



PROCESSOS QUÍMICOS E BIOTECNOLÓGICOS

1

volume



Editora Pearson

Editora Poisson

Processos Químicos e Biotecnológicos

Volume 1

1ª Edição

Belo Horizonte

Poisson

2019

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
Msc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
Msc. Fabiane dos Santos Toledo
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
Ms. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P963

**Processos Químicos e Biotecnológicos -
Volume 1: Editora Poisson - Belo
Horizonte - MG:Poisson, 2019**

Formato: PDF

ISBN: 978-85-7042-129-6

DOI: 10.5935/978-85-7042-129-6

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

**1. Química 2. Biotecnologia 3. Engenharia
I. Título**

CDD-660

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

www.poisson.com.br

contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Determinação das cinéticas de desidratação osmótica e secagem de pêssegos 07

Bárbara Ambrósio Archanjo, Priscilla Carvalho Veggi, Lúvia Chaguri e Carvalho

Capítulo 2: Avaliação da influência das condições operacionais de secagem em leite de jorro na manutenção dos componentes fenólicos do cubiu 13

Maiara Lopes Ferreira Sales, Luyara de Almeida Cavalcante, Ocicleide Custódio da Silva, Yanne Katiussy Pereira Gurgel Aum

Capítulo 3: Secagem de castanha do Brasil (*Bertholletia Excelsa*): Cinética e contração volumétrica 20

Rafael Alves do Nascimento, Raylime Louise Tavares Costa, Elisangela Lima Andrade, Elza Brandão Santana, Cristiane Maria Leal Costa, Lênio José Guerreiro de Faria

Capítulo 4: Influência do tempo na hidrocarbonização do bagaço de cana-de-açúcar 24

Helida Monique Cordasso Fagnani, Maria Angélica Simões Dornelas de Barros, Murilo Pereira Moisés, Pedro Augusto Arroyo

Capítulo 5: Estudo da influencia do processo da sintetização de carvões ativados obtidos a partir do bagaço de cana-de-açúcar 30

Larissa Azevedo Soares, Angelinne Costa Alexandrino, Carlson Pereira de Souza, Andre Luis Lopes Moriyama, Márcia Maria Lima Duarte

Capítulo 6: Calor específico de polpas de frutas da região norte do Brasil estudo de caso: Açaí (*Euterpe Oleracea*, Mart.) 37

Ana Caroline Pereira Dias, Marcelo Dérick Oliveira das Chagas, Fabriele de Sousa Ferraz, Manoel Messias Alvino de Jesus, Lina María Grajales

Capítulo 7: Influência da granulometria do talo de açaí na adsorção do corante têxtil rodamina 6g em leito fixo 42

Raíssa Cristine Santos de Araújo, Raylime Louise Tavares Costa, Débora Freitas da Silva, Hellen Carvalho Barros, Lênio José Guerreiro de Faria

Capítulo 8: Aproveitamento de casca de mandioca e palha de milho para produção de goma xantana 46

Juliana Albuquerque da Silva, Elisiane Cristina Andrade Reis, Denilson de Jesus Assis, Gleice Valeria Pacheco Gomes, Janice Izabel Druzian

SUMÁRIO

Capítulo 9: Caracterização energética da fibra da casca do coco com posterior produção de briquete..... 52

Ailton Freitas Balieiro Ferreira, Agnes Danilo Fernandes da Costa, Mara Rosana de Carvalho Moraes, Luan Bruno Pinho Flores, Renan Teixeira Baia, Schilene de Oliveira Moreno

Capítulo 10: Conservação de alface hidropônica sob refrigeração não isotérmica 59

Fernanda Raquel Wust Schmitz, Isadora de Andrade Paulo, Tuany Gabriela Hoffmann, Sávio Leandro Bertoli, Lisiane Fernandes de Carvalho, Carolina krebs de Souza

Capítulo 11: Análise físico-química da lecitina de soja clarificada 66

Letícia Vieira Castejon, Kássia Graciele dos Santos, Vinícius Salgado Cardoso, Eduardo Santos Almeida, José Roberto Delalibera Finzer

Capítulo 12: Comportamento reológico da polpa do fruto cubiu à diferentes temperaturas 71

Luyara de Almeida Cavalcante, Maiara Lopes Ferreira Sales, Franz Berbert Ferreira, Yanne Katlussy Pereira Gurgel Aum, Ocilde Custódio da Silva

Capítulo 13: Structure and Rheological Behavior of cassava starch solutions for application in food products 78

Ádina Lima de Santana, Shirley Cristina Cabral Nascimento

Capítulo 14: Análise do aumento de escala de produção do fungo entomopatogênico metarhizium anisopliae por fermentação em estado sólido

Eloane Daize Gomes Dallastra, Enylson Xavier Ramalho, Lina María Grajales

Capítulo 15: Avaliação dos processos de eletrocoagulação e coagulação/floculação através do coagulante policloreto de alumínio no tratamento de efluente têxtil..... 89

Paula Cristina de Souza, Nehemias Curvelo Pereira, Paulo Henrique Rodrigues, Vanessa Marconi Jamarim, Giovanna Beatriz Eler de Almeida, Lais Regina dos Santos

Capítulo 16: Estudo do teor de nitrogênio e fósforo no meio de cultivo da microalga spirulina visando produção de biomassa e proteínas 95

Shana Kimi Farias Yamaguchi, Lisiane Fernandes de Carvalho, Taís Regina Canal, Carolina Krebs de Souza, Sávio Leandro Bertoli

SUMÁRIO

Capítulo 17: Estudo de degradação luminosa do extrato antociânico da polpa de cará-roxo (*dioscorea trifida* l.)..... 102

Walber José Pereira Costa, Raylime Louise Tavares Costa, Raissa Leão Santos, Rafael Alves do Nascimento, Erika Milene Pinto de Sousa, Lênio José Guerreiro de Faria

Capítulo 18: Crescimento de *methylobacterium organophilum* em metanol e produção de exopolissacarídeo durante batelada alimentada em biorreator agitado mecanicamente..... 106

Ana Cristina Pantoja Simões, Rodrigo Pimentel Fernandes, Nei Pereira Junior, Victor Hugo Amorim Rique, Isabela Castro Pinto Rodrigues

Capítulo 19: Modelo matemático em cfd de um biorreator monolítico para o tratamento do sangue leucêmico 112

Jamille Coelho Coimbra, Weskley da Silva Cotrim, José Izaquiel Santos da Silva, Luis Antonio Minim Marcio Arêdes Martins

Autores: 116

Capítulo 1

Determinação das cinéticas de desidratação osmótica e secagem de pêssegos

Bárbara Ambrósio Archanjo

Priscilla Carvalho Veggi

Lívia Chaguri e Carvalho

Resumo: O pêssego é uma fruta mundialmente consumida, com grande importância no mercado internacional. Sendo uma fruta de textura delicada e perecível, a aplicação de métodos de conservação amplia seu potencial de comercialização. As cinéticas de desidratação osmótica (D.O.) e secagem em pêssegos foram determinadas neste trabalho. A D.O. foi realizada em soluções contendo 40%, 50% e 60%, em massa, de sacarose e em mistura de sacarose com cloreto de sódio em concentrações iguais a 40%-10%, 45%-5% e 59%-1%, após a osmose as amostras foram submetidas à secagem em estufa a 70°C. A análise das propriedades químicas deu-se por meio da determinação do teor de sólidos solúveis, pH e acidez titulável. A velocidade de desidratação aumentou com a concentração de sacarose e com a adição de cloreto de sódio. A D.O. alterou algumas propriedades químicas do pêssego, em especial os sólidos solúveis. As amostras tratadas somente com sacarose apresentaram uma cinética mais lenta quando comparadas com as amostras com adição de cloreto de sódio, tanto na D.O. como na secagem.

1. INTRODUÇÃO

O pêssego é uma fruta mundialmente consumida, tendo grande importância no mercado internacional. Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) a produção mundial de pêssegos e nectarinas em 2013 foi de 21,6 milhões de toneladas, sendo o Brasil o 13º colocado na lista de maiores produtores (Faostat, 2013). Dentre os estados brasileiros ganham destaque a produção do Rio Grande do Sul, São Paulo e Santa Catarina. Apesar de a produção nacional ser elevada, esta não é suficientemente grande de modo a sanar a demanda interna, deste modo o mercado também é abastecido através de exportações (Madail & Raseira, 2008).

Em relação à produção mundial de alimentos, países com alta tecnologia apresentam melhor razão produção por área plantada, com menores perdas devido à utilização de técnicas de pós-colheita mais modernos e eficientes. Segundo dados da FAO (2015), cerca de 24% da produção mundial de alimentos é perdida desde o plantio até o consumidor final. Por esse motivo, pesquisadores e indústrias do ramo alimentício desenvolveram técnicas de transformação e produtos que possibilitassem diminuição da perda e, conseqüentemente, diminuição no custo de produção durante o ciclo de vida do produto.

Dentre as técnicas de conservação de alimentos utilizadas a secagem, tem a vantagem de remover a água do alimento de forma a eliminação ou diminuição da proliferação de microrganismos, seja alcançada. Neste sentido, a desidratação osmótica é muito utilizada como uma etapa prévia a secagem, uma vez que pode remover entre 30-60 % de umidade do alimento, sem necessariamente empregar o calor em seu processo, diminuindo os custos com energia.

A aplicação de métodos combinados de desidratação tem grande importância no contexto nacional, dado que o Brasil desperdiça cerca de 30% da produção nacional de frutas Soares (2014). Portanto, qualquer melhoria que resulte na diminuição desse índice trará benefícios sociais e econômicos, como possível diminuição do preço dos alimentos frescos, aumento da preservação dos recursos naturais relacionados à atividade agrícola, além de permitir a transformação da fruta fresca em um produto de valor agregado.

Dentro deste contexto, pode-se incluso, ganhar espaço no cenário mundial de exportação de produtos, uma vez que o mercado de alimentos desidratado está em constante crescimento (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2010). Um dos métodos de secagem mais utilizados é a secagem convectiva. Este método tem com princípio o fornecimento de calor de modo a evaporar a água retida no alimento. Outro método bastante difundido é a desidratação osmótica. Nele aplica-se uma diferença de concentração entre o tecido e a solução em que o alimento está submerso de modo a favorecer a transferência de água (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2010). A combinação desses processos pode constituir uma forma alternativa de processamento, com redução do custo energético do processo, tendo em vista que a desidratação osmótica é muitas vezes realizada em temperatura ambiente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os pêssegos foram descascados e fatiados de modo a formar paralelepípedos, cujas dimensões (comprimento, altura e profundidade) foram medidas com a utilização de um paquímetro (STARRET, 125MEA). As amostras foram pesadas em balança de precisão (DIGIMED, KN2000), de modo que as amostras apresentassem massa inicial de 5g de $\pm 1g$, portanto, as amostras foram padronizadas em relação a massa e tamanho.

A desidratação osmótica ocorreu em soluções contendo 40%, 50% e 60% de sacarose (m/m), além de uma mistura de sacarose com cloreto de sódio (sal comum) em concentrações 40%/10%, 45%/5% e 59%/1% (m/m), o solvente utilizado foi água destilada. Todos os experimentos ocorreram na temperatura ambiente. As amostras foram pesadas em intervalos de tempo pré-definidos, com menor duração durante a primeira hora. O excesso de solução das amostras foi retirado com papel absorvente, antes das mesmas serem pesadas. A eficiência da desidratação osmótica foi avaliada pela determinação dos parâmetros perda de água (WL), ganho de sólidos (SG), e conteúdo de umidade normalizado (NMC), cujas relações matemáticas estão representadas pelas equações (1) a (4):

$$NMC = \frac{1 - m/M}{1 - m_0/M_0} = \frac{X}{X_0} \quad (1)$$

$$SG = \frac{m - m_0}{M_0} \quad (2)$$

$$WL = WR + SG \quad (3)$$

$$WR = \frac{M_0 - M}{M_0} \quad (4)$$

em que: m é a massa de sólido seco (kg), M é a massa da amostra (kg), X é o conteúdo de umidade (Kg de água/kg de sólido seco), WR é o parâmetro de redução de peso e o subíndice 0 refere-se a condição inicial.

As que foram desidratadas previamente por osmose, ficaram imersas na solução correspondente durante 4 horas, para então serem submetidas a secagem a 70°C em estufa de ventilação forçada (Nova Ética 400-5ND). Durante o processo de secagem, as amostras foram pesadas em diferentes intervalos de tempo, para determinação de sua cinética. Este procedimento também foi realizado para as amostras sem pré-tratamento osmótico.

