

Engenharias, Ciência e Tecnologia

**Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)**

SAFETY HELMET SAFETY

Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia [recurso eletrônico] / Organizador
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-084-1

DOI 10.22533/at.ed.841193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume I apresenta, em seus 10 capítulos, conhecimentos relacionados a Gestão de Sistemas, Processos Produtivos e Qualidade em Serviços relacionados à engenharia de produção nas áreas de gestão da produção, processos produtivos e, Gestão de Operações e Serviços.

As áreas temáticas de Gestão de Sistemas, Processos Produtivos e Qualidade em Serviços, tratam de temas relevantes para a Gestão da Produção. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam gerir de uma forma mais otimizada conhecimentos e estudos na área de processos produtivos, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Gestão de Sistemas e Processos Produtivos, e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

ANÁLISE DO BALANÇO DE MASSA E DA DISTRIBUIÇÃO DAS PARTÍCULAS DO PÓ NA SECAGEM DE PASTA EM LEITO DE JORRO

João Pedro Alves de Azevedo Barros

José Teixeira Freire

DOI 10.22533/at.ed.8411931011

CAPÍTULO 2 18

APLICAÇÃO DA INTERMITÊNCIA NO PROCESSO DE SECAGEM DE MATERIAL PARTICULADO EM LEITO DE JORRO

Ronaldo Correia de Brito

Rodrigo Béttega

José Teixeira Freire

DOI 10.22533/at.ed.8411931012

CAPÍTULO 3 34

COBERTURAS DE SOLO E TELAS FOTOSSELETIVAS NO CULTIVO DA ALFACE EM BOA VISTA, RR

Taline Katlen de Oliveira Nunes

João Luiz Lopes Monteiro Neto

João Vitor Paiva Cabral

José de Anchieta Alves de Albuquerque

Elton da Silva Dias

Luiz Guilherme Carvalho Zborowski

Rannyonara Oliveira Rodrigues

Brito Luis Dresch

DOI 10.22533/at.ed.8411931013

CAPÍTULO 4 40

EFEITO DOS AGENTES ENCAPSULANTES NAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DE MICROCÁPSULAS DE EXTRATO DE URUCUM (BIXA ORELLANA)

Caroline Pereira Moura Aranha

Caio Francisco Valente Serra

Vânia Regina Nicoletti Telis

DOI 10.22533/at.ed.8411931014

CAPÍTULO 5 51

LEITO BIFÁSICO NA REAÇÃO DE APATITA NA FABRICAÇÃO DE FERTILIZANTES

Fabrcio Gomes Menezes Porto

José Roberto Delalibera Finzer

Roberto Mattioli Silva

DOI 10.22533/at.ed.8411931015

CAPÍTULO 6 61

MUDAS DE MARACUJAZEIRO-AMARELO PRODUZIDAS EM DIFERENTES AMBIENTES E SUBSTRATOS

Roberto Tadashi Sakazaki
João Luiz Lopes Monteiro Neto
Wellington Farias Araújo
Carlos Abanto-Rodríguez
Rafael Souza Coimbra e Silva
Taline Katlen de Oliveira Nunes
Sonicley da Silva Maia
Beatriz Sayuri Campaner Sakazaki

DOI 10.22533/at.ed.8411931016

CAPÍTULO 7 67

PRODUÇÃO DE MILHO VERDE EM CONSÓRCIO COM CROTALARIA JUNCEA SOB DIFERENTES DOSAGENS DE N EM TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA EM RORAIMA

Juliano Jonas Sábio de Melo
Hipólito Ribas Pereira
Maria Edjane Matias Silva
Edmilson Evangelista da Silva

DOI 10.22533/at.ed.8411931017

CAPÍTULO 8 73

REDUÇÃO DE COR ICUMSA DO CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR PELA UTILIZAÇÃO DE BENTONITA COMO CLARIFICANTE

Sarah Arvelos
Ananda Cristina Coelho Ribeiro
Heitor Otacílio Nogueira Altino

DOI 10.22533/at.ed.8411931018

CAPÍTULO 9 88

LOGÍSTICA REVERSA: UM LEVANTAMENTO SOBRE O PÓS-VENDA DE LÂMPADAS FLUORESCENTES COM COMERCIANTES DO BAIRRO CAPIM MACIO, NA CIDADE DO NATAL-RN

Glauber Henrique Borges de Oliveira Souto
Claudiane da Silva
Janayne Thayane de Souza Toscano

DOI 10.22533/at.ed.8411931019

CAPÍTULO 10 94

QUALIDADE DA ÁGUA CONSUMIDA EM ESCOLAS MUNICIPAIS DA ÁREA RURAL DE CERRITO ALEGRE, 3^o DISTRITO DE PELOTAS/RS

Catiúscia Weinert Mizuschima
Jocelito Saccol de Sá
Marília Guidotti Corrêa

DOI 10.22533/at.ed.84119310110

SOBRE O ORGANIZADOR 108

ANÁLISE DO BALANÇO DE MASSA E DA DISTRIBUIÇÃO DAS PARTÍCULAS DO PÓ NA SECAGEM DE PASTA EM LEITO DE JORRO

João Pedro Alves de Azevedo Barros

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Pós-Graduação em Engenharia
Química
São Carlos – São Paulo

José Teixeira Freire

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Pós-Graduação em Engenharia
Química
São Carlos – São Paulo

RESUMO: Apesar das vantagens e estudos apresentados na literatura sobre a secagem de pastas em leito de jorro, essa técnica pode ser inviabilizada devido ao processo de aglomeração, acúmulo e instabilidades no leito. Esses problemas operacionais podem afetar a eficiência da secagem e alterar a distribuição do tamanho das partículas, dificultando o controle dessas variáveis. Neste contexto, este capítulo tem como finalidade apresentar um estudo de caso sobre o balanço de massa em um leito de jorro cônico - cilíndrico, determinando a massa do material elutriado com adição de um filtro. O tamanho das partículas em função da temperatura do ar e vazão da pasta alimentada também foi analisada. A porcentagem de massa elutriada ficou entre 2 e 8%, enquanto o acúmulo no leito foi em média de 29%. A distribuição do tamanho das partículas foi

influenciada significativamente pela vazão da pasta, mostrando que as maiores partículas foram do material acumulado ($20 - 92 \mu\text{m}$), as menores retidas no filtro ($2 - 5 \mu\text{m}$) e as intermediárias recuperadas no ciclone ($8 - 21 \mu\text{m}$). Foi constatado instabilidade do processo de secagem, principalmente quando atingida a capacidade máxima do equipamento.

PALAVRAS-CHAVE: Leito de jorro, tamanho da partícula, balanço de massa, elutriação e aglomeração.

ABSTRACT: Despite the advantages and studies presented in the literature on the drying of paste in spouted bed, this technique may be unviable due to the process of agglomeration, accumulation and instabilities in the bed. These operational problems can affect drying efficiency and change the particle size distribution, making it difficult to control these variables. In this context, this chapter aims to present a case study on mass balance in a conical-cylindrical spouted bed, determining the mass of the elutriated material with the addition of a filter. The particle size as a function of air temperature and paste feed flow rate was also analyzed. The percentage of elutriated mass was between 2 and 8%, while the accumulation in the bed was on average 29%. The particle size distribution was significantly influenced by the feed flow rate, showing that the largest particles were from the

accumulated material (20 - 92 μm), the smallest particles retained in the filter (2-5 μm) and the intermediate recovered in the cyclone (8 - 21 μm). It was observed instability of the drying process, especially when the maximum capacity of the equipment was reached.

KEYWORDS: Spouted bed, particle size, mass balance, elutriation and agglomeration.

1 | INTRODUÇÃO

O processo de secagem tem como principal finalidade a redução da umidade para aumentar o tempo de preservação de produtos alimentícios. Neste contexto, a secagem de pastas e soluções em leito de jorro vem sendo muito discutido na literatura, por apresentar como vantagem altas taxas de transferência de calor e massa. Outra vantagem que torna essa técnica promissora para produtos termicamente sensíveis é que a temperatura média dos inertes apresenta menor temperatura do que a do ar de secagem (FREIRE et al., 2012; SOUZA; OLIVEIRA, 2005). Contudo, o leito de jorro apresenta algumas limitações, tanto de projeto quanto das condições operacionais, as quais podem afetar diretamente a eficiência do processo de secagem.

Apesar do pó produzido no leito de jorro apresentar qualidade que atenda aos requisitos comerciais, essa técnica de secagem é pouco eficiente na taxa de produção de pó, possuindo limitação da vazão da pasta alimentada (PASSOS et al., 1997). Quando operado em altas vazões de alimentação de pasta, este equipamento pode sofrer o processo de aglomeração e acúmulo de material no leito, os quais levam a problemas operacionais, como instabilidade no jorro, variação da queda de pressão e aglomeração de partículas-pasta-produto, podendo causar o colapso do jorro (ALMEIDA, 2009; PASSOS et al., 1997).

Desta forma, o processo de secagem em leito de jorro não possuiu controle sobre a qualidade do produto formado e das perdas do processo principalmente pela elutriação e acúmulo de pó. Esses fenômenos podem ser afetados diretamente pelo processo de aglomeração das partículas.

Nesse contexto, e buscando disseminar informações mais detalhadas sobre a granulometria, acúmulo e elutriação do pó, o presente capítulo teve como finalidade relatar a experiência dos autores na secagem de pasta em leito de jorro, analisando o balanço de massa global e do tamanho do pó.

2 | DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO PROCESSO DE SECAGEM

Agglomeração de partículas pode ser definida como o processo de aumento do tamanho das partículas que se juntam ou se ligam umas com as outras, obtendo um agregado com uma estrutura porosa e com tamanho maior que o inicial (SCHUCHMANN,

1995). Dessa forma, partículas mais úmidas são mantidas juntas por forças de atração interpartículas, e assim esse agregado tem tamanho maior que o valor real da partícula (CUNHA; MAIALLE; MENEGALLI, 2000). O processo de aglomeração de finas partículas sólidas é usado em algumas circunstâncias para melhorar as propriedades do pó (dispersão, solubilidade, manuseio, etc), como é o caso da indústria alimentícia que utiliza essa técnica em produtos instantâneos (café, leite e cacau) (CARIĆ, 2003; SCHUCHMANN, 1995; SCHUBERT, 1993). A aglomeração destas partículas ocorre com a formação do pó devido os mecanismos de secagem e atrito que acontecem dentro do leito de partículas. Entretanto, a aglomeração pode ser prejudicial em outros processos, causando problemas operacionais e de instabilidade, sendo um deles a secagem de pasta em leito de jorro com partículas inertes.

O processo de secagem no leito de jorro inicia-se com a dispersão da pasta sobre o leito de partículas inertes, posteriormente com a formação do filme líquido, ocorre a evaporação da água através dos processos simultâneos de transferência de calor por condução e convecção. Na etapa de secagem do filme líquido, ocorre a redução gradual das pontes líquidas (minimizando a adesão sólido-pasta) até um ponto crítico onde o filme se torna sólido e frágil. Em consequência da alta taxa de circulação dos inertes, o filme é quebrado por choque mecânico através das colisões entre os inertes, transformando-o em pó, o qual é arrastado pelo ar para fora do secador (FREIRE et al., 2012). O pó gerado é arrastado e separado da fase gasosa no ciclone, entretanto uma pequena quantidade de partículas é elutriada pelo gás para a atmosfera ou retido com adição de um filtro na saída do sistema.

Altas taxas de cisalhamento no filme são alcançadas devido ao intenso atrito entre as partículas inertes, favorecendo a quebra e remoção do pó (COSTA JR. et al., 2006; DOTTO; SOUZA; PINTO, 2011). Este atrito interno pode levar a formação de uma ampla faixa de granulométrica e também de geometria do pó.

As etapas de secagem do filme (alimentação de pasta, formação do filme, secagem do filme, quebra e remoção do pó) devem ocorrer simultaneamente para que um processo estável seja alcançado. Entretanto, para altas vazões de alimentação, o filme não é seco adequadamente e a umidade do pó pode ser mais elevada, favorecendo o processo de aglomeração. Em consequência desse fato, poderia causar o aumento do tamanho do pó, acúmulo de material no leito e aglomeração de partícula-pasta-produto, podendo levar a instabilidade e colapso do jorro (ALMEIDA, 2009; PASSOS et al., 1997; STRUMILLO, 1987). Nesse caso específico, seria necessário maior tempo de residência do material dentro do leito, contudo esse parâmetro é influenciado por fatores como o tipo de pasta, sua reologia, ligação com a superfície do inerte e as taxas de atrição partícula-partícula e partícula-parede.

Na Figura 1, observa-se uma representação esquemática das etapas do processo de secagem em leito de jorro, verificando a presença da aglomeração e acúmulo da pasta com as partículas inertes e com a parede do equipamento.

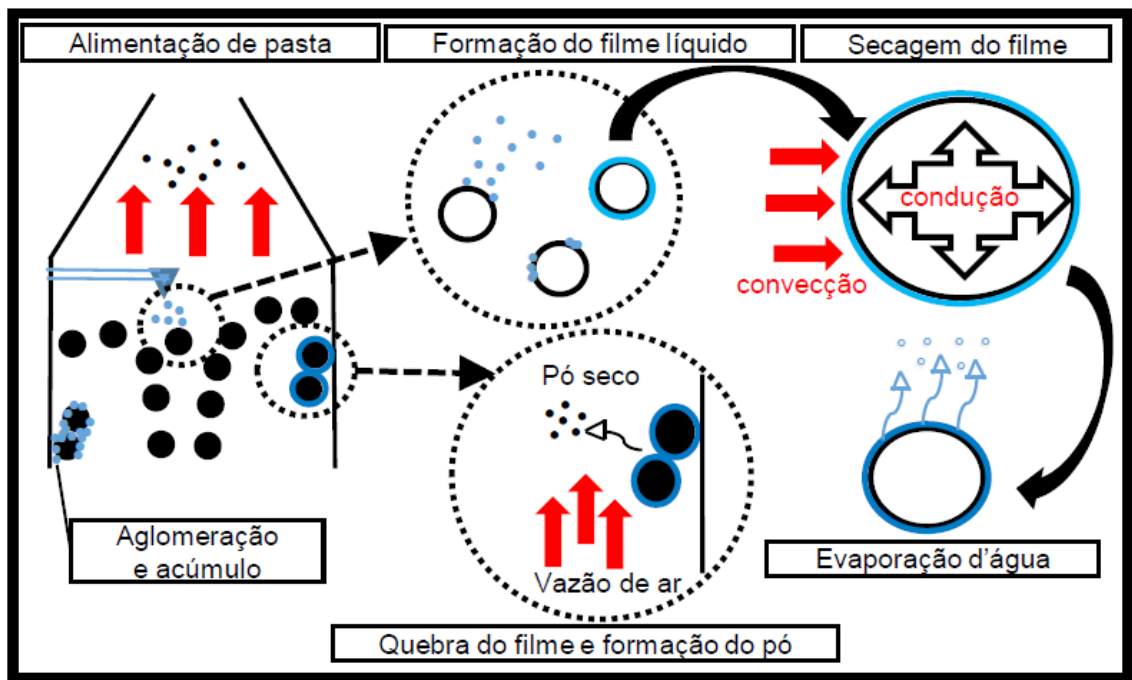


Figura 1: Etapas do processo de secagem de pasta em leito de jorro.

O acúmulo de pasta dentro do leito ocorre quando a taxa de remoção do pó é menor que a taxa de recobrimento das partículas inertes, ou seja, entra mais massa de sólidos pela alimentação do que sai pelo arraste de pó devido ao ar de secagem. A eficiência da secagem depende da taxa de remoção de pó e está diretamente relacionada com a temperatura e vazão do gás de entrada, dentre outros parâmetros. Estas duas variáveis governam a transferência de calor e a taxa de circulação dos inertes, respectivamente. Enquanto que a taxa de alimentação de pasta e a massa de inerte influenciam na remoção do filme e estabilidade do leito de jorro, mas todos esses parâmetros estão diretamente relacionados com o acúmulo e elutrição do pó (PASSOS; MUJUMDAR, 2000).

3 | ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO BALANÇO DE MASSA E DA DISTRIBUIÇÃO DAS PARTÍCULAS DO PÓ NA SECAGEM DE PASTA EM LEITO DE JORRO.

O leito de jorro pode ser uma alternativa muito promissora em relação a outras técnicas de secagem de pastas, mas apesar dos estudos recentes na área ainda resta muito a ser explorado. Apesar desses fatores, essa técnica apresenta problemas de aglomeração e acúmulo de material no leito, além de instabilidade que podem levar ao colapso do jorro. Nesse tipo de secagem um parâmetro pouco estudado é o material elutriado, sendo seus dados escassos na literatura. A significância deste parâmetro no processo poderia ser utilizada em modelos físico-matemáticos que desprezam a perda de pó pela elutrição, auxiliando na sua precisão.

No intuito de melhorar a compreensão do processo de secagem de pastas em

leito de jorro, utilizou-se de um estudo de caso onde os autores realizaram um balanço de massa global determinado o material elutriado com a adição de um filtro. Também foi analisada a distribuição do tamanho das partículas do pó do produto acumulado no leito, coletado no ciclone e no elutriado. Através desses dados foi possível realizar uma discussão quantitativa desses parâmetros frente às variáveis do processo (temperatura do ar e vazão de pasta).

3.1 Materiais e Métodos

3.1.1 Unidade Experimental

O presente trabalho foi desenvolvido no Centro de Secagem do Departamento de Engenharia Química na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Os experimentos foram realizados em um leito de jorro cônico – cilíndrico (construídos de peças de aço inox e unidas por flanges) acoplado a um ciclone e uma saída para coleta do material elutriado no filtro, como mostra a Figura 2. O fornecimento de ar foi realizado por um soprador (7,5 cv) e aquecido por um aquecedor com potência de 2581W. Vale destacar que o filtro foi feito de tecido tricoline (100% algodão), sendo confeccionado com comprimento de 68 cm e diâmetro de 13,5 cm, possuindo assim uma área superficial de coleta de aproximadamente 2880 cm².

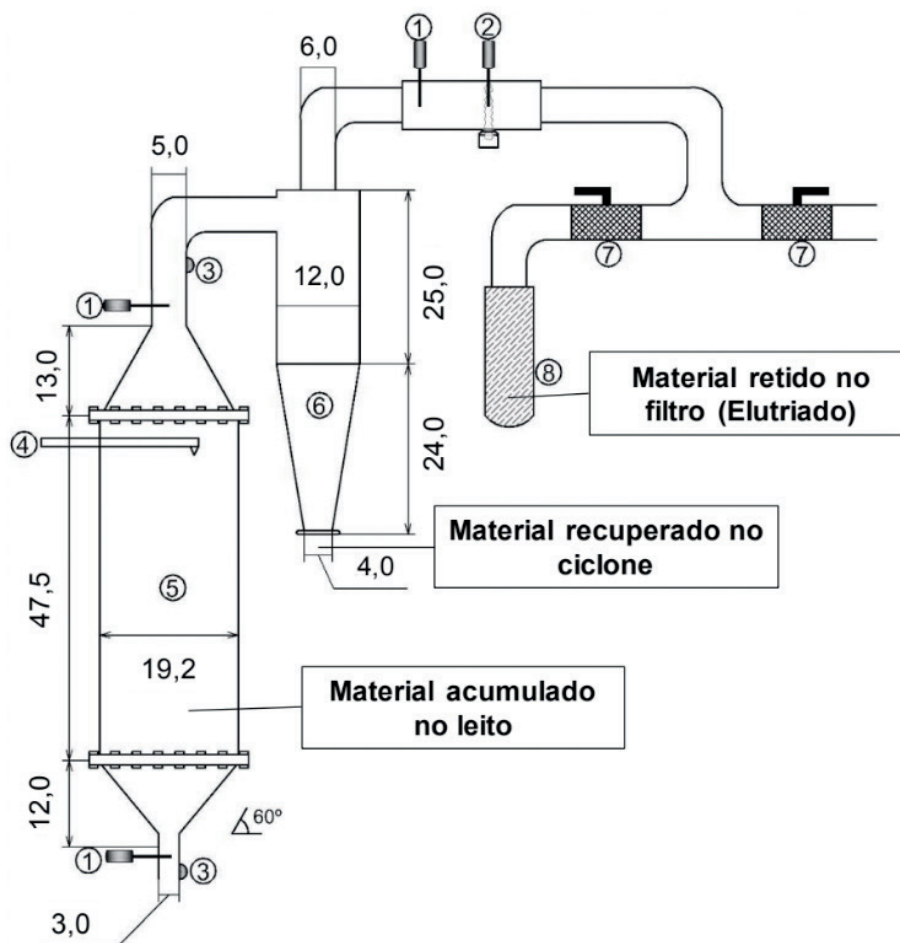


Figura 2: Sistema de secagem de pasta. Legenda: 1 - Termopar (Tipo T); 2 - Termopar de bulbo úmido; 3 - transdutor de pressão; 4 - atomizador de solução/pasta; 5 - leito de jorro; 6 - ciclone (Laplace); 7 - Válvulas (esfera de 2 "); 8 - Filtro.

3.1.2 Materiais

A pasta utilizada foi uma suspensão de carbonato de cálcio PA (Min. 99,0%), com concentração percentual em massa de 5,0% (m/m). Essa concentração foi escolhida de acordo com estudo realizado por Almeida (2009), o qual identificou que enquanto a concentração de 3% diminui a queda de pressão e a concentração mais elevada (9%) provocava um aumento na variável, em valores intermediários (5%), ambos os comportamentos foram observados.

A pasta foi mantida em mistura homogênea por agitador mecânico e transportada para o interior do leito de jorro por uma bomba dosadora. Um compressor foi utilizado para atomizar a pasta dentro do leito (pressão de atomização aplicada de 3 PSI), sendo feita na parte superior da coluna cilíndrica, acima da região da fonte.

Quatro quilos de partículas esféricas de vidro, com diâmetro médio de 2,18 mm, foram utilizados em cada experimento. A densidade real dos inertes foi estimada por picnometria a gás hélio apresentando valor de 2,512 g.mL⁻¹ (SILVA; FREIRE; FREIRE, 2015).

3.1.3 Procedimento Experimental

Para atingir o objetivo desse trabalho foram realizados experimentos com vazão de pasta de 10 e de 30 mL.min⁻¹ e temperaturas do ar na entrada de 80, 90 e de 100°C.

Após iniciada a vazão de ar e estabelecido o jorro, o aquecedor foi ligado na temperatura do ar de entrada (80, 90 ou 100°C) e aguardava-se até que o sistema entrasse em regime permanente. Posteriormente, a alimentação de pasta de 10 ou 30 mL.min⁻¹ foi iniciada por 70 minutos contínuos e durante esse período foi realizado a coleta de dados. O tempo de operação foi determinado por ensaios preliminares, sendo limitado pelo aumento da pressão devido a formação de torta no filtro. Todo o material coletado dentro do leito foi para estufa a 105°C por 24 horas para determinar a massa seca. A massa retida no ciclone foi coletada a cada 10 minutos e posteriormente colocada em estufa para determinar a massa seca. Por outro lado, a massa retida no filtro foi considerada como a diferença entre a massa seca final e inicial do filtro. Ao final da operação o equipamento foi desligado, fez-se a última coleta no ciclone e mediu-se a massa das partículas inertes, obtendo-se o acúmulo de pasta presente nos inertes, juntamente com a massa retida nas paredes interna do equipamento.

Os dados operacionais foram coletados por uma placa de aquisição de dados, com intervalo de cinco segundos. A umidade absoluta foi calculada a partir das temperaturas de bulbo úmido e seco, sendo calculado posteriormente a umidade adimensional de acordo com a Eq. 1. Onde UA_(t) é a umidade do ar de acordo com o tempo, UA₀ é a umidade inicial, e UA_e é a umidade em equilíbrio dinâmico.

$$U_{ad} = \frac{UA_{(t)} + UA_e}{UA_0 + UA_e} \quad (1)$$

3.1.3.1 Cálculo do balanço de massa

Com os dados obtidos nos experimentos de massa seca coletada no ciclone (M_{colet}), massa seca acumulada no leito (M_{ac}) e massa seca elutriada/retida no filtro (M_{E}), foi possível realizar o balanço de massa na secagem. Para isso, foi calculado a porcentagem de massa recuperada no ciclone (R), da acumulado no leito (Ac), elutriada (E) e perda (P) por meio das Equações 2, 3, 4 e 5, respectivamente. A massa adicionada na alimentação do equipamento (massa teórica), foi utilizada como referência e determinado pela vazão mássica da alimentação (W_s), concentração de sólidos (C) e o tempo de operação (θ). Para determinar a W_s , foi necessário obter a densidade da pasta por picnometria líquida, obtendo valor de $1,030 \pm 0,001 \text{ g.mL}^{-1}$.

$$R = \frac{M_{\text{colet}}}{W_s * C * \theta} * 100 \quad (2)$$

$$Ac = \frac{M_{\text{ac}}}{W_s * C * \theta} * 100 \quad (3)$$

$$E = \frac{M_{\text{E}}}{W_s * C * \theta} * 100 \quad (4)$$

$$P = 100 - R - Ac - E \quad (5)$$

3.2.3.2 Caracterização da Unidade Experimental

Para obter dados operacionais como vazão de ar, foi necessário realizar a curva fluidodinâmica do equipamento seguindo metodologia proposta por Mathur e Epstein (1974). As curvas fluidodinâmicas do leito de jorro foram realizadas utilizando carga de 4,0 kg de partículas de vidro, variando a vazão do gás de entrada até a formação do jorro e posteriormente sua redução gradual.

3.1.4 Análise do Diâmetro do Pó

Para análise das amostras, foi utilizado o medidor de tamanho de partícula, Mastersizer MicroPlus 2000 (Malvern), baseado em difração a laser com escala de medida entre 0,05 a 550 μm . A leitura de cada amostra no equipamento foi feita em tréplica e para este trabalho utilizou-se a média.

O diâmetro médio volumétrico ponderado ($d_{4,3}$) foi calculado usando a Eq. 6 (JINAPONG; SUPHANTHARIKA; JAMNONG, 2008), onde o parâmetro ni representa

o número de partículas de diâmetro d_i .

$$d_{4,3} = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3} \quad (6)$$

As leituras realizadas no equipamento assumem que as partículas são esferas perfeitas. Assim, ao se converter o volume da partícula (de forma desconhecida) para o volume de uma esfera, obtém-se um diâmetro equivalente de uma esfera perfeita (sem irregularidades na superfície). Nesse contexto, vale destacar que o pó produzido nesse tipo de equipamento apresenta geometria na forma de lascas devido ao atrito dos inertes. Nos casos em que a pasta atomizada é seca antes de atingir os inertes, a geometria se aproxima mais de uma esfera, como é o caso do processo em spray-drying (SOUZA, 2003). Assim, erros nas medidas podem ser obtidos ao ser considerado a simplificação de esfera perfeita para geometria real do pó.

3.2 Resultados e Discussão

3.2.1 Caracterização Fluidodinâmica

As curvas fluidodinâmicas obtidas pela metodologia descrita por Mathur e Epstein (1974) apresentaram boa reprodutibilidade devido à sua sobreposição, como mostrado na Figura 3. Obtendo-se assim os parâmetros fluidodinâmicos de velocidade mínima de jorro (U_{mj}), queda de pressão do jorro estável (ΔP_j) e queda de pressão máxima (ΔP_{max}).

Todos os ensaios foram realizados em tréplica e com temperatura do ar de entrada de aproximadamente $30 \pm 2^\circ\text{C}$. Contudo, segundo Silva et al. (2015) a variável temperatura do ar não causa influência significativa nos dados operacionais, desta forma, os parâmetros podem ser utilizados para os ensaios a 80, 90 e 100°C . Para suprir a uma possível resistência do filtro no processo, utilizou-se velocidade do ar em 30% acima da velocidade mínima de jorro. Assim, para os experimentos realizados neste trabalho, foi utilizada vazão do ar de entrada de $1,43 \pm 0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

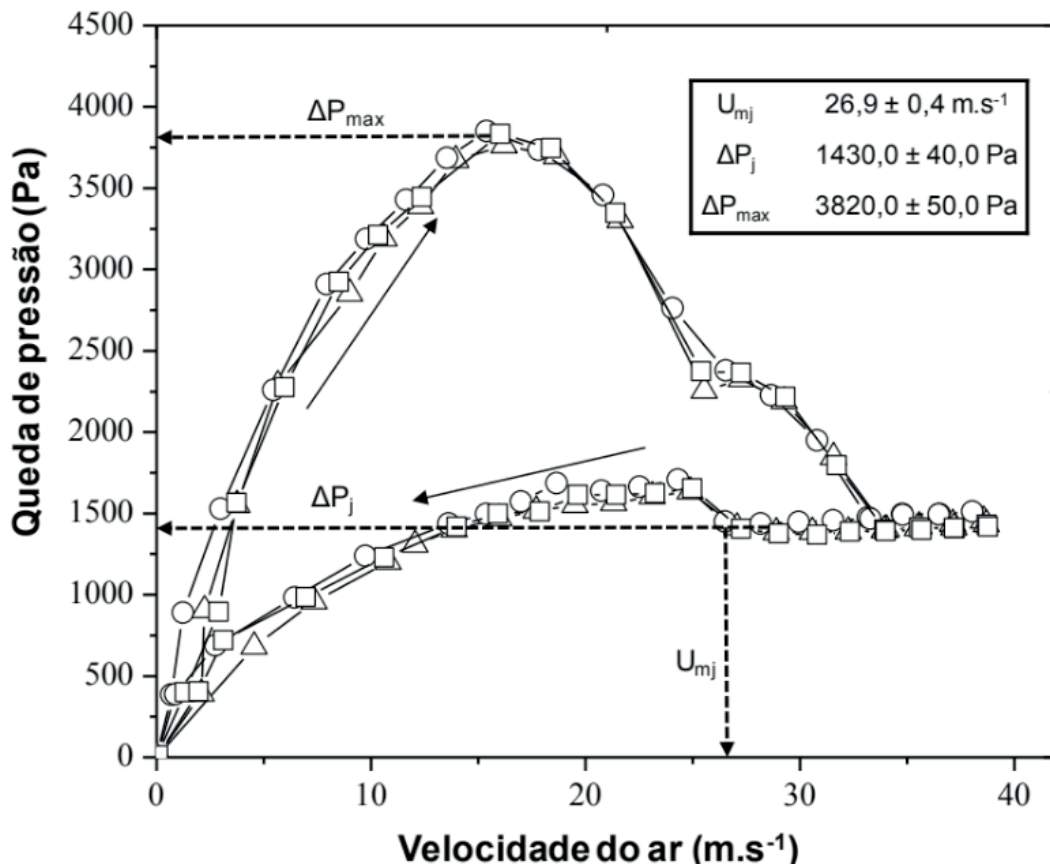


Figura 3: Queda de pressão das partículas no leito em função da velocidade do ar.

3.2.2 Umidade do Produto e do Ar de Saída

O teor de umidade do pó é um importante parâmetro de qualidade na secagem de pastas e soluções. Valores de umidade abaixo de 5% reduzem significativamente os riscos de degradação microbológica e química, proporcionando maior estabilidade física e química. Neste trabalho, o teor de umidade do pó foi inferior a 5% e não variou significativamente durante o processo de secagem (Figuras 4A e 4B). Valores semelhantes foram obtidos por Nascimento et al. (2013) para secagem de carbonato de cálcio, e por Almeida et al. (2010) e Freire et al. (2012) para secagem de uma ampla variedade de pastas.

No entanto, na maior vazão de pasta (30 mL.min^{-1}), o teor de umidade do produto variou significativamente ao longo do processo (Figura 4B), devido à instabilidade dinâmica observada no secador nessa vazão de alimentação. Para altas taxas de alimentação, as partículas são revestidas com um filme mais espesso e um tempo de secagem mais longo é necessário. Se o tempo de residência for muito curto, uma nova camada de revestimento pode ser depositada sobre a superfície da partícula antes da remoção completa da camada anterior, de modo que a remoção de umidade é menos eficaz. Isso contribui para o aumento da aglomeração do produto e maior teor de umidade do pó (MARKOWSKI, 1992). Desta maneira, pode-se inferir que para vazão de pasta de 30 mL.min^{-1} e temperatura de 80°C essa combinação excedeu a

capacidade de secagem do equipamento.

A Tabela 1 mostra os valores médios e desvios padrão para o teor de umidade do produto no final do processo de secagem, quando em estado estacionário. Pode-se observar que para vazão de 30 mL.min⁻¹, o aumento da temperatura do ar de 80 para 100°C causou uma redução no teor médio de umidade do pó próximo de 70%. Enquanto que para menores vazões de pasta esse fato não foi observado, podendo-se inferir que a temperatura do ar é mais significativa para o processo próximo da capacidade máxima do equipamento do que para capacidades mais baixas. A vazão de pasta também apresentou influência nos valores de umidade do produto, sendo que para maior vazão e menor temperatura, foi observado umidade do produto próximo de 7%. Souza e Oliveira (2005) obtiveram resultados semelhantes ao operar próximo à capacidade máxima de secagem, com um teor médio de umidade de aproximadamente 9%.

Vazão de pasta	80°C	90°C	100°C
10 mL.min ⁻¹	0,40±0,04	0,35±0,04	0,40±0,10
30 mL.min ⁻¹	7,00±2,00	2,00±2,00	2,00±2,00

Tabela 1: Conteúdo de umidade do produto (base úmida) no final do processo (70 minutos).

As Figuras 4 C e D mostram a umidade adimensional do ar medidas na saída do ciclone em função do tempo, para diferentes temperaturas de operação. Pode-se observar que houve um aumento abrupto da umidade do ar nos primeiros minutos de secagem, devido à inserção da pasta no leito. À medida que o tempo aumentou e a dinâmica de secagem estabilizou, o sistema atingiu um estado estacionário.

A umidade adimensional foi menor em uma vazão de pasta de 10 mL.min⁻¹ (Figura 4C), comparada às vazões de 30 mL.min⁻¹ (Figura 4D), sugerindo que a capacidade máxima de secagem não havia sido atingida em 10 mL.min⁻¹. Não foi observada influência significativa da temperatura na umidade relativa do ar para vazões de 10 mL.min⁻¹. No entanto, um efeito da temperatura pode ser visto para uma de 30 mL.min⁻¹.

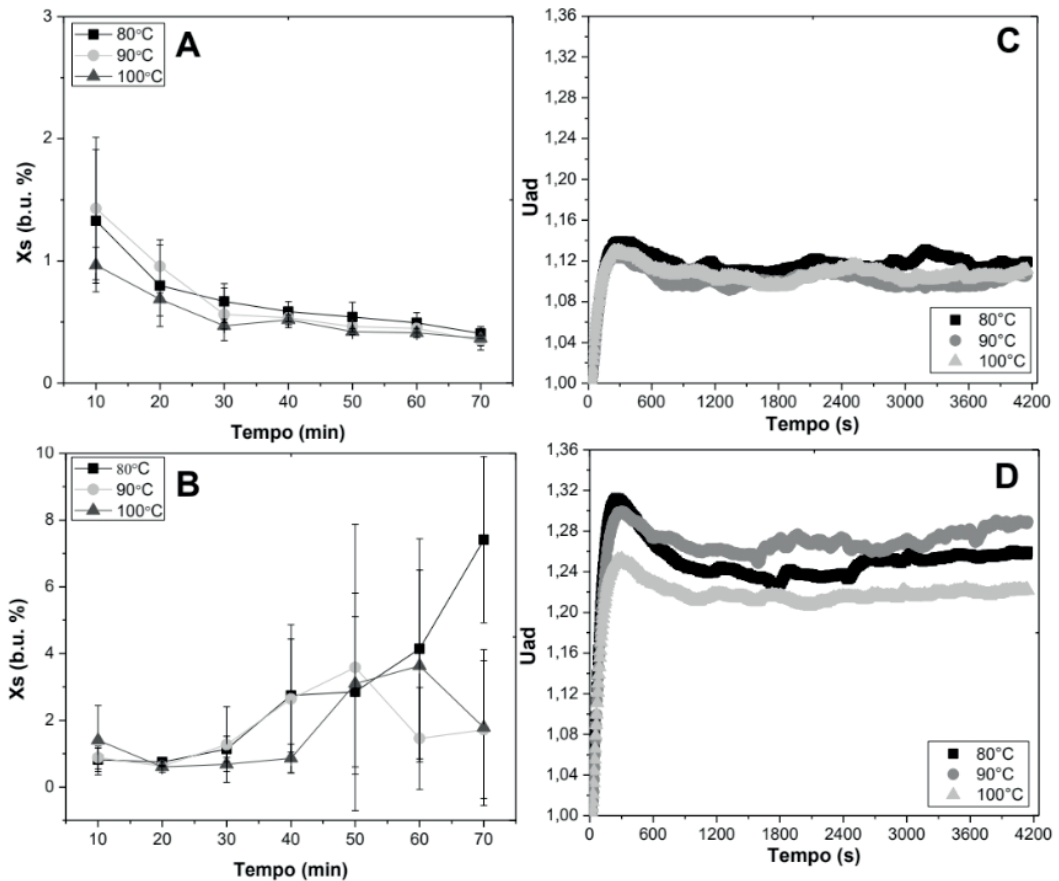


Figura 4: Teor de umidade do pó (base úmida) em função do tempo de secagem (Legenda: A - 10mL.min⁻¹; B - 30mL.min⁻¹) e umidade do ar adimensional em função do tempo de secagem (Legenda: C - 10mL.min⁻¹; D - 30mL.min⁻¹).

