina nas tabelas 5 e 6 respectivamente.

Tabela 5. Especificações Iniciais (Brasil).

Altura Mínima	cm	42,5
Relaxamento	cm	2,5
Fluxo de Ar	cfm/cm	2,5 – 4,0
Estrutura Celular	células/pol.	12

Fonte: Dos autores

Tabela 6. Especificações Finais (EUA).

Altura Mínima	cm	39
Relaxamento	cm	1,0
Fluxo de Ar	cfm Brasil / L/s EUA	5,3 – 13,8 / 2,5 – 6,5
Estrutura Celular	células/pol.	8

Fonte: Dos autores

Com as novas especificações as espumas ficaram com tamanho mais compacto, as células ficaram menores, além do aumento do fluxo de ar e a maior maciez. Essas eram as principais exigências da Matriz, para que todas as unidades seguissem esse padrão, já que são as principais características das espumas feitas na matriz norte-americana.

## 5. Conclusão.

O novo projeto foi realmente desafiador tendo em vista o investimento que teria que ser feito para atingir as metas colocadas pela matriz Sisterville, além das diferenças já mencionadas para reprodução do teste no Brasil. Portanto foram feitos os testes, entretanto sem fugir do orçamento e da realidade brasileira para que os objetivos fossem atingidos. Com as mudanças de matérias-primas para semelhantes às de Sisterville, o problema ficou menor, porém mesmo assim ainda existiam grandes discrepâncias entre os resultados. Foram necessárias algumas alterações como, a introdução de uma chicana, mudança de hélice da agitação, de cowles para tipo turbina e na velocidade da rotação.

Começando com a rotação de 2000 rpm porque já era a rotação do método anterior feito no Brasil com a hélice tipo cowles, mas agora com a hélice turbina e a chicana, mudanças mencionadas anteriormente, percebeu se certa turbulência e bolhas que não eram esperadas devido as mudanças feitas. Após cura em estufa, foi cortada a espuma e verificou se que a altura final do bloco ficou dentro do especificado pela Matriz. Ao medir a estrutura celular, o resultado ficou entre 10 e 12, as células maiores e fechadas replicando os mesmos resultados do método feito anteriormente. Seguindo com os testes teria que reduzir a rotação para ver se mudariam os resultados encontrados.

Então foi reduzida a rotação para 1700 rpm, e felizmente chegou se a resultados impressionantes como a redução drástica da turbulência, sem excesso de bolhas na superfície da mistura, altura do bloco dentro do especificado, depois de cortada a

espuma observou se células bem menores, e praticamente idênticas a de Sisterville e passagem de ar também com os mesmo resultados alcançados na Matriz.

Ainda assim foi testada uma última rotação para ver se esses números melhoravam, com a rotação de 1500 rpm. Pelos resultados observados, verificou se que a mistura não ficou totalmente homogênea, e apareceram muitas falhas na espuma como muitas bolhas e rachos ficando visível que a homogeneização não teria sido suficiente.

Dessa forma entendeu-se que a 1700 rpm os resultados finais ficaram mais consistentes deixando as espumas mais macias tanto que, com as novas especificações resultados de passagem de ar, altura e estruturas celulares reproduziram em praticamente 98% do exigido pela matriz. Isso foi uma grande vitória frente ao desafio proposto pela matriz, e na unidade brasileira ficou a certeza que o objetivo foi atingido.

## **6. Referências bibliográficas.**

JUNIOR, W.S.; **Síntese de dispersões aquosas de poliuretano como proposta de substituição ao látex natural**; USP- Campinas SP, 2001; Disponível em; <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266490/1/SpinardiJunior\\_Walter\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266490/1/SpinardiJunior_Walter_M.pdf)> Acesso em junho 2019.

MARK, H.F.; BIKALES, N.; Overberger, G.C. e Menges, G. “**Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**”; **Jonh Wiley & Sons; (eds) 2a** ; New York; vol. 13; 243-303; 1988.

HERRINGTON, R. ; Polyurethane Products TS&D Dow Plastics; Texas July, 1997.

CREMASCO, M.; Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos; Campinas-SP; Setembro 2012.

SILVA, E.C.; **Sistemas de Agitação e Mistura** ; Artigo Científico, Faculdade de Tecnologia de Garça ; Garça São Paulo ; Julho 2013.

LIMA, V.; Estudo de catalisadores organometálicos na síntese de poliuretanos; Porto Alegre; Fevereiro 2007.

**PINTO, P.C.P.; Uso Do Esteatito Como Componente De Espumas De Poliuretano Flexível;** Artigo Científico, Universidade Federal de Minas Gerais Instituto de Ciências Exatas Departamento de Química; Belo Horizonte MG 2011. Disponível em;  
<file:///C:/Users/User/Videos/Faculdade%20Anchieta/FACULDADE%202019%201%  
C2%B0%20SEMESTRE/TCC%20FINAL/disserta\_\_o\_pl\_nio\_2011\_sem\_item\_3.2.pdf  
> Acesso em maio de 2019.

**SOARES, M.S.; Síntese e caracterização de Espumas de Poliuretanos para imobilização de células íntegras e aplicação na síntese de biodiesel;** Lorena –SP 2012.

**VILAR, W.D; Química e Tecnologia dos Poliuretanos;** Rio de Janeiro, Dezembro 2004.

**ALIMENA, L.A.M.; Estudo comparativo do coeficiente de condutividade térmica de espuma rígida de poliuretano obtida por reciclagem mecânica e química;** Porto Alegre-RS, 2009. Disponível em;  
<[http://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/3260/1/000418067-  
Texto%2BCompleto-0.pdf](http://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/3260/1/000418067-Texto%2BCompleto-0.pdf)> Acesso em junho de 2019.

**LIGABUE, R.A.; Estudo da reação catalítica de formação do Uretano a partir do hexametilenodiisocianato;** Porto Alegre-RS, 1995.

**MARTINI, T.L.; Influência dos impelidores e condições de mistura na produção de insumos químicos para o setor coureiro;** Porto Alegre–RS, 2010.