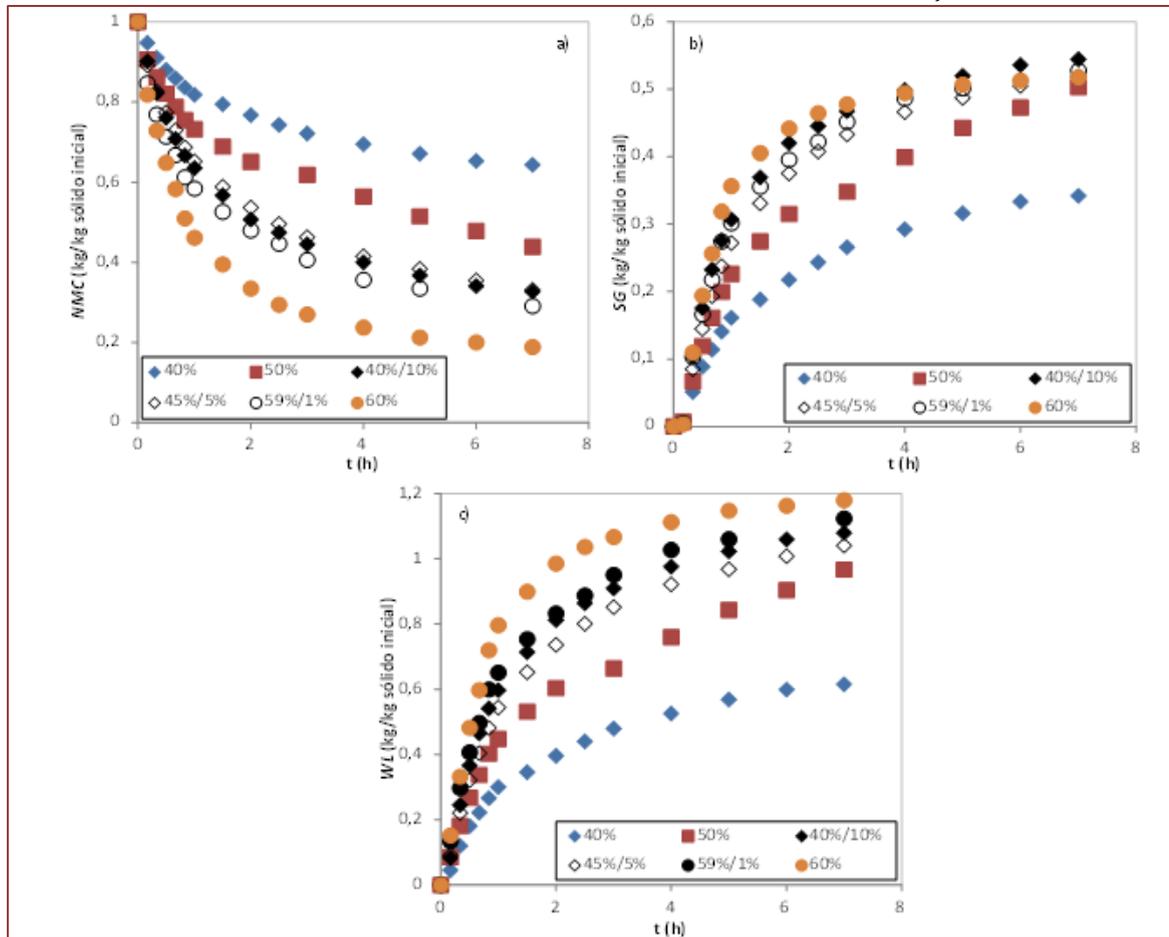
Uma vez finalizados os processos de desidratação osmótica e secagem, as amostras foram introduzidas na estufa a 70°C até que atingissem peso constante, para determinação de seu conteúdo de umidade.

As propriedades químicas, teor de sólidos solúveis, a acidez titulável e o pH, das amostras antes e após serem submetidas a D.O. foram determinadas segundo procedimentos propostos pelo Instituto Adolfo Lutz (Pascuet, 2005).

3. RESULTADOS

De maneira geral nota-se que nas primeiras 2 horas de desidratação osmótica o NMC , o SG e o WL apresentam uma maior taxa, após esse tempo, esses parâmetros apresentam menor velocidade, com tendência a estabilização, conforme pode ser observado na Figura 1. Esse comportamento típico também foi observado na desidratação osmótica de pêsego (Boeira, 2005) e outras frutas, como o damasco (Ispir & Togrul, 2009; Khoyi & Hesari, 2006), o abacaxi (Silva et al., 2014), e a banana (Porciuncula et al., 2013). Como a força motriz da desidratação osmótica é a diferença entre as concentrações da solução e do meio celular, espera-se que a maior taxa de remoção de água e, conseqüentemente, maior diminuição do conteúdo de umidade do alimento e maior ganho de sólidos e perda de água, estejam relacionadas às soluções de maior concentração (Khoyi & Hesari, 2006 e Ispir & Togrul, 2009). É interessante observar as cinéticas das amostras desidratadas nas misturas de sacarose e sal, pois até os primeiros 20 minutos as curvas possuem taxas de remoção de umidade muito próximas, porém a partir deste tempo as curvas das misturas se distanciam da curva da solução contendo somente sacarose. Isso pode ocorrer devido a algumas características do cloreto de sódio. Segundo Azoubel & Murr (2004) o sal permite uma maior taxa de remoção, devido a sua capacidade de diminuir a atividade de água, sua menor massa molecular (58,4 g mol⁻¹) em relação a sacarose (342,2 g.mol⁻¹), permite maior penetração no interior do material. Por fim, a sacarose cria uma camada de açúcar que dificulta a remoção de água e a adição de soluto, sendo uma resistência adicional à transferência de massa. Os resultados indicam que após 20 minutos essa camada já está formada. Comparando-se as amostras cujas soluções contêm 60% de soluto dissolvido (seja somente sacarose e mistura de sacarose e sal), nota-se que nesse caso a presença sal desacelera o processo, o que não condiz com os dados de 50% e 45%/5%, no qual o cloreto de sódio aumenta a taxa de transferência de massa.

Figura 1 – Parâmetros de desidratação osmótica: a) NMC, b) SG e c) WL para amostras desidratadas com sacarose e mistura de sacarose e sal, em diferentes concentrações.



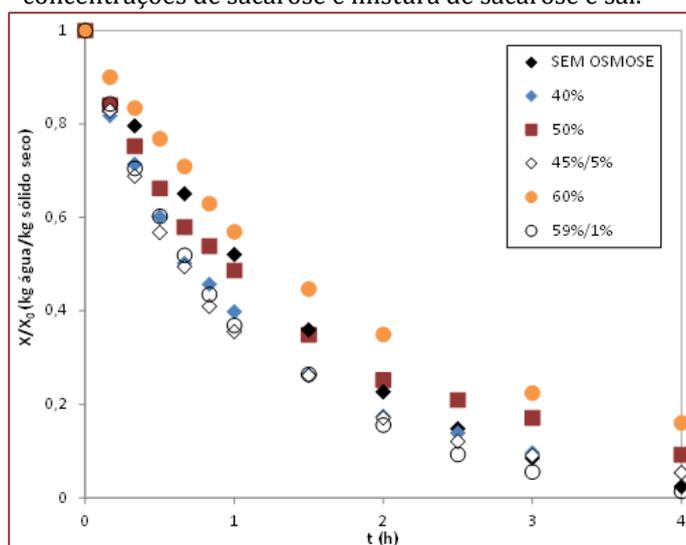
Nota-se que entre as misturas não há grande variação nas taxas de perda de água (WL) e de entrada de sólidos (SG), uma vez que as curvas são muito similares entre si, isso pode ser devido ao fato das concentrações de cloreto de sódio serem menores quando comparadas com as de sacarose, logo elas influenciam a solução por quebrarem a homogeneidade criada pela presença apenas do açúcar, mas não apresentam grande diferença entre si. Uma outra razão para esse comportamento é o menor tamanho molecular do sal quando comparado a sacarose, portanto, as moléculas de sal, podem se difundir dentro do tecido celular do alimento (Mayor et al., 2007). Dentre as misturas estudadas, a mais indicada para aplicação é a com a proporção de 59% de sacarose e 1% de sal, pois as outras apresentam concentração de sal alta. Alguns autores (Jokic et al., 2007) indicaram que a adição de pequenas quantidades de sal (até 2% em massa) em diferentes soluções de açúcar aumentou a velocidade de desidratação osmótica, sem aumentar o valor de SG , devido ao aumento do gradiente de pressão osmótica e a perda da funcionalidade da membrana plasmática celular (que impede a entrada do soluto na maçã).

As curvas das cinéticas de secagem apresentaram o comportamento típico do processo, com diminuição do conteúdo de umidade em função do tempo de secagem, sendo esse comportamento mais acelerado no início do processo, conforme pode ser observado na Figura 2. O aumento da concentração de sacarose de 40% para 50% e 60%, repercutiu em uma diminuição da taxa de remoção de água do pêssego. Ao contrário da desidratação osmótica, a cinética cuja solução contém 60% de sacarose é a mais lenta, isso pode ser devido à formação de uma camada com alta concentração de açúcar que quando aquecida cristaliza, aumentando a resistência à transferência de massa entre o interior do material e o ar de secagem. As curvas cinéticas que apresentaram amostras com maior velocidade de secagem foram as com pré-tratamento com 40% de sacarose, e as misturas de 45% de sacarose com 5% de sal e 59% de sacarose com 1% de sal. Esse comportamento indica que a adição do sal repercute em uma aceleração do processo de secagem, independente da concentração de sacarose utilizada. A curva cinética das amostras secas sem pré-tratamento osmótico também não apresentou uma aceleração no processo de secagem,

ainda assim, é importante destacar que o conteúdo de umidade inicial dessas amostras é superior ao das amostras com pré-tratamento, portanto, no início do processo as amostras sem tratamento osmótico apresentam uma maior quantidade de água disponível quando comparada com as com pré-tratamento. Após 1 hora de processo, as amostras sem pré-tratamento, exibiram cinéticas similares as amostras com pré-tratamento.

De modo geral, as misturas de sacarose e sal melhoram tanto o processo de desidratação quanto a secagem, isto pode ser devido a que a presença de sal que pode dificultar a formação de uma camada de açúcar que quando aquecida cria uma camada cristalizada que dificulta eliminação de água das amostras. O mesmo comportamento foi observado por Moreira et al. (2011) na secagem de castanhas portuguesas com pré-tratamento osmótico com sal em diferentes concentrações.

Figura 2 – Cinéticas de secagem a 70 °C de pêssegos com e sem tratamento osmótico em diferentes concentrações de sacarose e mistura de sacarose e sal.



Os valores de pH, acidez titulável e sólidos solúveis das amostras antes e após o tratamento osmótico podem ser observados na Tabela 1. Os valores médios de pH e de acidez titulável do pêssego *in natura* foram similares aos reportados por Oliveira & Cereda (2003). Já os valores de sólidos solúveis encontrados neste trabalho foram inferiores aos encontrados por OLIVEIRA & CEREDA (2003), essa diferença pode estar relacionada as diferenças no estágio de maturação.

Analisando a influência dos pré-tratamentos nas propriedades químicas do pêssego, observou-se que o pH se manteve praticamente constante ou teve uma ligeira diminuição de seus valores em relação à amostra fresca. Conseqüentemente, a acidez titulável teve um ligeiro aumento em relação a amostra fresca. Os sólidos solúveis aumentaram de forma significativa após o pré-tratamento osmótico, sendo esse aumento mais expressivo nas amostras cujas soluções eram mais concentradas, relacionados ao maior ganho de sólidos (parâmetro SG da D.O.). É interessante observar que as amostras desidratadas com 40% de sacarose e 10% de sal apresentaram os valores mais alto de sólidos solúveis, provavelmente devido a que o sal dificulta a formação dessa barreira à transferência de massa, melhorando a entrada e de sólidos em soluções com maior concentração de deste componente.

Amostra	Antes da osmose			Após a osmose				
	pH	S.S. (°Brix)	Ac. titulável*	X (b.u.)	pH	S. S. (°Brix)	Ac. titulável*	X (b.u.)
40%	4,3	5,9	0,25	0,88	4,1	9,2	0,29	0,68
50%	5,0	5,5	0,10	0,91	4,9	11,5	0,15	0,68
60%	3,8	6,6	0,40	0,90	3,8	15,4	0,42	0,44
40%/10%	4,6	5,4	0,15	0,91	4,2	18,2	0,19	0,56
45%/5%	4,6	5,8	0,17	0,86	4,0	12,9	0,33	0,54
59%/1%	4,2	7,0	0,25	0,91	3,9	12,4	0,42	0,59

*Expresso em % de ácido cítrico

4. CONCLUSÕES

As cinéticas de desidratação e secagem e as propriedades químicas dos pêssegos são altamente influenciadas pelas concentrações das soluções utilizadas como pré-tratamento. Analisando as cinéticas de desidratação osmótica observou-se que, em geral, o aumento da concentração de sacarose e a adição de cloreto de sódio nessas soluções, melhorou a taxa de remoção de água. Já na secagem, observa-se que o aumento da concentração de sacarose provoca uma diminuição na velocidade de eliminação de água, devido a cristalização do açúcar na superfície da amostra. A adição de sal as soluções de sacarose, repercute em uma aceleração na cinética de secagem, mantendo o mesmo comportamento observado na cinética de desidratação osmótica.