3.2.3 Análise do Balanço de Massa Global

Para efeito de comparação nesse tópico foram retirados os valores obtidos de 80°C, pois mesmo para 10 mL.min⁻¹ os desvios padrões foram os maiores nos experimentos, pois o secador estava fora de sua região boa de operação.

O processo de secagem de pasta na temperatura de 80°C foi considerado insuficiente para realizar uma secagem com estabilidade e baixa variação dos resultados. Esse resultado pode ser justificado pelo fato da condição de menor temperatura (80°C), o potencial de secagem foi menor e assim a taxa de remoção e evaporação de água seria inferior quando comparado com 90 e 100°C. Assim, a maior quantidade de água no leite dificulta a remoção do filme sólido acarretando maior acúmulo. Com o filme ainda úmido, uma nova camada de pasta recobri o filme novamente, podendo favorecer a aglomeração com outra partícula inerte na mesma condição. O aglomerado de pasta-produto-inerte começa a aumentar de tamanho, sendo depositado na região de menor movimentação, diminuindo assim a eficiência de secagem pela menor taxa de circulação dentro do leito. Resultado similar foi obtido por Vieira et al. (2013) utilizando o mesmo equipamento, mudando o inerte (2 kg de polietileno) e a pasta (leite bovino UHT), para a mesma vazão de 30 mL.min⁻¹, chegando à conclusão que para essa vazão causa instabilidade e colapso do leito de partículas.

Na Tabela 2 são apresentados os dados do balanço de massa global realizado no leito de jorro. Observa-se que a porcentagem acumulada no leito possui valor muito próximo para as mesmas temperaturas e vazões de alimentação, aproximadamente 29%. Foi verificado por Souza (2003) um efeito entre a redução da porcentagem acumulada em função do aumento da temperatura do gás de entrada, alcançando redução entre 36 a 77% quando utilizada temperatura mais elevada. Contudo essa redução no acúmulo pode ter sido observada porque o autor utilizou uma maior variação entre as temperaturas do gás de entrada (150 e 80°C).

Temperatura do ar	Vazão de pasta	R (%)	Ac (%)	E (%)	P (%)
90	10	47,0±2,0	30,0±2,0	5,0±2,0	18,0±2,0
90	30	43,0±8,0	33,0±5,0	4,5±0,9	19,0±12,0
100	10	53,0±1,0	26,0±1,0	8,0±1,0	13,0±0,2
100	30	42,0±6,0	27,0±3,0	5,0±2,0	26,0±9,0

Tabela 2: Média e desvio padrão da porcentagem de massa acumulada (Ac), elutriada (E), recuperada (R) e perdida (P) no processo de secagem.

A massa acumulada no leito foi calculada pela soma da massa contida nos inertes no final da secagem e da massa retida na parede do equipamento. Entretanto, a massa retida nos inertes representa a maior parte do acúmulo, próximo de 80 e 86% (90 e 100°C, respectivamente) para 10 mL.min⁻¹, enquanto que para vazão de 30 mL.min⁻¹ foi próximo de 70% para 90 e 100°C.

Para a porcentagem de massa recuperada no ciclone (R) não foi observado um efeito direto com a temperatura ou com a vazão de alimentação (Tabela 2), entretanto observa-se que o aumento da vazão de pasta favoreceu o aumento do desvio padrão no processo, mostrando aparente instabilidade na secagem.

Os resultados obtidos para R (%) apresentaram valores aproximados entre 42 e 53%. Este resultado pode ser considerado satisfatório quando comparados com outros autores que obtiveram recuperação de produto entre 40 e 48% (DOTTO; SOUZA; PINTO, 2011), enquanto Braga et al. (2016) obteve média de 43,5% na secagem de pasta em leito de jorro. Já Souza (2003) obteve valor médio de recuperação de 60,4%.

A massa elutriada apresentou valor médio próximo de 5%, com exceção do experimento com 10 mL.min⁻¹ e 100°C que foi aproximadamente de 8%. Foram levantadas duas hipóteses quanto a esse resultado: A força de arraste entre a partícula (pó) e o fluido (gás) foi maior para valores mais altos de temperatura, uma vez que esse aumento na temperatura acarreta aumento da viscosidade do gás e assim o aumento do coeficiente de arraste. Dessa forma, valores maiores de temperatura do gás propiciam maior massa elutriada de pó; A segunda hipótese é devido a massa da partícula em relação a quantidade de água presente, pois como mostrado na Figura 4 (A-B) inicialmente a média da umidade do pó é menor para temperatura de 100°C.

Esse fato pode facilitar a elutriação por ter-se partículas mais leves. Todavia, não foi quantificada a umidade do pó que é elutriado, assim pode ser que as partículas elutriadas na condição de 100°C apresentem uma umidade inferior para vazão de 10 mL.min⁻¹ do que aquela apresentada na Figura 4 (umidade do pó no ciclone). Para a maior vazão de alimentação (30 mL.min⁻¹) não foi observado o mesmo efeito de aumento da porcentagem elutriada em relação a temperatura. Podendo ser justificado pela maior quantidade de água contida na partícula (maior umidade no pó como mostrado na Figura 4) e assim o efeito da força de arraste seja minimizado pela força peso da partícula.

O estudo realizado por Souza (2003), apresentou uma porcentagem elutriada de 30,5 e 17,5%, respectivamente, para temperaturas do ar de entrada de 80 e 150°C, mas esses valores não foram medidos, apenas determinados pela diferença entre a massa adicionada ao sistema e a massa acumulada e recuperada no sistema. Assim seu valor foi superestimado quando comparado com os dados desse trabalho. Contudo, esse autor relatou que o processo de elutriação do pó no ciclone está relacionado com vários parâmetros que torna sua análise complexa, como a umidade e vazão do ar, diâmetro de corte do ciclone, posição do sistema de alimentação, umidade do produto e diâmetro da partícula.

A perda de massa percentual (P) está relacionada principalmente com o depósito de massa que fica aderida na tubulação. Este fato está relacionado com a umidade do material, pois para vazão mais alta (30 mL.min⁻¹) é observado maiores valores e também maiores desvios, como apresentado na Tabela 3.

3.2.4 Análise da Distribuição do Tamanho do Pó

Como esperado, as maiores partículas foram encontradas para o material acumulado no leito (D_{Ac}), com tamanhos intermediários para o produto no ciclone (D_R), e os menores tamanhos para as partículas que foram elutriadas e retidas no filtro (D_E), como mostra a Tabela 3.

O diâmetro do D_R apresentou variação em função da vazão de pasta, observando aumento das partículas nas temperaturas de 90 e 100°C. Contudo, as partículas apresentaram valores médio entre 8 e 21 μm . O aumento na vazão de pasta favoreceu o aumento do desvio padrão, mostrando que o processo ficou menos estável. Apesar dessa variação, pode-se verificar que para vazões de pasta próximas de 10 mL.min⁻¹ foi possível ter um maior controle da qualidade do produto em relação ao tamanho das partículas.

O material acumulado apresentou diâmetro de partícula significativamente maior que o D_R e D_E o que poderia ser explicado pela aglomeração de partículas no leito, sendo mais suscetíveis as forças de interação interpartículas. Valores menores de D_{Ac} (aproximadamente 28, 25 e 21 μm) foram obtidos para uma vazão de alimentação de 10 mL.min⁻¹, em comparação com 30 mL.min⁻¹ (70, 68 e 92 μm). Este fato sugere que

na condição de $10 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ocorre menor processo de aglomeração e assim menor tamanho das partículas, tanto pela menor espessura do filme (vazão de pasta inferior) quanto pela menor umidade do pó.

Observando as partículas de tamanho D_E , pode dizer que essas partículas ficaram em uma faixa entre 2 e 5 μm . Para D_E não foi observado uma relação direta com a vazão de pasta ou com a temperatura, esse fato pode estar atrelado ao tamanho do pó, uma vez que somente as partículas mais finas são arrastadas, não sendo influenciadas por outros fenômenos (umidade e aglomeração das partículas por exemplo).

Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)	Vazão de pasta ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)	D_R (μm)	D_{Ac} (μm)	D_E (μm)
80	10	$10,50\pm 0,40$	$28,00\pm 9,00$	$4,00\pm 1,00$
80	30	$8,00\pm 2,00$	$70,00\pm 11,00$	$2,00\pm 0,30$
90	10	$9,00\pm 1,00$	$25,00\pm 3,00$	$5,00\pm 2,00$
90	30	$19,00\pm 5,00$	$68,00\pm 4,00$	$4,90\pm 0,70$
100	10	$8,60\pm 0,40$	$20,70\pm 0,90$	$2,80\pm 0,08$
100	30	$21,00\pm 2,00$	$92,00\pm 3,00$	$5,00\pm 2,00$

Tabela 3: Diâmetro da partícula ($d_{4,3}$) para as condições de operação utilizadas na secagem.

Os resultados apresentados podem ser mais claramente observados na Figura 5, apresentando a distribuição do tamanho das partículas para 10 e 30 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$. Como já mencionado anteriormente o aumento da vazão de 10 para 30 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ favoreceu o aumento da fração de partículas de maior tamanho, fato esse facilmente observado na Figura 5-B para o D_{Ac} .

De modo geral, para o tamanho das partículas formadas no leito de jorro (D_{Ac} e D_R), estas dependem da temperatura e da vazão de pasta, mas existem outros fatores que podem estar atrelados a formação do pó como é o caso do atrito entre as partículas inertes entre si e com a parede do equipamento, o processo de aglomeração que ocorre dentro do leito e também dos mecanismos de secagem (convecção e/ou condução). A influência desses parâmetros também está relacionada com a forma dessas partículas, pois dependendo das condições do processo parte da pasta atomizada no topo do leito pode ser seca antes de atingir as partículas inertes por um processo similar ao spray-drying, como relado por Souza e Oliveira (2005).

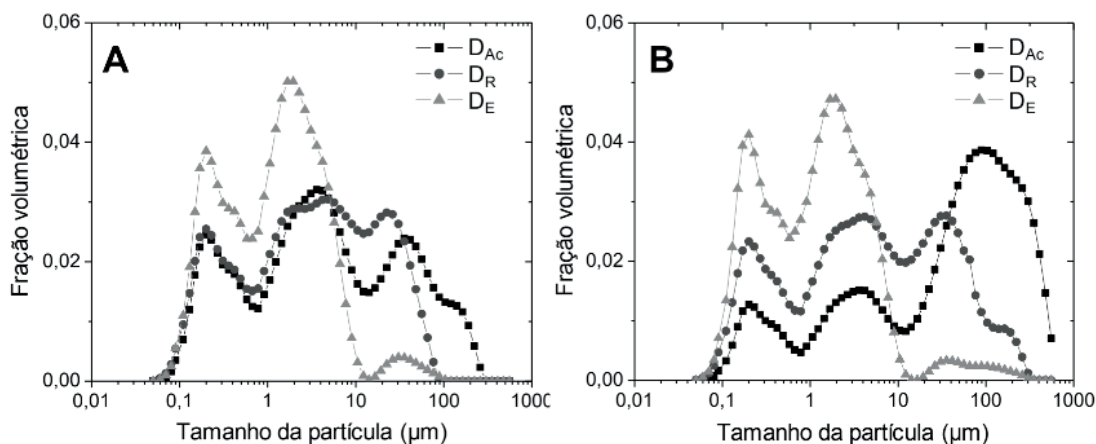


Figura 5: Fração volumétrica em função do tamanho das partículas para temperatura de 100°C. Legenda: 10 mL.min⁻¹ (A) e 30 mL.min⁻¹ (B).

As partículas utilizadas para preparar a solução de carbonato de cálcio, que foi alimentada no leito, possuíam diâmetro $d_{4,3}$ de $2,53 \pm 0,04 \mu\text{m}$. Esse resultado é muito importante, pois pode-se verificar que houve aumento no tamanho das partículas no leito (D_{Ac}) e coletada no ciclone (D_R), mas houve redução para o pó retido no filtro (D_E). Esse resultado está relacionado com a formação do filme na superfície das partículas inertes e posterior transformação deste em pó pelo atrito das partículas. Uma vez que nessas etapas ocorrem mudanças nas propriedades reológicas do filme, implicando na mudança do tamanho e da forma do pó. Assim ocorre a formação de partículas pequenas no leito que são rapidamente elutriadas, enquanto outras partículas são formadas com diâmetro superior e podem se aglomerar com outras, aumentando o seu tamanho.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo apresentou os principais resultados dos experimentos realizados no estudo de caso sobre balanço de massa e tamanho das partículas na secagem em leito de jorro. O estudo realizado, mostrou que através da adição do filtro no final do processo foi possível quantificar a porcentagem elutriada no processo, obtendo valores entre 5 e 8%. Foi observado, pelos dados do processo, que houve aglomeração e instabilidade, principalmente quando o equipamento estava próximo a sua capacidade máxima de secagem. O tamanho final das partículas depende significativamente do valor da alimentação da pasta. As maiores partículas foram do material acumulado (20 – 92 μm), as menores retidas no filtro (2 – 5 μm) e as intermediárias recuperadas no ciclone (8 – 21 μm).

Os dados aqui apresentados são de grande importância para se ter um melhor entendimento do processo de aglomeração e também da distribuição do tamanho das partículas. Entretanto novos estudos nesta área são incentivados para que no futuro

possa se controlar tanto o tamanho como a distribuição de tamanho das partículas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. R. F. **Análise da Secagem de Pastas em Leito de Jorro**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 165p. (Tese de Doutorado), 2009.

ALMEIDA, A. R. F.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. **Transient Analysis of Pasty Material Drying in a Spouted Bed of Inert Particles**, *Drying Technology*, v. 28, p. 330–340, 2010.

BRAGA, M. B.; ROCHA, S. C. S.; HUBINGER, M. D. **Produção de leite-polpa de amora em pó em leito de jorro: análise do processo e caracterização do pó**, Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Fortaleza – CE, 2016.

CARIĆ, M. **Milk powders: Types and manufacture and physical and functional properties of milk powders**. In H. Roginski, J. W. Fuquay, & P. F. Fox (Eds.), *Encyclopedia of dairy sciences* (p. 1869–1880). New York: Academic Press, 2003.

COSTA JR., E. F.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T.; PASSOS, M. L. **Spouted Beds of Inert Particles for Drying Suspension**, *Drying Technology*, v. 24, n. 3, p. 315-325, 2006.

CUNHA, R. L.; MAIALLE, K. G.; MENEGALLI, F. C. **Evaluation of the drying process in spouted bed and spout fluidized bed of xanthan gum: focus on product quality**, *Powder Technology*, n. 107, p. 234-342, 2000.

DOTTO, G. L.; SOUZA, V. C.; PINTO, L. A. A. **Drying of chitosan in a spouted bed: The influences of temperature and equipment geometry in powder quality**, *Food Science and Technology*, v. 44, p.1786-179, 2011.

FREIRE, J. T.; FERREIRA, M. C.; FREIRE, F. B.; NASCIMENTO, B. S. **A Review on Paste Drying with Inert Particles as Support Medium**, *Drying Technology*, v. 30, n. 4, p. 330-341, 2012.

JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMNONG, P. **Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration**, *Journal of Food Engineering*, v. 84, p. 194–205, 2008.

MARKOWSKI, A. S. **Drying characteristics in a jet – Spouted bed dryer**, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, v. 70, p. 938-944, 1992.

MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. **Spouted Bed**, Academic Press, New York, 1974.

NASCIMENTO, B. S.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. **Moisture prediction during paste drying in a spouted bed moisture prediction during paste drying in a spouted bed**, *Drying Technology*, v. 31, p. 1808–1816, 2013.

PASSOS, M. L.; MUJUMDAR, A. S. **Effect of cohesive forces on fluidized and spouted beds of wet particles**, *Powder Technology*, v. 110, n. 3, p. 222-238, 2000.

PASSOS, M. L.; MASSARANI, G.; FREIRE, J. T.; MUJUMDAR, A. S. **Drying of pastes in spouted beds of inert particles: design criteria and modeling**, *Drying Technology*, v. 15, n. 2, p. 605-624, 1997.

SCHUCHMANN, H. **Production of instant foods by Jet agglomeration**, *Food Control*, v. 6, n. 2, p.95-100, 1995.

SILVA, C. A. M.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. **Modelagem dinâmica da secagem de pasta em leito de jorro**. In: XXXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (ENEMP), Anais... São Carlos, UFSCar, p. 540-549, 2015.

SOUZA, C. R. F. **Estudo comparativo da produção de extrato seco de *Bauhinia forficata* Link pelos processos *spray-dryer* e leito de jorro**. Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto/USP, Ribeirão Preto, 180p. (dissertação de mestrado), 2003.

SOUZA, C. R. F.; OLIVEIRA, W. P. **Spouted bed drying of *Bauhinia forficata* link extract: the effects of feed atomizer position and operating conditions on equipment performance and product properties**. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 22, n. 02, p. 239-247, 2005.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: Principles, Applications and Design**, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1987.

VIEIRA, G. N. A.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. **Modelagem da secagem transiente de pastas em leito de jorro a partir da resposta dinâmica da evaporação de água e da cinética de secagem de pasta**. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (ENEMP), 2013, Maceió - AL. Anais... Universidade Federal de Alagoas, p. 1577-1584, 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pelo apoio financeiro (Processo: 134370/2016-3), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFSCar, ao Centro de Secagem (CS) da UFSCar e ao Departamento de Controle Ambiental.

APLICAÇÃO DA INTERMITÊNCIA NO PROCESSO DE SECAGEM DE MATERIAL PARTICULADO EM LEITO DE JORRO

Ronaldo Correia de Brito

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Engenharia Química
São Carlos – SP

Rodrigo Béttega

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Engenharia Química
São Carlos – SP

José Teixeira Freire

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Engenharia Química
São Carlos – SP

ABSTRACT: The purpose of this chapter is to introduce the main concepts involved in the intermittent drying aiming the spouted bed application. So, a case study of the intermittent drying of alumina in a spouted bed is presented. The intermittency was implemented by periodic reductions of air flow to values lower than minimum spouting at intervals of 10 and 5 min. Results obtained show the energy potential of intermittency in the spouted bed.

KEYWORDS Intermittent drying; Spouted bed; Energy efficiency; Energy consumption.

RESUMO: O objetivo deste capítulo é apresentar, de forma introdutória, os principais conceitos envolvidos na secagem intermitente, visando sua aplicação no leito de jorro. Deste modo, um estudo de caso de secagem intermitente de alumina em leito de jorro com enfoque energético é apresentado. No processo apresentado, a intermitência foi implementada com reduções periódicas da vazão de ar para valores menores que o mínimo jorro em intervalos de 10 e 5 min. Os resultados obtidos evidenciam o potencial energético da aplicação da intermitência no leito de jorro.

PALAVRAS-CHAVE: Secagem intermitente; Leito de jorro; Eficiência energética; Consumo energético.

1 | INTRODUÇÃO

Dentre os diferentes equipamentos e métodos disponíveis para a realização do processo de secagem, o leito de jorro tem se destacado por proporcionar altas taxas de transferência de calor e massa, decorrentes do alto grau de mistura entre fases e das altas taxas de recirculação de sólidos. Tais características possibilitam a aplicação do leito de jorro em uma ampla variedade de processos químicos e físicos, bem como secagem de pastas e sólidos particulados (ARAÚJO et al., 2015; MUSSI et al., 2015) acerola (*Malpighia marginata*, recobrimento (ALI; AL-JUWAYA; AL-DAHMAN, 2017), reações químicas (LIU et al.,

2016) e pirólise (ALVAREZ et al., 2016; XAVIER et al., 2016).

Apesar de suas vantagens, o leito de jorro apresenta algumas limitações que dificultam e tornam a sua aplicação em escala industrial restrita. Dentre as limitações podem ser destacadas as questões energéticas, inerentes aos secadores convectivos, e diversos fatores geométricos que impõem restrições na capacidade de processamento (EPSTEIN, 2011; KUDRA, 2004, 2012; OLAZAR; SAN JOSÉ; BILBAO, 2011) steam consumption, unit heat consumption and energy (thermal. Do ponto de vista energético, o leito de jorro possui ainda algumas características que podem realçar a ineficiência e o alto consumo energético. O baixo tempo de residência do material na região central (canal de jorro), que resulta em um menor aproveitamento da energia total fornecida ao processo, e a energia mecânica requerida para romper o leito empacotado e manter o regime fluidodinâmico estável são algumas destas características.

Deste modo, diversas configurações e metodologias têm sido propostas e estudadas com o intuito de desenvolver um leito de jorro mais eficiente, sem prejudicar a intensa mistura entre as fases, que é sua vantagem principal. Dentre estas metodologias, a intermitência tem se apresentado como uma alternativa promissora e vem sendo aplicada em diferentes equipamentos de secagem.

2 | INTERMITÊNCIA

Tradicionalmente, a secagem convectiva é conduzida com um fornecimento contínuo de ar, sob condições operacionais constantes. Entretanto, a secagem convectiva contínua pode proporcionar problemas relacionados tanto à qualidade quanto à eficiência do processo. Em materiais onde a remoção de umidade é controlada predominantemente pelos mecanismos internos de transferência de massa, por exemplo, o fornecimento contínuo de ar pode resultar em altos gradientes térmicos e mássicos na superfície do material, tornando-o mais propenso à ocorrência de quebras e fissuras. Além disso, os processos conduzidos sob condições operacionais contínuas podem proporcionar um maior desperdício energético. Isso ocorre porque à medida que a umidade é removida do material, apenas parte da energia fornecida passa a ser de fato empregada na evaporação da umidade (BON; KUDRA, 2007; CHUA; MUJUMDAR; CHOU, 2003) newly developed intermittent drying processes employ time-varying heat input tailored to match the drying kinetics of the material being dried. The energy required may be supplied by combining different modes of heat transfer (e.g. convection coupled with conduction or radiation or dielectric heating simultaneously or in a pre-selected sequence.

Neste contexto, a secagem intermitente tem surgido como uma alternativa promissora para tais problemas. A intermitência consiste basicamente em um método onde ocorre a alternância entre períodos de secagem e redução/interrupção total. A intermitência pode ser incorporada ao processo por meio de variações periódicas das

condições operacionais de secagem com o tempo, tais como a temperatura e a vazão do ar de entrada. Diversas são as estratégias adotadas para que tais variações sejam realizadas, sendo algumas destas estratégias apresentadas por Chua et al. (2003) e Kumar et al. (2014) newly developed intermittent drying processes employ time-varying heat input tailored to match the drying kinetics of the material being dried. The energy required may be supplied by combining different modes of heat transfer (e.g. convection coupled with conduction or radiation or dielectric heating simultaneously or in a pre-selected sequence).

Chua et al. (2003) destacam ainda que a secagem intermitente pode ser implementada do seguinte modo: o fluxo de calor é fornecido para o processo de modo descontínuo; o processo de secagem é conduzido utilizando-se aeração, combinando-se curtos períodos de secagem sob altas temperaturas com períodos de lento resfriamento; a secagem é realizada aplicando-se fluxo reverso de ar, onde a direção do escoamento de ar é periodicamente revertida; o processo de secagem é realizado de maneira cíclica, onde a temperatura, umidade ou velocidade do ar sofrem uma variação padrão cíclica especificada. O conceito de intermitência estende-se também para a fonte de energia (condução, convecção, radiação e micro-ondas) utilizada para a realização do processo de secagem (KUMAR; KARIM; JOARDDER, 2014).

Quando aplicada de maneira adequada, a intermitência pode proporcionar vantagens relacionadas às questões energéticas e de qualidade. Filippin et al. (2018), por exemplo, aplicaram a intermitência térmica na secagem de maçãs e avaliaram os efeitos na qualidade do produto e no consumo energético. Os autores obtiveram reduções no consumo energético de até 17% e observaram a manutenção de parâmetros de qualidade como cor e retenção de ácido clorogênico. Silva et al. (2016) realizaram a secagem convectiva de peras sob condições intermitentes a fim de que o produto tivesse suas propriedades tão próximas quanto possível do produto submetido à secagem solar. Foram obtidas peras satisfatórias aos padrões exigidos, sem que fossem comprometidos os atributos de qualidade das peras tradicionalmente submetidas à secagem solar. Além de tais vantagens, a aplicação da intermitência geralmente não envolve altos custos e investimentos, como é requerido no desenvolvimento de novas tecnologias de secagem.

Apesar das vantagens e praticidade em relação à sua aplicação, a técnica da intermitência ainda é pouco explorada no leito de jorro. Oliveira e Rocha (2007) realizaram a secagem intermitente de feijões em leito de jorro e verificaram que a intermitência consistiu em uma técnica promissora para a secagem de grãos devido à elevação da eficiência energética. Bon e Kudra (2007) analisaram diversos problemas de otimização relevantes para secagem intermitente através de simulações de secagem em batelada de milho em um leito de jorro rotativo. O leito de jorro rotativo é um exemplo de equipamento com intermitência inerente ao *design*, onde o movimento rotativo de aeração característico deste equipamento atribui uma secagem intermitente ao processo uma vez que o material particulado é periodicamente submetido à diferentes

condições de secagem. Baseado nestes estudos, os autores apresentaram diversas vantagens da secagem intermitente em relação ao processo contínuo.

Desta maneira, baseando-se nas metodologias descritas anteriormente, uma das formas mais simples de incorporar a intermitência no leito de jorro é através de reduções periódicas na vazão de ar. Além da redução no fluxo de calor, diminuições periódicas da vazão de ar no leito de jorro possibilitam a conciliação, em um único equipamento, das vantagens pertinentes ao leito fixo com as propriedades características do leito de jorro. Além do melhor aproveitamento do potencial energético e de secagem do ar, o leito fixo também é vantajoso em relação aos leitos móveis em situações onde os danos físicos, provocados pelo alto grau de agitação do leito, possam vir a prejudicar a qualidade final do material utilizado. Entretanto, o leito fixo possui como desvantagem a alta heterogeneidade da temperatura e umidade, tanto do material quanto do ar de secagem, ao longo de todo o leito (BARROZO; MUJUMDAR; FREIRE, 2014). Considerando as vantagens e desvantagens do leito de jorro e do leito fixo, a combinação de ambos através da intermitência na vazão de ar consiste em uma alternativa promissora. Diante do exposto, a seguir é apresentado um estudo de caso referente à aplicação da intermitência em leito de jorro para secagem de material particulado.

3 | ESTUDO DE CASO – ANÁLISE ENERGÉTICA DA SECAGEM INTERMITENTE DE ALUMINA EM LEITO DE JORRO

Alumina (Al_2O_3) é um material amplamente empregado na indústria, sendo utilizado como catalisador, suporte catalítico, adsorvente e na fabricação de nanomateriais (FORMAN et al., 2016; LIU; LV, 2014; XIAO et al., 2002; XU et al., 2006). Além de sua importância industrial, quando utilizado na forma de material particulado poroso, a secagem deste material pode fornecer importantes informações relacionadas aos fenômenos de transferência de calor e massa em materiais com características semelhantes, tais como grãos e sementes (PERAZZINI; FREIRE; FREIRE, 2017). Diante do contexto apresentado, o objetivo deste estudo de caso foi analisar energeticamente a aplicação da intermitência da vazão de ar na secagem de alumina em leito de jorro.

4 | MATERIAIS E MÉTODOS

Foram empregados nos experimentos fluidodinâmicos e de secagem partículas de alumina (Al_2O_3) com 0,003 m de diâmetro, massa específica aparente de 1750 kg/m^3 e massa específica real 3000 kg/m^3 . A unidade experimental utilizada para a realização dos experimentos fluidodinâmicos e de secagem é esquematizada na Figura 1.

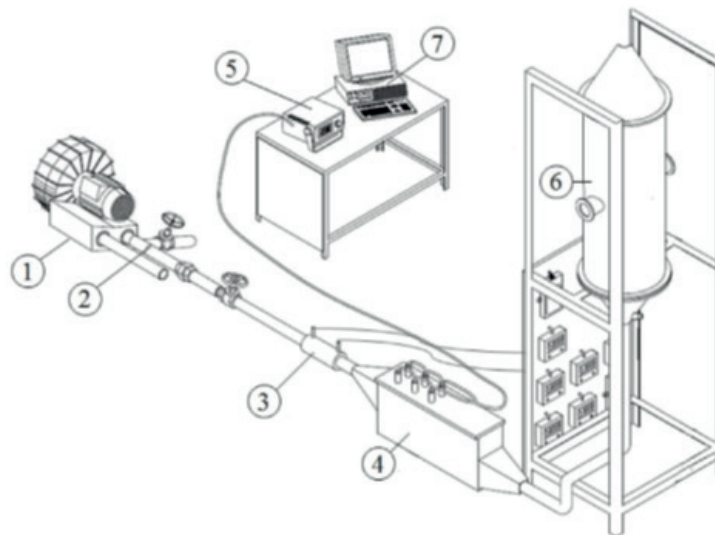


Figura 1: (1) soprador; (2) sistema de purga; (3) medidor de vazão tipo Venturi; (4) aquecedor; (5) controlador de temperatura; (6) câmara de secagem; (7) sistema aquisição de dados.

Fonte: BRITO *et al.*, 2017.

Um sistema de purga foi utilizado para o ajuste da vazão do ar proveniente de um soprador de 7,5 hp de potência. A vazão de ar foi medida através de um medidor de vazão tipo Venturi. Quatro resistências de 1000 W foram empregadas no aquecedor para elevação da temperatura do ar de secagem. O aquecedor era controlado por um controlador de temperatura Flyever FE50SN. A câmara de secagem era composta por uma coluna cilíndrica de aço inoxidável de 60 cm de altura e 30 cm de diâmetro, com uma base cônica de 60° e 23 cm de altura.

A caracterização fluidodinâmica foi realizada empregando-se a metodologia proposta por Mathur e Epstein (1974). Foram utilizadas cargas de 2 kg de alumina, de modo que a altura do leito estático de partículas não atingisse a região cilíndrica do equipamento (leito de jorro cônico). Durante a realização do procedimento experimental, medidas da queda de pressão no leito e vazão de ar foram feitas por meio do sistema de aquisição, composto por uma placa de aquisição Lynx ADS0500 e um *software* desenvolvido em LabVIEW® (National Instruments). O procedimento descrito permitiu a obtenção das curvas características fluidodinâmicas, possibilitando a estimativa de parâmetros fluidodinâmicos importantes: queda de pressão máxima (ΔP_m), vazão de mínimo jorro (u_{mj}) e queda de pressão de jorro estável (ΔP_s). Tais parâmetros, permitiram a definição das condições operacionais nos experimentos de secagem

Os experimentos de secagem foram conduzidos sob três condições operacionais distintas: regime de jorro contínuo (JC) e regimes de jorro com intermitência da vazão de ar em intervalos de 10 (JI-10) e 5 (JI-5) min. Para os experimentos realizados sob regime de jorro, foram empregadas vazões constantes e iguais à $1,27u_{mj}$. A vazão foi definida com base nos experimentos fluidodinâmicos e com o intuito de garantir a estabilidade do jorro. Com relação aos experimentos sob a condição intermitente, o

processo transcorreu variando-se a vazão de ar entre $1,27u_{mj}$ e $0,88u_{mj}$ em intervalos de 10 e 5 min, realizando-se a alternância do regime fluidodinâmico entre jorro estável e leito estático em intervalos regulares. Os experimentos de secagem foram realizados com temperaturas do ar de secagem constantes e iguais à 60°C . Previamente ao início de cada secagem, foram coletadas três amostras a fim de verificar a umidade inicial do material utilizado. Durante a realização dos experimentos, foram realizadas coletas do material particulado em intervalos de 5 min para a determinação da umidade média. O método gravimétrico (a 105°C por 24h) foi aplicado para obtenção da umidade das partículas de alumina. Os experimentos fluidodinâmicos e de secagem foram realizados em triplicata.

A análise energética realizada baseou-se em conceitos e definições apresentados por Passos et al. (1989), os quais também foram aplicados em outros trabalhos realizados anteriormente (BRITO et al., 2017; LIMA; ROCHA, 1998; VIEIRA; ESTRELLA; ROCHA, 2007). No equacionamento da análise energética, três termos foram levados em consideração: energia necessária para remover a umidade do material, energia térmica fornecida ao sistema e a energia mecânica requerida para manter o regime de jorro estável ou, no caso da condição de leito estático, percolar o leito empacotado de alumina.

A energia necessária para remover a umidade presente na amostra foi estimada com base no calor latente de vaporização da água, aplicando-se o produto com a massa de água evaporada:

$$Q_w = \Delta H_{v,s} \cdot m_{ss} \cdot (\bar{X}_t - \bar{X}_i) \quad (1)$$

onde M_{ss} é a massa de sólidos secos, $H_{v,s}$ é o calor latente de vaporização, \bar{X}_t é a umidade média no tempo t e \bar{X}_i é a umidade inicial média, ambas em base seca.

Para a determinação do calor latente de vaporização empregou-se a seguinte equação (VIEIRA et al., 2007):

$$\Delta H_{v,w} = 2502,54 - 2,39 \cdot (T_d + 273) \quad (2)$$

A temperatura considerada para o cálculo do calor latente de vaporização foi aproximada para a temperatura do ar de secagem. Com relação à energia térmica fornecida ao sistema, considerou-se a integração entre a temperatura do ar na entrada do equipamento e a temperatura ambiente, obtendo-se assim a seguinte equação:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \int_{T_a}^{T_d} dT \quad (3)$$

onde \dot{m} é a vazão mássica de ar, C_p é o calor específico médio do ar, T_d e T_a são as temperaturas do ar de secagem na entrada e ambiente, respectivamente.

Para quantificar a energia mecânica necessária para manter o regime de jorro ou percolar o leito estático, acrescentou-se um termo para representar essa parcela de

energia (BRITO et al., 2017). O termo acopla a queda de pressão e a energia cinética envolvida no processo, desprezando-se a energia potencial. A dedução do termo representativo da energia mecânica consumida foi realizada através de um balanço de energia, tendo-se a câmara de secagem como volume de controle, conforme esquematizado na Figura 2.

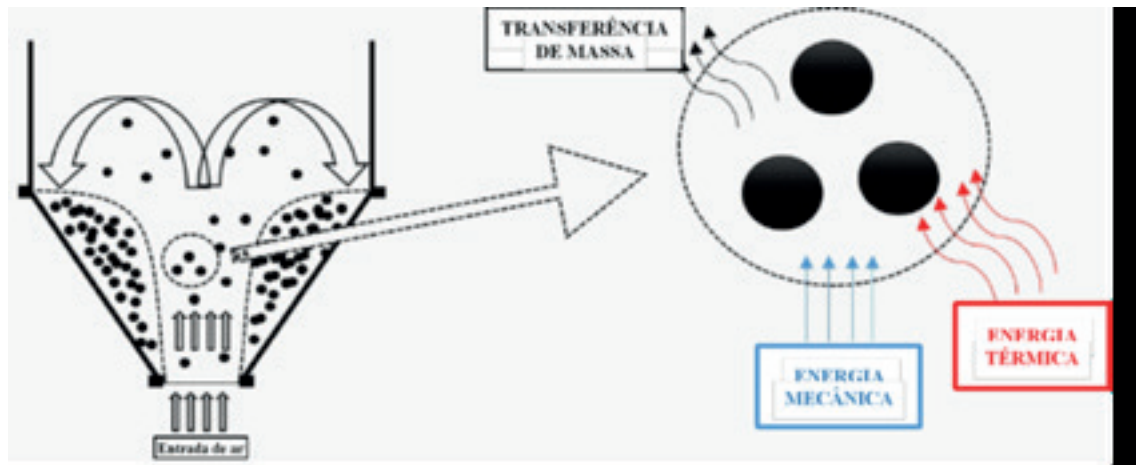


Figura 2: Representação esquemática do volume de controle considerado.

Fonte: Acervo pessoal.