REFERÊNCIAS

- [1] Azoubel, P. M.; Murr, F. E. X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *J. Food Eng.*, v. 61, p.291-295, 2004.
- [2] Boeira, J.B. Estudo Experimental da obtenção de pêssego desidratado (Var. Marli e Springcrest) por desidratação osmótica e secagem complementar. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis: Santa Catarina, 2005.
- [3] Fao. The state of food insecurity in the world, 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress. Disponível em <<http://www.fao.org/3/a4ef2d16-70a7-460a-a9ac-2a65a533269a/i4646e.pdf>>. Acesso em 06 de julho de 2015.
- [4] Faostat. Crops production, 2013. Disponível em <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>. Acesso em 26 de dezembro de 2014.
- [5] Ibarz, A.; Barbosa-Cánovas, G. V. Unit Operations in Food Engineering. CRC Press LLC, 2010.
- [6] Ispir, A.; Togrul, I. T. Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effects of process parameters. *Chem. Eng. Res. and Desg.*, v. 87, p.166-180, 2009.
- [7] Jokic, A.; Gyura, J.; Levic, L.; Zavargo, Z. Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. *J. Food Eng.*, v.78, p.47-51, 2007.
- [8] Khoyi, M. R.; Hesari, J. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. *J. Food Eng.*, v. 78, p.1355-1360, 2007.
- [9] Madail, J. C.; Raseira, M. C. Aspectos da produção e mercado do pêssego no Brasil. Pelotas: EMBRAPA, 2008.
- [10] Mayor, L.; Chenlo, F.; Sereno, A. Osmotic dehydration kinetics of pumpkin fruits using ternary solutions of sodium chloride and sucrose. *Dry. Techn.*, v. 25, p. 1749-1758, 2007.
- [11] Moreira, R.; Chenlo, F.; Chaguri, L.; Vázquez, G. Air drying and colour characteristics of chestnuts pre-submitted to osmotic dehydration with sodium chloride. *Food Biopro. Process.*, v. 89, p.109-115, 2011.
- [12] Porciuncula, B. D. A.; Zotarelli, M. F.; Carciofi, B. A. M.; Laurindo; J.B. Determining the effective diffusion coefficient of water in banana (Prata variety) during osmotic dehydration and its use in predictive models. *J. Food Eng.*, v. 119, p.490-496, 2013.
- [13] Silva, K.S.; Fernandes, M. A.; MAURO, M. A. Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple. *J. Food Eng.*, v. 134, p.37-44, 2014.
- [14] Soares, A. G. Desperdício de Alimentos no Brasil – um desafio político e social a ser vencido. EMBRAPA, 2014. Disponível em: <<http://www.ctaa.embrapa.br/upload/publicacao/art-182.pdf>>. Acesso em 23 de março de 2015.
- [15] Oliveira, M.A.; Cereda, M.P. Pós colheita de pêssegos (*Prunus pérsica* L. Bastsch) revestidos com filmes a base de amido como alternativa à cera comercial. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, v. 23, p28-33, 2003.
- [16] Pascuet, N; Zenebon, O. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4º ed, p.579. Instituto Adolfo Lutz. São Paulo, 2005.

Capítulo 2

Avaliação da influência das condições operacionais de secagem em leito de jorro na manutenção dos componentes fenólicos do cubiu

Maiara Lopes Ferreira Sales

Luyara de Almeida Cavalcante

Ocileide Custódio da Silva

Yanne Katiussy Pereira Gurgel Aum

Resumo: Com a necessidade de desenvolver a fruticultura nativa do Amazonas e buscar alternativas que agreguem no desenvolvimento da região mais pesquisas têm sido fomentadas. O processo de desidratação ou secagem é uma das tecnologias mais usadas no processamento de frutas e concentração dos componentes bioativos. A secagem, utilizando o leito de jorro com partículas inertes, é uma técnica bastante utilizada na desidratação de frutas possibilitando seu estudo fluidodinâmico. Neste trabalho objetivou-se analisar a fluidodinâmica de secagem do fruto cubiu em leito de jorro, definindo a cinética de secagem (a 50°C e 70°C) e avaliando a influência destas condições sobre a capacidade antioxidante do fruto em polpa. Após a secagem em leito de jorro foi obtido um pó seco sem adição de espessantes. As condições operacionais proporcionaram perdas significantes na capacidade antioxidante do pó final com o aumento da temperatura do ar de secagem.

1. INTRODUÇÃO

A busca por alimentação saudável é um incentivo por alternativas que possam atrelar a sustentabilidade e o consumo de frutas. Com isso, fomenta-se uso de tecnologias que prolongue a vida útil, o tempo de prateleira com manutenção dos princípios ativos. Este cenário, favorece os produtores rurais no fomento de alternativa de fonte renda.

O cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) é uma hortaliça fruto nativa da Amazônia, que foi domesticado pelos índios sul-americanos. Esses frutos são ricos em fibras, proteínas, vitaminas e sais minerais, que são utilizados pelas populações da região como medicamento para controlar diabetes, ácido úrico, colesterol, queimaduras e micoses na pele (SILVA FILHO *et al.*, 2005; PARDO, 2004).

Dentre as técnicas de desidratação de polpa frutas empregadas atualmente, a secagem em leito de jorro apresenta grande flexibilidade nas condições de operação, é um equipamento de baixo custo operacional e com possibilidade de utilização em temperaturas menores do que os secadores tipo spray (BEZERRA *et al.*, 2013).

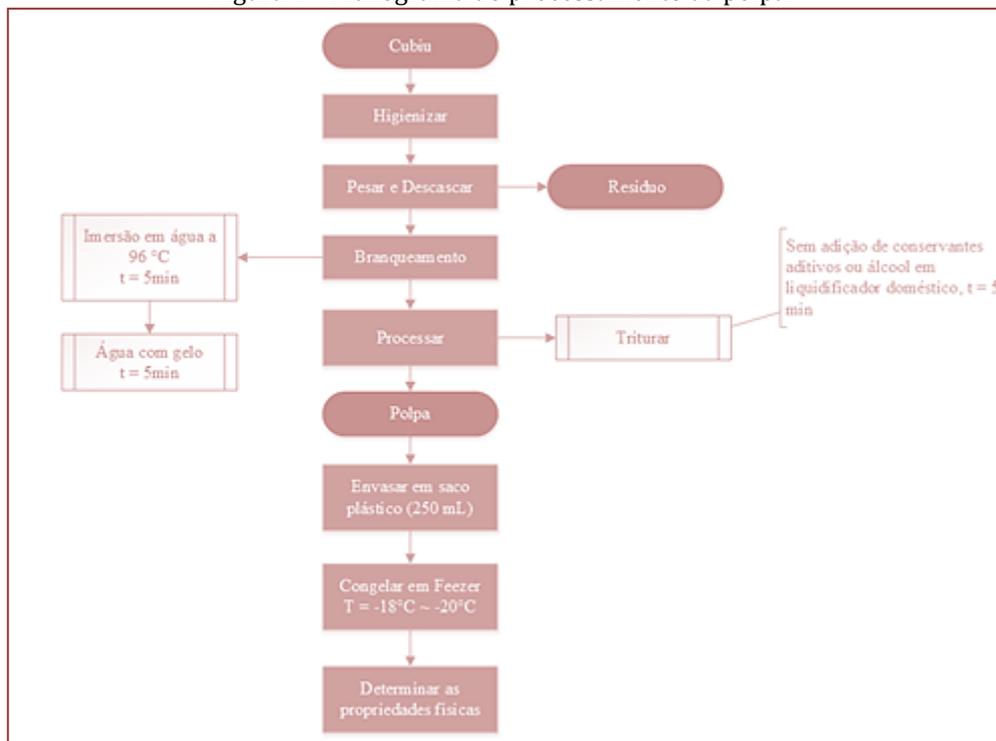
Considerando a importância do desenvolvimento da fruticultura nativa do Amazonas e a necessidade de se buscar alternativas tecnológicas para utilização industrial do cubiu, devido ao seu grande potencial de agregação de valor econômico, o presente trabalho tem como objetivo iniciar o estudo da produção da polpa do fruto em pó através da secagem em leito de jorro com o intuito de manter os componentes bioativos da fruta *in natura*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. PROCESSAMENTO DO FRUTO

Os frutos do cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) utilizados neste projeto foram obtidos no Mercado Municipal de Manaus/AM. Após a aquisição, os frutos foram selecionados, sendo escolhidos frutos no ponto de maturação comercial, sadios sem injúrias e imediatamente lavados em água corrente e branqueados, conforme Figura 1.

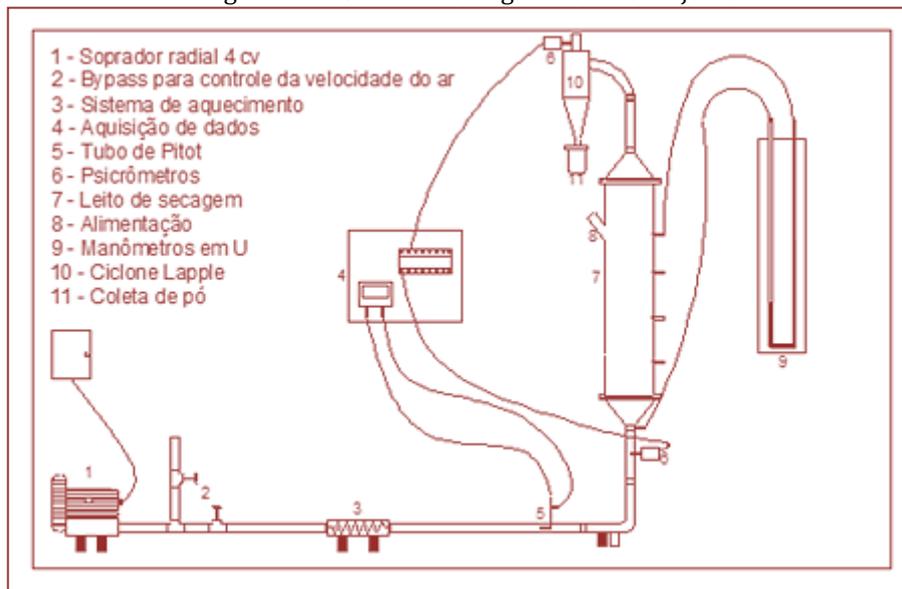
Figura 1 – Fluxograma do processamento da polpa.



2.2. EQUIPAMENTO DE SECAGEM

A Figura 2 representa um sistema esquemático do leito de jorro utilizado, a alimentação da suspensão foi feita por meio de uma seringa conectada a um tubo de 1 mm de diâmetro. A umidade relativa do ar na saída do leito é medida por sensor de temperatura de bulbo seco e umidade relativa. Um ciclone Lapple construído em aço inoxidável com 10 cm de diâmetro de coluna e altura total de 40 cm promove a separação do pó, que é recolhido em recipientes de vidro.

Figura 2 – Sistema de secagem do leito de jorro.



2.3. ENSAIOS DE SECAGEM

Antes de efetuar a secagem foram realizados ensaios para se obter as condições de jorro durante o processo de secagem. Para isso, o secador é alimentado com os inertes e varia-se a vazão de ar de alimentação verificando a queda de pressão do leito. Ao atingir a vazão em que as partículas inertes alcançam o jorro, varia-se a vazão até que se tenha um jorro estável. Após a obtenção desses parâmetros de secagem de jorro mínimo avalia-se uma melhor vazão a ser utilizada durante a secagem da polpa de fruto que deve ser acima da velocidade de jorro mínimo, já que com a adição da polpa tem-se o aumento da carga de material no leito. Com a obtenção desses parâmetros foram realizados os ensaios de secagem. Para os ensaios de secagem foi monitorado na entrada e na saída do leito de secagem a perda de umidade pela aquisição de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar. As perdas de cargas geradas no leito foram medidas por meio de um manômetro diferencial acoplados de maneira apropriada para a manutenção das condições mínimas de jorro. Procedeu-se de acordo com a sequência:

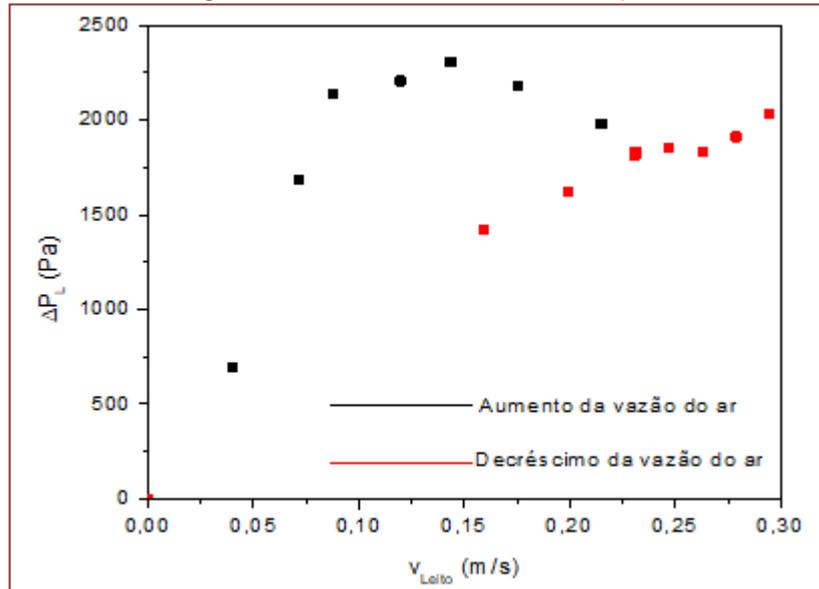
- Alimentação do material inerte (2,5 kg);
- Acondicionar o secador nas condições de secagem (temperatura do ar de secagem de 50 °C e 70 °C e vazão do ar de secagem de 0,36 m/s, 1,5 vezes maior do que a velocidade mínima de jorro. Alcançada as condições operacionais desejada, efetua-se a alimentação do leito com 150 mL, na forma de polpa, que é alimentada acima da fonte de jorro das partículas inertes com auxílio de uma seringa de 25 mL por gotejamento;
- A remoção de umidade é obtida a partir dos dados psicrométricos provenientes de sensores de umidade relativa e temperatura de bulbo seco na entrada e saída do secador.
- Após o término da secagem o material foi acondicionado para análises de umidade e dos compostos bioativos (compostos fenólicos totais).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CURVAS CARACTERÍSTICAS DO LEITO DE JORRO

Para o levantamento da curva característica do leito foi realizado os ensaios fluidodinâmicos com o leito seco (apenas as partículas inertes) acompanhando as medidas de queda de pressão e altura da fonte em função da velocidade do ar. Após alguns testes foi levantada a curva característica do leito de jorro, conforme Figura 3.

Figura 3 - Curva característica do leito jorro.



A partir do levantamento da curva característica do leito de jorro foi possível determinar a velocidade mínima de jorro estável para o leito seco. Com este dado foi possível estimar uma vazão de ar de secagem acima da vazão de jorro mínimo para o processo pudesse ser mantido com a adição da polpa de fruta. Na Tabela 1 pode ser visualizado os parâmetros obtidos para os ensaios de secagem.

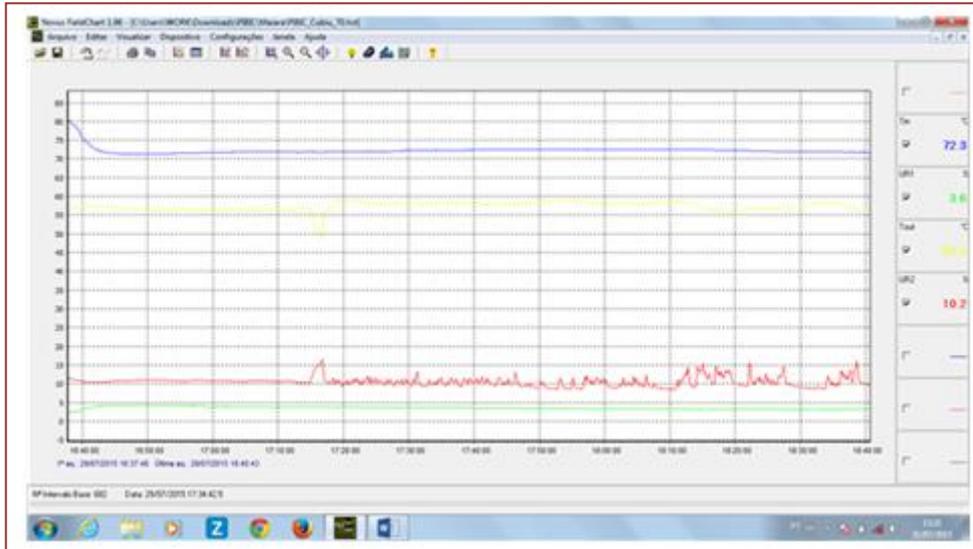
Tabela 1 – Condições operacionais para o leito de jorro.

Parâmetros Operacionais	Valores	
	50 °C	70 °C
Altura do leito estático (cm)	26,1	26,1
Velocidade mínima de jorro (m/s)	0,295	0,295
Altura da fonte (cm)	45,1	34,0
ΔP_{leito} (Pa)	2177	2177

3.3. CURVAS DE SECAGEM

As curvas de secagem foram obtidas a partir da aquisição de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar na entrada e saída do secador como auxílio de um programa de aquisição de dados. Esses dados podem ser visualizados, conforme figura 4. Pode ser visualizado na Figura os picos de remoção de água da polpa de cubiu.

Figura 4 – Gráfico de aquisição das temperaturas de bulbo seco e umidade relativa do ar na entrada e saída do ar a 70 °C.



Com os dados obtidos pelo sistema de aquisição foi possível levantar as curvas de cinética de secagem, conforme Figuras 5, 6 e 7.

Figura 5 – Curvas de cinética de secagem a 50 °C.

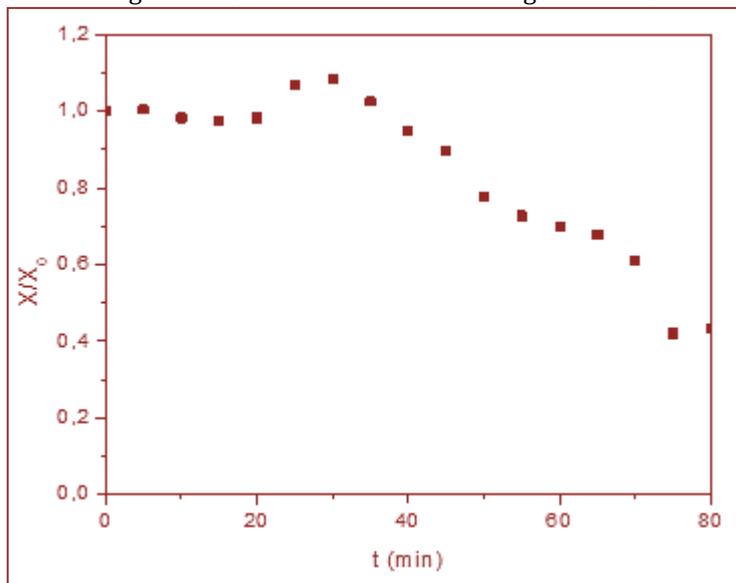


Figura 6 – Curvas de cinética de secagem a 70 °C.

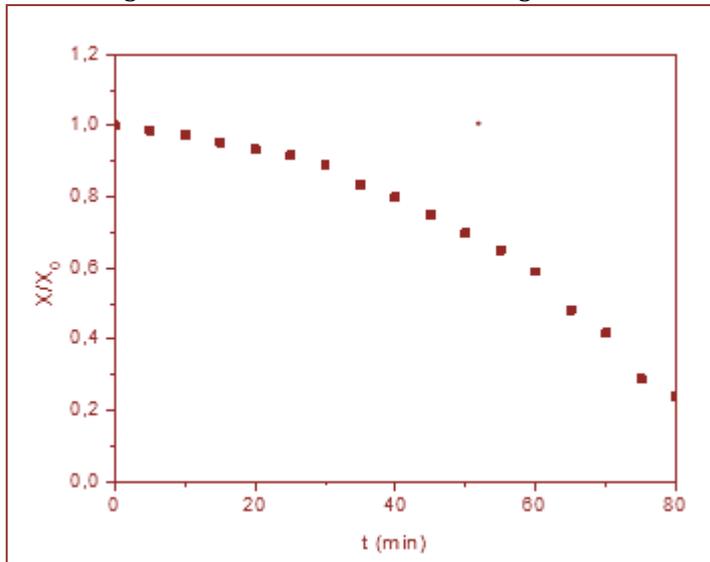
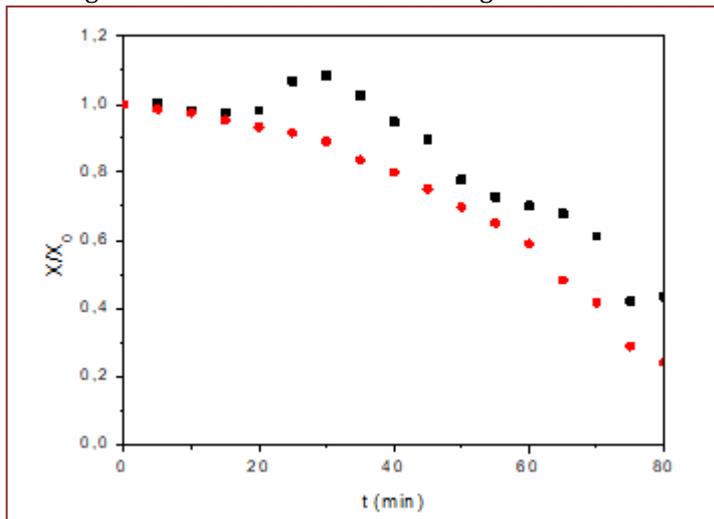


Figura 7 – Curvas de cinética de secagem a 50 °C e 70 °C.



Verifica-se por meio da cinética de secagem que com o aumento da temperatura, a taxa de remoção de água do material aumenta. Fica evidenciado nas curvas de cinética de secagem que o processo não foi finalizado a contento, pois, as umidades finais não estão próximas aos valores obtidos do pó seco (0,37 % b.u a 50 °C e 0,03% b.u a 70 °C). Isso pode ser um indício que a secagem deve ser continuada após a alimentação do material para ocorra o desprendimento total do pó da superfície da partícula.

3.4. PRODUÇÃO DE PÓ DE CUBIU

Para os ensaios de secagem a 50 °C e 70 °C foram obtidas as massas de 1,98 g e 2,53 g de pó de cubiu após 80 min com uma velocidade de alimentação de polpa de

1,875 mL/min (1,868 g/min). A diferença das massas obtidas está diretamente relacionada ao tempo de residência do pó na superfície da partícula inerte. Para temperaturas maiores (70 °C), o tempo de residência diminui ocasionando com isso maior quantidade de pó recuperado num mesmo intervalo de tempo quando comparado com temperaturas menores (50 °C). Pode-se concluir que a quantidade de pó recuperado está diretamente relacionada ao tempo de contato do material inerte e temperatura do ar de

secagem. Conclui-se também que a partir da massa inicial de cubiu (6,87 g de sólidos isentos de água) obteve-se uma recuperação de 19,4 % a 50 °C (0,37% b.u) e 24,76 % a 70 °C (0,03% b.u).

No processo de secagem foi possível aumentar o teor de fenólicos totais em função da remoção da umidade final obtida no processo de secagem, conforme mostrado na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Influência das condições operacionais de secagem no teor de compostos fenólicos.

Cubiu	Teor de compostos fenólicos totais	
Polpa in natura	49,667 mg/100 g de polpa	106,653 mg/100 g de polpa
Pó obtido a 50 °C	500,075 mg/100 g de pó	
Pó obtido a 70 °C		660,574 mg/100 g de pó

Entretanto quando se aumenta a temperatura do ar de secagem ocorre um decréscimo no teor de compostos fenólicos totais de 10 vezes maior do que o teor de compostos fenólicos totais iniciais da polpa in natura a 50 °C para 5 vezes maior do que o teor de compostos fenólicos totais da polpa in natura a 70 °C.

Uma outra ótica de análise da influência da secagem no teor de polifenóis totais é relacionar a quantidade desses compostos em sua massa seca analisada. Fazendo essa análise, na temperatura de 50 °C houve uma redução de 31,1 % do teor de polifenóis totais, enquanto que na temperatura de 70 °C houve uma redução de 57,6 % do teor de polifenóis totais.

4. CONCLUSÃO

Foi possível caracterizar o comportamento fluidodinâmico do leito de jorro empregado na secagem de polpa de cubiu e obter o pó de cubiu em leito de jorro com condições operacionais apropriadas.

Foi obtido recuperações de pó, pós-secagem, de 19,4 % a 50 °C e 24,76 % a 70 °C, respectivamente. A obtenção do pó de cubiu foi obtido sem a necessidade de adição de agentes espessantes, como a maltodextrina, o que é frequente em outras aplicações.

O material inerte utilizado auxiliou na obtenção do pó de cubiu, entretanto por sua baixa condutividade térmica, o tempo de residência em sua superfície aumenta, ocasionando tempos maiores de secagem. Para maiores tempos e maiores temperaturas foi possível constatar perdas significativas no teor de polifenóis totais.

O tempo de secagem foi insuficiente gerando perdas de pó como produto final.

REFERÊNCIAS

- [1] Bezerra, C. V.; Amante, E. R.; de Oliveira, D. C.; Rodrigues, A. M. C.; da Silva, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed - Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. *Industrial Crops and Products*, 2013.
- [2] Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia. Cubiu. Disponível em: <<https://www.inpa.gov.br/cpca/areas/cubiu.html>>. Acesso em: 12 Jan 2015.
- [3] Lorenzi, H.; Bacher, L.; Lacerda, M.; Sartori, S. Frutas brasileiras e exóticas cultivadas (de consumo in natura). São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2006. 672p.
- [4] Pardo, M. A. Effect of *Solanum sessiliflorum* Dunal on the lipidic metabolism and of the glucose. *Ciencia e Investigación*, 7: 43-48 (in Spanish, with abstract in English), 2004.
- [5] Silva Filho, D. F.; Yuyama, L. K. O.; Aguiar, J. P. L.; Oliveira, M. C.; Martins, L. H. P. Caracterização e avaliação do potencial agrônomo e nutricional de etnovarietades de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) da Amazônia. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 35, n.4, p. 399-405, 2005.
- [6] Souza, J. S. Secagem de misturas de polpa de frutas tropicais em leito de jorro. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Rio Grande do Norte, 2009.
- [7] Yuyama, L. K. O. et al. Composição centesimal de diversas populações de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) da Estação Experimental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Inpa. In: *Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos*, 2, 1997, Campinas. Anais... Campinas-SP: Sbcta, 1997.

Capítulo 3

Secagem de castanha do Brasil (Bertholletia Excelsa): Cinética e contração volumétrica

Rafael Alves do Nascimento

Raylime Louise Tavares Costa

Elisangela Lima Andrade

Elza Brandão Santana

Cristiane Maria Leal Costa

Lênio José Guerreiro de Faria

Resumo: Este estudo avaliou a contração e a cinética de secagem de amêndoas de Castanha do Brasil. Os ensaios foram realizados a 70 e 100 °C, nos tempos de 120 e 240 min. Os modelos que melhor representaram o processo de secagem e contração foram os modelos de Page e Polinomial, respectivamente, levando em consideração menor quantidade de parâmetros, maiores valores de R^2 e menores valores de erro médio relativo. A secagem efetuada a 100°C e 240 min foi mais eficiente apresentando teor de umidade de 4% b.s e menor redução de volume inicial após a secagem.