A partir deste procedimento, chegou-se à Equação (4), onde W_m representa a energia mecânica requerida para o processo:

$$W_m = \dot{m} \left(\frac{\Delta v^2}{2} + \frac{\Delta P}{\rho} \right) \quad (4)$$

Os parâmetros utilizados para a análise da performance energética do leito de jorro foram a eficiência energética (EE) e o consumo energético específico (SEC). A eficiência energética foi calculada por meio das Equações (1), (3) e (4), sendo a razão entre a energia requerida para evaporar a água e a energia total fornecida ao sistema. O termo referente à energia total fornecida foi considerado como o somatório entre as energias térmica e mecânica requeridas para o processo, como apresentado na Equação (5):

$$EE = \frac{Q_w(t)}{\int_0^t (Q + W_m) dt} \quad (5)$$

O consumo energético específico foi considerado como a razão entre a energia total fornecida ao sistema e a quantidade de água removida do material:

$$SEC = \frac{\int_0^t (Q + W_m) dt}{m_{ss}(\bar{X}_t - X_i)} \quad (6)$$

Importante salientar que nos processos onde os estágios de intermitência foram aplicados, foi realizada a devida correção no termo referente à energia total fornecida

ao sistema, considerando-se as alterações de vazão.

4.1 Resultados e Discussão

Na Figura 3 são apresentadas as curvas características fluidodinâmicas obtidas a partir do método de Mathur e Epstein (1974). Qualitativamente, verificou-se que as curvas apresentaram um comportamento típico de leito de jorro. Comportamentos qualitativos semelhantes também foram obtidos por Nascimento et al. (2015) e Xavier et al. (2016) na análise da fluidodinâmica de painço e cascas de macadâmia, respectivamente.

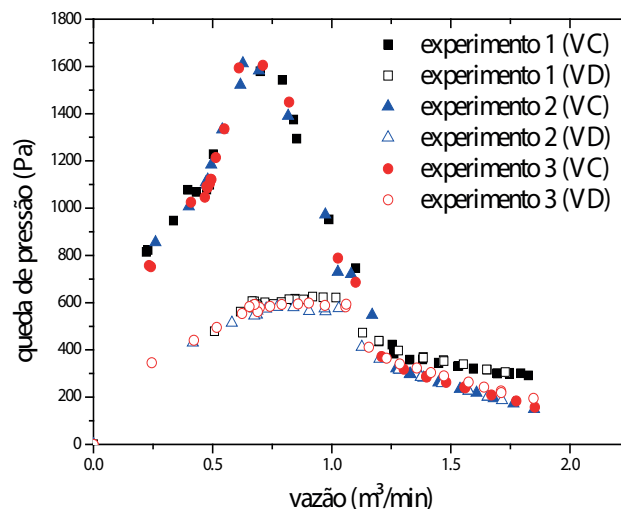


Figura 3: Curvas características fluidodinâmicas utilizando-se 2 kg de alumina com vazões de ar crescentes (VC) e decrescentes (VD).

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos parâmetros fluidodinâmicos obtidos a partir das curvas características.

Parâmetros	Valores médios
ΔP_m (Pa)	$1598,90 \pm 14,30$
ΔP_s (Pa)	$372,40 \pm 41,10$
u_{mj} (m³/min)	$1,14 \pm 0,01$

Tabela 1: Valores médios dos parâmetros fluidodinâmicos.

Foi observado um maior desvio no parâmetro da queda de pressão estável, o qual condiz com as curvas características onde verificou-se uma maior diferença das curvas do experimento 1 em relação às demais na região referente ao regime estável. Tal desvio pode ser atribuído à erros operacionais e relativos ao sistema de aquisição, inerentes aos procedimentos experimentais.

Na Tabela 2 são apresentadas as quantidades médias de sólidos removidos

do leito devido à coleta de material para obtenção das curvas de secagem em cada condição operacional utilizada.

Condição operacional	Massa média (g)	Porcentagem média em relação à massa total (%)
JC	36,40	1,80
JI-10	44,70	2,20
JI-5	45,50	2,30

Tabela 2: Valores médios da massa de sólidos removidos do leito.

Como pôde ser observado, a massa de material removida não foi significativa. Desta forma, isso minimiza a influência da amostragem nos resultados e evita e descaracterização do leito no decorrer do processo de secagem.

As curvas de secagem foram representadas pela umidade adimensional (X^*) em função do tempo (t). As umidades adimensionais foram calculadas conforme a seguinte equação:

$$X^*(t) = \frac{\bar{X}_t - \bar{X}_{eq}}{\bar{X}_i - \bar{X}_{eq}} \quad (7)$$

onde \bar{X}_t é a umidade média em um tempo t , \bar{X}_i a umidade inicial média e \bar{X}_{eq} a umidade média no equilíbrio dinâmico, sendo todas as umidades em base seca.

Na Figura 4 são apresentadas as curvas de secagem referentes às três diferentes condições empregadas: JC, JI-10 e JI-5. Com relação ao comportamento apresentado pelas curvas, foi possível verificar um comportamento análogo em todas as diferentes condições operacionais utilizadas. Nos instantes iniciais, até aproximadamente 40 minutos de processo, ocorreu um acentuado decréscimo da umidade. A partir de então, a umidade adimensional passou a tender à umidade de equilíbrio dinâmico na temperatura utilizada. Comportamentos semelhantes foram obtidos por Calçada et al. (2006) e Perazzini et al. (2017), os quais realizaram a secagem de alumina em leitos fluidizado e vibro-fluidizado, respectivamente.

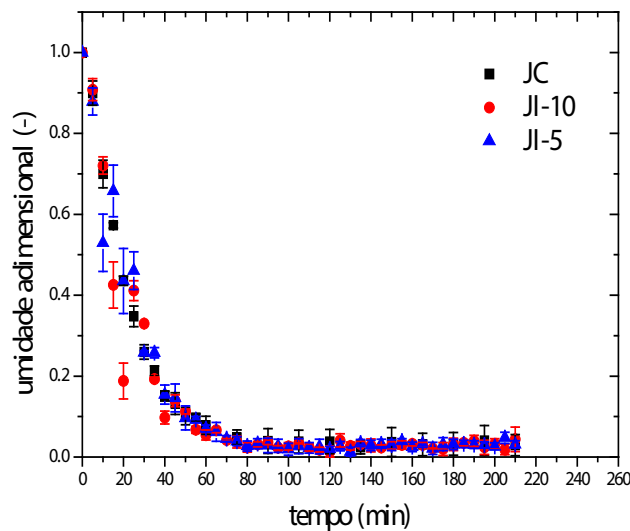


Figura 4: Curvas de cinética de secagem à 60°C e cargas de 2 kg de alumina.

Em relação às três diferentes condições de processo empregadas, não foram observadas diferenças significativas. Curvas praticamente sobrepostas e dentro da faixa do erro experimental foram observadas. Tal resultado sugere que a aplicação dos estágios de intermitência nas condições de leito estático proporcionou o aumento do grau de mistura entre as fases. O maior grau de mistura e agitação pode ter contribuído com os processos de transferência de calor e massa de modo que o comportamento cinético observado nas condições JI-10 e JI-5 foi análogo à condição JC onde não foram aplicados os estágios de intermitência. Do ponto de vista cinético, esse resultado pode atribuir uma característica vantajosa ao processo intermitente de secagem, onde são aproveitadas as características dos leitos móvel e estático. No presente caso, o alto grau de agitação do leito de jorro e o melhor aproveitamento do ar de secagem no leito estático.

Entretanto, outro fator deve ser analisado e discutido. Observou-se uma maior perturbação da cinética nos instantes iniciais dos processos nas condições JI-10 e JI-5, perturbação esta que não foi observada na condição de jorro. Esse resultado pode estar relacionado às características do meio. A possível maior resistência convectiva à transferência de massa nos instantes iniciais do processo, devido à maior umidade do material, pode resultar em uma maior influência do meio sobre o processo de secagem. No regime de jorro, as condições do meio permanecem constantes durante todo o processo. Porém, nos regimes JI-10 e JI-5, as características fluidodinâmicas mudam ao longo do tempo. Desta forma, isso pode ter contribuído para a obtenção de maiores desvios no início do processo para estes regimes.

Com o intuito de analisar o comportamento qualitativo da eficiência energética ao longo do tempo para as diferentes condições operacionais utilizadas, os cálculos energéticos foram primeiramente realizados considerando o fornecimento de energia

total ao final de 210 min de processo. Na Figura 5 são apresentadas as curvas referentes às eficiências energéticas em função do tempo para as diferentes condições operacionais empregadas.

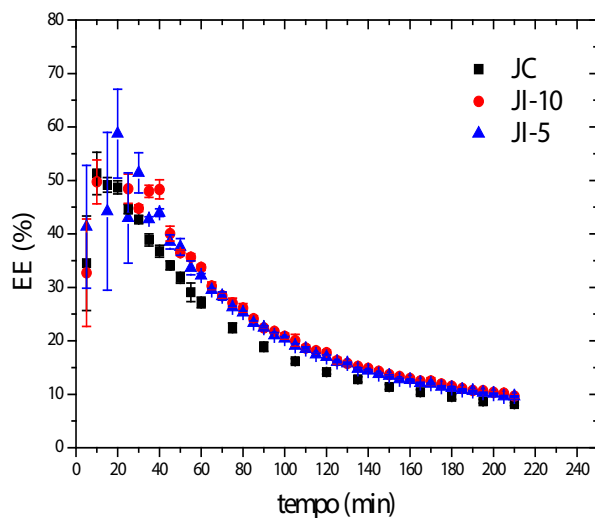


Figura 5: Curvas de eficiência energética em função do tempo.

No início do processo foram obtidas maiores eficiências, até aproximadamente 40 min. A partir de então as curvas passaram a apresentar um decréscimo exponencial ao longo do tempo. Em função da alta umidade do material no início do processo, uma maior quantidade da energia fornecida ao sistema é requerida e efetivamente empregada na remoção e evaporação da água presente no material. Conforme ocorre a redução da umidade e do gradiente de concentração no sólido, resultando assim na redução da taxa de secagem, uma menor quantidade de energia para remoção da umidade passa a ser requerida. Verificou-se assim que a eficiência energética foi influenciada, principalmente, pela umidade do material em questão, sendo possivelmente proporcional à taxa de secagem do processo.

No regime JC, verificou-se uma tendência à estabilidade da eficiência até aproximadamente 40 min. Nos demais regimes, tal tendência não pôde ser observada de maneira nítida em função, principalmente, dos maiores desvios neste período. Como discutido anteriormente na análise das curvas de secagem para os regimes JI-10 e JI-5, as maiores faixas de desvios podem estar relacionadas às características do meio.

A tendência à estabilidade também foi verificada por Kudra (2004), o qual realizou a secagem de folhas de papel. O autor observou que as curvas de eficiência energética em função do tempo apresentaram um período de estabilização em torno de seus valores máximos, decrescendo rapidamente após este período. Por meio da queda da umidade em função do tempo, o autor verificou que o período em questão

correspondia justamente ao período onde o processo era controlado pela resistência externa à transferência de massa e a taxa de secagem era constante. Com relação ao decréscimo, este coincidia com o instante onde a resistência interna à transferência de massa passava a limitar o processo, provocando o decréscimo da taxa de secagem.

A partir dos 40 min de processo, a eficiências energéticas dos regimes JI-10 e JI-5 permaneceram maiores em relação às eficiências obtidas para o regime de jorro durante todo o processo. Justificativa para tais resultados pode ser atribuída à menor quantidade de energia total fornecida ao sistema nos diferentes regimes fluidodinâmicos. No regime JC, o fornecimento de energia é constante e contínuo. Entretanto, a energia requerida para remoção da umidade do material varia ao longo do tempo. Já nos regimes JI-10 e JI-5, a quantidade de energia total fornecida ao sistema é menor. Com a diminuição da vazão de ar, ocorre também a redução da quantidade de energia térmica fornecida ao sistema. A redução da quantidade de energia mecânica requerida também ocorre com a vazão, devido à menor queda de pressão e energia cinética envolvidos no processo. Além disso, o regime de jorro proporciona um baixo aproveitamento do ar de secagem em função do curto período em que este permanece em contato direto com os sólidos na região central do equipamento. Deste modo, o regime de leito estático pode proporcionar um melhor aproveitamento do ar de secagem, considerando o maior tempo de contato entre as fases neste regime fluidodinâmico. Como resultado de tais fatores, a medida que ocorre a aplicação dos estágios de intermitência ocorre também a obtenção de maiores eficiências energéticas.

Para uma melhor visualização quantitativa dos resultados obtidos, são apresentados, na Tabela 3, os valores médios das eficiências energéticas, considerando um período de 90 min. Tal período corresponde ao tempo aproximado necessário para que a umidade do material passasse a tender ao equilíbrio dinâmico nas condições operacionais analisadas.

Condição operacional	Eficiência energética (%)
JC	18,90 ± 0,90
JI-10	22,40 ± 0,30
JI-5	22,40 ± 0,50

Tabela 3: Valores médios das eficiências energéticas considerando 90 min de processo.

Conforme pode ser constatado, de fato ocorreu um aumento da eficiência com a aplicação dos estágios de intermitência. Diferenças significativas não foram observadas comparando-se os regimes JI-10 e JI-5. Isso indica que a alteração dos intervalos de intermitência aplicada neste trabalho não foi suficiente para provocar influências significativas sobre o processo do ponto de vista energético.

Na Figura 6 são apresentados os resultados obtidos para o consumo energético específico das diferentes condições operacionais empregadas. Cabe salientar que, tal como nos dados apresentados na Tabela 3, os valores médios do consumo energético

específico foram calculados com base em um tempo de processo de 90 min. Foram obtidos menores consumos para os regimes JI-10 e JI-5, não sendo verificadas diferenças significativas entre ambos, tal como ocorreu na análise da eficiência energética. Foram obtidas reduções relativas de 17,0% e 16,6% nos regimes JI-10 e JI-5, respectivamente, em relação ao regime de jorro. Este é um indicativo do melhor aproveitamento energético com a aplicação da intermitência, que possibilita a secagem de uma maior quantidade de material com um menor consumo energético. Tal como discutido anteriormente, a menor quantidade de energia total fornecida e requerida pelo processo, juntamente com o melhor aproveitamento energético proporcionado pelo regime de leito estático, são alguns dos fatores que podem ter contribuído para a obtenção dos resultados apresentados na Figura 6.

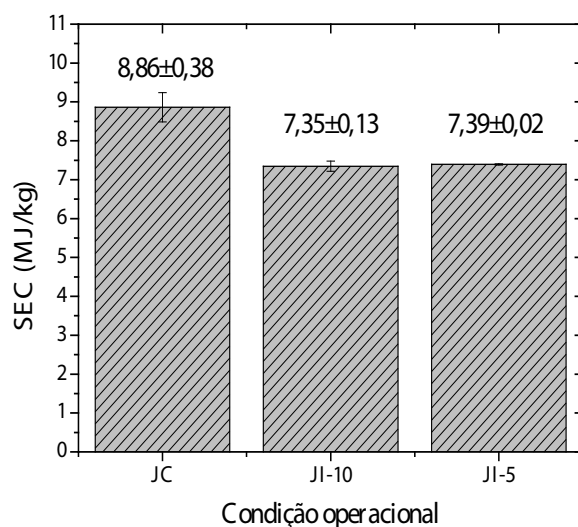


Figura 6: Consumo energético específico para as diferentes condições operacionais.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentados, de forma introdutória, os principais conceitos envolvidos na secagem intermitente, sendo realizada uma abordagem da aplicação de tal metodologia no leito de jorro. Como exemplo, foi apresentado um estudo de caso com enfoque energético. Foram evidentes as maiores eficiências e os menores consumos energéticos nos processos intermitentes em relação ao processo contínuo. Obviamente, uma abordagem introdutória como exposta neste capítulo não é suficiente para cobrir a extensa gama de conceitos e aplicações envolvidos na secagem intermitente. Entretanto, o presente capítulo fornece um panorama do potencial da aplicação da intermitência no leito de jorro, apresentando-se inicialmente como uma técnica promissora do ponto de vista energético.

NOMENCLATURA

C_p	Calor específico do ar	[kJ kg ⁻¹ °C ⁻¹]
EE	Eficiência energética	[-]
ΔH_v	Calor latente de vaporização	[kJ kg ⁻¹]
\dot{m}	Vazão mássica do ar	[kg s ⁻¹]
m_{ss}	Massa de sólidos secos	[kg]
ΔP	Queda de pressão no leito	[Pa]
ΔP_m	Queda de pressão máxima	[Pa]
ΔP_s	Queda de pressão estável	[Pa]
Q	Energia térmica fornecida ao sistema	[kJ s ⁻¹]
Q_w	Energia para evaporação	[kJ]
SEC	Consumo energético específico	[kJ kg ⁻¹]
t	Tempo	[s]
T	Temperatura	[K]
T_a	Temperatura ambiente	[K]
T_d	Temperatura do ar de secagem	[K]
U_{mj}	Vazão de mínimo jorro	[m ³ s ⁻¹]
W_m	Energia mecânica fornecida ao sistema	[kJ s ⁻¹]
X^*	Adimensional de umidade	[-]
\bar{X}	Umidade média em base seca	[kg kg ⁻¹]
X_i	Umidade inicial em base seca	[kg kg ⁻¹]
X_{eq}	Umidade no equilíbrio dinâmico em base seca	[kg kg ⁻¹]

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo nº 2017/01856-7, e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALI, N.; AL-JUWAYA, T.; AL-DAHMAN, M. An advanced evaluation of spouted beds scale-up for coating TRISO nuclear fuel particles using Radioactive Particle Tracking (RPT). **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 80, p. 90–104, jan. 2017.

ALVAREZ, J. et al. Characterization of the bio-oil obtained by fast pyrolysis of sewage sludge in a conical spouted bed reactor. **Fuel Processing Technology**, v. 149, p. 169–175, 2016.

ARAÚJO, A. D. A. et al. Production and spouted bed drying of acerola juice containing oligosaccharides. **Food and Bioproducts Processing**, v. 94, p. 565–571, 2015.

BARROZO, M. A. S.; MUJUMDAR, A.; FREIRE, J. T. Air-Drying of Seeds: A Review. **Drying Technology**, v. 32, n. 10, p. 1127–1141, 2014.

BON, J.; KUDRA, T. Enthalpy-Driven Optimization of Intermittent Drying. **Drying Technology**, v. 25, n. 4, p. 523–532, 2007.

- BRITO, R. C. et al. Effect of mechanical energy on the energy efficiency of Spouted Beds applied on drying of sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench]. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 117, p. 95–105, 2017.
- CALÇADA, L. A.; MANCINI, M. C.; WILDHAGEN, G. R. S. Drying of inorganic particulate compounds. **Drying Technology**, v. 24, n. 3, p. 349–358, 2006.
- CHUA, K. J.; MUJUMDAR, A. S.; CHOU, S. K. Intermittent drying of bioproducts - An overview. **Bioresource Technology**, v. 90, n. 3, p. 285–295, 2003.
- DO NASCIMENTO, L. D. et al. Fluid-dynamics evaluation in a conical spouted bed and characterization of foxtail millet seeds. **Particuology**, p. 1–7, 2015.
- EPSTEIN, N. Empirical and analytical hydrodynamics. In: EPSTEIN, N.; GRACE, J. R. (Eds.). . **Spouted and Spout-Fluid Beds: Fundamentals and Applications**. First ed. New York: Cambridge University Press, 2011. p. 340.
- FILIPPIN, A. P. et al. Thermal intermittent drying of apples and its effects on energy consumption. **Drying Technology**, v. 0, n. 0, p. 1–16, 2018.
- FORMAN, E. M. et al. Self-diffusion of heptane inside aggregates of porous alumina particles by pulsed field gradient NMR. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 229, p. 117–123, 2016.
- KUDRA, T. Energy aspects in drying. **Drying Technology**, v. 22, n. 5, p. 917–932, 2004.
- KUDRA, T. Energy Performance of Convective Dryers. **Drying Technology**, v. 30, n. 11–12, p. 1190–1198, 2012.
- KUMAR, C.; KARIM, M. A.; JOARDDER, M. U. H. Intermittent drying of food products: A critical review. **Journal of Food Engineering**, v. 121, n. 1, p. 48–57, 2014.
- LIMA, A. C. C.; ROCHA, S. C. S. Bean Drying in Fixed, Spouted and Spout-Fluid Beds: a Comparison and Empirical Modeling. **Drying Technology**, v. 16, n. 9–10, p. 1881–1901, 1998.
- LIU, D. et al. Electrochemical regeneration of a graphite adsorbent loaded with Acid Violet 17 in a spouted bed reactor. **Chemical Engineering Journal**, v. 304, p. 1–9, 2016.
- LIU, Z.; LV, C. Fast synthesis of mesoporous γ -alumina assisted by a room temperature ionic liquid and its use as a support for the promotional catalytic performance of dibenzothiophene hydrodesulfurization. **RSC Advances**, v. 4, n. 20, p. 10221–10227, 2014.
- MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. **Spouted Beds**. first ed. ed. New York: Academic Press, 1974.
- MUSSI, L. P. et al. Spouted bed drying of jambolão (*Syzygium cumini*) residue: Drying kinetics and effect on the antioxidant activity, anthocyanins and nutrients contents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 61, n. 1, p. 80–88, 2015.
- OLAZAR, M.; SAN JOSÉ, M. J.; BILBAO, J. Conical spouted beds. In: EPSTEIN, N.; GRACE, J. R. (Eds.). . **Spouted and Spout-Fluid Beds: Fundamentals and Applications**. First ed. New York: Cambridge University Press, 2011. p. 340.
- OLIVEIRA, C.; ROCHA, S. Intermittent drying of beans in a spouted bed. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 24, n. 04, p. 571–585, 2007.
- PASSOS, M. L. et al. Spouted and Spout-Fluidized Beds for Gram Drying. **Drying Technology**, v. 7, n.

4, p. 663–696, 1989.

PERAZZINI, H.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. The influence of vibrational acceleration on drying kinetics in vibro-fluidized bed. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 118, p. 124–130, 2017.

SILVA, V. et al. Study of three-stage intermittent drying of pears considering shrinkage and variable diffusion coefficient. **Journal of Food Engineering**, v. 180, p. 77–86, 2016.

VIEIRA, M. G. A.; ESTRELLA, L.; ROCHA, S. C. S. Energy Efficiency and Drying Kinetics of Recycled Paper Pulp. **Drying Technology**, v. 25, n. 10, p. 1639–1648, 2007.

XAVIER, T. P. et al. Fluid dynamic analysis for pyrolysis of macadamia shell in a conical spouted bed. **Powder Technology**, v. 299, p. 210–216, 2016.

XIAO, Z. L. et al. Fabrication of Alumina Nanotubes and Nanowires by Etching Porous Alumina Membranes. **Nano Letters**, v. 2, n. 11, p. 1293–1297, 2002.

XU, B. et al. Synthesis of mesoporous alumina with highly thermal stability using glucose template in aqueous system. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 91, n. 1–3, p. 293–295, 2006.

COBERTURAS DE SOLO E TELAS FOTOSSELETIVAS NO CULTIVO DA ALFACE EM BOA VISTA, RR

Taline Katlen de Oliveira Nunes

Graduanda em Agronomia, Universidade Federal de Roraima – UFRR
Boa Vista – RR

João Luiz Lopes Monteiro Neto

Doutorando em Agronomia, Universidade Federal de Roraima – UFRR
Boa Vista – RR

João Vitor Paiva Cabral

Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Roraima – UFRR
Boa Vista – RR

José de Anchieta Alves de Albuquerque

Professor do curso de Agronomia, Universidade Federal de Roraima – UFRR
Boa Vista – RR

Elton da Silva Dias

Graduando em Agronomia, Faculdade Roraimense de Ensino Superior – FARES
Boa Vista – RR

Luiz Guilherme Carvalho Zborowski

Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Roraima – UFRR
Boa Vista – RR

Rannyonara Oliveira Rodrigues

Engenheira Agrônoma, Faculdade Roraimense de Ensino Superior – FARES
Boa Vista – RR

Brito Luis Dresch

Graduando em Agronomia, Faculdade Roraimense de Ensino Superior – FARES
Boa Vista – RR

RESUMO: A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma cultura sensível às condições adversas de solo e clima, principalmente às elevadas temperaturas e a alta incidência luminosa, inerentes à Boa Vista, Roraima. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de telas fotossseletivas e de coberturas de solo no cultivo da alface no município de Boa Vista-RR. O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias da UFRR. O delineamento adotado foi inteiramente ao acaso, com 8 tratamentos provenientes do 16 esquema fatorial 2 x 4 (telados x coberturas) submetidos a repetições. Os telados utilizados foram: telas fotossseletivas vermelhas com e 50% de sombreamento, e as coberturas: plástico azul (mulching), plástico branco (mulching), casca de arroz (*Oryza sativa*) e solo descoberto (testemunha). Foram avaliadas: altura da planta, número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea e massa fresca e seca da raiz. Os resultados mostraram interação significativa entre as coberturas e as telas, onde a tela com 35% de sombreamento apresentou melhores resultados de ambiente, e entre as coberturas, a casca de arroz foi a mais eficiente em todas as variáveis estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: *Lactuca sativa* L., altas temperaturas, Roraima.

ABSTRACT: Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a crop susceptible to adverse soil and climate

conditions, mainly at high temperatures and high light intensity, in Boa Vista, Roraima. In this context, the objective of this work was to evaluate the effect of photosselective screens and soil cover on lettuce cultivation in the municipality of Boa Vista-RR. The experiment was carried out at the Agricultural Sciences Center of UFRR. The design was completely randomized, with 8 treatments from the 16 factorial scheme 2 x 4 (covered x covers) submitted to repetitions. The screenings used were: red photosselective screens with 50% shading, and the coverings were: blue plastic (mulching), white plastic (mulching), rice bark (*Oryza sativa*) and uncovered soil (control). Plant height, number of leaves, fresh and dry shoot mass and fresh and dry root mass were evaluated. The results showed a significant interaction between the coverings and the screens, where the screen with 35% shading presented better environmental results, and among the coverings, the rice husk was the most efficient in all variables studied.

KEYWORDS: *Lactuca sativa* L., high temperatures, Roraima.

1 | INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça de origem asiática pertencente ao grupo das folhosas mais populares no mundo (SALA & COSTA, 2012). Seu largo consumo se dá principalmente in natura, em saladas, em função de suas características nutricionais e pelo preço de compra reduzido ao consumidor (ZIZAS et al., 2002).

Embora a produção esteja em crescimento, vários fatores ambientais podem afetar sua produtividade. Dentre esses, destacam-se o fotoperíodo longo, a alta incidência luminosa e, principalmente, as altas temperaturas (BEZERRA NETO et al., 2005; BLAT et al., 2011).

Em Boa Vista-RR, estes fatores são característicos durante grande parte do ano, podendo, com isso, limitar a produção de alface. No entanto, vários são os mecanismos utilizados que buscam minimizar seus efeitos, entre esses, destacam-se o uso de coberturas de solo com plásticos e com restos vegetais visando manter as características agrônômicas desejáveis à planta (VERDIAL et al., 2001; ANDRADE JÚNIOR et al., 2005) e o cultivo em ambiente protegido (SEGOVIA et al., 1997; RADIN et al., 2004; FERREIRA et al., 2009). Dentre esses, em especial os telados, destacam-se os de colorações variadas ou fotosseletivas, que permitem a passagem da luz necessária para os processos fotossintéticos eficiente das plantas (PURQUERIO & TIVELLI, 2006).

Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência de telas fotosseletivas vermelhas e diferentes coberturas de solo no cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.).

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante os meses de agosto a setembro de 2014 no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima (UFRR), em Boa Vista-RR, cujas coordenadas geográficas de referência são 2°49'11"N, longitude 60°40'24"W e altitude de 90 m.

Os dados meteorológicos diários do experimento, representados pelos valores médios de temperaturas máxima e mínima, foram obtidos através das leituras de termômetro durante todo o experimento, e para leitura das temperaturas de solo utilizou-se um geotermômetro digital, coletando dados às 14:00 horas de cada dia.

O solo utilizado na pesquisa foi classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrófico de textura média. Este foi peneirado para a retirada das partículas grosseiras (torrões) da porção que foi utilizada no cultivo. Em seguida, realizou-se a adubação orgânica com 15 kg de esterco bovino, 20 kg do composto comercial Organamazon® e 10 kg de húmus da marca Puro Humus®. A adubação química foi aplicada posteriormente em cada unidade experimental, com 9 g de calcário, 6,8 g de superfosfato triplo, 1,4 g de cloreto de potássio (KCl) e 2,2 g de ureia em cada vaso experimental.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 4 proveniente da combinação de dois tipos de telados (telas fotosselativas com 35 e 50% de sombreamento) e quatro tipos de coberturas de solo (plástico azul (mulching), plástico branco (mulching), casca de arroz *in natura* (*Oryza sativa*) e solo descoberto (testemunha), com cinco repetições. Foram utilizados, como unidade experimental, vasos de polietileno de 5 litros, totalizando 40 vasos. Cada um foi preenchido com 4,5 kg de solo devidamente adubados e 1,2 kg de brita no fundo para impedir a perda de solo e facilitar a drenagem. Para realização deste trabalho foi utilizada a alface crespa cv. Verônica.

As mudas foram produzidas sob estufa plástica, com substrato orgânico, e transplantadas 15 dias após a semeadura. As coberturas foram instaladas sete dias após o transplante e a colheita foi realizada dias após o transplantio, sendo avaliadas as seguintes características agrônômicas: Altura das plantas, número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea e massa fresca e seca das raízes. Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o “software” SISVAR. Na significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade de erro.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias de temperatura de ambiente mínima e máxima, respectivamente, encontradas nos diferentes ambientes foram de 27,29° e 42,52°C para o telado com

50% de sombreamento (T1) e 23,66° e 79 37,89°C para o com 35% de sombra (T2). Segundo Knott (1962), os valores de temperatura aqui encontrados desfavorecem o cultivo de alface, pois as condições ótimas para a cultura situam-se entre 15° 81 e 24°C.

Para a temperatura do solo, observou-se que as coberturas com plásticos azul (35,1°C no T1 e 35,5°C no T2) e branco (37,86°C no T1 e 35,14°C no T2) influenciaram negativamente nas condições favoráveis de cultivo, pois aumentaram a temperatura do solo. Segundo Chaves et al. (2003), o aumento da temperatura do solo pode afetar negativamente o metabolismo das plantas, resultando em queda na produção. Dados estes diferente da casca de arroz (33,77°C no T1 e 32,97°C no T2) que mostrou ser mais eficiente na contenção do aumento da temperatura do solo. Resultados similares foram encontrados por Monteiro Neto et al. (2014) na mesma área deste estudo, evidenciando que o uso de casca de arroz como cobertura de solo fornece condições favoráveis de cultivo para a cultura da alface em Boa Vista, RR.

Os resultados citados foram os principais fatores que influenciaram na variação de comportamento entre os tratamentos analisados. Observou-se interação significativa entre coberturas x telados para todas as características estudadas, exceto na massa fresca da raiz, onde não houve diferença entre os telados, mostrando que a cobertura com casca de arroz e o telado com tela fotosselativa de 35% de sombreamento foram superiores na maioria das variáveis analisadas (**Tabela 1**).

	Telas Fotosselativas					
	50%			35%		
	Média	50%	35%	Média	50%	35%
	AP (cm)			NF		
Plástico azul	7,92 bA	7,76 bA	7,84 c	8,2 bB	11,6 bA	9,9 b
Plástico branco	7,80 bA	6,32 bA	7,06 c	6,6 bB	10 bA	8,3 bc
Casca de arroz	16,08 aA	13,52 aB	14,8 a	11,4 aB	15,4 aA	13,4 a
Solo descoberto	14,60 aA	8,00 bB	11,3 b	10,4 aA	5,2 cB	7,8 c
Média	11,6 A	8,9 B		9,3 B	10,55 A	
	MFPA (g)			MSPA (g)		
	50%	35%	Média	50%	35%	Média
Plástico azul	2,95 cB	12,49 bA	7,72 c	0,37 bA	0,66 bA	0,52 c
Plástico branco	2,69 cB	8,4 cA	5,55 c	0,49 cA	0,79 bA	0,64 c
Casca de arroz	28,17 aA	26,93 aA	27,55 a	1,32 aB	2,95 aA	2,14 a
Solo descoberto	12,94 bA	7,74 cB	10,34 b	1,11 aA	0,60 bA	0,86 b
Média	11,68 B	13,88 A		0,82 B	1,25 A	
	MFR (g)			MSR (g)		
	50%	35%	Média	50%	35%	Média
Plástico azul	1,42 cA	1,95 bA	1,69 b	0,36 aA	0,33 bA	0,35 c
Plástico branco	0,76 cB	2,06 bA	1,41 b	0,69 aA	0,43 bB	0,56 b
Casca de arroz	5,32 aA	5,73 aA	5,53 a	0,76 aB	1,30 aA	1,03 a
Solo descoberto	2,42 bA	0,97 cB	1,70 b	0,50 aA	0,22 bA	0,36 c
Média	2,48 A	2,68 A		0,58 A	0,57 B	

Tabela 1. Efeito de telas fotosselativas e de coberturas de solo sobre a Altura da planta (AP),

Número de folhas (NF), Massa fresca da parte aérea (MFPA), Massa seca da parte aérea (MSPA), Massa Fresca da raiz (MFR) e Massa seca da raiz (MSR) de alface (*Lactuca sativa L.*), Boa Vista, Roraima, 2014

Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

As coberturas com os plásticos branco e azul, por propiciarem aumento da temperatura do solo, não apresentaram valores satisfatórios, sendo iguais ou menores que o tratamento controle na maioria das variáveis estudadas (**Tabela 1**). Segundo Sampaio & Araújo (2001), esse aumento de temperatura se dá em função da maior penetração de raios solares permitidos por plásticos de colorações claras.

Já a casca de arroz foi superior em todas as variáveis estudadas nos dois telados (**Tabela 1**). Os bons resultados encontrados com esse material podem ser explicados, em partes, por Silva et al. (1994), visto que, segundo os autores, a casca de arroz não imobiliza quantidades significantes de nitrogênio devido sua lenta decomposição, além de melhorar as condições de umidade e de temperatura do solo para as plantas, como visto neste trabalho, diminuindo assim os efeitos das altas temperaturas de ambiente inerentes à região de estudo.

Em Roraima, há grande disponibilidade de casca de arroz em função da produção rizícola local, tornando, os resultados encontrados nesta pesquisa, importantes para os produtores de alface do município de Boa Vista.

Quanto aos telados avaliados, a tela fotosselativa de coloração vermelha com 35% de sombreamento forneceu melhores condições de cultivo à alface na maioria das variáveis analisadas, exceto na altura da planta e na massa fresca da raiz, onde não diferiu do telado com 50% de sombreamento (**Tabela 1**). Os resultados observados com o telado com 35% de sombra, segundo Taiz & Zeiger (2004), foram encontrados devido a tela com menor sombreamento propiciar maior incidência de radiação solar, maior ventilação pelos orifícios de sua constituição e por minimizar as temperaturas do ambiente, como evidenciado neste trabalho.

4 | CONCLUSÕES

A utilização de casca de arroz como cobertura de solo associada à tela fotosselativa de coloração vermelha com 35% sombreamento é um mecanismo viável no cultivo da alface crespa cv. Verônica sob as condições climáticas de Boa Vista – Roraima.

REFERÊNCIAS

ANDRADE JÚNIOR, V. C.; YURI, J. E.; NUNES, U. R. et al. Emprego de tipos de cobertura de canteiro no cultivo da alface. **Horticultura Brasileira**, 23:899-903, 2005.

BEZERRA NETO, F.; ROCHA, R. H. C.; ROCHA, R. C. C. et al. Sombreamento para produção de

mudas de alface em alta temperatura e ampla luminosidade. **Horticultura Brasileira**, 23:133-137, 2005.

BLAT, S. F.; BRANCO, R. B. F.; TRANI, P. E. **Desempenho de cultivares de alface em Ribeirão Preto (SP) no cultivo de primavera**. Pesquisa & Tecnologia, 8: 9p, 2011.

CHAVES, S. W. P.; MEDEIROS, J. F.; NEGREIROS, M. Z. et al. **Rendimento de alface em função da cobertura do solo e frequência de irrigação**. In: 43º Congresso Brasileiro de Olericultura, 21., 2003. Anais. Brasília, 2003. CD-ROM.

FERREIRA, R. L. F.; ARAÚJO NETO, S. E.; SILVA, S. S. et al. Combinações entre cultivares, ambientes, preparo e cobertura do solo em características agrônômicas de alface. **Horticultura Brasileira**, 27: 383-388, 2009.