1. INTRODUÇÃO

Amêndoas de Castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) são descritas como fontes de selênio, fibra, proteínas e ácidos graxos (Cardoso *et al.*, 2017). Apesar de suas qualidades, o seu consumo, em grande parte, é destinado ao mercado interno. Aproximadamente 2% do total que é produzido são concentrados para exportação (Brasil, 2016). Essa peculiaridade decorre do aspecto tecnológico, uma vez que grande parte da cadeia produtiva se baseia no extrativismo de coleta e os sistemas de produção não são tecnificados. Um dos principais fatores relacionados à perda de qualidade de alimentos desidratados está pautado nas alterações estruturais favorecidas pelo encolhimento (Corrêa Filho *et al.*, 2015). Dessa maneira, torna-se necessário a realização de pesquisas para aperfeiçoamento do processo de produção e armazenamento das castanhas visando à obtenção de um produto de melhor qualidade. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a cinética de secagem simultaneamente com a contração volumétrica sofrida pelas amêndoas, estimar e analisar as curvas de secagem e contração, bem como ajustar modelos matemáticos aos valores experimentais capazes de representar cada processo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Amêndoas de Castanha do Brasil foram adquiridas em feira livre de Belém, e acondicionadas no Laboratório de Secagem e Recobrimento (LSRP/UFPA). A secagem foi efetuada com auxílio de uma estufa Quimis Q314M242 e a contração volumétrica foi avaliada medindo as variações das amêndoas, através de um paquímetro digital Mitutoyo. As secagens foram realizadas a 70 e 100 °C em 120 e 240 min. Nos intervalos foram determinadas em triplicatas o teor de umidade e a contração das amêndoas. As medições das dimensões das amostras foram realizadas ao mesmo tempo em que ocorria a pesagem, dispostas em outro recipiente sujeito as mesmas condições operacionais.

Teor de umidade: Determinado em estufa a 105 °C por 24h. Os teores de umidade, em base seca (X) e razão do teor de água (Xr) foram obtidos segundo Chen e Mujumdar (2008).

Contração volumétrica: Determinada através das variações das dimensões das amêndoas. A definição dos pontos medidos está descrito em Siqueira *et al.* (2012) que realizou estudo congênere para grãos de pinhão-manso. A aferição do volume (V) está descrito na Equação 2, em que a, b e c representam o comprimento, largura e espessura.

$$V(mm^3) = \pi \times (abc) / 6 \quad (1)$$

A Equação 2 apresenta o índice de contração (Ψ), relacionando o volume final (V_F) e inicial (V_I) da amostra, antes e após os ensaios de secagem. O resultado é expresso em decimal, onde o valor 1,0 indica que a amostra não sofreu contração (início do processo).

$$\Psi = V_F / V_I \quad (2)$$

Modelos cinéticos e de contração: A Tabela 1 apresenta os modelos cinéticos e de contração que foram ajustados aos pontos experimentais obtidos neste estudo.

Tabela 1- Modelos cinéticos e de contração volumétrica

Cinético		Contração	
Modelo	Equação	Modelo	Equação
Page	$Xr = \exp(-kt^n)$	Corrêa	$\Psi = 1 / [c + d \cdot \exp(X)]$
Exp. simples	$Xr = a \cdot \exp(-kt) + b$	Polinomial	$\Psi = (c + dX + eX^2)$
Exp. duplo	$Xr = a \cdot \exp(-k_0t) + b \cdot \exp(-k_1t)$	Bala e Woods adapt.	$\Psi = 1 - c \cdot \{1 - \exp[-d \cdot (X_0 - X)]\}$

Xr : Razão do teor de água (adimensional); k, k_0, a, b e n : Parâmetros cinéticos; Ψ : Índice de contração volumétrica; c, d, e : Parâmetros de contração; X : Umidade, decimal (base seca); X_0 : Umidade inicial, decimal (base seca)

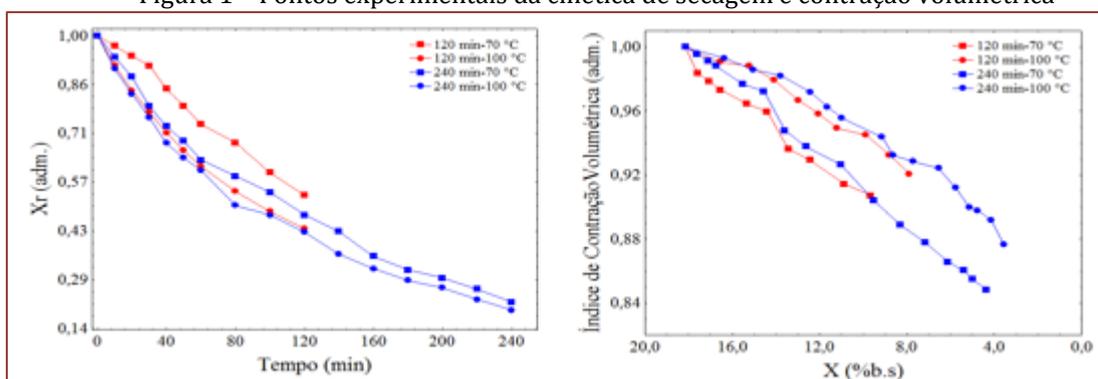
Análises de regressão não linear foram realizadas através do software *Statistica 7.0* e o grau de ajuste de cada modelo considerou a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e do erro médio relativo (P). O erro médio relativo foi calculado conforme a Equação 3 na qual N representa o número de experimentos, V_e os valores experimentais e V_p os valores preditos.

$$P = (100 / N) \cdot \sum [(V_e - V_p) / V_e] \quad (3)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água inicial para as amêndoas foi de 18,15% b.s. Através da Figura 1, observa-se que as secagens realizadas em 240 min foram mais eficientes. Nessas condições obtiveram-se os menores valores de razão de umidade e as curvas apresentaram maior inclinação. Nota-se que, com o aumento da temperatura do ar de secagem, ocorre maior taxa de remoção de água do produto concordando com os resultados de Corrêa Filho *et al* (2015).

Figura 1 – Pontos experimentais da cinética de secagem e contração volumétrica



As amêndoas submetidas à secagem a 70 e 100 °C durante 240 min apresentaram teor de umidade de aproximadamente 4% b.s. Para esses ensaios, o maior índice de contração (0,88) foi observado nas amêndoas secas a 100 °C durante 240 min. O maior índice de contração evidencia menor redução de volume inicial. Nesse sentido, as amostras submetidas à secagem a 70 °C durante 240 min apresentaram maior redução de volume inicial. Portanto, pode-se dizer que o encolhimento é mais acentuado quando a secagem é uniforme, ocorrendo mesmo na presença de resistência dos elementos estruturais do tecido. Este mesmo comportamento foi observado nos estudos de Wang e Brennan (1995) para a secagem de batata, onde a maior redução de volume foi observada em menor temperatura. Na Tabela 2 encontram-se os resultados dos ajustes dos modelos aos dados experimentais obtidos.

Tabela 2– Ajustes dos modelos cinéticos e de contração volumétrica

Modelos	120 min – 70 °C		120 min – 100 °C		240 min – 70 °C		240 min – 100 °C	
	R ² (%)	P (%)						
Cinéticos								
Page	99,74	1,01	99,95	0,79	99,92	2,37	99,92	1,62
Exp. simples	99,63	1,23	99,99	0,21	99,77	2,70	99,83	2,73
Exp. duplo	99,38	1,76	99,99	0,17	99,85	2,72	99,94	1,54
Contração								
Corrêa	94,75	0,89	98,63	0,35	97,94	1,27	97,60	0,74
Polinomial	98,79	0,42	99,25	0,24	97,87	1,37	99,64	0,26
Bala e Woods adapt	99,53	0,23	98,68	0,32	97,87	1,38	97,37	0,78

Observou-se um bom ajuste para os três modelos avaliados para prever o fenômeno de secagem de amêndoas de Castanha do Brasil. Os coeficientes de determinação (R^2) acima de 99% e erro médio relativo abaixo de 10%, segundo Mohapatra e Rao (2005), indicam uma excelente modelagem para a prática de secagem. O modelo de Page pode ser considerado mais indicado em função de sua simplicidade (bi-paramétrico) em detrimento aos demais modelos cinéticos. Com relação à contração volumétrica, o modelo Polinomial apresentou o melhor ajuste, corroborando com os estudos de Siqueira *et al.* (2012) para a secagem de grãos de pinhão manso. Assim como para a Castanha do Brasil, o modelo de Page melhor representou a secagem de amendoim, segundo Araújo *et al.* (2017). Além disso, analisando os parâmetros ajustados de Page (Tabela 3), nota-se uma relação de dependência com a temperatura do ar de secagem. O parâmetro k e n aumenta e diminui, respectivamente, com a elevação da temperatura. Sabe-se que a constante k do modelo de Page está relacionada com a taxa de transferência de massa, sendo que quanto maiores os seus valores mais rápida é a secagem. Dessa maneira confirma-se que a secagem foi mais eficiente a 100 °C em 240 min.

Tabela 3– Ajustes dos modelos cinéticos e de contração volumétrica

Page Parâmetros	Condições de secagem			
	120 min–70 °C	120 min–100 °C	240 min–70 °C	240 min–100 °C
K	0,001793	0,0137	0,0099	0,0166
n	1,227	0,862	0,9108	0,8334

5.CONCLUSÃO

Para um material de difícil controle, próprio de produtos naturais, os resultados de secagem e contração volumétrica mostraram-se muito bons para as respostas avaliadas. A secagem foi mais eficiente a 100 °C em 240 min. Nessas condições, o teor de umidade foi de aproximadamente 4% b.s com menor redução de volume inicial das amêndoas. Os modelos de Page e Polinomial, para a secagem e contração respectivamente, exibiram os melhores resultados de ajuste aos dados experimentais, representando de maneira mais adequada esses fenômenos inerentes ao processamento de amêndoas de Castanha do Brasil.

REFERÊNCIAS

- [1] Araújo WD, Goneli Ald, Corrêa PC, Hartmann Filho CP, Martins EAS, Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. *Rev. Ciênc. Agron*, v. 48, p. 448-457, 2017.
- [2] Brasil. Ministério da Indústria Comércio Exterior e Serviços. *Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior (Alice web)*. Ano 2016. Disponível em: <http://aliceweb.mdic.gov.br//consulta-ncm/consultar>. Acesso em: 17 out. 2017.
- [3] Cardoso BR, Duarte GBS, Reis, BZ, Cozzolino, SMF, Brazil nuts: Nutritional composition, health benefits and safety aspects. *Food Res. Inter*, v. 100, p. 9-18, 2017.
- [4] Chen XD, Mujumdar AS. *Drying technologies in food processing*. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltda., 2008.
- [5] Corrêa Filho LC, Andrade ET, Martinazzo AP, D'andrea EM, Sousa FA, Figueira VG, Cinética de secagem, contração volumétrica e análise da difusão líquida do figo (*Ficus carica L.*). *Rev. bras. eng. agríc. ambient*, v. 19, p. 797-802, 2015.
- [6] Mohapatra D, Rao PS, A thin layer drying model of parboiled wheat. *J. Food Eng*, v. 66, p. 513-518, 2005.
- [7] Siqueira VC, Resende O, Chaves TH, Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. *Acta Sci. Agron*, v. 34, p. 231-238, 2012.
- [8] Wang N, Brennan JG, Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration. *J. Food Eng*, v. 24, p. 61-76, 1995.

Capítulo 4

Influência do tempo na hidrocarbonização do bagaço de cana-de-açúcar

Helida Monique Cordasso Fagnani

Maria Angélica Simões Dornelas de Barros

Murilo Pereira Moisés

Pedro Augusto Arroyo

Resumo: Atualmente há grande procura por materiais adsorvente alternativos, de baixo custo e alta eficiência. Nesse âmbito, a carbonização hidrotérmica ou hidrocarbonização vem se destacando por ser uma alternativa vantajosa a pirólise. Essa técnica consiste em reagir uma fonte de carbono com água subcrítica em 180 – 260 °C, durante um determinado tempo, para produzir um produto altamente carbonáceo chamado de hidrocarvão. O bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo abundante no Brasil devido à expansão da produção de álcool e, também, de grande potencial energético. Neste contexto este trabalho teve o objetivo de avaliar o melhor tempo de hidrocarbonização para o bagaço de cana-de-açúcar. Os ensaios foram realizados colocando 0,5 g de bagaço com 20 mL de água deionizada em um reator. O sistema foi mantido a 180 °C em diferentes tempos, de 12 a 72 horas. Por meio da análise visual observou-se que os hidrocarvões produzidos com tempos inferiores a 60 horas apresentaram muitas fibras inteiras, sugerindo que a carbonização, ainda, não foi completa. Pela análise de FTIR concluiu que tempos maiores propiciaram maior hidrocarbonização, porém, o tempo de 72 horas ainda não proporcionou um alto nível de carbonização hidrotérmica do bagaço. Assim, se faz necessário tempo e/ou temperatura maior de processo.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente existem muitos problemas associados à exploração de combustíveis fósseis (Román et al., 2012), fazendo com que novas alternativas mais sustentáveis surjam. Porém, a criação dessas novas técnicas não deve ser acompanhada pelo aumento do dióxido de carbono. Neste contexto, a biomassa recebe grande destaque por ser uma fonte renovável, além de reduzir o impacto ambiental dos resíduos orgânicos, e a emissão líquida de dióxido de carbono é zero (Román et al., 2012).

O Brasil produz diversos subprodutos resultante dos agronegócios e estes podem contribuir para problemas ambientais se não forem eliminados de forma adequada (Gonçalves et al., 2016). Podemos destacar o setor sucroalcooleiro, que na safra 2016/2017 teve uma produção de aproximadamente 652 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (UNICA, 2017). Gerou, aproximadamente, 182 milhões de toneladas de bagaço, dentre este, 18 milhões de toneladas eram resíduos, não aproveitados na própria usina para geração de energia.