KNOTT, J. E. **Handbook for vegetable growers**. 2. ed. New York: John Wiley e Sons, 1962. 245p.

MONTEIRO NETO, J. L. L.; SILVA, A. C. D.; SAKAZAKI, R. T. et al. Tipos de coberturas de solo no cultivo de alface (*Lactuca sativa L.*) sob as condições climáticas de Boa Vista, Roraima. **Bol. Mus. Int. de Roraima**, 8:47-52, 2014.

PURQUERO L. F. V.; TIVELLI S. W. **Manejo do ambiente em cultivo protegido**. In: Instituto Agrônomo de Campinas, Informações Tecnológicas, Campinas, 2006.

RADIN, B., REISSER JÚNIOR, C., MATZENAUER, R. et al. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, 22:178-181, 2004.

SALA, F. C. & COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, 30:187-194, 2012.

SAMPAIO, R. A.; ARAUJO, W. F. Importância da cobertura plástica sobre o cultivo de hortaliças. **Agropecuária Técnica**, 22:1-12, 2001.

SILVA, N. F.; BORGES, J. D.; CARNEIRO, I. F. **Efeito da cobertura morta no crescimento e na produção de alho (*Allium sativum L.*)**. In: Encontro de agronomia e veterinária, 24., Goiânia, 1994. Anais: Encontro de agronomia e veterinária, 1994, p.122-127.

SEGOVIA, J. F. O.; ANDRIOLO, J. L.; BURIOL, G. A. et al. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa L.*) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, 27:37-41, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

VERDIAL, M. F.; LIMA, M. S. L.; MORGOR, A. F. et al. Production of Iceberg Lettuce Using Mulches. **Scientia Agricola**, 58:737-740, 2001.

ZIZAS, G. B.; SENO, S.; FARIA JÚNIOR, M. J. A. et al. Efeito da cobertura do solo sobre a produtividade e qualidade de 6 cultivares de alface e das interações solo/cultivar, no período de maio a junho de 2001. **Horticultura brasileira**, 20:123- 130, 2002.

EFEITO DOS AGENTES ENCAPSULANTES NAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DE MICROCÁPSULAS DE EXTRATO DE URUCUM (*BIXA ORELLANA*)

Caroline Pereira Moura Aranha

Universidade Federal da Grande Dourados,
Faculdade de Engenharia, Engenharia de
Alimentos
Dourados – MS

Caio Francisco Valente Serra

Universidade Estadual Paulista, Departamento de
Engenharia e Tecnologia de Alimentos
São José do Rio Preto – SP

Vânia Regina Nicoletti Telis

Universidade Estadual Paulista, Departamento de
Engenharia e Tecnologia de Alimentos
São José do Rio Preto – SP

RESUMO: Corantes naturais obtidos a partir de extratos vegetais têm atraído bastante interesse da indústria alimentícia, devido a suas propriedades funcionais e à latente procura por produtos naturais. Dentre os corantes naturais, o urucum corresponde a 90% do uso pela indústria brasileira. É um pigmento carotenoide, que pode trazer benefícios à saúde, além de possuir atividade antioxidante. Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo estudar as isotermas de sorção de microcápsulas produzidas por spray drying. Soluções puras e combinações binárias e ternárias das matrizes encapsulantes, maltodextrina 10 DE (MD), amido modificado de milho (AM) e goma arábica (GA), contendo o extrato de urucum a

ser encapsulado, em diferentes concentrações, foram submetidas ao processo de atomização. Para a realização das isotermas de sorção foi avaliada a eficiência de encapsulação das microcápsulas produzidas para seleção das melhores formulações. As isotermas foram determinadas através do método estático gravimétrico, utilizando dessecadores contendo soluções saturadas de diferentes sais a 25°C. Os dados experimentais de isotermas de sorção foram modelados de acordo com os modelos de GAB, BET e Oswin. As isotermas de secagem, para as cápsulas selecionadas, se apresentam na forma sigmoideal, sendo classificadas como Isotermas do Tipo II.

PALAVRAS-CHAVE: atomização; maltodextrina; goma arábica; amido modificado.

1 | INTRODUÇÃO

A cor é um dos atributos mais importantes pela indústria de alimentos, que fornece características de qualidade afetando a aceitação do consumidor. No entanto, diversos estudos vêm comprovando toxicidade de corantes sintéticos, e assim, têm provocado uma tendência na indústria alimentícia da produção de produtos naturais, que, ademais, possam fornecer benefícios a saúde (Selim et

al., 2008).

O urucum é uma das principais fontes de corantes naturais utilizados mundialmente. No Brasil, seu uso corresponde a 90% pela indústria. É aplicado na indústria de alimentos como corante em derivados lácteos, embutidos, doces, licores, sorvetes e margarinas. Outros ramos industriais que também fazem uso de suas propriedades tintoriais são: a indústria têxtil e a de tintas e vernizes (Oliveira, 2005; Tocchini, Mercardante 2011).

Segundo Oliveira (2005), os pigmentos do urucum possuem comprovada ação antioxidante, o que tem intensificado o número de pesquisas que visem buscar alternativas para ampliar sua produção. A síntese de derivados da bixina vem sendo pesquisada, procurando oferecer ao mercado novos antioxidantes e fármacos mais eficazes, destinados a aplicações específicas, como na composição de drogas antitumorais, agentes fitoterápicos, entre outras.

Nexte contexto, a microencapsulação do extrato de urucum é vista como um otimizador na utilização desse composto, expandindo suas possibilidades de uso, bem como preservando o material e suas propriedades funcionais. A secagem por spray drying é uma alternativa para produzir corantes em pó com grande quantidade de compostos bioativos. Porém, durante a secagem, os pós costumam apresentar problemas de manipulação, como pegajosidade e alta higroscopicidade. Esses problemas tornam o armazenamento e utilização mais difícil, além de diminuir o rendimento do processo e afetar as características do produto final. (TELIS; MARTINEZ-NAVARRETE, 2010).

A atividade de água descreve a quantidade de água disponível nos alimentos para ser utilizada em reações físicas, químicas e microbiológicas, influenciando o processamento, a qualidade, a segurança e a estabilidade do produto (Duggan et al., 2008). Um importante objetivo da engenharia de alimentos é entender o comportamento da sorção de umidade nos alimentos. Segundo Brett et al. (2009), talvez a melhor maneira de representar as características de sorção de alimentos seja através das isotermas de sorção, pelas quais se pode prever a estabilidade dos alimentos.

Dessa maneira, este projeto se propõe a estudar as isotermas de sorção de quatro combinações de diferentes de material de parede, maltodextrina 10 DE (MD), amido modificado de milho (AM) e goma arábica (GA), do extrato do urucum.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O material a ser encapsulado foi o extrato de urucum (TEBRACC, Itaquaquetuba, Brasil), e os materiais encapsulantes foram maltodextrina 10 DE (Mor-Rex® 1910, Corn Products, Brasil), amido de milho modificado (HiCap 100, National Starch, São Paulo, Brasil) e goma arábica (Synth, São Paulo, Brasil).

2.1 Preparo das Amostras

As misturas foram preparadas seguindo um planejamento estatístico de acordo com a Tabela 1, em que foram definidas as proporções entre os materiais de parede.

Ensaio	MD	AM	GA
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	0,333333	0,666667	0
5	0,333333	0	0,666667
6	0	0,333333	0,666667
7	0,666667	0,333333	0
8	0,666667	0	0,333333
9	0	0,666667	0,333333
10	0,333333	0,333333	0,333333
11	0,666667	0,166667	0,166667
12	0,166667	0,666667	0,166667
13	0,166667	0,166667	0,666667
14	0,333333	0,333333	0,333333

Tabela 1: Proporções entre as formulações seguindo o planejamento estatístico.

No preparo das emulsões, fixou-se uma quantidade de polímeros totais em 30%. Os materiais de parede (MD, AM e GA) foram dissolvidos em água deionizada à temperatura ambiente e misturados com o auxílio de um agitador magnético até suas completas dissoluções. As soluções com amido passaram por uma pré-gelatinização a 90°C por 30 minutos. Após a dissolução, as suspensões foram reservadas à 10°C por 24h a fim de garantir a completa hidratação dos polímeros. Após esse tempo, o extrato de urucum foi adicionado à suspensão em uma proporção de 4,5%, sendo emulsionado por um homogeneizador a 18000 rpm por 10 minutos.

2.2 Secagem por Aspersão

As emulsões foram mantidas sob agitação contínua por todo o processo de secagem, o qual foi realizado em um secador modelo Mini Spray Dryer B-290 (BÜCHI, Suíça), cujas dimensões da câmara são: 110 cm de altura e 50 cm de largura, equipado com um bico de aspersão de 0,7 mm. A pressão do compressor foi ajustada a 6kgf/cm², a velocidade do fluxo de ar a 636 L/h, a velocidade do fluxo de alimentação a 3,9 mL/min e a temperatura do ar de entrada a 170°. As amostras secas foram coletadas do equipamento, embaladas em sacos plásticos herméticos, recobertas com papel alumínio e armazenadas em dessecador.

2.3 Determinação de Umidade

Calculou-se a umidade pelo método gravimétrico em estufa a vácuo a 70°C sob pressão reduzida a 100 mmHg até obtenção de peso constante. (AOAC, 1995).

2.4 Eficiência de Encapsulação

A eficiência de encapsulação, definida como a quantidade de material encapsulado, foi calculada como a relação entre o teor de bixina retido nas microcápsulas e o teor de bixina total adicionado à emulsão, como proposto por McNamee, O’Riordan e O’Sullivan (2001) pela Equação 1:

$$EE(\%) = \frac{(BT - BS)}{BT} \quad (1)$$

onde BT é o teor de bixina total das cápsulas de extrato de urucum e BS teor de bixina na superfície das cápsulas.

A determinação do teor de bixina do corante natural de urucum nas microcápsulas foi realizada segundo método de Bligh-Dyer com modificações. A Quantificação do teor de bixina superficial pesou-se 0,2g de microcápsulas em um béquer, adicionou-se 20 mL de clorofórmio e centrifugou-se a 3000 rpm por 10 minutos. Após centrifugação, filtrou-se a amostra, tomou-se 1 mL do filtrado transferindo-se para um balão volumétrico de 10 mL e aferiu-se o balão com diclorometano. Prosseguindo, quantificou-se a bixina em espectrofotômetro a 470 nm.

2.5 Isotermas de Sorção

Para a obtenção das isotermas de sorção, empregou-se o método estático gravimétrico, em que amostras dos materiais encapsulados (0,6g) foram acondicionadas a 25°C utilizando soluções saturadas de sais para se obter atividades de água de 0,112, 0,225, 0,320, 0,432, 0,529, 0,645 e 0,755, de acordo com os procedimentos padrões para determinação de isotermas de sorção segundo Spiess e Wolf (1983). O peso das amostras foi medido até atingir valor constante.

As isotermas de sorção são geralmente descritas por modelos matemáticos baseados em critérios empíricos ou teóricos. O modelo de Guggenheim-Anderson-de-Boer (GAB), descrito na Equação 2, o modelo clássico de Brunauer-Emmett-Teller (BET), descrito na Equação 3, e o modelo de Oswin, descrito na Equação 4, são os mais utilizados para ajustar dados de sorção em produtos alimentícios.

$$X_e = \frac{X_m C_{GAB} K_{GAB} A_w}{[(1 - K_{GAB} A_w) (1 + K_{GAB} (C_{GAB} - 1) A_w)]} \quad (2)$$

onde X_m é a umidade da monocamada (g água/g sólidos), C_{GAB} e K_{GAB} são as constantes do modelo e A_w é atividade de água.

$$X_e = \frac{X_m C_{BET} A_w}{[(1 - A_w) (1 + (C_{BET} - 1) A_w)]} \quad (3)$$

onde X_m é a umidade da monocamada (g água/g sólidos), C_{BET} é a constante do modelo e A_w é atividade de água.

$$X_e = a \left(\frac{A_w}{1-A_w} \right)^b \quad (4)$$

onde a e b são constantes de ajuste do modelo, e A_w é a atividade de água.

Assim, os dados experimentais de isothermas de sorção foram modelados de acordo com os modelos de GAB, BET e Oswin. Os parâmetros dos modelos foram obtidos por regressão não linear pelo programa Origin Pro 8.0. O ajuste significativo na regressão de cada modelo foi avaliado pelo coeficiente de determinação (R^2) e pela soma dos quadrados dos resíduos (SSQ).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados ensaios de secagem em diferentes proporções de material encapsulante a fim de determinar quais as melhores formulações capazes de proporcionar melhores eficiências de encapsulação. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 2.

Ensaio	% Eficiência	% Umidade
1(1 MD)	69,75±1,35	4,52 ± 0,04
2(1 AM)	88,74±0,91	2,36 ± 0,03
3(1 GA)	87,53±3,98	4,05 ± 0,09
4(1/3 MD: 2/3 AM)	82,37±3,59	1,95 ± 0,02
5(1/3 MD: 2/3 GA)	88,08±2,42	3,73 ± 0,08
6(1/3 AM: 2/3 GA)	95,16±1,76	3,11 ± 0,13
7 (2/3 MD: 1/3 AM)	86,13±2,73	2,54 ± 0,12
8(2/3 MD: 1/3 GA)	76,96±1,20	3,27 ± 0,02
9(2/3 AM: 1/3 GA)	93,17±1,97	2,18 ± 0,04
10(1/3 MD: 1/3 AMD: 1/3 GA)	90,83±1,21	3,35 ± 0,02
11(2/3 MD: 1/6 AM: 1/6 GA)	86,87±1,35	3,13 ± 0,09
12 (1/6 MD: 2/3 AM: 1/6 GA)	90,29±0,47	2,84 ± 0,05
13(1/6 MD: 1/6 AM: 2/3 GA)	89,95±1,01	3,58 ± 0,64
14(1/3 MD: 1/3 AMD: 1/3 GA)	90,33±0,99	2,96 ± 0,13

Tabela 2: Resultados obtidos do planejamento experimental para eficiência de encapsulação e umidade.

Os melhores valores para a eficiência de encapsulação foram para as misturas binárias que continham amido modificado e goma arábica, apresentando valores de 95,16% (1/3AM: 2/3GA) e 93,17% (2/3AM: 1/3GA). As misturas ternárias também proporcionaram boas eficiências, que variaram de 86,87% (2/3MD: 1/6AM: 1/6GA) a 90,83% (1/3MD: 1/3AM: 1/3GA).

A goma arábica possui características que facilitam seu grande uso como matriz

encapsulante para retenção de óleos voláteis e aromas, como boa solubilidade em água, propriedades tensoativas e produção de soluções com baixa viscosidade em altas concentrações de sólidos (Kaushik; Roos, 2007). Segundo King et al. (1976), o amido modificado também atua como um ótimo agente encapsulante, devido à excelente retenção de voláteis (acima de 93%), à estabilização da emulsão e à sua baixa viscosidade. Dessa forma, é justificada o alto percentual de EE para as misturas binárias formadas de goma arábica e amido modificado, bem como algumas formulações terciárias.

De acordo com a ANOVA, o modelo que melhor se ajustou para a análise de variância foi o Cúbico, com R^2 de 0,9671. A superfície de resposta triangular para eficiência de encapsulação (Figura 1) evidencia que a goma arábica e o amido modificado têm maior influência sobre os valores de EE, mostrando que as misturas binárias que continham esses materiais de parede resultaram em melhores eficiências, e que as misturas terciárias também apresentaram bons resultados.

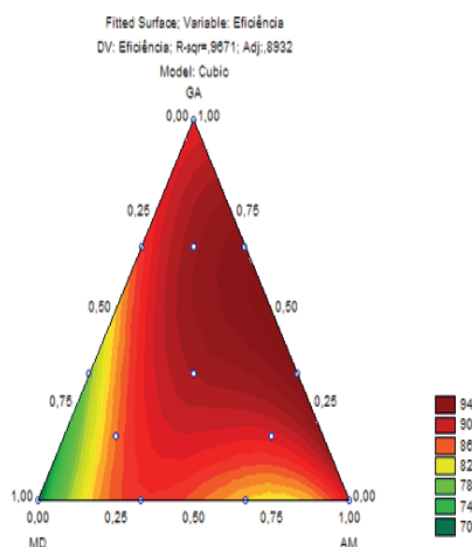


Figura 1: Superfície de resposta triangular para eficiência de encapsulação.

Os resultados experimentais das umidades de equilíbrio (em base seca) de cada matriz obtidas a cada atividade de água a 25°C encontram-se na Tabela 3.

Observou-se um acréscimo das umidades de equilíbrio à medida que se aumentou a atividade de água, encontrando-se valores mais altos para a goma arábica, seguidos dos valores para a maltodextrina e para o amido modificado.

Aw	Umidade de equilíbrio (g/g matéria seca)		
	MD	AM	GA
0,112	0,0433 ± 0,0005	0,0273 ± 0,0026	0,0682 ± 0,0034
0,225	0,0585 ± 0,0004	0,0367 ± 0,0015	0,0869 ± 0,0016
0,32	0,0675 ± 0,0013	0,0406 ± 0,0009	0,1027 ± 0,0006
0,432	0,0724 ± 0,0011	0,0586 ± 0,0019	0,1121 ± 0,0002
0,529	0,0784 ± 0,0019	0,0866 ± 0,0004	0,1228 ± 0,0002
0,645	0,1131 ± 0,0003	0,1130 ± 0,0014	0,1629 ± 0,0355

0,755

0,1517 ± 0,0031

0,1268 ± 0,0065

0,2120 ± 0,0013

Tabela 3: Umidades de equilíbrio da maltodextrina 10DE, do amido modificado e da goma arábica.

Os valores obtidos para as umidades de equilíbrio das matrizes possibilitaram o ajuste pelos modelos GAB, BET e de Oswin, obtendo os parâmetros de cada equação mostrados na Tabela 4. O modelo GAB foi o que melhor se ajustou para os materiais maltodextrina e goma arábica, apresentando R^2 de 0,97543 e 0,98642, respectivamente, e SSQ inferiores a 3%. Já para o amido modificado, o modelo que melhor se ajustou foi o de Oswin, apresentando R^2 de 0,95191 e SSQ de 9,11%.

Dessa forma, a construção das isotermas para esses materiais pode ser feita de acordo com o modelo que melhor se ajustou para cada, como mostrado na Figura 2.

Analisando as isotermas da Figura 2, observa-se que a goma arábica apresentou maiores valores de umidade de equilíbrio em cada atividade de água. De acordo com Be Miller e Whistler (1996), a goma arábica possui grande número de ramificações com grupos hidrofílicos em sua estrutura, o que pode ter sido responsável pela maior capacidade de absorção de água do ambiente.

Modelos	Parâmetros					
	Amostra	Xm	C	K	R ²	SSQ
GAB	MD	0,04376	142,7441	0,94229	0,97543	2,89%
	AM	0,03483	-1,46E+45	9,85E-01	0,85529	35,44%
	GA	0,07056	86,82234	8,84E-01	0,98642	1,15%
BET		Xm	C	R ²	SSQ	
	MD	0,03901	1,20E+45	0,9606	5,10%	
	AM	0,0338	5,51E+44	0,88255	30,17%	
	GA	0,0569	-2,03E+44	0,90627	8,28%	
Oswin		a	b	R ²	SSQ	
	MD	0,08834	4,33E-01	0,93776	8,88%	
	AM	0,07393	5,31E-01	0,95191	9,11%	
	GA	0,13164	3,83E-01	0,96054	4,10%	

Tabela 4: Valores dos parâmetros dos modelos de isotermas para as matrizes de maltodextrina 10DE, amido modificado e goma arábica a 25°C.

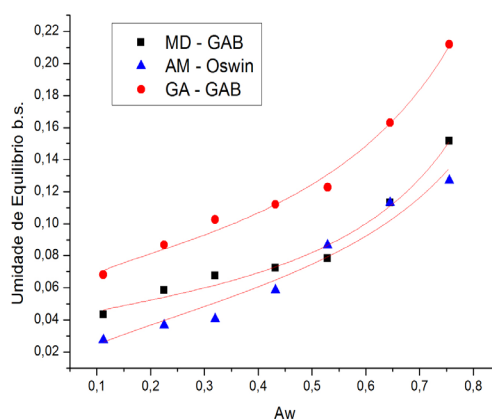


Figura 2: Isotermas de sorção ajustada pelo modelo de GAB (maltodextrina 10DE e goma arábica) e pelo modelo de Oswin (amido modificado) a 25°C.

Foram selecionadas quatro amostras que apresentaram maiores eficiência de encapsulação do planejamento experimental realizado inicialmente, conforme Tabela 2 e Figura 1. Sendo elas as amostras binárias 6 (1/3 AM: 2/3 GA) e 9 (2/3 AM: 1/3 GA) e as amostras ternárias 10 (1/3 MD: 1/3 AM: 1/3 GA) e 12 (1/6 MD: 2/3 AM: 1/6 GA). Essas amostras foram estocadas em determinados ambientes com atividades de água específicas, obtendo-se umidades de equilíbrio que se encontram na Tabela 5.

Aw	Umidade de equilíbrio (g/g matéria seca)			
	U6	U9	U10	U12
0,112	0,0449 ± 0,0018	0,0393 ± 0,0016	0,0416 ± 0,0022	0,0358 ± 0,0010
0,225	0,0583 ± 0,0006	0,0481 ± 0,0002	0,0522 ± 0,0006	0,0460 ± 0,0008
0,32	0,0641 ± 0,0003	0,0537 ± 0,0002	0,0612 ± 0,0041	0,0620 ± 0,0183
0,432	0,0709 ± 0,0005	0,648 ± 0,0016	0,0667 ± 0,0014	0,0636 ± 0,0028
0,529	0,0944 ± 0,0021	0,854 ± 0,0010	0,0865 ± 0,0005	0,0827 ± 0,0015
0,645	0,1323 ± 0,0019	0,1268 ± 0,0014	0,1192 ± 0,0001	0,1206 ± 0,0014
0,755	0,1923 ± 0,0023	0,1802 ± 0,0022	0,1724 ± 0,0011	0,1813 ± 0,0012

Tabela 5 Valores dos parâmetros dos modelos de isotermas para as amostras 6, 9 10 e 12 do planejamento experimental a 25°C.

Assim, essas amostras foram submetidas à metodologia para determinação do modelo que melhor se ajusta às suas umidades de equilíbrio em relação à atividade de água do ar, como é mostrado na Tabela 6. As amostras melhor se ajustaram ao modelo de GAB, com valores de R² superiores a 0,985 e SSQ inferiores a 4,6%.

Modelos	Amostra	Parâmetros				
		Xm	C	K	R ²	SSQ
GAB	6(1/3 AM: 2/3 GA)	0,04244	-2,88E+43	1,03441	0,99277	1,58%
	9(2/3 AM: 1/3 GA)	0,03755	6,28E+44	1,05E+00	0,98637	2,09%
	10(1/3 MD: 1/3 AM: 1/3 GA)	0,04068	88,71647	1,01E+00	0,99579	0,78%
	12 (1/6 MD: 2/3 AM: 1/6 GA)	0,03668	-9,22E+44	1,05865	0,98797	4,57%
BET	6(1/3 AM: 2/3 GA)	0,04687	3,67E+01		0,99197	2,06%
	9(2/3 AM: 1/3 GA)	0,04218	-4,28E+44		0,96834	11,53%
	10(1/3 MD: 1/3 AM: 1/3 GA)	0,04221	5,14E+01		0,99587	0,92%
	12 (1/6 MD: 2/3 AM: 1/6 GA)	0,04177	9,20E+44		0,96508	16,29%
Oswin	6(1/3 AM: 2/3 GA)	a	b		R ²	SSQ
	9(2/3 AM: 1/3 GA)	0,09708	5,68E-01		0,95218	18,36%
	10(1/3 MD: 1/3 AM: 1/3 GA)	0,08748	6,18E-01		0,9649	19,88%
	12 (1/6 MD: 2/3 AM: 1/6 GA)	0,08907	5,46E-01		0,95607	14,86%
		0,08653	6,20E-01		0,96091	18,09%

Tabela 6: Valores dos parâmetros dos modelos de isotermas para as amostras 6, 9 10 e 12 do planejamento experimental a 25°C.

O modelo de GAB é baseado no conceito de umidade na monocamada (X_m), o qual representa a quantidade de água que se encontra fortemente adsorvida à superfície da amostra. A umidade da monocamada é aquela que proporciona maior estabilidade e perdas mínimas de qualidade do alimento, minimizando as taxas de reações de deterioração (Goula et al., 2008). De acordo com a Tabela 4, os valores de X_m foram de 4,244% (amostra 6), 4,755% (amostra 9), 4,068% (amostra 10) e 3,668% (amostra 12) para os materiais encapsulados, sendo, então, superiores às umidades dessas amostras (Tabela 2), indicando segurança e estabilidade para os produtos.

Na Figura 3, encontram-se as isotermas referentes às amostras 6, 9, 10 e 12 à temperatura de 25°C. Observa-se que as curvas são muito próximas, apesar de que a curva da formulação 6 (1/3 AM: 2/3 GA) apresentou maior higroscopicidade. Esse fato acontece devido à alta proporção de goma arábica na mistura, pois, como visto na Tabela 2, esse material influencia em maiores umidades de equilíbrio.

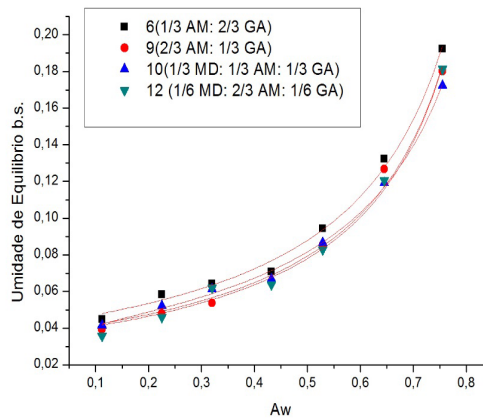


Figura 3: Isothermas de sorção ajustada pelo modelo de GAB para as amostras 6, 9 10 e 12 do planejamento experimental a 25°C.

Tonon et al. (2009) avaliaram o comportamento de sorção de suco de açaí atomizado com maltodextrina, amido de mandioca nativo e goma arábica. Seus resultados também indicaram que a goma arábica influenciou em maior poder higroscópico das amostras, seguidos da maltodextrina e do amido.

4 | CONCLUSÃO

As amostras selecionadas para a avaliação de isothermas de sorção de água apresentaram umidades de equilíbrio muito próximas para cada atividade de água do ambiente, com exceção da amostra 1/3AM: 2/3GA que, devido à maior higroscopicidade da goma arábica e por estar em maior concentração, apresentou valores de umidade levemente maiores.

5 | NOMENCLATURA

MD: maltodextrina 10DE.

Am: amido de milho modificado

GA: goma arábica

EE: eficiência de encapsulação (%)

BT: teor de bixina total das cápsulas de extrato de urucum (%)

BS: teor de bixina na superfície das cápsulas (%)

Xe: umidade de equilíbrio (g água/g sólidos)

Xm: umidade da monocamada (g água/g sólidos)

C_{GAB} e K_{GAB} são as constantes do modelo de GAB

Aw: atividade de água.

C_{BET} : constante do modelo de BET

Aw: atividade de água.

a e b: constantes de ajuste do modelo Oswin

REFERÊNCIAS

AOAC. (1995). **Official and Tentative Methods of the AOAC International**. Maryland.

BE MILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. (1996). **Carbohydrates**. In: FENNEMA, O. R. (Ed.). Food Chemistry. New York: Marcel Dekker, cap. 4, p. 157-224.

GOULA, A.M.; KARAPANTSIOS, T.D.; ACHILIAS, D.S.; ADAMOPOULOS, K.G. (2008). **Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp**. Journal of Food Engineering. v. 85 p.73-83.

KAUSHIK, V.; ROOS, Y.H. (2007). **Limonene encapsulation in freeze-frying of gum Arabic-sucrose-gelatin systems**. Food Science and Technology, v. 40, p.1381-1391.

KING, W.; TRUBIANO P., PERRY, P. (1976). **Modified starch encapsulating agents offer superior emulsification, film forming and low surface oil**. Food Product Development, p.54-57.

MCNAMEE, B. F., O'RIORDAN, E.D., O'SULLIVAN, M. (2001). **Effect of partial replacement of gum Arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49(7): 3385–3388.

OLIVEIRA, J. S. (2005). **Caracterização, extração e purificação por cromatografia de compostos de urucum (*Bixa orellana* L.)**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 192f.

SELIM, K.A. KHALIL, K.A. ABDEL-BARY, M.S. ABDEL-AZEIN, N.A. (2008). **Extraction, Encapsulation and Utilization of Red Pigments from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as Natural Food Colourants**. Journal of Food Science Technology. Special Volume Conference p.7-20.

SPIESS, W.E.L.; WOLF, W. (1983). **The results of the COST 90 project on water activity**. In: **Physical properties of foods**, Elsevier Science Publishing Company, London, England. p. 65-87.

TOCCHINI, L.; MERCADANTE, A. Z. (2001). **Extração e determinação, por CLAE, de bixina e norbixina em coloríficos**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 21, n. 3, p. 310-313.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. (2008). **Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying**. Journal of Food Engineering, v. 88, p. 411-418.

LEITO BIFÁSICO NA REAÇÃO DE APATITA NA FABRICAÇÃO DE FERTILIZANTES

Fabício Gomes Menezes Porto

Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química
Uberaba - MG

José Roberto Delalibera Finzer

Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química
Uberaba - MG

Roberto Mattioli Silva

Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da USP.
São Paulo - SP

RESUMO: O ácido fosfórico é um produto de elevada importância para a indústria, uma vez que está inserido no mercado alimentício, agrícola, farmacêutico e químico. A sua produção tem como matéria-prima as rochas fosfáticas, e o principal processo ocorre com a lixiviação e a reação química da rocha com ácido sulfúrico, formando H_3PO_4 e $CaSO_4$ hidratado. Este trabalho tem como objetivo avaliar a dinâmica de partículas em um reator para produção de ácido fosfórico. Foi utilizado um sistema de agitação com um impelidor do tipo 4-PBT45 num meio de ácidos fosfórico, sulfúrico e apatita. Avaliando os resultados obtidos nos experimentos, concluiu-se que a dinâmica das partículas possibilitou a ocorrência adequada de mistura, consistindo numa velocidade de ascensão do meio 50%

maior que a velocidade terminal das partículas.

PALAVRAS-CHAVE: reatores, ácido fosfórico, dinâmica de partículas

ABSTRACT: Phosphoric acid is a product of great importance for the industry, since it is inserted in the food, agricultural, pharmaceutical and chemical market. Its production is based on phosphate rocks, and the main process occurs with the leaching and chemical reaction of the rock with sulfuric acid, forming H_3PO_4 and hydrated $CaSO_4$. This work aims to evaluate the dynamics of particles in a reactor for the production of phosphoric acid. A stirring system with a 4-PBT45 type impeller was used in a condition of phosphoric, sulfuric and apatite acids. By evaluating the results obtained in the experiments, it was concluded that the particle dynamics allowed an adequate mixing occurrence, consisting of a mean velocity of 50% higher than the terminal velocity of the particles.

KEYWORDS: reactors, phosphoric acid, particle dynamics

1 | INTRODUÇÃO

A rocha fosfática, na sua composição, possui fosfato com a fórmula molecular $Ca_3(PO_4)_2$ que pode ser processada para

obtenção do fósforo elementar, como é demonstrado na reação da rocha com dióxido de silício e carbono:



Esse mineral se apresenta de forma abundante na crosta terrestre, formado por diversos compostos, geralmente, na forma de sais, conhecidos como fosfatos. Por ser o fósforo muito reativo, não é encontrado livre na natureza e, devido às funções que o mesmo desempenha, se torna imprescindível para produção vegetal. O fósforo apresenta diversas aplicações, mas é na agricultura, sob a forma de fertilizantes (adubos), que ele desempenha papel fundamental (SOUZA; FONSECA, 2008).

Os concentrados fosfáticos são comumente expressos em função do percentual de pentóxido de fósforo (P_2O_5), principalmente nos meios técnicos e científicos. No comércio e na indústria, porém, é muito comum expressá-lo em F.T.C – fosfato tricálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Em função da formação podem-se citar as rochas fosfáticas de origem sedimentar que são muito reativas no solo, denominados por fosfatos naturais ou reativos. A rocha fosfática é a única fonte economicamente viável de fósforo, sendo obtida nos depósitos de origens sedimentares (em torno de 85% da oferta mundial), ígneas (próximo a 15%) e biogénicas (SOUZA; FONSECA, 2008).

A produção de ácido fosfórico, proveniente das rochas fosfáticas, pode ocorrer de duas formas: o processo hidrometalúrgico (via úmida), onde predomina o ataque com ácido sulfúrico, e o processo térmico, no qual o concentrado é reduzido até obter a forma elementar de fósforo, que depois é hidratado e posteriormente oxidado, formando assim o ácido. A fabricação pela via úmida ocorre com a adição de concentrado apatítico ao reator, utilizando um transportador helicoidal. Simultaneamente é bombeado ácido sulfúrico e a reação ocorre rapidamente. A polpa (ácido fosfórico e sulfato de cálcio), composta por cerca de 40% de sólidos, é recalçada para um filtro rotativo, onde o ácido é separado do gesso, consistindo no sulfato de cálcio hidratado com n moléculas de água. O gesso ainda passa por um sistema de lavagem em dois estágios. O filtrado obtido na lavagem é utilizado como reciclo no reator de produção, enquanto o produto inicial é estocado para posterior clarificação e concentração (ver Figura 1). O sulfato de cálcio produzido é retirado por outra helicoide e transportado para uma bacia de rejeito. Existe ainda a presença de um sistema de exaustão e lavagem, projetado para evitar a emissão de poluentes na atmosfera, além de controlar a temperatura do reator. Nessas condições de operação, é produzido ácido fosfórico com teor entre 27% a 30% de P_2O_5 e sulfato de cálcio dihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a uma proporção de 1 t de $\text{P}_2\text{O}_5/5$ t $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (LAPIDO-LOUREIRO et al., 2008).

A clarificação do produto é realizada decantando os sólidos que não foram separados na filtração. Após isso, o mesmo é enviado para estocagem, seguindo a concentração, que é realizada via trocadores de calor antes de alimentar um evaporador a vácuo, no qual o ácido é concentrado e a água separada contém resíduos de flúor. O vapor gerado é enviado para uma torre de absorção, onde é gerado ácido fluorsilícico

que é retirado, juntamente com outras impurezas, em um condensador barométrico (LAPIDO-LOUREIRO et al.,2008).

O processo por via úmida tem como objetivo destruir a estrutura cristalina dos constituintes da rocha, possibilitando que o radical fosfato esteja em solução na forma de ácido fosfórico. Baseado em uma reação química heterogênea, em que a apatita engloba o flúor, o resultado é uma polpa reacional composta por cristais de sulfato de cálcio, ácido fosfórico e ácido fluorídrico, conforme a reação (SILVA, 2000):



sendo de ordem $n = 2, \frac{1}{2}$ ou 0 . A equação está balanceada para $n = 1$.

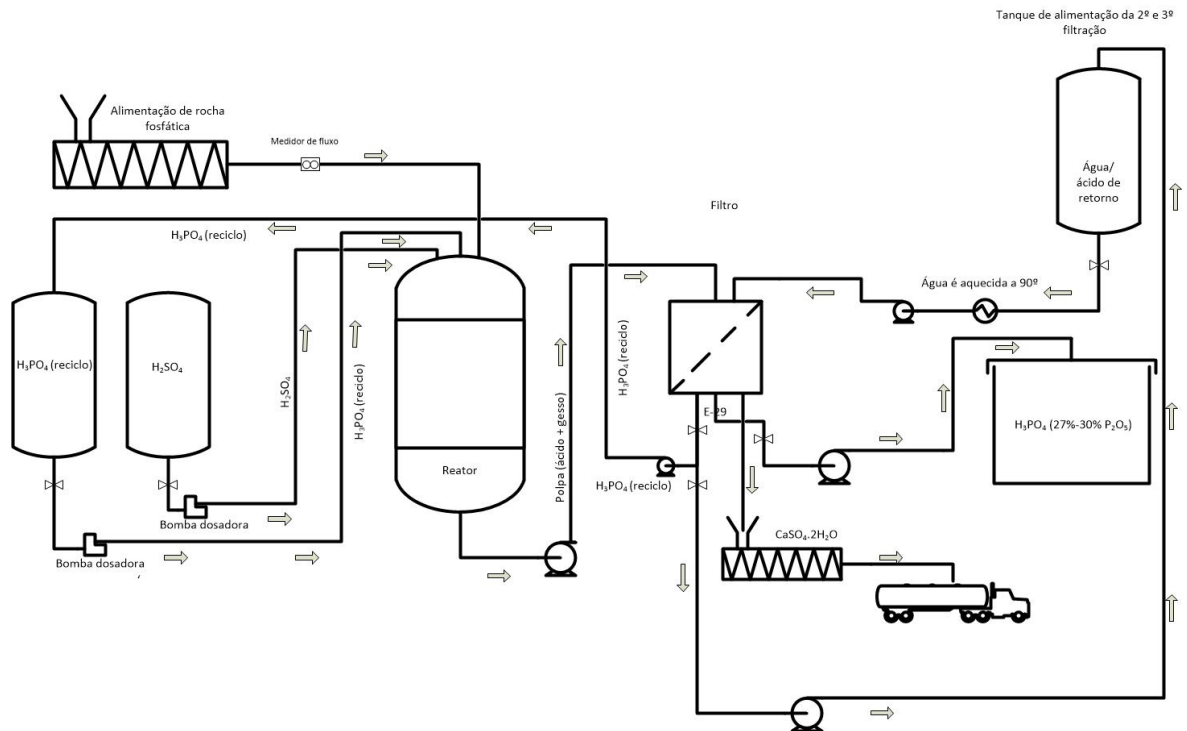


Figura 1 – Fluxograma de produção de ácido fosfórico por via úmida.

O sulfato de cálcio formado no meio fosfórico pode ter diferentes níveis de hidratação, que depende exclusivamente da concentração de P_2O_5 e da temperatura de reação, conforme mostrado na Figura 2. As condições de solubilização da rocha fosfática favorecem a formação predominante de sulfato de cálcio nas seguintes fases cristalinas (SILVA, 2000):

1. Anidrita – CaSO_4
2. Hemidrato – $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$
3. Dihidrato – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (fosfogesso)

Vasos de mistura mecanicamente agitados são amplamente utilizados em uma variedade de aplicações industriais, tais como precipitação, floculação, polimerização, fermentação, bem como cristalização e catálise heterogênea. Como resultado, existe uma literatura ampla sobre o assunto, e os princípios de projeto foram determinados

para muitas situações de significância industrial (LUO, 1977). Um reator de tanque agitado, “*stirred tank reactor*” (STR) é um recipiente projetado para conter produtos químicos líquidos, com um impelidor para misturar o conteúdo. Os STR’s são um tipo de equipamento robusto usado em muitas unidades de operação, tanto em produção em larga escala quanto nas indústrias de química fina e farmacêutica. Os processos incluem mistura, aquecimento e resfriamento, ocorrendo reações químicas (endotérmicas ou exotérmicas). Em combinação com um condensador, as operações de refluxo e destilação também podem ser realizadas (BENTHAM, 2015).

Para tanques agitados com impelidores axiais, o volume ativo médio da circulação não é todo o tanque, mas uma altura equivalente a 2/3 do diâmetro do tanque. O escoamento ascendente é dominado pelo movimento ascendente nas proximidades da parede do tanque. A região do impelidor é importante porque este é o local em que se inicia a mistura em um tanque agitado e também é o local em que os redemoinhos mais energéticos, são formados. Os redemoinhos são originários das pás do rotor. A região do impulsor geralmente tem uma taxa de dissipação energética mais alta do que o restante do tanque, o que indica que a maior parte da energia gerada pelo impulsor é dissipada em uma pequena porção do tanque (BITTORF, 2000).

O objetivo deste trabalho foi estudar a dinâmica de partículas de uma mistura de ácido fosfórico e sulfúrico contendo apatita para produção de ácido fosfórico.

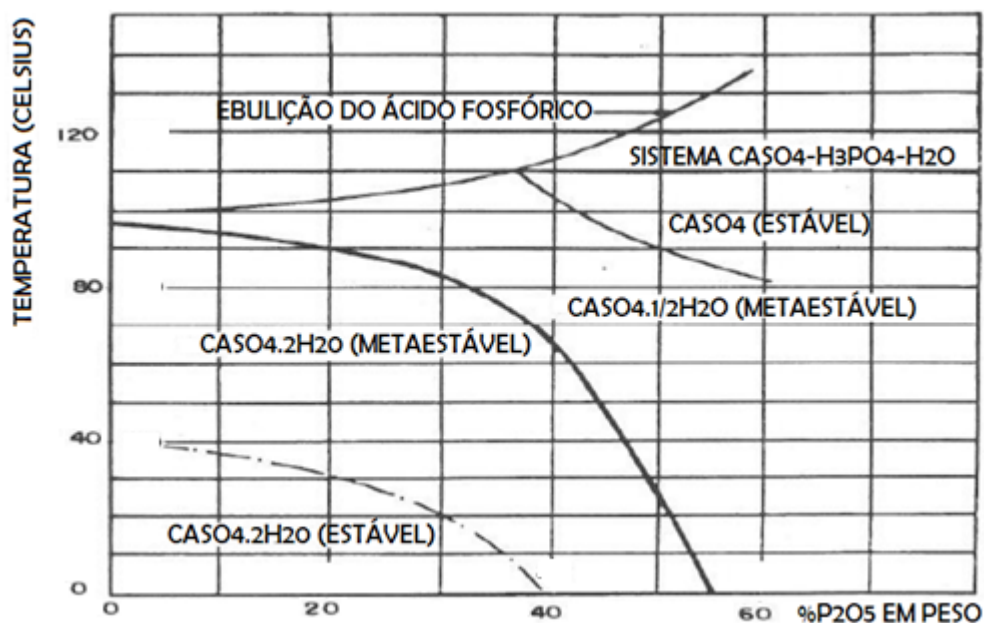


Figura 2 - Diagrama de estabilidade de fases para o sistema $\text{CaSO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Execução do ensaio

Em béquer de 1000 mL, diâmetro de 100 mm, adicionar 500 mL de solução ácida

(35% de ácido fosfórico em mistura com 2,9% de ácido sulfúrico), aquecer até 70°C (temperatura ideal para formação de gesso dihidrato, conforme a Figura 2) e manter agitação constante em 575 rpm para total mistura da solução (velocidade determinada com testes preliminares), nesta condição, adicionar 20 g do fosfato (apatita).

Equipamentos utilizados

1. Reator consistindo de agitador IKA, modelo RW 2 digital, com impulsor 4PBT-45, diâmetro igual à 50 mm. 2, ver a Figura 3. Chapa de Aquecimento Corning, modelo P420, P = 680 W; 3. Béquer de 1L com diâmetro igual a 100 mm. 4. Papel filtro faixa preta; 5. Ácido fosfórico com 85% de H_3PO_4 (99,8% de pureza); 6. Ácido sulfúrico com 98% de H_2SO_4 (99,5% de pureza); 7. Apatita com diâmetro médio de 0,00015 m.

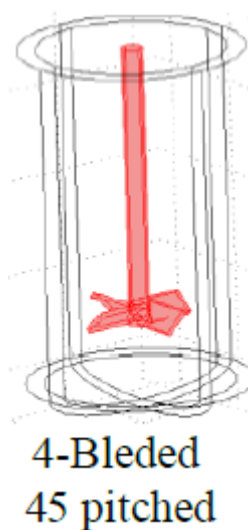


Figura 3 - Geometria do rotor sem defletores (PATEL et al., 2014)

A tensão de cisalhamento no sistema é uma função complexa que consistem nos gradientes de velocidade, diferença de pressão nas proximidades da pá do rotor, nível de turbulência e viscosidade da mistura. Estes gradientes de velocidade representam diferenças de velocidade entre partes adjacentes do meio, em um determinado comprimento, que são dispersados. Medindo-se velocidades médias ao longo do tempo próximas à lâmina do rotor (Figura 4), o gradiente de velocidade e a taxa de cisalhamento podem ser obtidos.

Se um sistema apresentar uma taxa de cisalhamento de 1000 s^{-1} , são identificadas variações de velocidade da ordem de 1 m/s. Altas taxas de cisalhamento são geradas na vizinhança imediata do impulsor. No entanto, o volume dessa região é relativamente pequeno e, portanto, uma quantidade muito pequena do material é submetida a essas taxas de cisalhamento. A etapa geral de mistura é um resultado da da combinação da taxa de cisalhamento aplicada ao volume de reagentes. Informações detalhadas sobre a distribuição das taxas de cisalhamento e respectivos volumes são difíceis de obter experimentalmente. A dinâmica de fluidos computacional pode ser usada para

obter informações para dadas condições de mistura (PAUL et al., 2004). Na Figura 5 são identificadas velocidades máximas no meio reacional em para diferentes tipos de impelidores e velocidades de rotação.

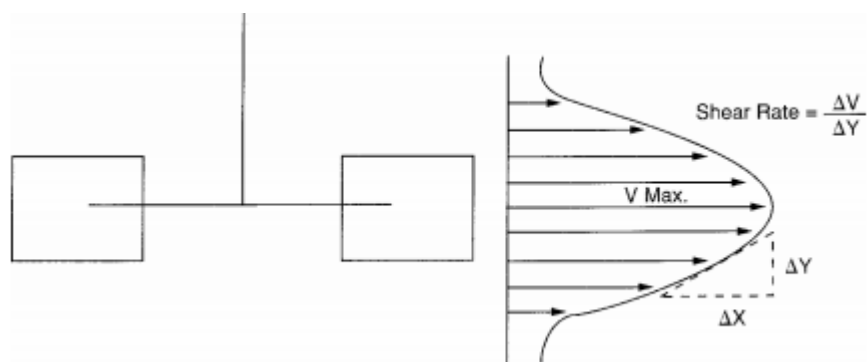


Figura 4 - Perfil de velocidade vertical próximo à lâmina (PAUL et al.,2004)

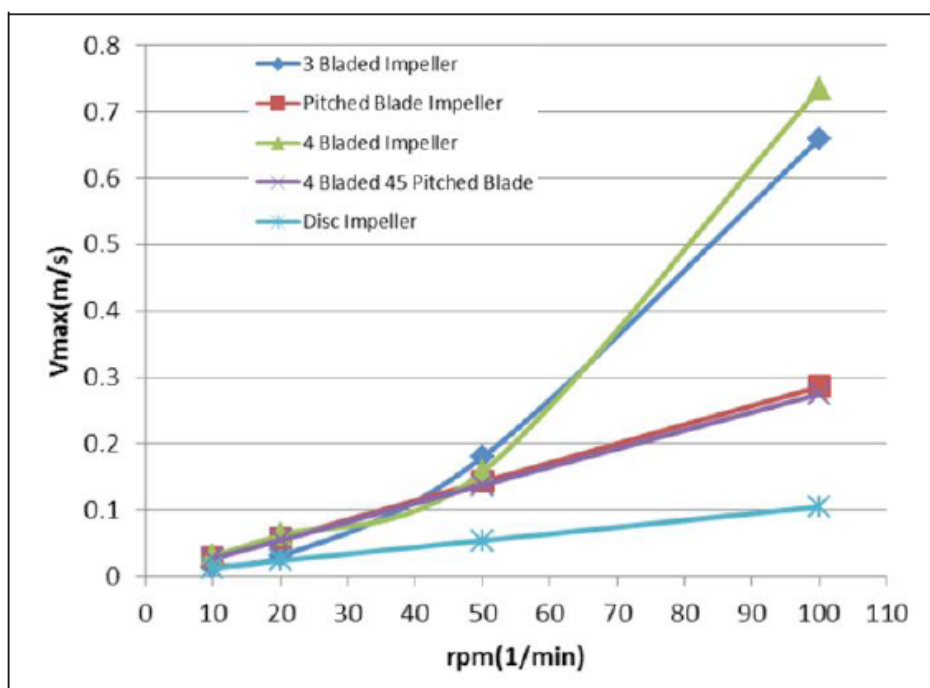


Figura 5 - Velocidade máxima para diferentes tipos de impelidores (PATEL et al., 2014).

Tratamento dos Dados

Após a realização dos ensaios foram calculados: o número de potência, número de bombeamento, velocidades de ascendência e terminal para avaliação da dinâmica das partículas do meio.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da geometria, sendo a relação da largura das pás pelo diâmetro do agitador (W/D) do sistema igual a 0,2 e a utilização de um impelidor 4-PBT-45 (*Pitched Blade*

Turbine), obtém-se o número de Potência (N_{po}), sendo esse igual a 1,37, para agitação em regime turbulento, condição em que independe do número de Reynolds, ver a Figura 6 (DICKEY, 2004).

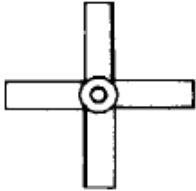
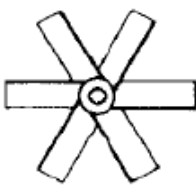
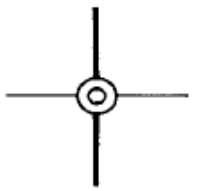
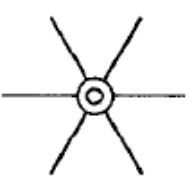
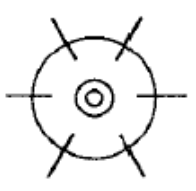
				
$W/D = 1/5$	$W/D = 1/5$	$W/D = 1/6$	$W/D = 1/6$	$W/D = 1/5$
Pás retas inclinadas $N_p = 1.37$	Pás retas inclinadas $N_p = 1.70$	Pás retas $N_p = 2.96$	Pás retas $N_p = 3.86$	Tipo disco $N_p = 5.46$

Figura 6 - Valores de números de Potência, para operação em regime turbulento, em função da geometria do impelidor (DICKEY, 2004).

A velocidade de rotação (N) foi selecionada de experimentos em laboratório e constatou-se que 9,6 rps possibilitava uma mistura intensa do meio, característica do regime turbulento. A densidade da mistura da fase líquida, contendo os ácidos, foi determinada em laboratório a 20°C, através da medida da massa de 100 mL da solução contidos em uma proveta calibrada e pesados em uma balança com resolução de 0,01 g, resultando em 1242 kg/m³.

A velocidade periférica pode ser calculada com a Equação (1):

$$V_p = \pi \cdot N \cdot D_a = \pi \cdot 9,6 \cdot 0,05 = 1,5 \text{ m/s} \quad (1)$$

onde: D_a é o diâmetro do impelidor, em m.

Usando a Figura (5), a equação da linha reta associada aos pontos experimentais do impelidor com quatro pás com ângulo de 45° é:

$$V_{max} = 2,83 \cdot 10^{-3} N$$

onde: N é a velocidade do impulsor em rpm.

Para a velocidade de operação no estudo atual, tem-se $V_{max} = 1,63 \text{ m/s}$. Que corresponde à velocidade calculada anteriormente.

Conforme Tabela 1 (INNOPHOS NUTRITION, 2016), a viscosidade de uma solução contendo 35% de H_3PO_4 a 70°C é igual a 0,001242 kg/m.s. Com esses dados e o diâmetro do impelidor (D_a) igual a 0,05 m, foi calculado a potência absorvida do sistema (P) e o número de Reynolds (N_{Re}) aplicando as Equações (2) e (3) (DICKEY, 2004).

C (%)		Viscosidade, centistokes (T °C)									
H ₃ PO ₄		20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
Em massa											
5		1.1	0.99	0.89	0,74	0,63	0,54	0,47	0,42	0,37	0,33
10		1.2	1.1	0.99	0.83	0.71	0.61	0.54	0.47	0.42	0.38
15		1.4	1.2	1.1	0.94	0.81	0.69	0.61	0.53	0.47	0.43
20		1.6	1.4	1.3	1.1	0.92	0.78	0.69	0.60	0.54	0.48
25		1.8	1.6	1.5	1.2	1.0	0.89	0.79	0.69	0.61	0.55
30		2.2	1.9	1.7	1.4	1.2	1.0	0.90	0.79	0.70	0.62
35		2.6	2.2	2.0	1.6	1.3	1.1	1.0	0.90	0.79	0.71
40		3.0	2.6	2.3	1.9	1.5	1.3	1.2	1.0	0.90	0.81
45		3.6	3.1	2.7	2.2	1.8	1.5	1.3	1.2	1.0	9.2
50		4.3	3.7	3.3	2.6	2.1	1.7	1.6	1.4	1.2	1.1

Tabela 1 – Viscosidade do ácido fosfórico para diferentes temperaturas e concentrações.

$$P = N_{Po}/\rho \cdot N^3 \cdot D_a^5 = 1,37/1242 \cdot 9,6^3 \cdot 0,05^5 = 0,47 \text{ kW} \quad (2)$$

$$N_{Re} = N \cdot \rho \cdot D_a^2 / \mu = 9,6 \cdot 1242 \cdot 0,05^2 / 0,001242 = 24000 \quad (3)$$

Sendo a relação do diâmetro do béquer e diâmetro do impelidor igual a 0,5, a Figura 7 possibilita a determinação do número de bombeamento, consistindo em 0,6 (DICKEY, 2004).

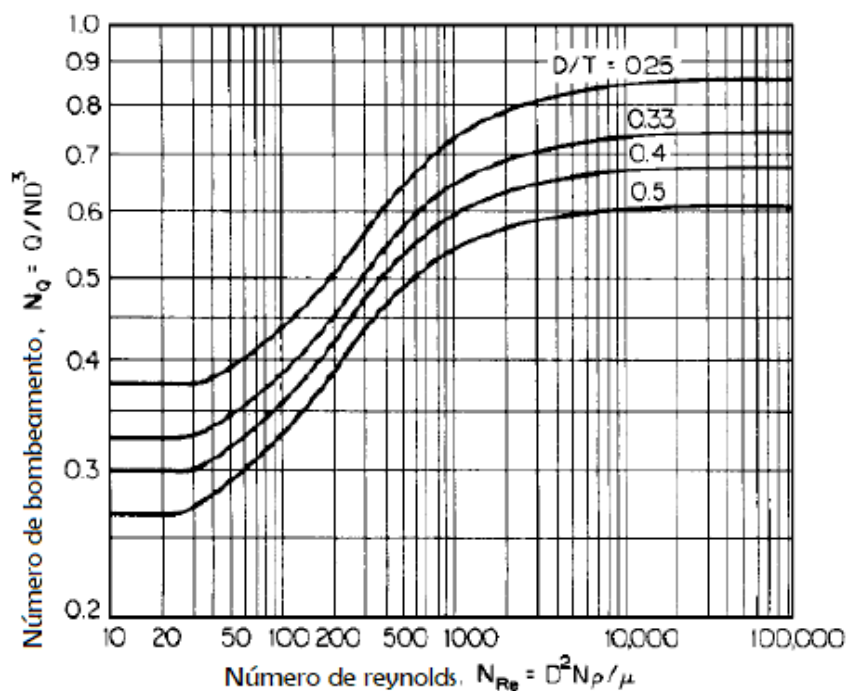


Figura 7 – Número de bombeamento em função do número de Reynolds.

Portanto, a vazão gerada pelo impelidor, aplicando a Equação (4) é:

$$Q = N_Q/N \cdot D_a^3 = 0,6/9,6 \cdot 0,05^3 = 0,00072 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4)$$

A velocidade média de ascendência do fluido na região anular entre a parede do

tanque e o impelidor é dada pela Equação (5), sendo A_b a área da seção transversal do reator e A_i a área da seção circular formada pela rotação do impelidor. A velocidade terminal das partículas é obtida pela aplicação da lei de Newton, Equação (6).

$$V_a = Q/(A_b - A_i) = 0,00072/(0,00785 - 0,0019625) = 0,12 \text{ m/s} \quad (5)$$

Conforme cálculo anterior, a velocidade do fluido varia de 1,5 m/s na extremidade do impulsor até cerca de zero na parede do reator, para a direção radial na posição da altura do impelidor.

A lei de Newton, da dinâmica da partícula, aplica-se para sistemas com $1000 < N_{Re} < 350.000$, (PERRY e CHILTON, 2008):

$$V_t = 1,73 \cdot (g \cdot d_p \cdot (\rho_s - \rho) / \rho)^{1/2} = 1,73 \cdot (9,81 \cdot 0,00015 \cdot (3000 - 1242) / 1242)^{1/2} = 0,08 \text{ m/s} \quad (6)$$

De onde, verifica-se que a velocidade de ascensão do fluido é 1,5 vezes a velocidade terminal das partículas, o que significa que irão se deslocar no sentido ascendente pela força de arrasto do fluido.

4 | CONCLUSÃO

Com o resultado dos experimentos e dos cálculos realizados, foi avaliada a dinâmica das partículas de apatita/sulfato de cálcio num meio reacional contendo essencialmente ácido fosfórico e ácido sulfúrico, portanto, pode-se concluir que a velocidade terminal foi 50% menor que a velocidade de ascendência, o que indica que o sistema de agitação estudado efetua o escoamento das partículas na direção vertical em um regime de escoamento turbulento conforme verificado com o cálculo do número de Reynolds.

REFERÊNCIAS

BENTHAM, E. J. (2015); **Conjugate transfer processes in a pilot-scale nbaffled agitated vessel with a plain jacket Liquid Agitation**; University of Leeds.

BITTORF, K. J (2000); **The Application of Wall Jets in Stirred Tanks with Solids Distribution**; A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy in Chemical Engineering.

DICKEY, D. S. Liquid Agitation. In: **Handbook of Chemical Engineering Calculations**. Chohey, N. P., Hichs, T. G. New York, McGraw-Hill, 2004. p: 12-1 a 12-20.

INNOPHOS NUTRITION. **Innophos Phosphoric Acid**. Disponível em: https://www.innophos.com/___sitedocs/innophos-phosphoric-acid-table-10-figure-11b.pdf, Acesso em: 10/05/2016.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; MONTE, M.B.M.; NASCIMENTO, M. (2008), **Agrominerais-Fosfato, In: Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações**. CETEM. Rio de Janeiro. 2 ed.

- PAUL, E. L.; ATIEMO-OBENG, V. A.; KRESTA, S. M.; (2004) **HANDBOOK OF INDUSTRIAL MIXING**. Sponsored by the North American Mixing Forum A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION.
- PATEL, P.; VAIDYAL, P.; SINGH, G. (2014); **An Overview of Impellers, Velocity Profile and Reactor Design**. Excerpt from the Proceedings of the 2014 COMSOL Conference in Bangalore.
- PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. (2008) **Chemical Engineer's Handbook**. 5. ed. Perry, R.H.; Chilton, C. H. Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha.
- SILVA, R.M. (2000). **Projeto de Reatores de Ácido Fosfórico**. Tecplan – Consultoria e Planejamento.
- SOUZA, A. E; FONSECA, D.S. (2009), **Fosfato. In: Economia Mineral do Brasil. Estudo sobre fosfato**. DNPM, Brasília.

MUDAS DE MARACUJAZEIRO-AMARELO PRODUZIDAS EM DIFERENTES AMBIENTES E SUBSTRATOS

Roberto Tadashi Sakazaki

Doutorando em Agronomia, Universidade Federal
de Roraima – UFRR
Boa Vista – RR

João Luiz Lopes Monteiro Neto

Doutorando em Agronomia, Universidade Federal
de Roraima – UFRR
Boa Vista – RR

Wellington Farias Araújo

Professor do curso de Agronomia, Universidade
Federal de Roraima – UFRR
Boa Vista – RR

Carlos Abanto-Rodriguez

Pesquisador do Instituto de Investigaciones de la
Amazonía Peruna – IIAP, Perú Doutorando em
Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte.
Boa Vista – RR

Rafael Souza Coimbra e Silva

Mestrando em Agronomia, Universidade Federal
de Roraima – UFRR
Boa Vista - RR

Taline Katlen de Oliveira Nunes

Graduanda em Agronomia, Universidade Federal
de Roraima – UFRR
Boa Vista – RR

Sonicley da Silva Maia

Mestrando em Agronomia, Universidade Federal
de Roraima – UFRR
Boa Vista - RR

Beatriz Sayuri Campaner Sakazaki

Mestranda em Arquitetura, Universidade Federal
de Uberlândia – UFU - Uberlândia - MG

RESUMO: Com o objetivo de avaliar a influência de ambientes confeccionados com telas fotoconversoras associados a diferentes substratos na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo sob as condições climáticas de Boa Vista, Roraima, um experimento foi conduzido, durante o período de maio a julho de 2014, na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima (UFRR). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas repetidas no tempo, com dez repetições. Os tratamentos consistiram da associação entre quatro ambientes (parcelas) [T1 - telado com malha fotoconversora de cor prateada com 50% de sombreamento (ChromatiNet® Silver); T2 - telado com malha fotoconversora de cor vermelha com 50% de sombreamento (ChromatiNet® Vermelha); T3 - telado com malha fotoconversora de cor vermelha com 35% de sombreamento e T4 - telado com malha fotoconversora de cor prateada com 35% de sombreamento; e quatro substratos (subparcelas) [S1 - solo + areia + esterco de galinha (EG) (3:1:1 v/v); S2 - solo + areia + esterco bovino (EB) (3:1:1 v/v); S3 - solo + areia + EB + EG (3:1:0,5:0,5 v/v) e S4 - solo + Areia + esterco de ovino (3:1:1 v/v) alocados em sacos de polietileno de cor preto (15 x 22,5 cm). Os ambientes pouco diferenciam-se

no desenvolvimento de massa seca da parte aérea das mudas, diferentemente dos substratos, onde o S1 e o S3 promoveram maior acúmulo de fitomassa, sendo esses, em primeira análise, indicado à produção de mudas de maracujazeiro amarelo.

PALAVRAS-CHAVE: *Passiflora edulis flavicarpa*, Telas fotoconversoras, esterco, Boa Vista-RR.

ABSTRACT: With the objective of evaluating the influence of environments made with photoconverter screens associated to different substrates in the production of yellow passion fruit seedlings under the climatic conditions of Boa Vista, Roraima, an experiment was conducted during the period from May to July 2014, in the experimental area of the Center of Agrarian Sciences of the Federal University of Roraima (UFRR). The experimental design was completely randomized, in a scheme of subdivided plots repeated in time, with ten replications. The treatments consisted of the association between four environments (plots) [T1 - screened with silver color photoconverting mesh with 50% shading (ChromatiNet® Silver); T2 - screened with red color photoconverter mesh with 50% shading (ChromatiNet® Red); T3 - screened with red color photoconverter mesh with 35% shading and T4 - screened with silver color photoconverter mesh with 35% shading; and four substrates (subplots) [S1 - soil + sand + chicken manure (CM) (3: 1: 1 v / v); S2 - soil + sand + bovine manure (BM) (3: 1: 1 v / v); S3 - soil + sand + BM + CG (3: 1: 0.5: 0.5 v / v) and S4 - soil + Sand + sheep manure (3: 1: 1 v / v) of black color (15 x 22,5 cm). The environments differ little in the development of dry mass of the aerial part of the seedlings, unlike the substrates, where S1 and S3 promoted greater accumulation of phytomass, being these, in the first analysis, indicated to the production of yellow passion fruit seedlings

KEYWORDS: *Passiflora edulis flavicarpa*, photoconverter screens, manure, Boa Vista-RR.

1 | INTRODUÇÃO

Dentre as diversas espécies do gênero *Passiflora* distribuídas em regiões de clima tropical e subtropical do planeta, o maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis flavicarpa*) é a mais cultivada e consumida devido à alta qualidade dos seus frutos, que apresentam sabor exótico e intenso, forte aroma e a eleva acidez (ZERAİK et al., 2010).

No processo produtivo da cultura, a produção de mudas destaca-se por ser uma das etapas mais importantes e delicadas, podendo influenciar decisivamente no cultivo em campo (COSTA et al., 2011). Para uma adequada produção de muda, o uso do ambiente correto e o substrato são fundamentais a obtenção de plantas saudáveis e vigorosas.

Vários modelos de ambientes protegidos são comercializados atualmente, entre esses, as malhas fotoconversoras destacam-se por modificar a quantidade e a qualidade da radiação solar transmitida, o que melhora a penetração de luz na parte

aérea da planta, aumentando a eficiência dos processos fotossintéticos (CHAGAS et al., 2013a).

Quanto ao substrato utilizado na produção de mudas de maracujá, Chagas et al. (2013b) relatam que este deve ser confeccionado com matérias-primas que atendam fatores de ordem química, física, econômica, e que sejam, de preferência, acessíveis aos produtores regionais. Segundo Campanharo et al. (2006), a escolha de um substrato que satisfaça as exigências das plantas; oferecendo suporte mecânico ao sistema radicular e abastecimento de água, nutrientes e oxigênio, além de transporte de CO₂ entre as raízes e o meio externo; é essencial quando se busca a obtenção de cultivos homogêneos e produtivos.

Em Boa Vista-RR, duas composições comerciais são largamente utilizadas na produção de mudas: OrganoAmazon® e PuroHumus® (MONTEIRO NETO et al., 2016). No entanto, em razão, especialmente, dos preços onerados pela utilização de compostos comerciais, torna-se essencial a confecção de substratos aproveitando materiais disponíveis em cada região.

Com base no exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de ambientes confeccionados com telas fotoconversoras associados a diferentes substratos na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo sob as condições climáticas de Boa Vista, Roraima.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido, durante o período de maio a julho de 2014, na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima (UFRR), no município de Boa Vista, Roraima, Brasil. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, com duas estações bem definidas, uma chuvosa, de abril a setembro, e outra seca, de outubro a março (ARAÚJO et al., 2001).

O delineamento experimental utilizados foi inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas repetidas no tempo, com dez repetições, cada uma formada por dez plantas. Os tratamentos consistiram da associação entre quatro ambientes (parcelas) [T1 - telado com malha fotoconversora de cor prateada com 50% de sombreamento (ChromatiNet® Silver); T2 - telado com malha fotoconversora de cor vermelha com 50% de sombreamento (ChromatiNet® Vermelha); T3 - telado com malha fotoconversora de cor vermelha com 35% de sombreamento e T4 - telado com malha fotoconversora de cor prateada com 35% de sombreamento; e quatro substratos (subparcelas) [S1 - solo + areia + esterco de galinha (EG) (3:1:1 v/v); S2 - solo + areia + esterco bovino (EB) (3:1:1 v/v); S3 - solo + areia + EB + EG (3:1:0,5:0,5 v/v) e S4 - solo + areia + esterco de ovino (3:1:1 v/v), alocados em sacos de polietileno de cor preto (15 x 22,5 cm).

Vale salientar que foram aplicados 2,0 kg de superfosfato simples, 1,0 kg de

cloreto de potássio e 1,5 kg de calcário dolomítico para cada 1 m³ de substrato confeccionado. Durante o período chuvoso, a irrigação foi realizada de acordo com a necessidade, verificando-se a umidade dos substratos. Já no período seco, as mudas foram irrigadas por nebulização duas vezes ao dia, durante 20 minutos. O controle de plantas invasoras foi realizado de forma manual, a cada dez dias. Durante o experimento, as mudas não apresentaram sintomas de ataque de pragas e/ou doenças, não havendo a necessidade de controle fitossanitário.

As seguintes variáveis foram avaliadas: massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) aos 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência (DAE). Os dados foram submetidos à análise de variância à 5% de probabilidade, e as médias, coletadas durante o tempo, foram avaliadas através da análise de regressão com auxílio do programa computacional SISVAR® 5.1. (FERREIRA, 2011).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados obtidos, foi observado que houve efeito significativa da interação entre os fatores ambiente e substrato apenas para a MSR. Para a MSPA houve efeito isolado dos ambientes e dos substratos avaliados ao longo dos períodos de avaliação.

Para a MSPA em função dos ambientes, os resultados foram estatisticamente semelhante para todos os quatro ambientes avaliados, com médias de 13,51; 12,47; 10,17 e 11,55 g para o T1; T2; T3 e T4, respectivamente (Figura 1A). Já em relação à MSPA de mudas de maracujazeiro-amarelo em função dos substratos analisados, observa-se que os substrato formulados com solo + areia + esterco de galinha (S1) e solo + areia + EB + EG (S3) apresentaram os maiores valores (15,3 e 14,2 g), respectivamente (Figura 1B).

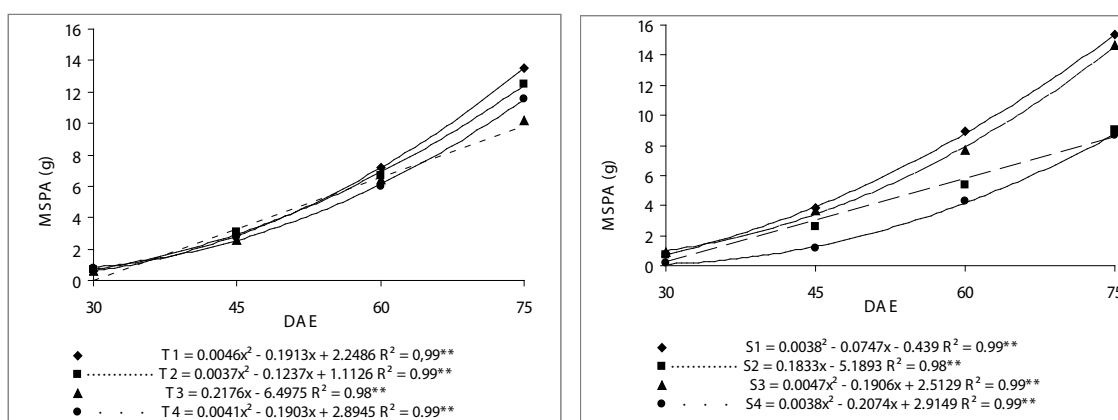


Figura 1– Massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de maracujazeiro-amarelo produzidas em função de ambientes e substratos. Boa Vista-RR, 2015.

No que concerne a MSR, as mudas produzidas nos ambientes T1, T2 e T4 apresentaram as maiores médias quando associadas ao S3. Quanto aos substratos

S2 e S4, em todos os ambientes, foi observado pouco acúmulo de MSR (Figura 2).

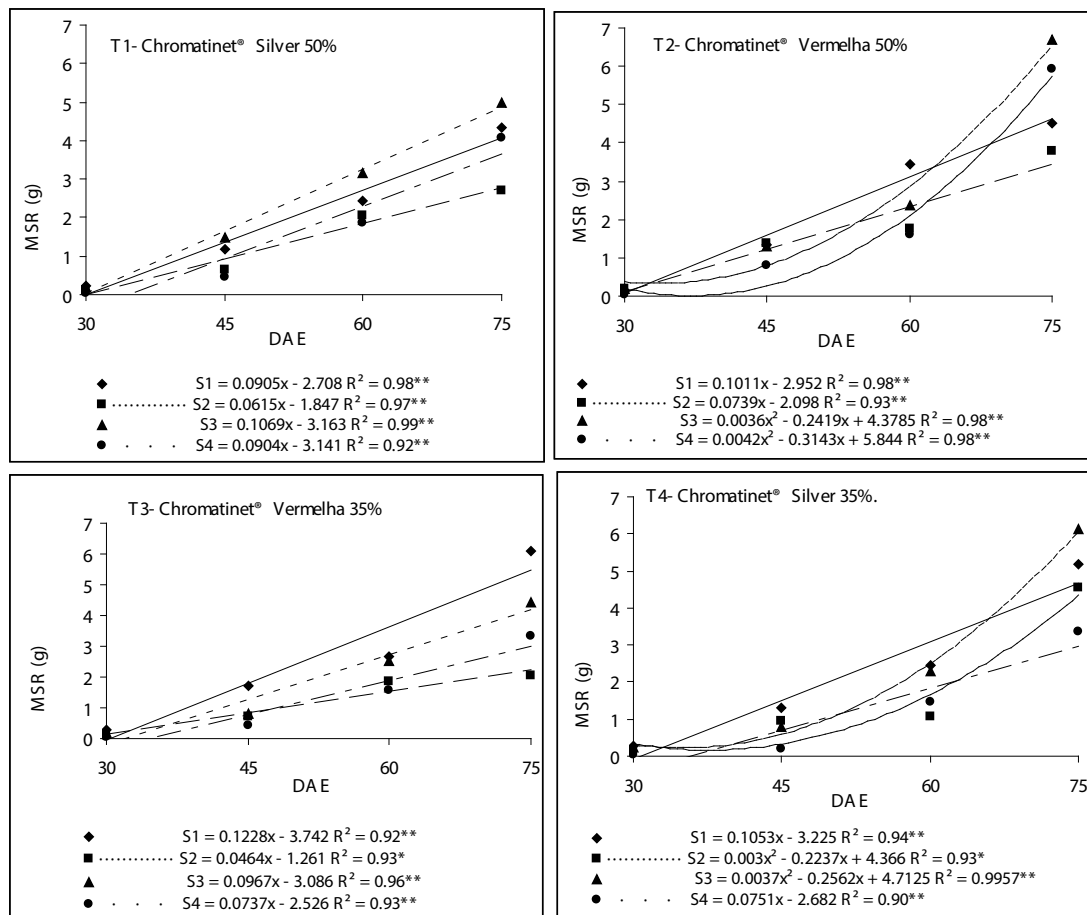


Figura 2– Massa seca de raiz (MSR) de mudas de maracujazeiro-amarelo produzidas em função de ambientes e substratos. Boa Vista-RR, 2015.