Neste contexto, deverá ser desenvolvida novas tecnologias e materiais que serão mais eficientes para determinada aplicação, que minimizará a longo e curto prazo os impactos sobre o meio ambiente. Esses materiais, necessariamente, deverão ser simples de sintetizar, rentáveis, de preferência baseadas em recursos renováveis e com características específicas para determinada função (Titirici et al., 2012). Devido ao elevado custo de transporte e baixa densidade energética da biomassa (Román et al., 2012), é aconselhado que a biomassa seja submetida a um processo de transformação a fim de que, o produto, como o carvão, tenha inúmeras aplicabilidades. Materiais a base de carbono (cristalino ou amorfo) são candidatos ideais para satisfazer todos essas exigências. O método mais vantajoso financeiramente para obtenção desses materiais é a carbonização.

A via mais conhecida para a formação de carvão é a pirólise, que consiste em submeter a biomassa a altas temperaturas (600 – 900 °C) com ausência de oxigênio, ocorrendo a ruptura da estrutura molecular original (Romano et al., 2012). Porém, nos últimos anos a carbonização hidrotérmica (CHT) ou hidrocarbonização tem ganhado interesse no campo da ciência dos materiais e a sua vantagem, perante a pirólise, é a baixa temperatura de síntese, ecoamigável, devido ao uso somente água no processo (Falco et al., 2011), elevada eficiência de carbono sobre condições suaves, grupos funcionais abundantes remanescentes na superfície do produto (Hu et al., 2008), aumenta o tempo de rotatividade do carbono contido na biomassa (Sevilla; Fuertes, 2009), não gera grandes quantidades de gases nocivos e as partículas de hidrocarvão não são propensas a autoignição devido à elevada concentração de grupos de oxigênio superficiais (Sevilla et al., 2011).

A carbonização hidrotérmica consiste em uma técnica para tratar biomassa úmida, em especial biomassa residuais (Funke; Ziegler, 2010). As matrizes úmidas são reagidas em água subcrítica em 180 – 260 °C, para produzir um produto altamente carbonáceo chamado de hidrocarvão (Poerschmann et al., 2015). É considerada, portanto, uma técnica promissora por muitos autores (Titirici et al., 2007; Sevilla e Fuertes, 2009; Sevilla et al., 2011; Poerschmann et al., 2015).

A hidrocarbonização pode ser produzida em nível mundial a partir de uma grande variedade de fontes de biomassa (Sevilla et al., 2011). Normalmente, a biomassa usada no estudo do processo de carbonização hidrotérmica inclui matéria bruta de plantas e carboidratos. As matérias brutas vegetais são obtidas diretamente a partir de resíduos agrícolas, madeira e cultivo de herbáceas, enquanto os carboidratos incluem açúcares, amido, hemicelulose, celulose e outros produtos da desidratação da glicose e furfural (Hu et al., 2008).

As características físico-químicas do hidrocarvão depende dos parâmetros de operação da reação (razão biomassa/água adicionada no reator, temperatura e tempo de reação) e, também, do material de partida. Porém, quanto mais complexa a biomassa precursora, mais difícil é a hidrocarbonização (Berge et al., 2011), ou seja, será necessário tempos e temperaturas mais elevados. Desta forma, este trabalho teve o objetivo de avaliar o melhor tempo de hidrocarbonização para o bagaço de cana-de-açúcar, mantendo os parâmetros temperatura de reação e razão biomassa/água adicionado no reator fixos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

O bagaço de cana-de-açúcar foi cedido pela usina Santa Terezinha, localizada na cidade de Tapejara – PR. A amostra coletada foi da safra 2014/2015 e a quantidade foi grande suficiente para realizar todo o trabalho, logo, as propriedades do precursor não foram modificadas durante os testes.

Após a coleta do bagaço, este foi conduzido à secagem, de forma a garantir que não ocorresse a fermentação do açúcar residual que pudesse haver nele ou a procriação de algum microrganismo que pudesse vir influenciar na reação. O bagaço foi seco em estufa da marca Nova Ética na temperatura de 50 °C, durante 2 dias, sendo que, frequentemente ele foi mexido.

A separação por peneiramento se fez necessário devido o bagaço seco ser um material de baixa densidade e de tamanho irregular e, ao se colocar no reator junto com a água, muitas vezes, o bagaço não estava totalmente em contato com a água, podendo interferir na carbonização. Assim, a matéria-prima de menor tamanho permaneceu totalmente coberto pela água. O bagaço que passou pela peneira de 20 mesh foi denominado de fino e o que passou pela de 10 mesh e ficou retida na de 20 mesh de médio. Em seguida, eles foram armazenados em potes de polietileno escuros e em lugar seco.

2.2 TESTES DE HIDROCARBONIZAÇÃO

Para os testes de hidrocarbonização foram utilizados quatro reatores de teflon revestidos com aço inox, com capacidade de 30 mL, produzidos pela oficina do departamento de engenharia química da universidade estadual de Maringá (DEQ/UEM).

Em dois reatores foram realizados os testes do bagaço fino e nos outros dois do bagaço médio. Em cada um foi colocado 0,5 g do bagaço, medido em uma balança analítica da marca Denver Instrument, modelo APX-200 e, 20 mL de água deionizada medido em uma proveta de vidro graduada. Desta forma, a razão biomassa/água adicionado ao reator foi de 25 g.L⁻¹. Os quatro reatores foram colocados simultaneamente em uma mufla em temperatura ambiente. A rampa de aquecimento foi de 10 °C.min⁻¹, até atingir a temperatura de 180 °C. Logo que a hidrocarbonização foi encerrada, os reatores foram retirados da mufla e deixados esfriar a temperatura ambiente. Ao atingir a temperatura o reator foi aberto e o material filtrado. Foi utilizado papel filtro quantitativo de faixa azul e um sistema de filtração a vácuo. As amostras de hidrocarbões dos bagaços semelhantes (fino ou médio), foram filtrados juntos.

Após a filtração, os hidrocarbões foram secos em estufa da marca Sterilifer do modelo SX450 a 80 °C durante 2 dias. Por fim, as amostras foram pesadas para verificar o rendimento do material final, que é dado pela razão da massa do hidrocarbão pela massa das duas amostras de bagaços semelhantes (fino ou médio). Em seguida, foram guardadas em potes de polietileno pequenos e armazenados em dessecadores.

Este procedimento de hidrocarbonização, filtração e secagem foi repetido para diferentes tempos de 12, 24, 36, 48, 60 e 72 horas.

2.3 ANÁLISE DE ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO

Para identificar se a carbonização total da amostra foi alcançada, foi realizado a espectroscopia no infravermelho por refletância total atenuada (FTIR-ATR). O equipamento utilizado foi o FTIR-ATR Varian 700 FT-IR spectrometer com cristal de germânio, no intervalo de 4000 a 700 cm⁻¹ com resolução de 2 cm⁻¹. Com essa caracterização, foi possível determinar se o tamanho do bagaço interferiu na carbonização hidrotérmica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TESTES DE HIDROCARBONIZAÇÃO

Após os hidrocarbões terem sido filtrados e secos, eles foram pesados para determinar o rendimento e, em seguida, foram moídos com o auxílio de uma espátula no próprio pote de armazenamento. Na Tabela 1 é apresentado a massa inicial de biomassa que foi colocada em cada reator (Massa 1 e Massa 2), a massa total obtida para cada tamanho de partícula após a hidrocarbonização (Massa seca) e o rendimento da matéria em cada tempo de hidrocarbonização, dado pela razão de massa seca pela soma das duas massas de cada tamanho de bagaço (fino ou médio).

Tabela 1 – Rendimento da carbonização hidrotérmica

Tempo de CHT (h)	Bagaço	Massa 1 (g)	Massa 2 (g)	Massa seca (g)	Rendimento (%)
12	Fino	0,4996	0,4998	0,5938	59,42
	Médio	0,4997	0,5003	0,6317	63,17
24	Fino	0,5005	0,5004	0,5431	54,26
	Médio	0,4999	0,5001	0,6347	63,47
36	Fino	0,4997	0,5000	0,5219	52,21
	Médio	0,4997	0,5000	0,6161	61,63
48	Fino	0,5004	0,4997	0,5677	56,76
	Médio	0,5006	0,5001	0,5981	59,77
60	Fino	0,5005	0,4997	0,5484	54,83
	Médio	0,5003	0,5005	0,6790	67,85
72	Fino	0,4998	0,5000	0,4425	44,26
	Médio	0,5002	0,5003	0,5911	59,08

Pela Tabela 1 é possível observar que o rendimento do bagaço fino foi inferior ao do médio, independentemente do tempo de carbonização. Isso pode ser dado, devido a maior dificuldade de retirar todo o material carbonizado do reator quando este é fino. Ambos os bagaços, fino e médio, não apresentaram um padrão de aumento ou diminuição do rendimento. Somente no tempo de 72 horas de carbonização que o rendimento caiu mais de 10% para os dois precursores, quando comparado aos outros tempos. Este fato pode indicar uma maior perda de alguma matriz sólida para a solução líquida, por exemplo o carbono, que já relatado por diversos pesquisadores, ele pode migrar da fase sólida para a líquida como nanopartículas, conhecidas como C-Dots (Yang et al., 2009; Cao et al., 2012; Li et al., 2017).

A Figura 1 apresenta os hidrocarbões obtidos do bagaço fino e a Figura 2 os que utilizaram o bagaço médio como precursor, ambos com os tempos de 12, 24, 36, 48, 60 e 72 horas.

Figura 1 – Hidrocarbões obtidos do bagaço fino no tempo de: a) 12 h; b) 24 h; c) 36 h; d) 48 h; e) 60 h; f) 72h.

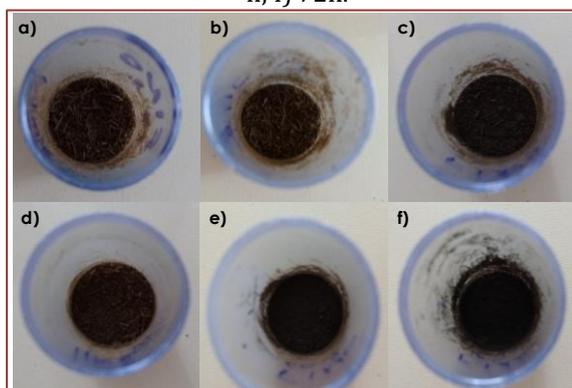
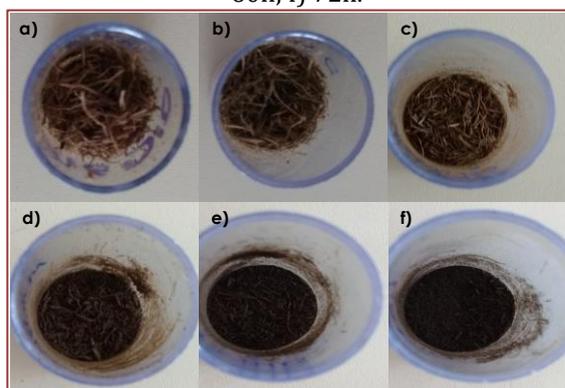


Figura 2 – Hidrocarbões obtidos do bagaço médio no tempo de: a) 12 h; b) 24 h; c) 36 h; d) 48 h; e) 60h; f) 72h.



A aparência visual das Figuras 1 e 2 indicam que os hidrocarbões obtidos do bagaço de cana-de-açúcar fino e médio apresentam o mesmo comportamento. O hidrocarbão do bagaço médio (Figura 2) até o tempo de 60 horas (e) de carbonização, ainda, apresentou muitas fibras inteiras, ou seja, possivelmente esse tempo não foi suficiente para atingir a carbonização por completo. Este fato se repete para o bagaço fino (Figura 1), porém, como as fibras são originalmente menores isto não é tão visível. Logo, pode ser um indício de que o tamanho da partícula de partida não interfere no tempo necessário para a carbonização hidrotérmica (Akhtar; Amin, 2011).

3.2 ANÁLISE DE ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO

Somente o rendimento e a análise visual não são suficientes para prever o tempo necessário de hidrocarbonização. Para isso foi necessário realizar uma análise de FTIR-ATR nas amostras para verificar as ligações existentes nelas. A Figura 3 apresenta a análise de FTIR dos hidrocarbônios obtidos nos tempos de hidrocarbonização de 12, 24, 36, 48, 60 e 72 horas para o bagaço fino. Já a Figura 4 apresenta os hidrocarbônios do bagaço médio nos mesmos tempos de hidrocarbonização do bagaço fino.

Figura 3 – FTIR do bagaço fino nos tempos de 12, 24, 36, 48, 60 e 72h

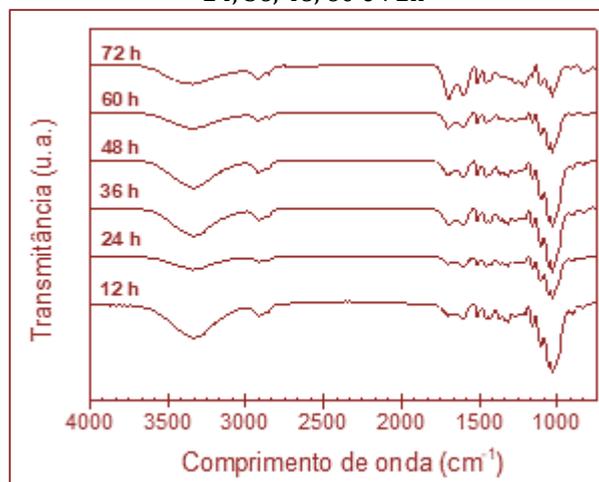
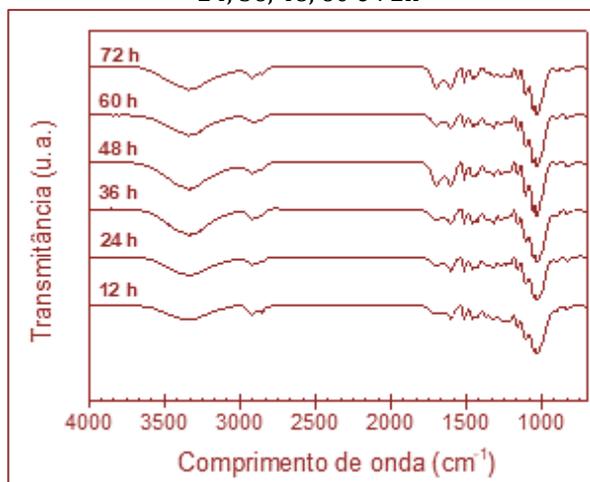


Figura 3 – FTIR do bagaço fino nos tempos de 12, 24, 36, 48, 60 e 72h



Tanto a amostra do bagaço fino (Figura 3) quanto do bagaço médio (Figura 4) apresentaram comportamento de FTIR semelhante ao longo do tempo de carbonização. Tomando como referência a banda localizada em 1600 cm⁻¹, atribuída às vibrações C=C da estrutura do anel aromático (Sevilla et al., 2011; Román et al., 2012), pode-se observar que as bandas 1500 a 1000 cm⁻¹, que são atribuídas à lignina (Sevilla et al., 2011), diminuíram de intensidade com o tempo de hidrocarbonização. A banda em 900 cm⁻¹, atribuída à deformação de C-H da celulose e a de 1163 cm⁻¹ da vibração do C-O-C da celulose e da hemicelulose (Sevilla et al., 2011), também reduziram de intensidade com o aumento do tempo de hidrocarbonização, porém, ambas não foram tão significativamente quanto as da lignina. Verifica-se que a banda 1710 cm⁻¹ relacionada com a vibração de C=O (Sun e Li, 2004; Sevilla et al., 2011) e a de 1600 cm⁻¹, já mencionada anteriormente, aumentam de intensidade, enquanto a lignina diminui, conforme há o aumento de tempo de CHT, sustentando o conceito da aromatização da matéria-prima durante o tratamento hidrotérmico (Gallifuoco et al., 2017).

As carbonizações obtidas no tempo de 72 horas tiveram uma perda significativa de massa, sendo este um indício de que a carbonização foi completa e está perdendo carbono para a solução aquosa. A aparência visual também é uma evidência de que este tempo foi suficiente para hidrocarbonizar o bagaço. Por outro lado, quanto menor a intensidade das bandas atribuídas à lignina e à celulose em relação às relacionadas com os anéis aromáticos maior é o nível de hidrocarbonização. Logo, as carbonizações hidrotérmicas ainda podem ser aperfeiçoadas, aumentando a temperatura e/ou o tempo de hidrocarbonização.

4. CONCLUSÕES

O bagaço de cana-de-açúcar, apesar de ser abundante e de grande poder energético, é um material complexo, que contém celulose, hemicelulose e lignina em sua estrutura. Assim, são necessárias condições mais severas de hidrocarbonização temperatura e/ou tempo mais elevados de hidrocarbonização. Neste trabalho foi investigado o uso de tempos elevados, que variou de 12 a 72 h de carbonização do bagaço. Foi concluído que tempos maiores proporcionam maior hidrocarbonização. Visualmente, observou-se que até o tempo de 60 horas de carbonização, para ambos os hidrocarbônios, ainda eram compostos de fibras inteiras, indício de que a estrutura do bagaço não teria sido quebrada. As análises de FTIR-ATR comprovaram que o aumento do tempo de hidrocarbonização promoveu a diminuição da lignina e da celulose e o acréscimo dos anéis aromáticos no bagaço. Isto prova que o hidrocarbônio se formou, contudo,

se a temperatura do processo for mais elevada deverão ser formados hidrocarbões de melhor qualidade, com maior quantidade de carbono em relação a outros compostos presentes.

REFERÊNCIAS

- [1] Akhtar, A.; AMIN, N.; A review on process conditions for optimum bio-oil yield in hydrothermal liquefaction of biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 1615-1624, 2011.
- [2] Berge, N. D.; RO, K. S.; MAO, J.; Flora, J. R. V.; Chappell, M. A.; BAE, S. Hydrothermal carbonization of municipal waste streams. *Environ. Sci. Technol.*, v. 45, p. 5696-5703, 2011.
- [3] Cao, L.; Yang, S. T.; Wang, X.; Luo, P. G.; Liu, J. H.; Sahu, S.; Liu, Y.; Sun, Y. P.; Competitive performance of carbon "quantum" dots in optical bioimaging. *Theranostics*, v. 2, p. 295-301, 2012.
- [4] Falco, C.; Caballero, F. P.; Babonneau, F.; Gervais, C.; Laurente, G.; Titirici, M. M.; Baccile, N. Hydrothermal carbon from biomass: Structural differences between hydrothermal and pyrolyzed carbons via ¹³C solid state NMR. *Langmuir*, v. 27, p. 14460-14471, 2011.
- [5] Funke, A.; Ziegler, F. Hydrothermal carbonization of biomass: A summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. *Biofuels Bioprod. Biorefin.*, v. 4, p. 160-177, 2010.
- [6] Gallifuoco, A.; Taglieri, L.; Scimia, F.; Papa, A. A.; Giacomo, G. D. Hydrothermal carbonization of Biomass: New experimental procedures for improving the industrial processes. *Bioresource Technology*, v. 244, p. 160-165, 2017.
- [7] Gonçalves, G. C.; Pereira, N. C.; Veit, M. T. Production of bio-oil and activated carbon from sugarcane bagasse and molasses. *Biomass and Bioenergy*, v. 85, p. 178-186, 2016.
- [8] Hu, B.; Yu, S. H.; Wang, K.; Liu, L.; Xu, X. W. Functional carbonaceous materials from hydrothermal carbonization of biomass: an effective chemical process. *Dalton Trans.*, v. 40, p. 5414-5423, 2008.
- [9] LI, L.; Wang, X.; Zheng, F.; CUI, F.; One-step hydrothermal synthesis of nitrogen- and sulfur-co-doped carbon dots from ginkgo leaves and application in biology. *Materials Letters*, v. 196, p. 300-303, 2017.
- [10] LI, M.; LI, W.; LIU, S. Hydrothermal synthesis, characterization, and KOH activation of carbon spheres from glucose. *Carbohydr. Res.*, v. 346, p. 999-1004, 2011.
- [11] Poerschmann, J.; Weiner, B.; Wozidlo, S.; Koehler, R.; Kopinke, F. D. Hydrothermal carbonization of poly(vinyl chloride). *Chemosphere*, v. 119, p. 682-689, 2015.
- [12] Román, S.; Nabais, J. M. V.; Laginhas, C.; Ledesma, B.; González, J. F. Hydrothermal carbonization as an effective way of densifying the energy content of biomass. *Fuel Process. Technol.*, v. 103, p. 78-83, 2012.
- [13] Romano, M. S.; Gambhir, S.; Razal, J. M.; Gestos, A.; Wallace, G. G.; Chen, J. Novel carbon materials for thermal energy harvesting. *J. Therm. Anal. Calorim.*, v. 109, p. 1229-1235, 2012.
- [14] Sevilla, M.; Fuertes, A. B. The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose. *Carbon*, v. 47, p. 2281-2289, 2009.
- [15] Sevilla, M.; Maciá-Agulló, J. A.; Fuertes, A. B. Hydrothermal carbonization of biomass as a route for the sequestration of CO₂: Chemical and structural properties of the carbonized products. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, p. 3152-3159, 2011.
- [16] Sun, X.; LI, Y. Colloidal carbon spheres and their core/shell structures with noble-metal nanoparticles. *Angew. Chem.*, v. 43, p. 597-601, 2004.
- [17] Titirici, M. M.; Thomas, A.; YU, S. H.; Müller, J. O.; Antonietti, M. A direct synthesis of mesoporous carbons with bicontinuous pore morphology from crude plant material by hydrothermal carbonization. *Chem. Mater.*, v. 19, p. 4205-4212, 2007.
- [18] Titirici, M. M.; White, R. J.; Falco, C.; Sevilla, M. Black perspectives for a green future: hydrothermal carbons for environment protection and energy storage. *Energy Environ. Sci.*, v. 5, p. 6796-6822, 2012.
- [19] Unica (União das indústrias de cana-de-açúcar). Cana-de-açúcar: subprodutos. Disponível em <http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php>. Acesso em: 06/01/2017.
- [20] Yang, S.; Wang, X.; Wang, H.; LU, F.; Luo, P. G.; Cao, L.; Mezziani, M. J.; Liu, J.; Liu, Y.; Chen, M.; Huang, Y.; Sun, Y.; Carbon dots as nontoxic and high-performance fluorescence imaging agents. *Journal Physical Chemistry*, v. 113, p. 18110-18114, 2009.

Capítulo 5

Estudo da influencia do processo da sintetização de carvões ativados obtidos a partir do bagaço de cana-de-açúcar

Larissa Azevedo Soares

Angelinne Costa Alexandrino

Carlson Pereira de Souza

Andre Luis Lopes Moriyama

Márcia Maria Lima Duarte

Resumo: O uso de materiais renováveis, sobretudo de fibras naturais, tem sido uma alternativa para a produção de carvão ativado (CA). Neste trabalho, para os processos de sínteses dos carvões ativados foram utilizados dois agentes de ativação química, KOH e H₃PO₄, sendo o bagaço de cana utilizado na forma carbonizado e in natura, respectivamente. Os CAs foram caracterizados por DRX, FRX, MEV e Volumetria de N₂. O CA ativado com H₃PO₄ apresentou os melhores resultados, chegando a valores de área superficial específica de 510 m².g⁻¹, cerca de 17 vezes maior quando comparado ao ativado com KOH, isso pode ser justificado pelo fato de não haver material desidratante para promover criação de poros durante a pré-carbonização. O estudo da isoterma de adsorção de nitrogênio mostrou um volume de poros com predominância de micro e mesoporos. Estes resultados mostraram a importância do estudo de processo e tipos de reagentes usados para produção de CAs, ainda que produzido com a mesma matéria-prima.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, devido ao desenvolvimento da agroindústria, a grande quantidade de resíduos gerados no setor é motivo de preocupação com o meio ambiente, pois além de aumentar o potencial poluidor associado à disposição inadequada, acarreta problemas de saúde pública. Atenção especial tem sido voltada à minimização ou reuso de resíduos e ao estabelecimento de novos usos de produtos e subprodutos agropecuários em substituição aos recursos não renováveis. Em razão disso, a química verde já é realidade, especialmente em países com indústria química bastante desenvolvida e que apresentam controle rigoroso de destinação de resíduos (Rosa *et al.*, 2011).

Em questão de resíduo agroindustrial, o bagaço de cana-de-açúcar tem atraído grande atenção, e uma alternativa para seu aproveitamento é na produção de carvão ativado, pois o uso de materiais renováveis para esta finalidade, sobretudo das fibras naturais (fibra de coco, sisal e outros) fornece uma alternativa potencialmente barata aos carvões ativados comerciais (Rafatullah *et al.*, 2010).

O carvão ativado (CA) é um material carbonáceo que passa por um processamento para aumentar a porosidade interna, por isso caracteriza-se por possuir uma elevada área superficial específica e porosidade altamente desenvolvida.

Dentre as formas de preparo, o CA pode ser obtido por dois processos: ativação física e a ativação química. Na ativação química o precursor é impregnado com um agente ativador, podendo este ser o ácido fosfórico (H_3PO_4), cloreto de zinco ($ZnCl_2$), ácido sulfúrico (H_2SO_4), hidróxido de sódio (NaOH), entre outros. O que estes agentes têm em comum é a capacidade desidratante que influencia na decomposição por pirólise, inibindo a formação de betuminosos no interior dos poros (Schettino Jr, 2004).

Este trabalho tem como objetivo estudar a influência do processo e agentes químicos no preparo do carvão ativado tendo como único precursor o bagaço de cana-de-açúcar proveniente da mesma safra.

Os agentes químicos utilizados no presente trabalho foram o hidróxido de potássio (KOH), que tem sido amplamente utilizado no preparo de carvão ativado para diversos tipos de biomassa, porém não foi testado para o bagaço de cana, e o ácido fosfórico (H_3PO_4), por ter sido utilizado com sucesso para uma variação de bagaço de cana-de-açúcar da China. Neste trabalho, além de se estudar a metodologia de preparo, fez-se a caracterização dos carvões ativados. As técnicas utilizadas foram Difratometria e Fluorescência de Raios X – DRX e FRX, para verificação da estrutura cristalina e composição química; respectivamente, Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV, para o estudo morfológico, Volumetria de N_2 para estudo da área superficial e volume poroso.

2. METODOLOGIA

O material de partida para a produção do carvão ativado foi o bagaço de cana-de-açúcar fornecido pela Usina Estivas – Arês/RN, pertencente ao grupo Biosev | A Louis Dreyfus Commodities Company, tendo sido proveniente da safra do mês de março/2014.

O bagaço *in natura* recebido, passou por um pré-tratamento que consistiu de lavagem com água destilada, sob agitação, durante 2 horas, para retirar algum resíduo do caldo ainda presente no bagaço. Após essa lavagem o bagaço foi seco em estufa a $65^\circ C$ durante 72 h para então ser moído e peneirado. O bagaço foi triturado em moinho de facas TECNAL, modelo TE-680, e a granulometria selecionada no próprio equipamento com uma peneira de abertura de 2 mm.

Após pré tratado, o bagaço de cana-de-açúcar passou por duas metodologias diferentes de ativação química para obtenção de carvão ativado. Tais procedimentos foram seguidos com a finalidade de avaliar e determinar qual método de preparo obtém maior volume de poros e área específica.