Estes dados mostram a maior eficiência fotossintética representada pela maior produção e acúmulo de fotoassimilados nas mudas avaliadas sob os ambientes de produção assim como a detecção de substratos que favorecem o maior desenvolvimento de mudas de maracujá. Assim, os substratos que apresentavam na sua composição esterco de galinha (S1 e S3) proporcionaram as melhores condições para o desenvolvimento do maracujazeiro ao longo do tempo, o qual pode estar relacionado à possível rapidez de mineralização e pronta disponibilidade de nitrogênio (N) nestes substratos. Corroborando com a análise, Melo et al. (2008) encontraram elevados teores de N total no esterco de galinha e de codornas devido aos altos teores de N mineral (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻), indicando-os como fonte imediata de N, uma vez que essas formas de N são prontamente disponíveis para as plantas.

4 | CONCLUSÕES

Os ambientes avaliados pouco diferenciam-se no desenvolvimento de massa seca da parte aérea de mudas de maracujazeiro-amarelo, diferentemente dos substratos, em que o S1 e o S3 promoveram maior acúmulo de fitomassa.

Os substratos S1 e S3 favoreceram o acúmulo de massa seca de raiz em todos os ambientes avaliados, sendo, em primeira análise, indicado à produção de mudas de maracujazeiro-amarelo.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES, EMBRAPA-RR e ao POSAGRO-UFRR pelo apoio em bolsas de estudo e no financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, W. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MEDEIROS, R. D.; SAMPAIO, R. A. Precipitação pluviométrica provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.563-567, 2001.
- CAMPANHARO, M.; RODRIGUES, J. J. V.; LIRA JÚNIOR, E.; COSTA, M. C. Características físicas de diferentes substratos para produção de mudas de tomateiro. **REVISTA Caatinga**, Mossoró, v.19, n.2, p.140-145, 2006.
- COSTA, E.; DURANTE, L. G. Y.; NAGEL, P. L.; FERREIRA, C. R.; SANTOS, A. Qualidade de mudas de berinjela submetida a diferentes métodos de produção. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.42, n.4, p.1017-1025, 2011.
- CHAGAS, E. A.; RIBEIRO, M. I. G.; SOUZA, O. M.; SANTOS, V. A.; LOZANO, R. M. B. Alternatives substrates for production of seedlings camu-camu. **Revista de Ciências Agrária**. Belém, v.56, p.5-12, 2013b.
- CHAGAS, J. H.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; COSTA, A. G.; JESUS, H. C. R.; ALVES, P.B. Produção, teor e composição química do óleo essencial de hortelã-japonesa cultivada sob malhas fotoconversoras. **Horticultura Brasileira**. v.31, p.297-303, 2013a.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- MONTEIRO NETO, J. L. L.; ARAÚJO, W. F.; VILARINHO, L. B. O.; SILVA, E. S.; ARAÚJO, W. B. L.; SAKAZAKI, R. T. Produção de mudas de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em diferentes ambientes e substratos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.11, n.4, p.289-297, 2016.
- MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.32, p. 101-110, 2008.
- ZERAIK, M. L.; PEREIRA, C. A. M.; ZUIN, V. G.; YARIWAKE, J; H. Maracujá: um alimento funcional?. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v.20, p.459-471, 2010.

PRODUÇÃO DE MILHO VERDE EM CONSÓRCIO COM CROTALARIA JUNCEA SOB DIFERENTES DOSAGENS DE N EM TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA EM RORAIMA

Juliano Jonas Sábio de Melo

Universidade Federal de Roraima – UERR,
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia /
Mestrado em Agroecologia

Hipólito Ribas Pereira

Universidade Federal de Roraima – UERR,
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia /
Mestrado em Agroecologia

Maria Edjane Matias Silva

Universidade Federal de Roraima – UERR,
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia /
Mestrado em Agroecologia

Edmilson Evangelista da Silva

Pesquisador Embrapa Roraima / Engenheiro
Agrônomo

INTRODUÇÃO

O milho é um dos principais cereais cultivados no Brasil, mostrando constante crescimento em termos de produção e produtividade no País. Segundo dados da FAO (2010), o Brasil ocupa a terceira posição na produção de grãos secos deste cereal, superado apenas pela produção dos Estados Unidos da América e da China. Em relação ao milho-verde, os maiores produtores mundiais são os Estados Unidos da América, seguidos do México e da Nigéria. Geralmente com procedência de cultivares dentadas, semidentadas ou doces, o

milho-verde é utilizado tanto para consumo *in natura* quanto para os processos das indústrias de produtos alimentícios.

Roraima possui aproximadamente 22 milhões de hectares, dos quais apenas 2 milhões de hectares (9,3%) estão disponíveis para o setor produtivo. O milho é uma das principais culturas de cultivo nessas áreas. Nos últimos anos, foram cultivados no Estado aproximadamente 6.500 hectares do cereal, tendo colhido 15,4 mil toneladas do grão entre as safras de 2014 e 2015 (CONAB, 2013). Apesar dos investimentos de uma pequena parcela de grandes produtores no cultivo do milho para grãos em algumas regiões de Roraima, a maioria dos pequenos produtores, por condições financeiras, falta de incentivo técnico, entre outros, ainda preferem apostar no cultivo do milho verde para a comercialização em mercados e feiras.

Embora os números relativos à produção de milho verde sejam bem menores do que os relativos à produção de grãos secos, seu cultivo no Brasil cresce a cada ano principalmente nas pequenas propriedades, em virtude do valor agregado ao produto e seus derivados. O milho-verde representa papel importante na culinária brasileira, sendo utilizado de diversas maneiras, na forma de espigas cozidas ou assadas ou até

mesmo no preparo de pamonha, curau, bolos, pizzas etc. (PEREIRA FILHO et al., 2003). Em razão dessa versatilidade culinária, sua demanda encontra-se em fase de crescimento, principalmente nos grandes centros urbanos, assim como nichos de mercado relacionados ao consumo de hortaliças oriundas de cultivos com menores inputs de produtos sintéticos, tais como os sob ótica agroecológica.

Considerando as necessidades desses pequenos produtores, por obterem uma melhor produtividade em suas lavouras, este experimento objetivou avaliar a produtividade e características fitotécnicas do milho para colheita em estágio verde cultivado com diferentes doses de nitrogênio em consórcio com *Crotalaria juncea* (*Crotalaria juncea*), visando a redução da utilização de fertilizantes nitrogenados sintéticos em sistemas de transição agroecológica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na sede da Embrapa Roraima, em Boa Vista, no período chuvoso de abril a julho de 2016. A localização geográfica da área experimental é 02°15'00" Norte e 60°39'38" Oeste, com 90 metros de altitude. O clima da região, segundo Köppen é do tipo AW. Os solos são classificados como Argissolo Amarelo (Embrapa, 2006). O experimento foi realizado no delineamento em blocos casualizados em parcela subdividida, sendo as doses de nitrogênio (30, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia) alocados em parcelas que possuíam 5m x 5m e a presença ou ausência de *C. juncea* alocado na subparcela, com quatro repetições. Foi considerada como área útil a linha central da subparcela, descartando-se meio metro de cada extremidade. O cultivar de milho utilizado foi o Agroceres 1051 na densidade de 5 sementes por metro linear, e espaçadas de 1,00 m entre linhas. Nas entrelinhas do milho, simultaneamente ao seu plantio, foram semeadas 3 linhas equidistantes de *C. juncea* nas subparcelas com presença da leguminosa (2 entrelinhas de milho), na densidade de 22 sementes por metro linear. Antes do plantio as sementes de *C. juncea* foram inoculadas com a estirpe recomendada BR 10228.

A adubação de plantio foi realizada a aplicação de 300 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 120 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio na linha de plantio. As doses preconizadas de N foram divididas em 3 épocas, sendo a primeira no plantio (25%), e as demais em cobertura aos 21, 36 e 50 dias após o plantio (25% da dose indicada em cada cobertura). O controle de formigas saúvas foi realizado com isca granular Mirex®, e para lagarta a cada 15 dias foram aplicado Dipel® WG (*Bacillus thuringiensis*) na dose equivalente a 300 gr ha⁻¹. O controle da vegetação espontânea foi realizado conforme necessidade, com a utilização de enxada e roçadeira costal. Aos 40 dias após o plantio da leguminosa foi realizado seu corte rente ao solo, sendo o material alocado na forma de feixes na base das plantas de milho. Amostras da leguminosa foram retiradas para determinação da produção de biomassa e teores de nitrogênio segundo ALVES et al.

(1994).

Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de inserção da espiga medida a partir do solo, altura da planta até a ponta do pendão, número de espigas comerciais (despalhadas maiores que 15 cm de comprimento e 3 cm de diâmetro) (ALBUQUERQUE et al., 2008), número de espigas totais, massa de espigas comerciais sem casca, massa de espigas totais, comprimento de espigas comerciais sem casca, diâmetro de espigas comerciais sem casca, massa seca da parte aérea do milho e da leguminosa.

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade da variância dos erros. Atendidas as hipóteses, para a produtividade realizou-se a análise de variância. Ocorrendo a significância do teste F, as variáveis foram submetidas ao teste de médias ou análise de regressão conforme a natureza dos tratamentos. Utilizando-se para tal o programa estatístico SISVAR versão 5.3 (Ferreira, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as doses utilizadas possibilitaram um bom desenvolvimento vegetativo das plantas, não demonstrando diferenciação nem mesmo naquelas plantas com competição com a leguminosa.

Dose de "N"/ variáveis	Leguminosa <i>Crotalaria</i> <i>juncea</i>	Altura da Planta (m)	Altura de Inserção de Espiga (m)	% de espigas Comerciais (% ao n° plantas)	Tamanho médio Espigas (Comp. cm)	Sólidos Solúveis
30	Consortiado	2,06	1,07	67,9	144,50	6,30
60	Consortiado	2,40	1,08	89,2	166,25	7,55
120	Consortiado	2,11	1,06	65,0	150,75	7,43
240	Consortiado	2,11	1,02	117,5	168,50	7,43
30	Monocultivo	2,18	0,97	92,9	165,25	7,23
60	Monocultivo	2,38	1,02	102,6	166,25	8,15
120	Monocultivo	2,28	1,01	76,6	178,25	7,58
240	Monocultivo	2,42	1,00	68,2	177,00	7,88
CV para dose 'N'		6,45	12,06	7,19	7,44	15,50
CV para leguminosa		4,60	5,57	5,62	7,45	17,26

Tabela 1: variáveis avaliadas e suas respostas aos tratamentos.

No variável número de espigas comerciais também não houve diferença estatística entre os tratamentos devido a maioria das espigas terem atingido o tamanho mínimo para o padrão comercial. As análises dos dados coletados demonstraram que as maiores produtividades (gráfico "A") ficaram na interação consórcio *C. juncea* em

dose de “N”, entre 75 kg e 180 kg/ha⁻¹, tendo estas atingido melhor produtividade na dose de “N” 129,35 kg/ha⁻¹, como descrito por Coelho e França, 1995.

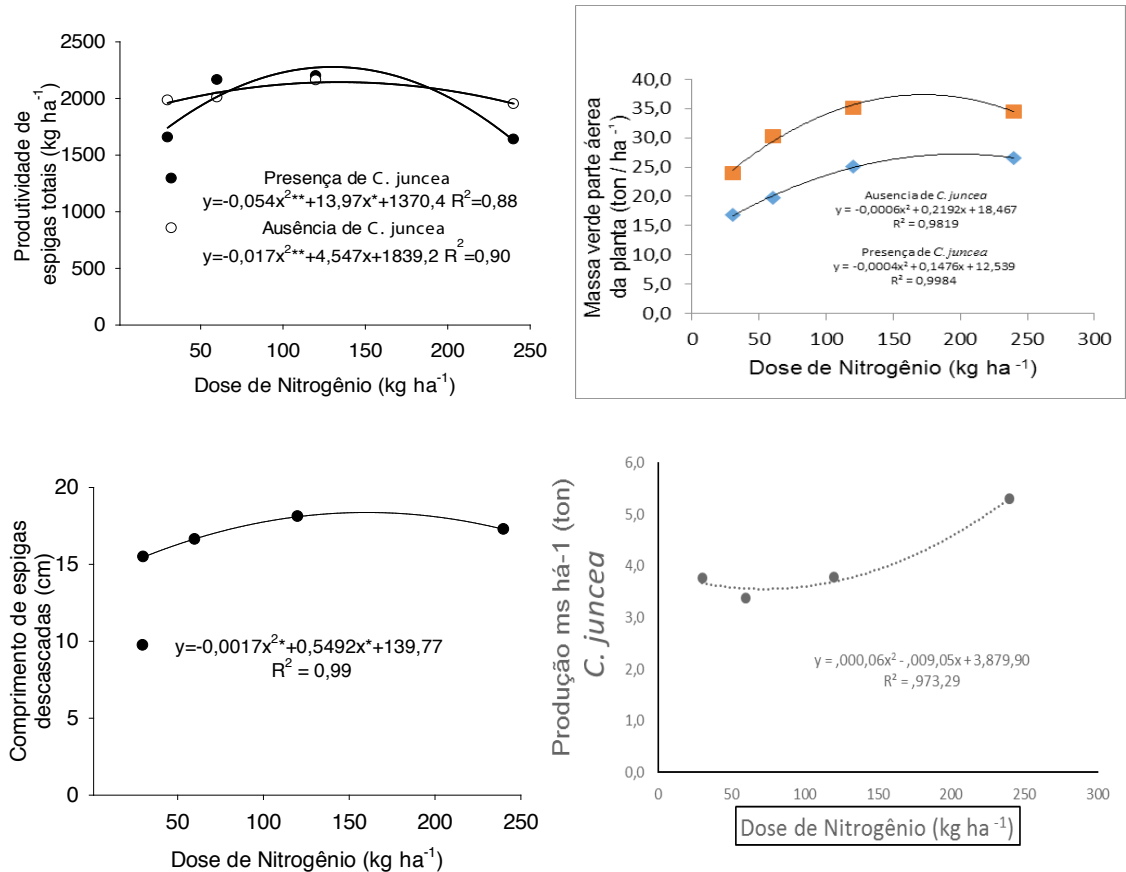


Figura 1: Produtividade de espigas totais (A), massa verde da parte aérea (B), comprimento de espigas descascadas de milho (C) em plantio de milho em monocultivo ou consorciado com *C. juncea* e produção de massa seca da leguminosa *C. juncea* em consorcio com milho sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em Roraima. Número de asteriscos nos modelos indicam o nível de significância dos parâmetros testados na equação de regressão.

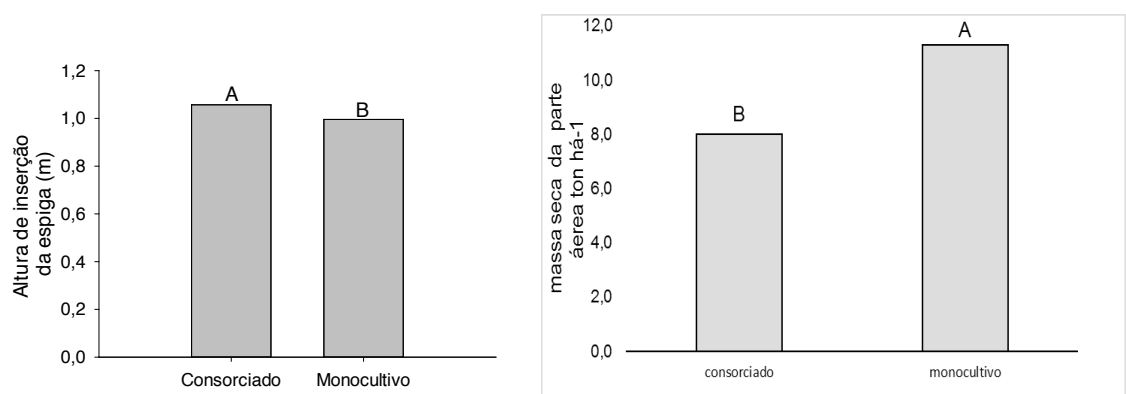


Figura 2: Altura de plantas (A) e produção de massa seca da parte aérea (B) em plantio de milho em monocultivo ou consorciado com *C. juncea* sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em Roraima. Letras diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott.

Na variável massa verde ton/ha se manteve a tendência quadrática atingindo o máximo de produção de massa com as doses de nitrogênio próxima de 120 kg/

ha, acompanhando a recomendação para adubação para milho Alves et al. (1999), mostrando boa produção de massa verde sendo potencial para alimentação animal, característica do cultivar de dupla aptidão.

Na variável massa seca (gráfico 3), devido a competição da leguminosa com o milho houve um pequeno aumento de massa seca no milho monocultivo. Porém, se somado a massa seca da leguminosa com média de 4 toneladas por há, teor de 3,8% de nitrogênio, haverá uma disponibilização de 144,5 de N (kg há⁻¹), contribuindo assim com a biota do solo, ofertando maior nível de carbono incorporado ao solo no cultivo em consórcio.

1 | CONCLUSÕES

Entre as doses de nitrogênio testadas, a que representou maior produtividade em massa verde, massa seca, e espigas comerciais foi a dose de 120 kg/ha. Mesmo não havendo interação significativa no tratamento com e sem *Crotalaria Juncea* no primeiro ano de cultivo à de se considerar as relações ecológicas estabelecidas com a presença da *Crotalaria Juncea* tornando o sistema mais equilibrado.

REFERÊNCIAS

_____. PORTAL BRASIL – **Safra 2015/2016 atingirá 210,5 milhões de grãos** – Observatório Agrícola: Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, V.3 – Safra 2015/2016 – Quarto Levantamento – Janeiro 2016 - Companhia Nacional de Abastecimento – Conab, ISSN 2318 6852 – Acessado em 25 de julho de 2016, no link: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2016/01/safra-2015-2016-atingira-210-5-milhoes-de-toneladas-de-graos>

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; SILVA, R. da. **Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais**. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 24, n. 2., p. 69-76, Apr./ June 2008.

ALVES, B.J.R.; SANTOS, J.C.F. dos; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.E.; ARAÚJO, R.S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p.449-470.

CARDOSO, Milton José, RIBEIRO, Valdenir Queiroz Ribeiro, MELO, Francisco de Brito et al FAO – **Performance de Cultivares de Milho Verde no Município de Teresina, Piauí** – Comunicado Técnico Embrapa – ISSN 01104 7647 – dezembro de 2011 – Teresina, Piauí. Acessado em 25 de julho de 2016, no link: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/53591/1/CT227.pdf>

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.71, set. 1995. Arquivo do Agrônomo, Piracicaba, n.2, p.1-9, set. 1995. Encarte.

FERREIRA, D.F. **SISVAR**: um programa para análises e ensino de estatística. Revista Symposium, v.6, p.36-41, 2008.

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; GAMA, E. E. G. **Cultivares para o consumo verde**. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. O cultivo do milho verde. Brasília, DF,

2003. p. 17-30.

SILVA, EC da et al. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 44, n. 2, p. 118-127, 2009. – Acessado em 25 de agosto de 2016, no link: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n2/v44n02a02.pdf>

REDUÇÃO DE COR ICUMSA DO CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR PELA UTILIZAÇÃO DE BENTONITA COMO CLARIFICANTE

Sarah Arvelos

Pesquisadora de pós-doutorado (PNPD-CAPES) no Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia - UFU.
Uberlândia - MG

Ananda Cristina Coelho Ribeiro

Engenheira Química pelo Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM
Patos de Minas - MG

Heitor Otacílio Nogueira Altino

Mestrando no Programa de Pós-graduação Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
São Carlos - SP

RESUMO – A cana-de-açúcar é uma cultura implantada no Brasil a partir do século XVI. Desde então, já se tornou um dos principais produtos da economia brasileira. A produção da cana-de-açúcar se destina principalmente a produção de açúcar, sendo o Brasil um dos maiores produtores mundiais. Após a colheita e extração do caldo de cana, o mesmo apresenta compostos denominado não-açúcares que dão cor ao caldo, sendo necessária sua clarificação. A clarificação é tradicionalmente realizada pelo processo de sulfitação. Inconvenientemente, esse processo produz resíduos de enxofre, os quais são prejudiciais ao ser humano e ao meio

ambiente. Além disso, o teor de enxofre no caldo é um fator determinante para a exportação do açúcar. Assim sendo, o presente trabalho buscou estudar um processo alternativo para a clarificação do caldo, o qual consistiu na remoção dos compostos coloríficos utilizando bentonita. Um Planejamento Composto Central (PCC), juntamente com a metodologia da superfície de resposta, foi empregado na determinação do ótimo global do processo. Estudou-se a influência das variáveis independentes: tempo de contato caldo-bentonita, pH da solução e temperatura do sistema, tendo como variável de resposta a cor. Os resultados obtidos mostraram que a temperatura afeta negativamente o processo de clarificação, o que pode estar associado à exotermia do fenômeno de adsorção. O aumento do tempo de contato resultou em melhoria da clarificação, provavelmente devido a maior probabilidade de choques entre sítios ativos e adsorvatos. O pH ácido foi ideal para a clarificação, possivelmente devido a maior atração de compostos fenólicos.

PALAVRAS-CHAVE: Clarificação, Caldo de cana-de-açúcar, Bentonita.

ABSTRACT – The sugar cane culture was implanted in Brazil since the 16th century. Thenceforward, it has already become one of the main products of the Brazilian economy. The sugar cane production is mainly destined

to sugar production and Brazil is one of the largest sugar producers worldwide. After the sugar cane broth is extracted, a clarification process is necessary, once the broth presents compounds called “non-sugars”, which give color to the broth. The clarification is traditionally performed by the sulphitation process. Inconveniently, this process produces residues of sulfur, which are harmful to the human being and to the environment. Additionally, the sulfur content is a determining factor for sugar exportation. Thus, the present paper aimed to study an alternative process for the clarification of the broth, which consisted in the removal of color compounds using bentonite. A Central Composite Design (CCD), together with the response surface methodology, was used to determine the overall optimum for the process. The influence of the following independent variables was studied: bentonite-broth contact time, solution pH and system temperature. The solution color was adopted as the response variable. The results showed that the temperature had a negative effect on the clarification process, which may be associated to the fact that the adsorption phenomenon is exotherm. The increase in contact time resulted in improvement of clarification, probably due to the greater probability of shocks between active sites and adsorbates. The acidic pH was ideal for clarification, possibly due to the greater attraction of phenolic compounds.

KEYWORDS: Clarification, Sugar cane broth, Bentonite.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 Produção e clarificação do caldo de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma planta de origem asiática, conhecida e domesticada por populações tribais a mais de sete mil anos (PÁDUA, 2013). Configura-se como uma das plantações mais antigas no Brasil: em 1532 criou-se o primeiro engenho no Brasil, em menos de vinte anos as plantações de cana-de-açúcar se espalharam pelo litoral brasileiro e, em 1550, o Brasil já havia se tornado o maior produtor mundial. A produção de açúcar a partir desta planta se tornou o produto mais importante da economia já nos séculos XVI e XVII, iniciando o chamado de “Ciclo do Açúcar”. Desde quando foi trazida ao Brasil, a cana-de-açúcar vem influenciando na economia nacional, sendo o país de maior produção, seguido da Índia e China (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2016).

O açúcar é produzido seguindo as seguintes etapas: após a colheita mecanizada ou manual da cana-de-açúcar, a mesma segue para a pesagem e coleta de amostras para definir a qualidade da safra. A seguir, o caldo é extraído através do esmagamento da cana, tradicionalmente feito em moendas. O caldo extraído é clarificado, visando à eliminação do maior número de substâncias interferentes ao processo, como amido, fibras, ceras, proteínas, pigmentos e outros (HAMERSKI, 2009; SARTORI, 2014). A clarificação do caldo é realizada para obter a menor coloração e turbidez possível, conservando a quantidade de sacarose para produção do açúcar. Em seguida, o caldo

é evaporado e concentrado, para a formação dos cristais de açúcar, e então seco para poder ser armazenado e reduzir as perdas até o consumo (LIMA, 2012).

Dentre todas as etapas de processo, sem dúvida, a etapa de clarificação é uma das mais importantes, uma vez que os compostos fenólicos, flavonoides e outros interferentes extraídos com o caldo podem influenciar na cor final do produto (CLARKE; LEGENDRE, 1999). Tradicionalmente a clarificação do caldo da cana é feito pelo processo de sulfitação. Entretanto, essa técnica apresenta baixa eficiência, além de produzir resíduos de enxofre e vários sais derivados, prejudiciais ao ser humano e ao meio ambiente. A presença de resíduos de enxofre é responsável por restrições imprimidas ao açúcar brasileiro no mercado externo. Sendo assim, faz-se necessário buscar técnicas alternativas para a clarificação (BERNARDI, 2014).

Do montante de açúcar exportado pela CORPERSUCAR, quase 100% foi na forma de VHP (“*Very High Pol*”) ou VVHP (“*Very, Very High Pol*”). Tais tipos de açúcar devem ser produzidos com determinadas exigências de qualidade, sem a utilização de dióxido de enxofre (SO_2), tradicionalmente utilizado no processo de fabricação de açúcar no Brasil (MANTELATTO, 2005). A exigência na alteração da clarificação do caldo da cana, para produção de açúcar branco, se dá pela negação dos países europeus e norte americanos em comprar o açúcar proveniente da clarificação por sulfitação. Isso afeta consideravelmente a economia de exportação do produto. Nesse contexto, novos processos estão sendo estudados na produção de açúcar, de modo a minimizar a utilização da técnica de clarificação por sulfitação. Estes processos alternativos envolvem bicarbonatação (ARAÚJO, 2007), carbonatação (HAMERSKI, 2009), filtração (ARMOA, 2012) e uso de radiação (LIMA, 2012).

Pesquisas utilizando argilas, particularmente bentonita, para remoção da cor e turbidez do caldo de cana-de-açúcar ainda se encontram em um estágio inicial de desenvolvimento. O uso de argilas já se mostrou aplicável na clarificação de caldos de diversos sucos na indústria de vinhos e cervejas. Tal aplicação contribuiu para redução da utilização do dióxido de enxofre (SO_2), beneficiando a saúde do ser humano e o meio ambiente, além acarretar redução de custos. O principal mecanismo de clarificação por argilas é a adsorção superficial, a qual remove proteínas, íons de metais pesados, pesticidas e compostos escuros (BLADE; BOULTON, 1988).

A bentonita é um mineral constituído essencialmente por argilominerais do grupo das esmectitas e origina-se mais frequentemente das alterações de cinzas vulcânicas. As bentonitas caracterizam-se por apresentar: partículas muito finas; elevada carga superficial; alta capacidade de troca catiônica; elevada área superficial e inchamento quando em presença de água. Essas características resultam em propriedades que propiciam o seu uso industrial (SILVA; FERREIRA, 2008; VENARUZZO, 2002).

Assim, o presente estudo teve o objetivo principal de estudar o uso de argila bentonita como agente clarificante do caldo de cana-de-açúcar. Foram realizados testes com adição de bentonita ao caldo de cana *in natura*, alterando-se valores de temperatura do sistema, pH da solução e tempo de contato bentonita-caldo, em

ensaios em batelada. Lançou-se mão da metodologia da superfície de resposta para análise dos resultados.

1.2 Clarificação por aplicação de bentonita

Bentonita designa um tipo de argila que tem seu nome derivado da localização dos primeiros depósitos comerciais em Fort Benton, EUA. São materiais provenientes de atividade vulcânica e podem datar do período Cretáceo ou mesmo Jurássico. É encontrada em todos os continentes, exceto na Antártida. Do ponto de vista de mineralogia, essa argila é constituída pelo argilomineral montmorilonita, do grupo da esmectita (LARANJEIRA, 2010).

As bentonitas têm um papel fundamental nos seguintes setores: fundição, perfuração de poços, construção civil, pelotização de minérios, tintas, esmaltes e vernizes. São largamente utilizadas para clarificação de produtos alimentícios como suco de maçã, laranja, cerveja, vinhos, e já foram utilizadas para clarificação do caldo de beterraba para produção de açúcar (BLADE; BOULTON, 1988; XIFANG *et al.*, 2007). A clarificação, por ser um fenômeno baseado na adsorção, tem como principais fatores que a influenciam: a temperatura do sistema, a concentração da solução, o pH e tempo de contato. Além disso, a quantidade de material adicionada também influencia a quantidade adsorvida (XIFANG *et al.*, 2007).

A utilização das bentonitas justifica-se por abundância e o pelo baixo custo agregado ao potencial que elas representam como propriedades adsorventes, principalmente quando modificadas. Tais qualidades resultam em um grande atrativo científico e industrial (LARANJEIRA, 2010).

Laksameethanasan *et al.* (2012) avaliaram a adição de 3, 4 e 5% (massa/massa) de bentonita na clarificação do caldo. Segundo esses autores, a adição de grandes quantidades de bentonita pode aumentar o tom escuro do caldo, mas não aumenta a turbidez do mesmo. De acordo com a literatura consultada, a bentonita adsorve moléculas orgânicas como, por exemplo, proteínas. O trabalho em questão chama a atenção para o fato de que a quantidade de bentonita deve ser otimizada, de modo a definir a quantidade ótima para a clarificação. Uma vez que, deve-se garantir a adequada de área superficial para a maior adsorção possível. Em seus resultados, os autores indicam 3% (massa/massa) como a quantidade ideal para a adsorção.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.3 Definição das Variáveis

Neste trabalho foi feito o uso de bentonita natural (não modificada) para a clarificação do caldo de cana. Um Planejamento Composto Central (PCC), juntamente com a metodologia da superfície de resposta, foi empregado para reduzir o número de experimentos e determinar o ótimo global para o processo. O planejamento possibilita

o desenvolvimento de modelos estatísticos que correlacionam a variável resposta de processo com as variáveis independentes estudadas. Além disso, ele também possibilita a definição das condições ótimas das variáveis, ao ser utilizado juntamente com a metodologia da superfície de resposta (RADE, 2014).

Como a adsorção é o fenômeno predominantemente esperado para a clarificação do caldo de cana (CHAVES; TIT, 2011), procurou-se por variáveis classicamente conhecidas como influentes sobre tal processo. O planejamento em três níveis envolveu relacionar a influência da temperatura, do pH e do tempo de contato. A variável de resposta foi a cor, contudo, turbidez e Brix foram analisados em cada experimento com o intuito de avaliar se materiais indesejáveis estavam sendo adicionados ao caldo e se houve perda de sacarose. O método para análise de cor foi o da *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis* (ICUMSA) o qual se baseia em medidas de transmitância e Brix, conforme descrito em Sartori e Aguiar (2015).

Segundo Blade e Boulton (1988), a adsorção em bentonita é maior em pH's ácidos. Muito provavelmente isso é causado por alterações na taxa de proteínas dissolvidas no caldo, as quais sensíveis as mudanças de pH. A qualidade de bentonita tem um enorme impacto sobre a eficiência. Bentonita com baixa capacidade de inchaço é menos adsorvente de proteína. Esta questão torna-se evidente quando os valores do pH são maiores do que 3,5. Quando o pH assume valores entre 3 e 4 a adsorção é mais elevada. Por conseguinte, o valor de pH deve ser levado em consideração usando bentonita.

Segundo Moreno (2004), o valor de pH em solução determina a carga superficial do sólido adsorvente e influencia na dissociação ou protonação do eletrólito, controlando, assim, as interações eletrostáticas entre adsorvente-adsorvato e soluto-soluto. Assim, definiu-se o estudo para as três faixas de pH – ácido, neutro e básico – para ter um estudo completo da interação da bentonita como adsorvente.

Adsorventes são cobertos por um grande número de sítios e o recobrimento da superfície depende da cinética da adesão do adsorvente (KUMAR *et al.*, 2003). Portanto, estudou-se o tempo de contato para definir a quantidade de adsorvato que a bentonita adsorve a uma faixa de tempo, e sendo possível definir um tempo ótimo para adsorção total.

Em geral, com o aumento da temperatura a quantidade de substância adsorvida tem um decréscimo, sendo que, os processos de adsorção são, em sua maioria, exotérmicos (HILL, 1946). Assim, a importância da temperatura no estudo se dá por ser um fator determinante na adsorção das impurezas indesejáveis.

2.4 Determinação e Realização dos Experimentos

O primeiro passo para organização dos experimentos consistiu em realizar a calibração dos aparelhos que foram utilizados. Foi necessária a calibração do pHmetro (mPA210, MS TECNOPON®), a qual foi realizada com os padrões: branco, pH = 4, pH

= 7 e pH = 10. O termopar utilizado foi o de mercúrio, dispensando a calibração.

Quanto aos experimentos que foram realizados no PCC, a influência do pH foi analisada por meio de soluções ácidas, neutras e básicas de caldo. Assim, o pH das soluções foi ajustado adicionando-se soluções diluídas de HCl e NaOH. Os níveis para avaliação de pH foram 5, 7 e 9. Quanto ao tempo de contato, avaliou-se os tempos de: 15, 30 e 45 minutos. Em relação à temperatura, os níveis avaliados foram: 298 e 318 e 338 K. Estas faixas foram escolhidas com base no trabalho de Hank (2014) que utilizaram bentonitas para remoção de fenol em soluções aquosas.

A velocidade de rotação do misturador selecionada foi de 160 RPM, parâmetro otimizado para clarificação de vinhos (XIFANG *et al.*, 2007). A bentonita (*Bentonita enogel estandar*) utilizada neste trabalho foi fornecida por INDUPROPIL®.

A adição de bentonita se deu através de uma suspensão. Foi utilizada a técnica indicada por Blade e Boulton (1988) para clarificação de vinhos. Esta consistiu em adicionar-se 2,5 g de bentonita (pesada em uma balança digital (BG-1000, GEHAKA®), previamente seca a 105°C por 4h, em 50 mL de água destilada na faixa de temperatura de 60-80°C. Preparada esta solução, a mesma descansou por um período de 12h. A mistura então foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL e o volume foi completado com água destilada na faixa temperatura supracitada. Logo, a concentração final da suspensão foi de 25 g/L. A quantidade desta suspensão que foi adicionada ao volume de caldo a ser clarificado correspondeu a 3% (massa/massa), como indicado por Laksameethanasan *et al.* (2012).

Os experimentos foram realizados fracionando-se o caldo de cana em pequenas amostras de 100 mL, medidas em proveta, e transferidos para béqueres de 250 mL. Considerando-se um PCC com três variáveis medidas e considerando-se 4 réplicas no ponto central, totalizando 18 experimentos. A Tabela 1 apresenta a lista dos experimentos que foram realizados em termos das variáveis codificadas. O parâmetro (α) de ortogonalidade foi de 1,414.

Variáveis	Faixas experimentais	Codificações
Temperatura [K] (X_1)	289,7 a 346,28	$X_1 = -\frac{\text{Temperatura} - 318}{20}$
pH [-] (X_2)	4,2 a 9,8	$X_2 = \frac{\text{pH} - 7}{2}$
Tempo de contato (min) (X_3)	8,8 a 51,2	$X_3 = \frac{\text{Tempo} - 30}{15}$

Tabela 1. Variáveis independentes e suas faixas experimentais.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Para o planejamento experimental, as variáveis independentes devem ser adimensionalizadas; para isso, cada fator passa a ser representado por $-\alpha$, -1, 0, +1 e $+\alpha$. As adimensionalizações para cada variável se deram conforme as equações de codificação apresentadas na Tabela 2.

Experimento	Variáveis não codificadas			Variáveis codificadas		
	Temperatura [K]	pH [-]	Tempo de contato [min]	X ₁	X ₂	X ₃
1	298,0	5,0	15,0	-1	-1	-1
2	338,0	5,0	15,0	1	-1	-1
3	298,0	9,0	15,0	-1	1	-1
4	338,0	9,0	15,0	1	1	-1
5	298,0	5,0	45,0	-1	-1	1
6	338,0	5,0	45,0	1	-1	1
7	298,0	9,0	45,0	-1	1	1
8	338,0	9,0	45,0	1	1	1
9	289,7	7,0	30,0	-1,414	0	0
10	346,3	7,0	30,0	1,414	0	0
11	318,0	4,2	30,0	0	-1,414	0
12	318,0	9,8	30,0	0	1,414	0
13	318,0	7,0	8,8	0	0	-1,414
14	318,0	7,0	51,2	0	0	1,414
15	318,0	7,0	30,0	0	0	0
16	318,0	7,0	30,0	0	0	0
17	318,0	7,0	30,0	0	0	0
18	318,0	7,0	30,0	0	0	0

Tabela 2. Matriz do Planejamento Composto Central (PCC) ortogonal.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Por meio do *software* Statistica 7 quantificou-se a influência de cada variável independente (pH, tempo de contato e temperatura) na variável resposta (cor), bem como suas interações e de seus termos quadráticos. Para isto foi realizada uma regressão múltipla, utilizando o *software* em questão, obtendo-se uma equação empírica que representa a variação da cor em função das variáveis independente estudadas. A partir do modelo empírico obtido com a regressão múltipla, a superfície de resposta foi construída para identificação da região de maiores eficiências de clarificação.

2.5 Coleta de Dados

Os experimentos foram realizados um período de 24 h para reduzir a incerteza e a variação dos parâmetros. No caldo clarificado foram realizadas as análises de: absorvância, turbidez, Brix e cor ICUMSA.

A leitura da absorvância foi feita após a realização do experimento para definir a absorção da bentonita no caldo de cana. As análises de absorvância foram realizadas em espectrofotômetro (10uv, Genesys®). Foi feito o estudo com o caldo diluído 100 vezes para determinação do comprimento de onda, definindo-se 400 μm . Assim, foi feito a leitura do branco, seguido das amostras.

A determinação da turbidez, após clarificação, foi necessária para determinar

se existe presença de material suspenso. Para análise de turbidez, foram corrigidos os pH's de todos os experimentos para a mesma faixa (5,5-6,0) de modo a minimizar interferências. Calibrou-se o turbidímetro (RS232, Instrutherm®) com os padrões: 0,1, 0,8, 8, 80 e 1000NTU, permitindo análises entre as faixas de 0 a 1000NTU. Assim, foram feitas as leituras dos padrões 8NTU e 1000NTU, para confirmar a eficiência da calibração, seguido da leitura do branco e das amostras.

A leitura do Brix, após a clarificação, foi necessária para determinar se a bentonita não reduziu a concentração de açúcar, inviabilizando o método estudado. Foi realizada a leitura do Brix em refratômetro portátil (N1002, ATC®), adicionando duas gotas da amostra no prisma seco e limpo. Após o fechamento do prisma e a espera da estabilização da temperatura, a leitura do Brix foi realizada.

A determinação do índice da cor dos experimentos foi realizada segundo o método da ICUMSA (ICUMSA, 1994) ajustada para amostras líquidas. Foram corrigidos os pH's de todos os experimentos para a mesma faixa (5,5-6,0) e o Brix foi corrigido para 2, fazendo diluições das amostras com água destilada. Em seguida, foi realizada a leitura da transmitância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 420µm. A cor foi calculada pelo equacionamento:

$$Cor\ ICUMSA(420\mu m) = \frac{1000 - \log T}{bc} \quad (1)$$

em que, T é a transmitância da amostra lida; b é o comprimento de cela de absorção, em cm; e c é a concentração da amostra diluída, em g/mL, calculada em função da concentração (Brix) e densidade, conforme a equação:

$$c = \frac{Brix * Densidade}{100} \quad (2)$$

A transmitância é uma função da absorvância:

$$T = 10^{-A} \quad (3)$$

Nos cálculos realizados neste trabalho, a densidade do caldo foi considerada constante e igual a 1,041 g/mL, o comprimento da cela de absorção foi de 0,5 cm, o Brix do caldo padronizado foi de 5,5°.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, realizou-se um PCC para que fosse possível quantificar os efeitos das variáveis independentes estudadas na remoção da cor do caldo de cana. Para investigar o efeito de cada uma das variáveis (temperatura, pH e tempo de contato), assim como suas interações na remoção de cor e definir as condições ótimas de clarificação, as variáveis independentes foram adimensionalizadas.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nas diversas condições experimentais adotadas no PCC. Os níveis de cada variável estudada na sua forma original e adimensionalizada também são apresentados nesta tabela. A cor ICUMSA

adimensionalizada (adim.) representa a cor ICUMSA dividida pelo maior valor da tabela (7527,73) e o item “clarificação” representa $1 -$ a cor ICUMSA adimensionalizada. Esta nova variável foi definida, uma vez que se pretende maximizar a resposta.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 3, observa-se que houve uma grande variação na cor ICUMSA nas diferentes condições experimentais apresentadas. A cor variou entre 576,37 e 7527,73. Vale ressaltar que a cor ICUMSA do caldo *in natura* (diluído em água com proporção de solução adsorvente) estava em 15033. Esta grande diferença mostra a grande sensibilidade da cor ICUMSA às condições de clarificação aplicadas. Vale ressaltar que os experimentos realizados adequaram o caldo à cor ICUMSA desejada, uma vez que a sulfitação provê um caldo com ICUMSA média de 9729 (ARAÚJO, 2007).

Exp	Variáveis não-codificadas			Respostas			
	Temperatura [K]	pH [-]	Tempo de contato [min]	Absorbância [-]	Cor ICUMSA [cm ² /g]	Cor ICUMSA adim. [-]	Clarificação [-]
1	298,0	5,0	15,0	0,164	2864,38	0,38	0,619
2	338,0	5,0	15,0	0,262	4576,02	0,61	0,392
3	298,0	9,0	15,0	0,376	6567,11	0,87	0,128
4	338,0	9,0	15,0	0,429	7492,80	1,00	0,005
5	298,0	5,0	45,0	0,033	576,37	0,08	0,923
6	338,0	5,0	45,0	0,139	2427,74	0,32	0,677
7	298,0	9,0	45,0	0,278	4855,47	0,65	0,355
8	338,0	9,0	45,0	0,381	6654,44	0,88	0,116
9	289,7	7,0	30,0	0,179	3126,36	0,42	0,585
10	346,3	7,0	30,0	0,355	6200,33	0,82	0,176
11	318,0	4,2	30,0	0,060	1047,94	0,14	0,861
12	318,0	9,8	30,0	0,431	7527,73	1,00	0,000
13	318,0	7,0	8,8	0,344	6008,21	0,80	0,202
14	318,0	7,0	51,2	0,132	2305,48	0,31	0,694
15	318,0	7,0	30,0	0,222	3877,39	0,52	0,485
16	318,0	7,0	30,0	0,212	3702,73	0,49	0,508
17	318,0	7,0	30,0	0,225	3929,79	0,52	0,478
18	318,0	7,0	30,0	0,229	3999,65	0,53	0,469

Tabela 3. Resultados obtidos no Planejamento Composto Central (PCC) para $\alpha=1,414$

Fonte: Autoria própria, 2018.

A variação ampla dos parâmetros experimentais possibilitou encontrar resultados importantes. Por exemplo, para a temperatura, comparando os pares experimentais (1 e 2), (3 e 4), (5 e 6), (7 e 8) e (9 e 10), nota-se que mantendo-se o pH e o tempo de contato constantes, o aumento da temperatura desfavorece a remoção da cor. Tal constatação corrobora com o fato de que processos de adsorção física são exotérmicos, ou seja, são desfavorecidos pelo aumento da temperatura (ARAÚJO *et al.*, 2005; ARAÚJO, 2000).

Para o pH, comparando-se os pares de experimentos (1 e 3), (2 e 4), (5 e 7), (6 e 8) e (11 e 12), nota-se que o aumento do pH diminui a remoção de cor. A clarificação em pH's baixos mostra-se como um processo favorável, uma vez que a glicose, frutose e sacarose degradam-se em condições de alcalinas, gerando compostos coloridos (FARINE *et al.*, 2000). Além disso, proteínas e compostos fenólicos são mais bem adsorvidos em pH ácido (BANAT *et al.*, 2000; BLADE; BOULTON, 1988; LAKSAMEETHANASAN *et al.* 2012). Segundo Lima (2012), quanto maior a concentração de fenólicos, maior será a cor ICUMSA.

Comparando os pares de experimentos (1 e 5), (2 e 6), (3 e 7), (4 e 8), (13 e 14), o aumento do tempo de contato diminuiu a cor do caldo. Um processo de sorção interfacial entre os compostos coloríficos e o sorvete demanda uma cinética de sorção. Assim, o aumento do tempo de contato provavelmente possibilitou maior probabilidade de encontro entre sorvente e sorvatos na solução, suprimindo a demanda cinética do processo.

De acordo com o PCC executado, a melhor condição para a clarificação está próxima dos seguintes valores: temperatura de 298 K, pH igual a 5 e tempo de contato de 45 minutos. Para análise dos resultados, bem como a otimização das condições da clarificação, faz-se necessário quantificar a influência de cada variável independente na variável resposta, bem com a influência de suas interações e de seus termos quadráticos. A regressão múltipla no *software* Statistica 7 gerou a seguinte equação empírica:

$$\text{Clarificação} = 0,4577 - 0,1177X_1 - 0,2689X_2 + 0,1353X_3 - 0,04718X_1^2 \quad (4)$$

Esta equação permite correlacionar a remoção de cor com as variáveis independentes estudadas. A equação empírica apresentou um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,96, indicando que 96% da variabilidade dos dados obtidos foram explicados. A Figura 1 (a) apresenta a boa exatidão da equação obtida. Já a Figura 1 (b) mostra que os resíduos foram aleatórios e independentemente distribuídos. Assim, conclui-se que a equação é estatisticamente adequada.

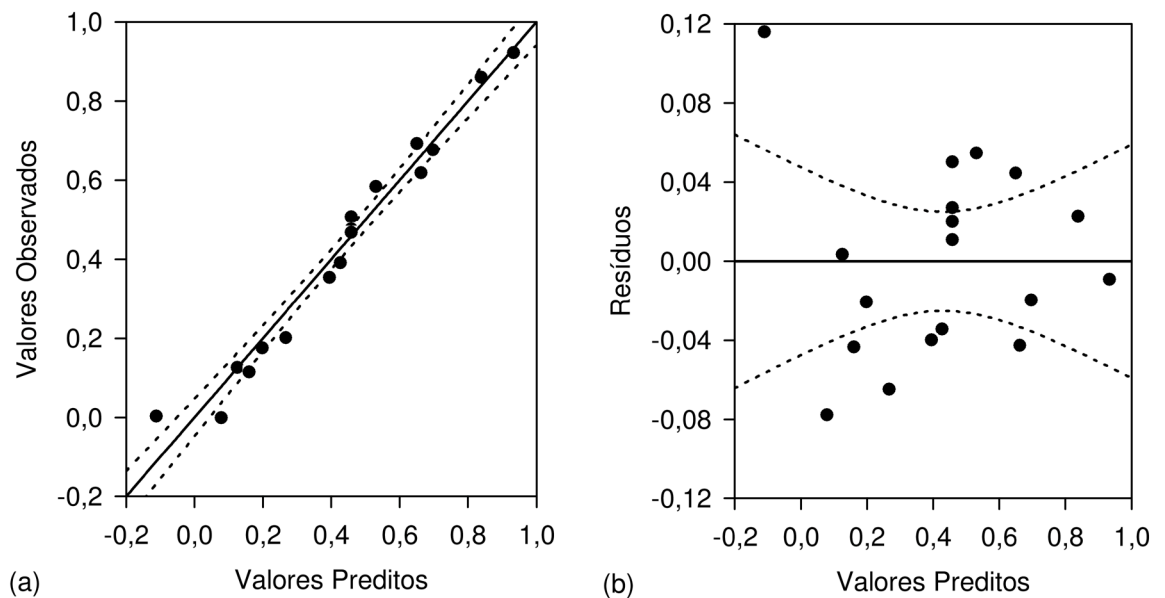


Figura 1. Resultados experimentais e preditos (a); distribuição dos resíduos da regressão (b).

Fonte: Autoria própria, 2018.

A Tabela 3 apresenta demais detalhes sobre a regressão, confirmando-se a adequabilidade do modelo, uma vez que os desvios padrão dos parâmetros são menores que a ordem de grandeza dos parâmetros. Os valores dos coeficientes obtidos para cada variável indicam as tendências dos experimentos realizados. Para as variáveis temperatura (X_1) e pH (X_2) foram obtidos coeficiente negativos, mostrando que elas afetam negativamente a remoção da cor (quanto maiores, menos efetiva é a clarificação). Para a variável tempo de contato (X_3), o coeficiente é positivo, indicando que quanto maior o tempo de contato, melhor é a clarificação. Através destes valores é possível afirmar ainda que o pH é a variável que mais afeta a resposta, uma vez que o módulo do coeficiente obtido (0,2689) é maior que os demais.

Parâmetro	Parâmetro	Desvio padrão do parâmetro	Significância (IC de 95%)
Independente	0,4577	0,018556	0,000000
X_1	-0,1177	0,016070	0,000000
X_2	-0,2689	0,016070	0,000000
X_3	0,1353	0,016070	0,000001
X_1^2	-0,0472	0,019685	0,032252

Tabela 3. Análise estatística da regressão múltipla.

Fonte: Autoria própria, 2018.

A equação empírica obtida permite a localização de diferentes regiões de ótima clarificação. Por exemplo, a Figura 2 (a) mostra a superfície de resposta para a variação da clarificação em função da temperatura (X_1) e do pH (X_2), para o tempo de contato (X_3) no nível central (30 minutos). Na Figura 2, as superfícies foram cortadas de forma

a apresentar valores de clarificação entre 0 e 1, que corresponde à faixa com sentido físico nos moldes dos experimentos realizados. Na Figura 2 (a) é possível perceber que, para o tempo de contato de 30 minutos, há uma região acessível a pH's baixos que imprime a clarificação máxima igual à 1. A Figura 2(b) mostra a superfície de resposta com X_2 igual à -2 (pH = 5), a qual mostra que é possível combinar os parâmetros temperatura e tempo de contato de forma a encontrar a clarificação máxima. Optando-se pela temperatura ambiente (a qual não dispenderia em um possível processo industrial de aquecimento ou resfriamento do caldo), de acordo com a modelagem realizada nota-se que existe um ótimo nas seguintes variáveis codificadas: $X_1 = 0$, $X_2 = -2$, $X_3 = 0$; o que corresponde à 298 K, 30 minutos de tempo de contato e pH = 3.

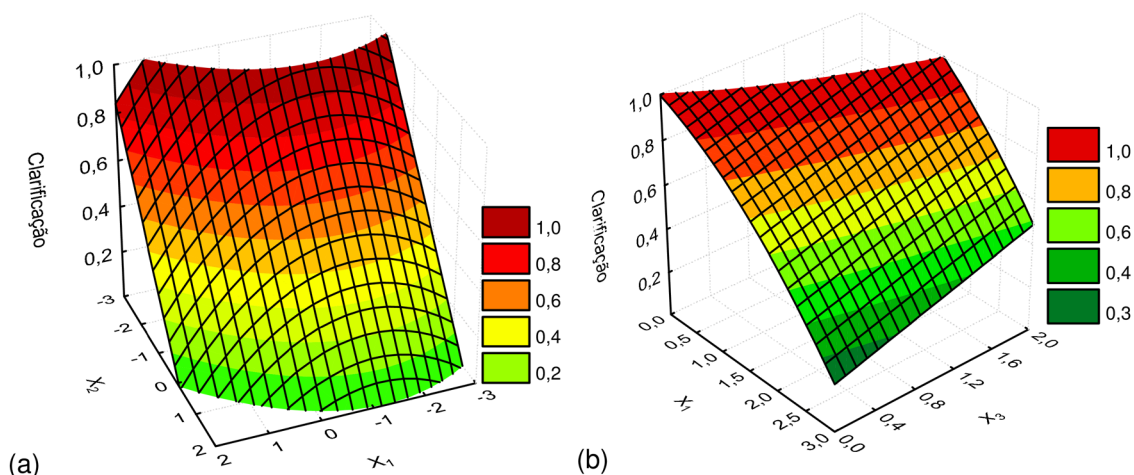


Figura 2. Superfície de resposta para a variável clarificação em função da (a) temperatura (X_1) e do pH (X_2) com $X_3=0$ e (b) temperatura (X_1) e do tempo de contato (X_3) para $X_2=-2.0$

Fonte: Autoria própria, 2018.

A Tabela 4 mostra os resultados de turbidez e Brix após a filtração do caldo clarificado. A amostra de caldo diluído corresponde ao caldo *in natura* mais o volume de água pura que seria adicionado pela solução clarificante (volume de caldo mais 100 mL de água). Nesta tabela também são apresentados os resultados de redução da turbidez e diminuição do Brix.

Experimento	Turbidez [NTU]	Brix [%]	Redução da turbidez [%]	Diminuição do Brix [%]
Branco	0,0	0,0	-	-
Caldo diluído	633,0	12,5	-	-
1	385,0	12,0	39	4
2	14,9	12,0	98	4
3	208,0	10,0	67	20
4	132,0	12,0	79	4
5	143,0	12,5	77	0
6	67,6	12,0	89	4
7	252,0	10,5	60	16
8	10,4	11,5	98	8
9	14,1	11,0	98	12

10	89,2	12,5	86	0
11	4,8	12,0	99	4
12	13,9	10,0	98	20
13	18,1	10,0	97	20
14	4,92	11,0	99	12
15	70,6	7,0	89	44
16	552,0	12,0	13	4
17	769,0	12,0	-21	4
18	404,0	12,0	36	4

Tabela 4. Resultados de turbidez e Brix para os experimentos realizados.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Pela Tabela 4, pode ser notado que há redução da turbidez após os ensaios de clarificação. Os resultados corroboraram com o encontrado por Laksameethanasan *et al.* (2012) que também não visualizou diferenças significativas na redução da turbidez. Para o experimento 17, a turbidez foi aumentada, o que pode ser explicado por um erro experimental: durante os experimentos de turbidez notou-se um corpo de fundo no frasco, indicando a passagem de sólidos adsorvente pelo filtro. Não foi possível repetir o experimento devido a restrições de material. Essa tabela ainda mostra que a redução do Brix chegou a 44% no experimento 15. Contudo, perto da região de ótimo (ponto 5), não foi detectada redução de Brix do caldo clarificado.

4 | CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a capacidade de uma argila bentonita em clarificar caldo de cana *in natura* através de ensaios em batelada realizados em escala laboratorial. Constatou-se que a bentonita foi eficiente na adsorção de impurezas do caldo de cana-de-açúcar. Utilizando o PCC encontrou-se uma região de alta clarificação em pH's ácidos e temperatura próxima à ambiente. Os resultados experimentais mostraram que foi possível reduzir a cor do caldo de cana sem reduzir seu Brix. Como continuidade do trabalho, recomenda-se realizar um estudo para avaliar a viabilidade econômica do processo, o que poderia encorajar novos estudos experimentais.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) pelo fornecimento de insumos e equipamentos utilizados na realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. A. D. de. **Processo de clarificação do caldo de cana destinado à produção de açúcar branco insento de enxofre**. 2000. 3f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, UFPE, Recife, 2000.
- ARAÚJO, F. A. D. de. Processo do caldo de cana pelo método da bicarbonatação. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p.1-6, jul-dez. 2007.
- ARAÚJO, F. A. D. de. **Tratamento e clarificação do caldo da cana pelo método da bicarbonatação**. 2005. 36 f. TCC (Graduação) - Especialização em Tecnologia Ambiental, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2005.
- ARMOA, M. H. Clarificação de caldo de cana-de-açúcar por filtração tangencial em membrana compósita titânia/sílica. **Ciência & Tecnologia. Jaboticabal**, v. único, n. 1, p. 1-12, 2012.
- BANAT, F. A., AL-BASHIR, B., AL-ASHEH, S., HAYAJNEH, O. Adsorption of phenol by bentonite. **Environmental Pollution**, v. 107, p. 391-398, 2000.
- BERNARDI, R.; PARAÍSO, P. R.; JORGE, L. M. M. **Modelagem matemática da cinética de clarificação do caldo de cana mediante ozonização em reator batelada**. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ), Florianópolis-SC, 2014.
- BLADE, W. H.; BOULTON, R. Adsorption of protein by bentonite in a model wine solution. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 39, p. 193-199, 1988.
- CHAVES, L. H. G.; TIT, G. A. Cadmium and copper adsorption on bentonite: effects of pH and particle size. **Revista Ciência Agronômica**, v. 2, n. 2, p. 278-2011.
- CLARKE, M. A.; LEGENDRE, R. B. Qualidade da cana-de-açúcar: impactos no rendimento do açúcar e fatores da qualidade. **STAB**, v. 17, p. 36-40, 1999.
- FARINE, S.; BIAGINI, A.; CHASTAN, M. H.; ESTOUPAN, S.; PUIGSERVER, A. Degradation of sucrose during sugar processing I. **International Sugar Journal**, v. 102, n. 1215, p. 140-146, 2000.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food and agriculture data**. 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>>. Acesso em: 26 ago. 2018.
- HAMERSKI, F. **Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo da cana-de-açúcar**. 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- HANK, D.; AZI, Z.; AIT HOCINE, S.; CHAALAL, O.; HELLAL, A. Optimization of phenol adsorption onto bentonite by factorial design methodology. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, Boston, v. 20, p. 2256-2263, 2014.
- HILL, T. L. Statistical Mechanics of Multimolecular Adsorption. I. **The Journal of Chemical Physics**, v. 14, n. 4, p. 263-267, 1946.
- ICUMSA. Method G. S. 2/3-9. **The determination of white sugar solution colour** – official. International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis, 1994.
- KUMAR, N., COUZIS, A., MALDARELLI, C. Measurement of the kinetic rate constants for the adsorption of superspreading trisiloxanes to an air/aqueous interface and the relevance of these measurements to the mechanism of superspreading. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 267, n. 2, p. 272-285, 2003.

LAKSAMEETHANASAN, P., SOMLA, N., JANPREM, S., PHOCHUEN, N. Clarification of sugarcane juice for syrup production. **Procedia Engineering**, v. 32, p.141-147, 2012.

LARANJEIRA, E. **Modificação química de bentonita para uso em efluente industriais**. In Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT), Campos do Jordão-SP, 2010.

LIMA, R. B. **Processo de clarificação de caldo de cana-de-açúcar aplicando elétrons acelerados**. 2012. 61 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo-SP, 2012.

MANTELATTO, P. E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose de cana de açúcar por resfriamento**. 2005. 272 f. Tese (Pós-Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2005.

MORENO, C. C. Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. **Carbon**, v.42, p. 83-94, 2004.

PÁDUA, J. A. O amargo avanço da doçura. **Revista de História da Biblioteca Nacional**, Ano 8, n. 94, p. 19-21, 2014.

RADE, L. L. **Avaliação do uso de óleo de soja degomado e etanol supercrítico em processo contínuo não catalítico para produção de biodiesel**. 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

SARTORI, J. A. S. **Cinética química do decaimento de cor ICUMSA de caldo de cana-de-açúcar por reação de oxidação por peróxido de hidrogênio em reatores de fase homogênea**. 2014. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2014.

SARTORI, J. A. S.; AGUIAR, C. L. Clarificação de caldo de cana-de-açúcar por peróxido de hidrogênio: efeito da presença de dextrana. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 299-306, 2015.

SILVA, A.; FERREIRA, H. Argilas bentoníticas. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 3, p. 26-35, 2008.

VENARUZZO, J. L.; VOLZONE, C.; RUEDA, M. L.; ORTIGA, J. Modified bentonitic clay minerals as adsorbent of CO, CO₂ and SO₂ gases. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 56, p. 73–80, 2002.

XIFANG, S.; CHUN, L.; ZHANSHENG, W.; XIAOLIN, X.; LING, R.; HONGSHENG, Z. Adsorption of protein from model wine solution by different bentonites. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 15, 2007.

LOGÍSTICA REVERSA: UM LEVANTAMENTO SOBRE O PÓS-VENDA DE LÂMPADAS FLUORESCENTES COM COMERCIANTES DO BAIRRO CAPIM MACIO, NA CIDADE DO NATAL-RN

Glauber Henrique Borges de Oliveira Souto

Centro Universitário UniFacex. Curso de Ciências
Biológicas
Natal-RN

Claudiane da Silva

Escola Técnica do Centro Universitário UniFacex.
Curso Técnico em Meio Ambiente.
Natal-RN

Janayne Thayane de Souza Toscano

Escola Técnica do Centro Universitário UniFacex.
Curso Técnico em Meio Ambiente.
Natal-RN

RESUMO: A aplicação da logística reversa tornou-se relevante em função do crescimento da frequência das operações reversas nos últimos tempos. As empresas e a sociedade passaram a dar mais atenção para este tema, tendo em vista a conscientização da população e busca por mais produtos de procedência verde e com isso gerando uma vantagem competitiva entre as empresas que adotam esse tipo de política. No caso das lâmpadas fluorescentes, apenas 6% de seu subproduto são considerados rejeitos e podem ser destinados em aterros. Esse manuseio requer um pouco mais de atenção, pois elas possuem uma pequena quantidade de mercúrio que pode ser prejudicial à saúde. Portanto, é importante que seja feito o manejo

pós-uso e dar a destinação correta para essas lâmpadas. O presente estudo foi realizado com comerciantes de lojas de materiais de construção de pequeno e grande porte, localizados no bairro de capim-macio da cidade de Natal. Os questionários foram aplicados em quatro estabelecimentos do referido bairro. O direcionamento do questionário se deu a respeito de questões acerca da aplicação da logística reversa na empresa e se as mesmas detinham conhecimento sobre a Lei nº 12.305/2010, no art. 33. Após a aplicação das entrevistas foi possível verificar que a logística reversa de lâmpadas fluorescentes, algo que é obrigatório por lei, não é uma prática comum nas lojas de materiais de construção visitadas, sendo uma única loja que conhece e aplica a prática do recebimento pós-consumo das lâmpadas.

PALAVRAS-CHAVE: Logística reversa; Resíduo perigoso; Meio ambiente.

ABSTRACT: The application of reverse logistics has become relevant as a result of the increase in the frequency of reverse operations in recent. Companies and society started to pay more attention to this theme, in order to raise awareness of the population and search for more products of green origin and thus generating a competitive advantage among companies that adopt this type of policy. In the case of fluorescent lamps, only 6% of their by-

product are considered as tailings and can be disposed of in landfills. This handling requires a little more attention because they have a small amount of mercury that can be harmful to health. Therefore, it is important that the post-use management be done and give the correct destination for these lamps. The present study was carried out with retailers of small and large building materials stores, located in Capim Macio, Natal-RN. The quiz were applied to four establishments. The quiz was directed at questions about the application of reverse logistics in the company and whether they had knowledge about Law 12305/2010, in art. 33. After the application of the interviews it was possible to verify that the reverse logistics of fluorescent lamps, something that is obligatory by law, is not a common practice in the stores of visited construction materials, being a single store that knows and applies the practice of the post- consumption of lamps

KEYWORDS: Reverse logistics; Hazardous waste; Environment

1 | INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), como ficou conhecida a Lei nº 12.305/10, e seu regulamento, Decreto nº 7.404/10, torna obrigatória a Logística Reversa no Brasil.

De acordo com o inciso XII do artigo 3º da PNRS, a logística reversa é:

Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Para a prática exitosa da logística reversa, a PNRS baseia-se na responsabilidade compartilhada entre consumidor, comerciante e fabricante. Segundo Ramos et al. (2016) a Logística Reversa é uma dentre várias formas de viabilizar a prática da sustentabilidade, principalmente, no setor empresarial. Para Galvão et al. (2017) a Logística Reversa permite com que as empresas contribuam com a destinação ambientalmente adequada dos produtos após o uso pelo consumidor, independentemente, do serviço público de coleta.

Com o conhecimento e aplicação da Logística Reversa e da Responsabilidade Compartilhada pelos consumidores, as empresas começam a investir na conscientização ambiental, mostrando para a sociedade o seu compromisso com o meio ambiente e o descarte consciente dos seus resíduos. Segundo César e Sacomano Neto (2007), a prática da Logística Reversa agregará mais valores as empresas, tornando-as mais competitivas.

Para Mourão e Seo (2012), o cumprimento da Logística Reversa, assim como a proposta pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/10), impactará na estruturação e implantação deste sistema, uma vez que a referida Lei estabelece:

Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de: (Regulamento)

I - Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;

II - Pilhas e baterias;

III - Pneus;

IV - Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V - Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

VI - Produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2010).

Neste contexto da Logística Reversa Obrigatórias, destacamos a preocupação com o destino correto das lâmpadas fluorescentes. Segundo Melo Júnior et al (2013), o descarte incorreto das lâmpadas traz inúmeras preocupações à sociedade, dentre estas preocupações podemos citar as contaminações por mercúrio que podem ser incorporados nas cadeias alimentares, contaminar solo, água e provocar inúmeros danos à saúde humana (ARSENEU E OUELLETE, 1993; WALKER et al. 1996). Assim, se faz necessário tomarmos atenção à forma ambientalmente correta de destinação final deste resíduo (OLIVEIRA et al. 2012).

De acordo com Apliquim (2018), 94% dos subprodutos das lâmpadas fluorescentes são considerados como resíduos, e assim, devem ser tratados e reciclados. Já, os 6% restantes são classificados como rejeitos e devem ser destinados aos aterros sanitários. Em contraste a esta informação, no ano de 2007 o índice de reciclagem no Brasil de lâmpadas fluorescentes foi de 6% em relação às 100 milhões de unidades geradas (BACILA, 2014).

Isto nos mostra o quão é importante o conhecimento acerca da aplicação da Logística Reversa Obrigatória e da Responsabilidade Compartilhada proposta pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Dessa forma, este estudo visa mostrar o conhecimento e aplicação da logística reversa obrigatória e responsabilidade compartilhada entre os comércios que vendem lâmpadas fluorescente em um bairro da cidade do Natal-RN.

2 | METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado em março de 2015 com comerciantes de lojas de materiais de construção de pequeno e grande porte, localizados no bairro de Capim-macio da cidade de Natal (Figura 01).



Figura 01. Localização da área amostral onde foi aplicado os questionários sobre a logística reversa sobre o pós-venda de lâmpadas fluorescentes.

Escolhemos de forma aleatória, 04 estabelecimentos para aplicar um questionário. O direcionamento do questionário se deu a respeito de questões acerca da aplicação da logística reversa na empresa e se as mesmas detinham conhecimento sobre a Lei nº 12.305/2010, no art. 33.

O questionário era composto das seguintes questões:

- No estabelecimento tem local para receber lâmpadas usadas?
- As pessoas procuram o estabelecimento para destinar as lâmpadas usadas?
- Você poderia informar com é a forma correta de destinar as lâmpadas usadas?
- Vocês sabem o que é Logística Reversa?

Caso “sim”

- Vocês aplicam a Logística Reversa?

3 | RESULTADO E DISCUSSÃO

Através dos questionários, observamos que a maior parte dos comércios visitados/entrevistados não dispunha de local para receber as lâmpadas usadas (Figura 2), assim como desconheciam o conceito de Logística Reversa (Figura 3) e com relação à procura dos coletores de lâmpadas para a destinação pós-consumo pelos clientes nos estabelecimentos comerciais, constatamos através das entrevistas que a prática não existe.



Figura 2. Proporção de comércios entrevistados que apresenta coletor para lâmpada fluorescente.

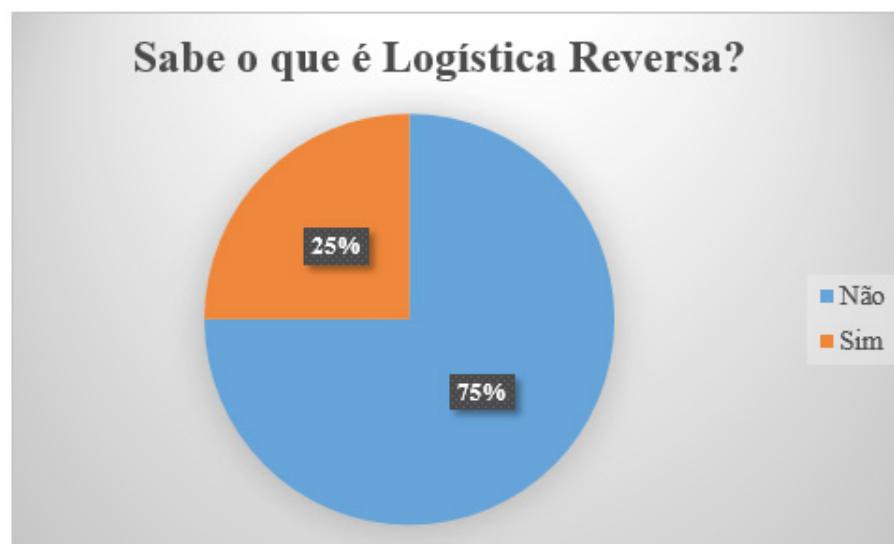


Figura 3. Proporção de comércios que conhecem o conceito de Logística Reversa.

Nos estabelecimentos comerciais em Lagarto – Sergipe, Ramos et al. (2016) observou que 88% dos comércios visitados/entrevistados não apresentavam ponto de coleta para lâmpadas. Já, Galvão et al. (2017) observou que 72% dos estabelecimentos entrevistados afirmaram não apresentarem locais para receber lâmpadas usadas. Estes dados obtidos em trabalhos correlatos, também se aplica ao nosso estudo.

De acordo com Ramos et al. (2016) a principal motivação para a falta de conhecimento sobre o recebimento de lâmpadas usadas pelos estabelecimentos comerciais está na falta de conhecimento do conceito de Logística Reversa. Esta afirmação, também, pode ser corroborada neste estudo, onde constatamos que os comércios que não apresentam coletores, são aqueles que desconhecem o conceito e aplicação da Logística Reversa.

4 | CONCLUSÃO

A partir deste estudo, podemos constatar que a falta de conhecimento dos comerciantes sobre a Lei nº 12.305/2010, no art. 33, implica diretamente na falta de procura pelos consumidores pelos coletores de descarte, impossibilitando uma destinação ambientalmente correta das lâmpadas fluorescente.

Porém, para constatarmos esta relação é necessário que estudos sejam realizados entre consumidores e comerciantes de Natal-RN.

Assim, fica esta provocação para que novos estudos sejam realizados e venham a contribuir e elucidar lacunas presentes neste estudo.

REFERÊNCIAS

- APLIQUIM BRASIL RECICLE. Sobre as Lâmpadas. Porto Alegre, 2018. Disponível em <http://www.apliquimbrasilrecicle.com.br/saibamais>. Acessado em: 10/08/2018.
- ARSENEAU, R.; OUELLETTE, M. The Effects of Supply Harmonics on the Performance of Compact Fluorescent Lamps. **IEE Engineering Science and Education Journal**, v. 2, n. 8, p. 473-479, 1993.
- BACILA, D. M. Estudo sobre reciclagem de lâmpadas fluorescentes, **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Edição Especial**, 2014.
- BRASIL. Lei Federal nº 12.305. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. Brasília. 02 de Agosto de 2010.
- CÉSAR, F. L. G.; SACOMANO NETO, M.; FARAH, O. E. Logística Reversa Integrada. In: **Anais... X Seminário em Administração- SEMEAD**. São Paulo: FEA--USP, 2007.
- GALVÃO, H. M.; SILVA, P. O. R.; ROSA, C. P. C.; BRAZ, J. V.; MORAES, T. E. A eficácia da logística reversa na cadeia de lâmpadas fluorescentes: um estudo na região do Vale do Paraíba. In: **Anais... XIV SEGeT Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 2017.
- MELO JÚNIOR, T. A.; DÂNDARO, F.; AMBROSETO, G.; TABAH, J. Estudo de Caso: coleta e logística reversa para lâmpadas fluorescentes no município de Franca, SP. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** v. 10, n. 10, p. 2091-2101, 2013.
- MOURÃO, R. F.; SEO, E. S. M. Logística Reversa de Lâmpadas Fluorescentes. **InterfacEHS Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade** v. 7, n. 3, p. 94-112, 2012.
- OLIVEIRA, J. C.; GABRIELE, C. S. M.; FIRMINO, S. F. G. F.; CUNHA, A. L. C.; MÁXIMO, H. O. M.; SANTOS, G. O. Estudo preliminar do destino final de lâmpadas fluorescentes pós-consumo em Fortaleza, Ceará. In: **Anais... VII CONNEPI – Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. Palmas, 2012.
- RAMOS, P. L. F.; ROCHA, R. M. SILVA JÚNIOR, J. E. S.; FRAGA, J. L. L.; MORAIS, A. S.; MORAIS, F. S.; SILVA, L. F. S.; NUNES, F. W. G. Logística reversa de lâmpadas fluorescentes na Cidade de Lagarto – SE. In: **Anais... XII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Calda**, 2016.
- WALKER, C.H.; HOPKIN, S.P.; SIBLY, R.M.; PEAKALL, D.B. **Principles of Ecotoxicology**. Bristol: Taylor & Francis, 1996

QUALIDADE DA ÁGUA CONSUMIDA EM ESCOLAS MUNICIPAIS DA ÁREA RURAL DE CERRITO ALEGRE, 3^o DISTRITO DE PELOTAS/RS

Catiúscia Weinert Mizuschima

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Sul – rio - grandense – Câmpus
Pelotas – Rio Grande do Sul

Jocelito Saccol de Sá

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Sul – rio - grandense – Câmpus
Pelotas – Rio Grande do Sul

Marília Guidotti Corrêa

Universidade Federal de Pelotas – Rio Grande do
Sul

Verifica-se a necessidade de periodicidade à limpeza dos reservatórios, tratamento de desinfecção da água consumida, desenvolvido e monitorado por profissionais habilitados, além de análises regulares da qualidade dessas águas, não só para atestar a eficiência das ações desenvolvidas, mas também para que se tenha um controle da qualidade da água que está sendo oferecida nestas escolas.

PALAVRAS-CHAVE: água para consumo humano, sistema de abastecimento.

RESUMO: A ocorrência de doenças transmitidas pela água pode afetar um grande número de pessoas, sendo que os mais suscetíveis ao risco de contrair essas doenças são as crianças, as pessoas debilitadas e os idosos. Desta forma este trabalho tem como objetivo, avaliar a qualidade da água consumida em duas escolas da área rural de Cerrito Alegre, 3^o distrito do município de Pelotas, RS. Em ambas as escolas, os parâmetros físico-químicos analisados estavam em conformidade com os padrões de potabilidade determinados pela portaria 2.914 do Ministério da Saúde, com exceção dos padrões de cloro residual livre. As análises microbiológicas indicaram presença de coliformes totais nas amostras de água coletadas nos reservatórios abrangidos pelo sistema de abastecimento das duas escolas.

ABSTRACT: The emergence of waterborne diseases can affect a large number of people, the more susceptible to the risk of contracting these diseases are children, the infirm and the elderly. Thus this study aims to assess the quality of water consumed in two schools in the rural area of Cerrito Alegre, 3^o district of the city of Pelotas, RS. In both schools, the physicochemical parameters were analyzed in accordance with the potability standards set by ordinance 2914 the ministry of health, with the exception of free residual chlorine standards. Microbiological analysis showed the presence of total coliforms in water samples collected in the reservoirs covered by the supply system of the two schools. There is a need to schedule the cleaning of tanks, disinfection treatment of water consumed, developed and monitored by

qualified professionals, in addition to regular reviews of the quality of the water, not only to attest to the effectiveness of actions taken, but also that has a control of water quality being offered in these schools.

KEYWORDS: water for human consumption, supply system.

1 | INTRODUÇÃO

O consumo de água é fundamental para a sobrevivência humana. No entanto os mananciais hídricos têm sofrido com a degradação imputada por atividades antrópicas. Segundo Heller e Pádua (2006), o aumento das atividades industriais e agrícolas e o crescimento populacional, aumentam a demanda por água ao mesmo tempo em que colaboram para deterioração da sua qualidade.

As características físicas, químicas e biológicas das águas naturais estão diretamente relacionadas à sua qualidade. Estas características são decorrentes de uma série de processos dinâmicos que ocorrem na bacia hidrográfica e no corpo hídrico e são oriundas da capacidade de dissolução de inúmeras substâncias pela água e pelo transporte de partículas devido ao escoamento superficial e subterrâneo (LIBÂNIO, 2010). No entanto esses atributos podem causar um excesso de impurezas na água, que se consumida pode até provocar a ocorrência de doenças.

A ocorrência de doenças de veiculação hídrica pode afetar um grande número de pessoas. Segundo a Organização Panamericana da Saúde (OPS, 2000), os mais suscetíveis ao risco de contrair doenças transmitidas pela água são as crianças, as pessoas debilitadas e os idosos.

As diversas formas de abastecimento, que geralmente se dão de acordo com a localização, também podem interferir na qualidade da água consumida. Enquanto na área urbana 93,87% dos domicílios estão ligados à rede de distribuição de água, na zona rural apenas 33,4% dos domicílios estão ligados a redes de distribuição de água com ou sem canalização interna e nos 66,6% dos domicílios restantes, a população faz uso de outras formas de abastecimento, ou seja, soluções alternativas, coletivas ou individuais, onde geralmente a água não dispõe de tratamento o que a torna, ocasionalmente, inadequada para consumo humano (FUNASA, 2014).

Independente da sua localização ou forma de abastecimento, a população deve consumir água de boa qualidade. O acesso à água potável é essencial para a saúde, um direito humano básico e um componente de políticas eficazes para a proteção da saúde (WHO, 2011).

No Brasil a portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde, que trata sobre os critérios para vigilância e controle da água para consumo humano bem como os padrões de potabilidade, estabelece que toda a água designada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve passar por procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da

água (BRASIL, 2011).

E ainda de acordo com Libânio (2010), a vigilância da qualidade da água constitui-se em uma gama de atividades que buscam identificar e avaliar os potenciais riscos advindos da água para consumo humano, e a consonância entre procedimentos de vigilância eficazes e padrões de potabilidade restritivos, contribuirá para a preservação da saúde da população abastecida.

Neste contexto e tendo como premissa a importância da qualidade da água para consumo humano o objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade da água consumida em duas escolas da área rural de Cerrito Alegre, 3º distrito do município de Pelotas, RS.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo ocorreu na área rural de Cerrito Alegre, no 3º distrito do município de Pelotas, nas duas escolas municipais de ensino fundamental completo existentes na região.

O município de Pelotas está localizado nas coordenadas de latitude 31°45'58.24" Sul e longitude 52°20'18.45" Oeste. Pelotas possui uma população de 328.275 habitantes, distribuídos em cerca de 305.696 habitantes na área urbana e 22.082 na área rural, é considerada a terceira cidade mais populosa do estado e uma das capitais regionais do Brasil (PELOTAS, 2016b).

Em divisão territorial datada de 2007, a cidade é constituída de nove distritos: Pelotas (sede), Cascata, Cerrito Alegre, Colônia Z/3, Monte Bonito, Quilombo, Rincão da Cruz, Santa Silvana e Triunfo, e esta divisão permanece até os dias atuais (IBGE, 2013).

As escolas que serviram como objeto deste estudo, foram aqui denominadas Escola 1 e Escola 2.

A Escola 1, localiza-se nas coordenadas de latitude 31°35'26.84" Sul e longitude 52°20'59.45" Oeste, possui cerca de 248 alunos do ensino fundamental e 45 funcionários (PELOTAS, 2016c).

A Escola 2, localiza-se nas coordenadas de latitude 31°31'11.44" Sul e longitude 52°16'46.89" Oeste. Essa escola possui cerca de 186 alunos do ensino fundamental e 31 funcionários (PELOTAS, 2016c).

O sistema de abastecimento da Escola 1 (Figura 1), possui como fonte de captação de água um poço artesiano, com profundidade de 148 m. Esse poço além de promover o abastecimento de água da escola, abastece 13 residências na comunidade.

Nessa escola a água consumida passa por tratamento de desinfecção, realizado por adição de hipoclorito de sódio com bomba dosadora. Após a captação, a água segue para um reservatório na parte inferior e enquanto sobe para o reservatório superior, recebe o tratamento e então passa a ser distribuída nas dependências da

escola.

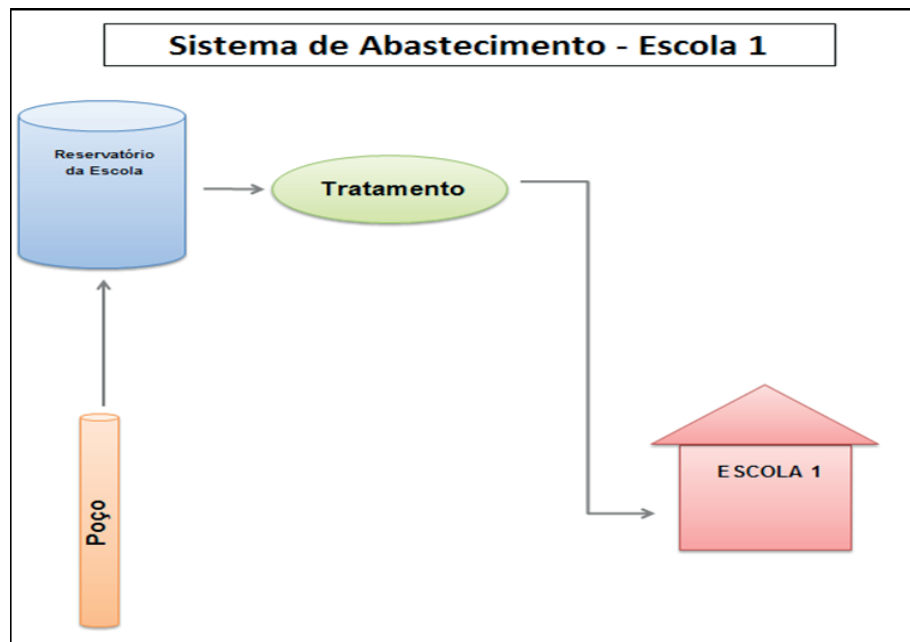


Figura 1: Sistema de Abastecimento de água da Escola 1.

O sistema de abastecimento da Escola 2 (Figura 2), é composto por dois poços artesanais, com 124 m e 192 m de profundidade respectivamente. Esses poços além de fornecer água para a escola, também são responsáveis por abastecer 117 residências na comunidade.

A Escola 2 recebe água dos dois poços de forma aleatória, e esta água passa eventualmente por três reservatórios de distribuição antes de chegar ao reservatório interno da escola. Essa escola possui um sistema de desinfecção da água semelhante ao da Escola 1.

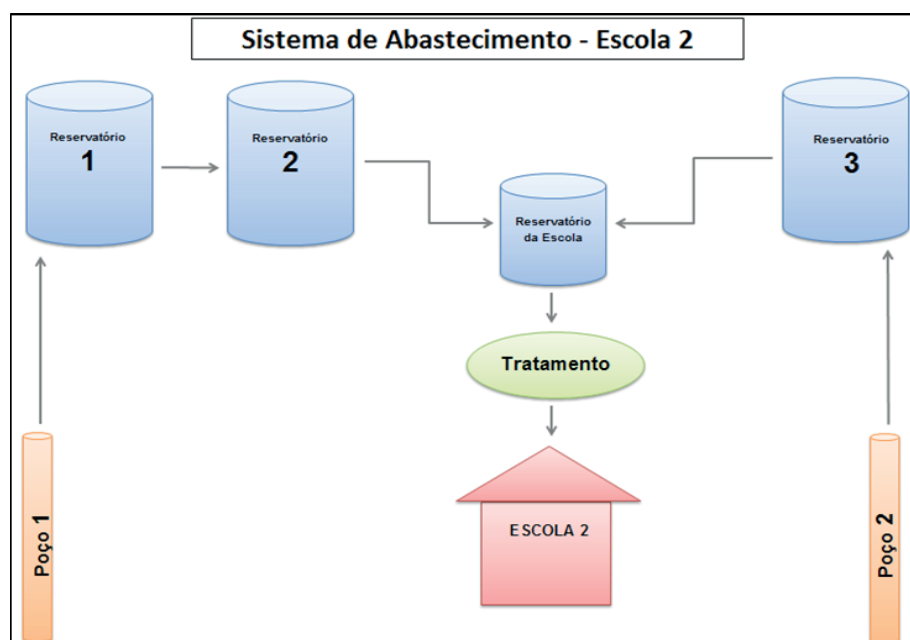


Figura 2: Sistema de Abastecimento de água da Escola 2.

O período de coleta e as análises das amostras ocorreram durante os meses de

maio, junho e julho de 2016.

A coleta, preservação, acondicionamento, transporte e armazenamento das amostras para as análises físico-químicas, seguiram o descrito no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (BRASIL, 2011). Foram utilizados frascos plásticos acompanhados de uma ficha com informações do local. Esses frascos foram devidamente higienizados, identificados e, previamente à coleta, foram ambientados com a respectiva amostra.

Na Escola1, foram coletadas amostras de água bruta, proveniente do poço artesiano a jusante do reservatório, amostras da água do interior do reservatório e amostras da saída de água dos bebedouros. Cabe ressaltar que nessa escola o bebedouro consiste em um local onde estão instaladas quatro torneiras de PVC.

Na Escola 2, foram coletadas amostras de água bruta dos pontos de captação de dois poços artesanais. Também foram coletadas amostras da água contida nos reservatórios de distribuição e do reservatório interno da escola, além de amostras de água da saída dos bebedouros localizados na escola. Nessa escola o bebedouro é do tipo convencional.

Após as coletas os frascos foram armazenados em bolsa térmica com gelo e transportados até o Laboratório de Análises de Águas e Efluentes da Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim – Universidade Federal de Pelotas.

As normas e os padrões de potabilidade frequentemente referem-se à qualidade bacteriológica da água, complementada pelos parâmetros físico-químicos de turbidez e cloro residual, com toda sua conotação sanitária (BRASIL, 2006).

Nas análises físico-químicas foram determinados os parâmetros de pH, turbidez e cloro residual livre das amostras de água, determinou-se também, valores de alumínio, ferro, manganês, sódio e dureza total.

Para essas análises utilizaram-se as amostras de água bruta da saída da captação de água dos poços artesanais e amostras de água da saída dos bebedouros.

Para determinação de pH, foi utilizado um pHmetro de bancada da marca Quimis, modelo Q400AS. Para determinação da turbidez, foi utilizado um turbidímetro portátil da marca Quimis, modelo Q279P.

A determinação de cloro residual livre em águas seguiu a metodologia do *Standard Methods for Examination of Water and Wasterwater* (2005), que consiste na determinação de cloro residual livre por titulação da amostra com tiosulfato de sódio. As análises de alumínio, ferro, manganês, sódio e dureza total foram realizadas através da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Induzido por Micro-ondas (MIP OES).

Já para as análises microbiológicas utilizaram-se as amostras de água bruta da saída da captação de água dos poços artesanais, as amostras de água de todos os reservatórios e as amostras de água da saída dos bebedouros.

Para as análises microbiológicas também se utilizou a metodologia descrita conforme o *Standard Methods for Examination of Water and Wasterwater* (2005). As

amostras foram coletadas em frascos previamente esterilizados e conservados em solução de Tiosulfato de Sódio e EDTA, estes frascos também foram identificados e acompanhados de uma ficha com informações do local. Os bebedouros e torneiras foram esterilizados com álcool 70% e permitiu-se a vazão da água a ser coletada durante o tempo de 3 a 5 minutos antes da efetiva coleta.

Na análise microbiológica foi determinada a presença do Número Mais Provável em 100 mL de amostra, de coliformes totais e *Escherichia coli*, através da técnica de Tubos Múltiplos.

A técnica utilizada para quantificação de Coliformes Totais e *Escherichia coli* em amostras de água foi a dos Tubos Múltiplos em meio cromogênico, Fluorocult®. Em três séries de cinco tubos foram inoculadas alíquotas de 10 mL, 1 mL e 0,1mL das amostras coletadas em 10 mL de meio e posteriormente levadas a incubação por 24 h, a uma temperatura de $35\pm 2^{\circ}\text{C}$. Passado esse período, o meio apresentou uma coloração verde esmeralda, detectar-se-ia a presença de coliformes totais e ao ser exposto a luz ultravioleta apresentaria uma fluorescência, a qual determinaria a presença de *Escherichia coli*.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mediante as análises físico-químicas realizadas nas amostras de água coletadas na Escola 1 e na Escola 2 foram obtidos os resultados, segundo seus pontos de coleta, apresentados na Tabela 1 e Tabela 2 respectivamente.

Ponto de Coleta	Parâmetro	¹ VMP	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
Bebedouro	Turbidez (² uT)	5	0,04	0,04	0,04
	pH	6 a 9,5	6,81	7,40	6,63
	Cloro (mg/L)	0,5 a 2	2,16	1,69	1,29
	Alumínio (mg/L)	0,2	³ ND	ND	ND
	Ferro (mg/L)	0,3	ND	ND	ND
	Manganês (mg/L)	0,1	ND	ND	ND
	Sódio (mg/L)	200	3,73	17,88	14,79
	Dureza Total (mg/L)	500	19,55	15,20	17,73

Poço Artesiano	Turbidez (uT ²)	5	0,04	0,04	0,04
	pH	6 a 9,5	6,52	7,13	6,40
	Cloro (mg/L)	0,5 a 2	-	-	-
	Alumínio (mg/L)	0,2	ND	ND	ND
	Ferro (mg/L)	0,3	ND	0,01	ND
	Manganês (mg/L)	0,1	ND	ND	ND
	Sódio (mg/L)	200	3,67	16,10	14,54
	Dureza Total (mg/L)	500	19,33	14,15	26,38

Tabela 1 – Análises físico-químicas de amostras de água coletadas em pontos da Escola 1.

*Limite de detecção do método (mg/L): Al (0,003); Fe (0,015); Mn (0,011); Na (0,002).

¹VMP– Valor Máximo Permitido, segundo a portaria 2.914 do Ministério da Saúde de 2011.

²uT – Unidade de Turbidez

³ND – Não Detectado

Nas amostras coletadas na Escola 1 todos os parâmetros analisados estavam em conformidade com os padrões de potabilidade determinados pela portaria 2.914 do Ministério da Saúde, contudo, a quantidade de cloro residual livre constatada na primeira análise estava fora do recomendado (Tabela 1). De acordo com a respectiva legislação, o valor mínimo de cloro residual livre deve ser 0,5 mg/L e o valor máximo permitido é de até 5 mg/L, porém, é recomendado que o teor máximo de cloro residual livre seja de 2 mg/L em qualquer ponto do sistema de abastecimento (BRASIL, 2011).

Ponto de Coleta	Parâmetro	¹ VMP	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
Bebedouro	Turbidez (² uT)	5	0,04	0,04	0,04
	pH	6 a 9,5	7,22	7,58	7,35
	Cloro (mg/L)	0,5 a 2	³ ND	ND	ND
	Alumínio (mg/L)	0,2	ND	ND	ND
	Ferro (mg/L)	0,3	ND	ND	ND
	Manganês (mg/L)	0,1	ND	ND	ND
	Sódio (mg/L)	200	41,87	54,31	42,22
	Dureza Total (mg/L)	500	27,28	25,03	26,00
Poço Artesiano 1	Turbidez (uT ²)	5	0,04	0,08	0,04
	pH	6 a 9,5	6,86	7,50	7,20
	Cloro (mg/L)	0,5 a 2	-	-	-
	Alumínio (mg/L)	0,2	ND	ND	ND
	Ferro (mg/L)	0,3	ND	0,02	ND
	Manganês (mg/L)	0,1	0,22	0,21	0,24
	Sódio (mg/L)	200	32,33	43,64	35,38
	Dureza Total (mg/L)	500	57,10	39,05	56,63

Poço Artesiano 2	Turbidez (uT ²)	5	0,04	0,04	0,04
	pH	6 a 9,5	7,59	7,89	7,42
	Cloro (mg/L)	0,5 a 2	-	-	-
	Alumínio (mg/L)	0,2	ND	ND	ND
	Ferro (mg/L)	0,3	ND	ND	ND
	Manganês (mg/L)	0,1	ND	ND	ND
	Sódio (mg/L)	200	31,22	50,16	40,42
	Dureza Total (mg/L)	500	28,38	23,83	52,05

Tabela 2 – Análises físico-químicas de amostras de água coletadas em pontos da Escola 2.

*Limite de detecção do método (mg/L): Al (0,003); Fe (0,015); Mn (0,011); Na (0,002).

¹VMP– Valor Máximo Permitido, segundo a portaria 2.914 do Ministério da Saúde de 2011.

²uT – Unidade de Turbidez

³ND – Não Detectado

Nas amostras coletadas na Escola 2, a maior parte dos parâmetros estavam em conformidade com a portaria citada anteriormente, exceto os valores de cloro residual livre das amostras de água dos bebedouros da escola e os valores de manganês nas amostras de água provenientes do Poço 1.

Embora exista o sistema de tratamento por desinfecção da água na escola, este estava inoperante, portanto em nenhuma das análises foi constatada a presença de cloro residual livre. Nesse caso, a ausência de tratamento é que implica no descumprimento da exigência da portaria 2.914/11, a qual determina que toda a água destinada ao consumo humano, fornecida de forma coletiva, deverá passar por desinfecção ou cloração (BRASIL, 2011).

Referente à água distribuída para a Escola 2, os valores de manganês extrapolaram o máximo permitido em todas as análises das amostras de água extraídas do Poço 1. O valor máximo permitido segundo Brasil (2011), é de 0,1 mg/L e nas três análises foram obtidos respectivamente os valores de 0,22 mg/L, 0,21 mg/L e 0,24 mg/L (Tabela 2).

O manganês ocorre de forma natural nas águas superficiais e subterrâneas, podendo muitas vezes estar associado à presença de ferro (TELLES, 2013). Nas concentrações normalmente encontradas nas águas naturais, não apresenta significado sanitário e os inconvenientes provocados pela sua presença são de natureza estética e, além disso, não existe um consenso universal sobre o padrão de potabilidade para essa substância, enquanto o padrão de potabilidade brasileiro é de 0,1 mg/L, o padrão americano e canadense limitam este padrão a 0,05 mg/L ao passo que a Organização Mundial de Saúde admite o valor de 0,4 mg/L (LIBÂNIO, 2010).

Segundo dados da WHO (2011), o padrão de potabilidade para manganês de 0,4 mg/L, não provoca danos a saúde, porém, existe a possibilidade da não aceitação desta água por parte dos usuários em função da possível aparência, sabor e odor decorrentes da presença de manganês nessas quantidades na água.

Apesar do Poço 1 ser contribuinte de abastecimento para a água consumida na Escola 2, não foram detectados valores de manganês através do método utilizado nas amostras coletadas na escola. Por conseguinte e segundo os valores obtidos nas amostras coletadas nessa escola os padrões de potabilidade da água consumida na Escola 2, que é objeto principal neste estudo, não foram infringidos. É provável que esse fato tenha ocorrido em função da aleatoriedade do abastecimento feito pelo Poço 1 e pelo Poço 2, visto que a escola recebe água dos dois poços mas sem muito critério. As amostras de águas coletadas na escola podem ter sido provenientes, no momento da coleta, do Poço 2, o qual também não apresentou valores detectáveis para manganês em suas amostras, ou pode ter sido a mistura da água dos dois poços, tornando diluída e conseqüentemente menor a presença de manganês na água da escola.

Os resultados das análises microbiológicas realizadas em amostras de água coletadas na Escola 1 e na Escola 2 são apresentados na Tabela 3 e Tabela 4 respectivamente.

Ponto de Coleta	Parâmetro	Unidade	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
Bebedouro	Coliformes Totais	¹ NMP/100mL	² ND	ND	ND
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	ND	ND	ND
Reservatório da Escola	Coliformes Totais	NMP/100mL	13	ND	2,0
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	ND	ND	ND
Poço Artesiano	Coliformes Totais	NMP/100mL	ND	ND	ND
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	ND	ND	ND

Tabela 3 – Análises microbiológicas de Coliformes Totais e *Escherichia coli* de amostras de água coletadas em pontos da Escola 1.

*Padrão microbiológico da água para consumo humano: Ausência de *Escherichia coli* em 100 mL (BRASIL, 2011).

¹NMP – Número Mais Provável

²ND – Não Detectado

Ponto de Coleta	Parâmetro	Unidade	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
Bebedouro	Coliformes Totais	¹ NMP/100mL	4,5	² ND	7,8
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	ND	ND	ND
Reservatório da Escola	Coliformes Totais	NMP/100mL	7,8	ND	ND
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	ND	ND	ND
Poço Artesiano 1	Coliformes Totais	NMP/100mL	ND	ND	ND
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	ND	ND	ND
Reservatório 1 (Poço 1)	Coliformes Totais	NMP/100mL	ND	49	4,0
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	ND	ND	ND

Reservatório 2	Coliformes Totais	NMP/100mL	1,8	11	9,3
(Poço 1)	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	ND	ND	ND
Poço Artesiano 2	Coliformes Totais	NMP/100mL	ND	ND	ND
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	ND	ND	ND
Reservatório 3	Coliformes Totais	NMP/100mL	ND	ND	2,0
(Poço 2)	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	ND	ND	ND

Tabela 4 – Análises microbiológicas de Coliformes Totais e *Escherichia coli* de amostras de água coletadas em pontos da Escola 2.

*Padrão microbiológico da água para consumo humano: Ausência de *Escherichia coli* em 100 mL (BRASIL, 2011).

¹NMP– Número Mais Provável

²ND – Não Detectado

As análises microbiológicas realizadas nas amostras de água bruta provenientes dos poços artesianos, os quais são responsáveis pelo abastecimento das duas escolas não indicaram a presença de contaminação por coliformes totais e *Escherichia coli*.

Para essas amostras era possível pressupor a obtenção de bons resultados, visto que águas subterrâneas normalmente não apresentam este tipo de contaminação. Segundo Heller e Pádua (2006), frequentemente as águas subterrâneas apresentam características perfeitamente em conformidade com os padrões de potabilidade e entre as vantagens apresentadas por essas águas está a ausência de bactérias normalmente encontradas nas águas superficiais, a ausência dessas bactérias ocorre devido à autodepuração sofrida pelas águas que infiltram no solo através da percolação em sua zona não saturada e no subsolo, estas águas sofrem processos bio-físico-geoquímicos de interação água/rocha e de filtração lenta, para posteriormente atingirem o manancial subterrâneo.

Apesar disso, foi constatada a presença de coliformes totais em amostras coletadas em todos os reservatórios abrangidos pelos sistemas de abastecimento das duas escolas em pelo menos uma das coletas.

Na Escola 1 foram obtidos resultados positivos para coliformes totais na água contida no reservatório da escola, como pode ser observado na Tabela 3. Esses resultados podem estar relacionados com a estrutura física do reservatório, uma vez que, este apresentava problemas na vedação da tampa a qual também estava danificada, como pode ser observado na Figura 3. Esses fatores podem colaborar para entrada de impurezas carregadas pela água da chuva e pelo vento, além de possibilitar a entrada de pequenos animais e insetos.



Figura 3: Condições externas e internas do reservatório da água consumida na Escola 1.

Enquanto que na Escola 2 além do resultado positivo para coliformes totais em todos os reservatórios de distribuição, obteve-se o mesmo resultado para o reservatório interno da escola e para os bebedouros, é provável que o resultado positivo para os referidos reservatórios tenha ocorrido em função das condições de limpeza do interior dos mesmos (Figura 4).

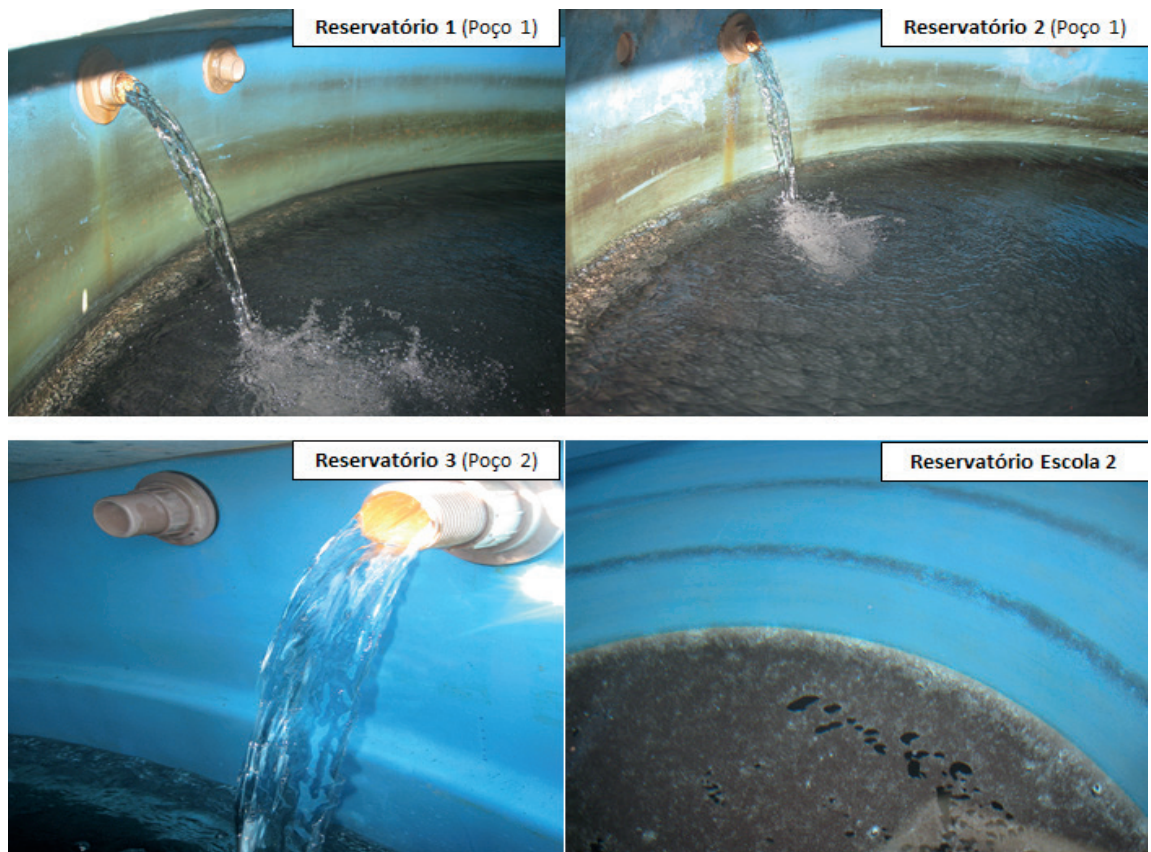


Figura 4: Parte interna dos reservatórios do sistema de distribuição da água consumida na Escola 2.

Os resultados do presente estudo vem a corroborar com o que afirmam Rocha et al. (2010), ao dizer que a contaminação da água pode ser causada na captação

através do sistema público, porém na maioria das vezes pode estar relacionado à má condição de higiene da tubulação e dos reservatórios de água.

Na água dos bebedouros os resultados acabam sendo um reflexo do sistema de abastecimento. A Escola 1 apesar de apresentar ocasionalmente coliformes totais na água contida em seu reservatório, possui o tratamento de desinfecção operando constantemente, o que acaba por inativar os microrganismos presentes na água a ser consumida.

Já na Escola 2, levanta-se a hipótese de que as águas que contribuem para o abastecimento do reservatório da escola, por serem provenientes de outros reservatórios que também apresentaram contaminação por coliformes totais, pode ter interferido na qualidade da água existente nesse reservatório. Entretanto devem ser considerados todos os fatores que afetam a qualidade dessa água, tanto o fato de que existe a possibilidade da água chegar à escola já contaminada e o fato, que pode ser observado na Figura 4, de que as condições de limpeza do reservatório são propícias ao desenvolvimento de bactérias do tipo coliformes totais.

Apesar de existir um sistema tratamento por desinfecção da água consumida na Escola 2, este se encontrava desativado durante o período em que se realizou este estudo, condição essa que contribuiu para a passagem da água contaminada contida em todos os reservatórios envolvidos no sistema de abastecimento para o bebedouro.

Em um estudo realizado por Casali (2008), obteve-se resultados positivos para coliformes totais na água consumida em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul. Araújo et al. (2011), avaliaram a qualidade microbiológica da água para consumo humano em uma comunidade rural no estado de São Paulo, e também observaram a presença de coliformes totais nessa água.

Segundo a portaria 2.914 do Ministério da Saúde, as águas destinadas ao consumo humano devem ser ausentes de *Escherichia coli*, e quando no controle da qualidade da água, forem detectadas amostras com resultados positivos para coliformes totais, mesmo em ensaios presuntivos, medidas corretivas devem ser tomadas. E até que revelem resultados satisfatórios, novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos (BRASIL, 2011). A partir daí é possível inferir que, a constatação de coliformes totais já é o suficiente para a reprovação de determinada água, levando os responsáveis a buscar formas de corrigir a causa desta contaminação.

4 | CONCLUSÃO

Conclui-se através desse estudo que a água proveniente dos poços artesianos analisados, apresenta características físicas, químicas e microbiológicas em sua grande maioria em conformidade com os padrões de potabilidade de acordo com portaria 2.914 do Ministério de Saúde, com exceção dos valores de manganês das amostras

coletadas do Poço Artesiano 1 da Escola 2, que extrapolaram o valor máximo pela mesma portaria.

As amostras de água coletadas nos reservatórios de distribuição de ambas as escolas não atenderam os padrões exigidos pela legislação específica, principalmente em relação à presença de coliformes totais em pelo menos uma das análises realizadas, essa contaminação é comumente atribuída à higiene e/ou integridade da estrutura física dos reservatórios estarem comprometidas.

Recomenda-se, portanto, limpeza periódica dos reservatórios, tratamento de desinfecção da água consumida, desenvolvido e monitorado por profissionais habilitados ou até mesmo funcionários da escola após treinamento e análises regulares da qualidade dessas águas, não só para atestar a eficiência das ações desenvolvidas, mas também para que se tenha um controle da qualidade da água que está sendo oferecida nestas escolas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Glauco Fernando Ribeiro et al. Qualidade físico-química e microbiológica da água para o consumo humano e a relação com a saúde: estudo em uma comunidade rural no estado de São Paulo. **O Mundo da Saúde**, São Paulo: 2011; 35(1):98-104.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acessado em 05 ago. 2016.

BRASIL, Brasília-DF. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**, 2011. Disponível em: <<http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/guia-nacional-coleta-2012.pdf>>. Acessado em 03 de ago. de 2016.

BRASIL, Brasília-DF. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**, 2006. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>. Acessado em 16 de ago. de 2016

CASALI, Carlos Alberto. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS, Brasil: UFSM. Dissertação, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2008.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde, Ministério da Saúde. **Panorama do Saneamento no Brasil, 2014**. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/saneamento-rural/panorama-do-saneamento-rural-no-brasil/>>. Acessado em 08 de jul. de 2016.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte/MG: UFMG, 2006

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio Grande do Sul / Pelotas 2013. Disponível em: <<http://ibge.gov.br/cidadesat/painel/historico.php?lang=&codmun=431440&search=rio-grande-do-sullpelotaslinfograficos:-historico>>. Acessado em 24 jul. 2016.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água** 3ª Ed. Campinas/SP: Átomo, 2010

TELLES, Dirceu D'Alkmin. **Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão** 1ª Ed.. São Paulo/SP: Edgard Blucher Ltda., 2013

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS), **La salud y el ambiente en el desarrollo sostenible**, 2000. Disponível em: <http://www1.paho.org/hq/dmdocuments/salud-ambiente-desarrollo-sostenible2000.pdf>. Acessado em 21 jun. 2016.

PELOTAS 2016a, Prefeitura Municipal. **Mapa Cadastral do Município de Pelotas**. Disponível em: <<http://www.pelotas.com.br/servicos/inc/arquivos/rural-cadastral.pdf>>. Acessado em 24 jul. 2016.

PELOTAS 2016b, Prefeitura Municipal. **Dados Gerais**. Disponível em: <<http://www.pelotas.rs.gov.br/cidade/dados-gerais.php>>. Acessado em 24 jul. 2016.

PELOTAS 2016c, Prefeitura Municipal, Secretaria Municipal da Educação. **Escolas municipais de ensino Fundamental**. Disponível em: <http://www.pelotas.com.br/educacao/centraldematriculas/menu/arquivos/escolas_Rede_Municipal.pdf>. Acessado em 06 ago. 2016.

ROCHA, Elissandro Santos et al. **Análise microbiológica da água de cozinhas e/ou cantinas das instituições de ensino do município de Teixeira de Freitas (BA)**. Revista Baiana de Saúde Pública, Bahia, v.34, n.3, p.694-705, 2010.

STANDARD METHODS: for examination of water and wastewater 21th Edição (2005). **Manual de Métodos Analíticos**. Laboratório de análises de Águas e Efluentes, Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim – UFPel.

WHO - World Health Organization, **Guidelines for Drinking-water Quality** 4ª Ed., 2011. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf>. Acessado em 05 ago. 2016.

SOBRE O ORGANIZADOR

Luís Fernando Paulista Cotian, atualmente é professor magistério superior substituto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR câmpus Guarapuava. Formado em Engenharia de Produção pela Universidade de Franca – SP. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa, linha de pesquisa Engenharia Organizacional e Redes de Empresas - EORE. Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa, linha de pesquisa Otimização e Tomada de Decisão, com previsão de conclusão 2021.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-084-1