- Ativação com KOH: envolve a impregnação de agentes desidratantes, sobre o precursor já carbonizado, com posterior carbonização e ativação.
- Ativação com H_3PO_4 : envolve a impregnação de agentes desidratantes, sobre o precursor cru, com posterior carbonização e ativação.

2.1 ATIVAÇÕES COM KOH

Em reator tubular horizontal o bagaço de cana-de-açúcar, pré tratado, foi submetido a tratamento térmico no reator tubular sob fluxo de nitrogênio, numa vazão de 240 mL/min, numa taxa de aquecimento de 10 °C/min até atingir 400 °C, permanecendo nessa temperatura por 3 horas, obtendo assim o carvão, chamado de Ca.

Após término do tratamento térmico e resfriamento do reator, o carvão Ca foi submetido a duas lavagens, a primeira para retirada de cinzas residuais e a segunda para retirada de bioóleo formado durante o processo de pirólise.

O material então já carbonizado, lavado e seco foi impregnado com KOH na concentração de 2M. A mistura foi mantida sob agitação em temperatura ambiente por 2 horas e ao término desse tempo de contato, o material foi filtrado a vácuo e seco em estufa a 100 °C durante 12 h.

O carvão Ca impregnado foi então ativado no mesmo reator tubular e mesma vazão de nitrogênio utilizado no tratamento térmico anterior, porém sob temperatura de 500°C e tempo de residência de 2 horas. Em seguida o material foi lavado novamente para que os poros fossem desobstruídos, obtendo assim o carvão ativado A, CaA.

2.2 ATIVAÇÃO COM H₃PO₄

A metodologia utilizada nas etapas de impregnação e ativação foi baseada nos estudos de Chen et al (2012).

Primeiramente, o bagaço de cana-de-açúcar foi impregnado com uma solução de H₃PO₄ a 20% na proporção de 2, em relação Ácido/Bagaço, de acordo com a Equação 01, sendo mantida sob agitação, em temperatura ambiente, por 2 horas.

$$\text{razão de impregnação} = \frac{\text{massa de H}_3\text{PO}_4 \text{ em solução}}{\text{massa de bagaço de cana}} \quad (1)$$

Após esse tempo, o material foi filtrado, com ajuda de uma bomba a vácuo e levado à secagem em estufa a 70 °C por 12 horas. Então foi submetido a tratamento térmico no reator tubular sob fluxo de nitrogênio, numa vazão de 240 mL/min, numa taxa de aquecimento de 10 °C/min até atingir 400 °C, permanecendo nessa temperatura por 3 horas. Em seguida o material foi lavado para retirada de cinza e bioóleo, que estavam obstruindo os poros, obtendo assim o carvão ativado B, CaB.

2.3 LAVAGENS

Os procedimentos de lavagens são descritos de forma detalhada nos itens a seguir: Lavagem para retirada das cinzas: O carvão ativado foi misturado com a solução de HCl à temperatura ambiente e mantida durante 30 min sob agitação, foi filtrado sob vácuo e lavado com água destilada quente, entre 70 à 80 °C, até obter pH próximo a neutro e então levado à estufa a 100 °C por 6 horas.

Lavagem para retirada do bioóleo: O carvão ativado seco, após lavagem para retirada das cinzas, foi misturado primeiramente com a solução de diclorometano, à temperatura ambiente, e mantido durante 30 min sob agitação, sendo, em seguida, filtrado com ajuda de uma bomba à vácuo. Todo esse procedimento foi realizado 3 vezes. Após as lavagens com diclorometano, o carvão ativado foi lavado com etanol. Nesta etapa a mistura foi agitada em temperatura de 60 °C, por 30 minutos, filtrada a vácuo e o pH foi ajustado próximo ao neutro com lavagens sucessivas de água destilada. Ao término dos procedimentos de lavagem, o carvão ativado foi seco em estufa na temperatura de 100 °C por 24 horas.

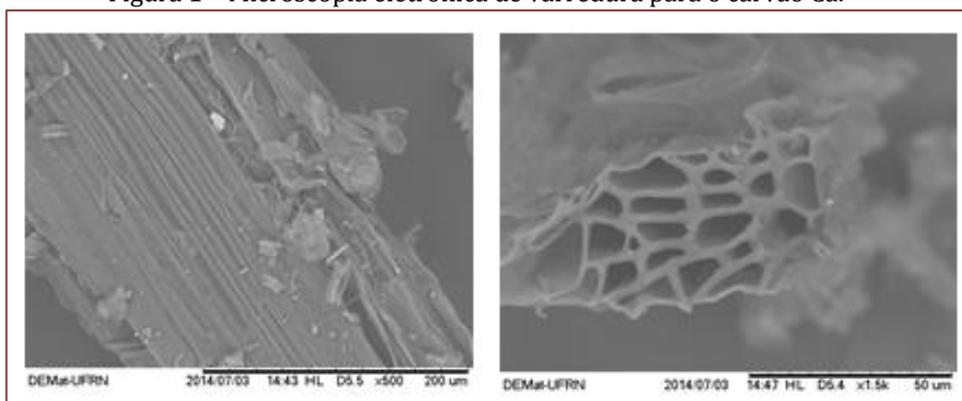
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As técnicas utilizadas para caracterização dos carvões foram Fluorescência de Raios X – FRX, para verificação da composição química, Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV, para o estudo morfológico, e Volumetria de nitrogênio, para verificar o volume de poros e área específica do material preparado.

3.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV

As micrografias obtidas por MEV foram efetuadas visando ampliar as informações de caracterização, uma alternativa para avaliar e comparar a textura dos materiais preparados. Os resultados podem ser observados nas imagens das Figuras 1, 2, e 3.

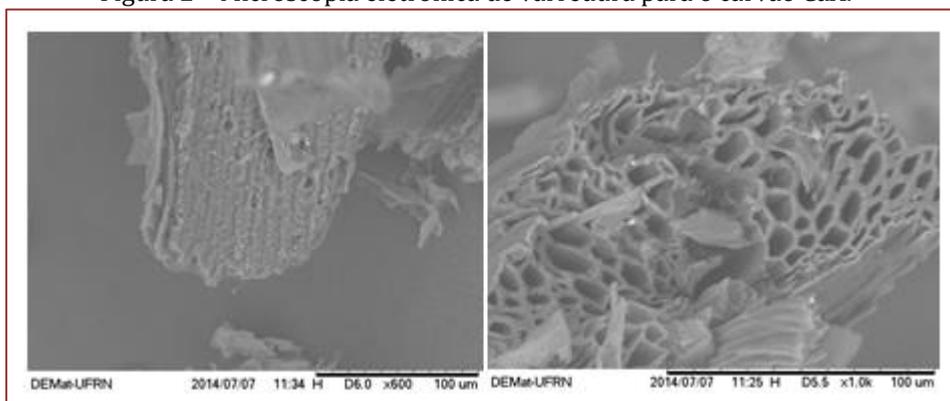
Figura 1 – Microscopia eletrônica de varredura para o carvão Ca.



Conforme se observa na Figura 1, as imagens mostram que o carvão Ca apresenta estrutura organizada, porém foi difícil observar sinais de porosidade. A única imagem encontrada mostrou presença de poros com diâmetro elevado, com média de 9,5 µm.

Na imagem da Figura 2 é possível observar maior presença de poros do que na imagem relativa à Ca, porém não com expressão significativa.

Figura 2 – Microscopia eletrônica de varredura para o carvão CaA.

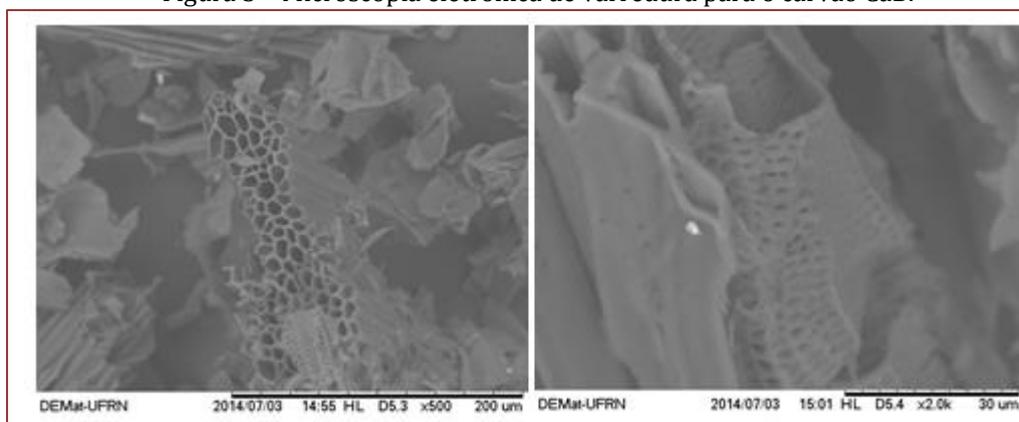


O agente ativante conseguiu ampliação dos poros já existentes, o que é esperado, mas não foi observada a criação de outros menores, o que realmente daria características de elevada área específica e volume poroso.

Essa observação, decorrente da análise dessa técnica, pode ser também notada nos resultados obtidos pelo método de volumetria de nitrogênio, que será discutida no tópico seguinte.

Já pela microscopia do carvão CaB, na Figura 3, é possível observar uma estrutura com maior presença de porosidade em relação aos outros carvões.

Figura 3 – Microscopia eletrônica de varredura para o carvão CaB.



Isso se deve ao fato de que o agente ativante ter o poder de aumentar os poros já presentes e produzir novos poros.

3.2 ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X – FRX

Foi utilizado um equipamento marca SHIMADZU modelo EDX-720/800HS. As amostras, na forma de pó, foram acondicionadas em porta amostra sob atmosfera a vácuo.

A Tabela 1 mostra a composição química, dos carvões obtida e determinada pela Espectroscopia por Fluorescência de Raios X.

Tabela 1- Percentuais da composição química pela análise de FRX para os carvões.

Elementos	(%) em Ca	(%) em CaA	(%) em CaB
Cl	34,492	-----	-----
SiO ₂	32,944	58,223	7,066
CaO	9,118	15,888	1,120
Fe ₂ O ₃	8,966	8,748	4,339
P ₂ O ₅	5,978	4,210	87,281
SO ₃	2,136	3,269	-----
K ₂ O	1,999	4,919	-----
MgO	1,212	1,930	-----
BaO	0,784	-----	-----
TiO ₂	0,691	-----	-----
MnO	0,628	1,000	-----
Al ₂ O ₃	0,606	1,007	-----
Cr ₂ O ₃	0,446	0,805	0,195

A análise dos resultados indica que há uma grande variação nas percentagens de minerais. Porém os óxidos mais representativos são os mesmos para os carvões obtidos, SiO₂, Fe₂O₃ e o CaO. Observa-se que no carvão CaB há grande presença de P₂O₅, que pode ser explicado também pela impregnação do bagaço com agente ativante H₃PO₄.

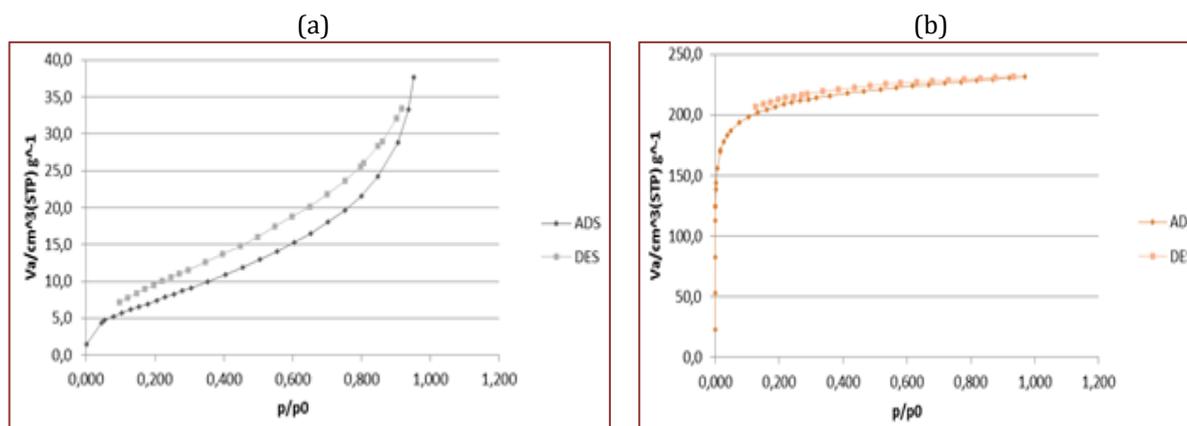
Nota-se também uma grande quantidade de cloro presente no carvão Ca, o que se deve ao fato de resíduos de HCl permanecerem na amostra mesmo com sucessivas lavagens com água durante o processo de lavagem para retirada das cinzas.

É possível notar ainda que no carvão CaA há uma quantidade significativa do K₂O quando comparado com os percentuais nos demais carvões preparados neste trabalho, podendo ser justificado pelo agente ativante KOH utilizado durante o processo de ativação.

3.3 VOLUMETRIA DE NITROGÊNIO

As isotermas de adsorção de N₂ (77K) obtidas com os carvões ativados são mostradas na Figura 4.

Figura 4 – Isotermas de adsorção e desorção para (a) CaA e (b) CaB



Pode-se constatar que o carvão ativado CaA apresentou uma isoterma com forma aproximadamente do tipo IV, de acordo com a classificação da IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), típica de materiais com a presença de mesoporos. Já o carvão ativado CaB apresenta uma isoterma aproximadamente do tipo I, típica de materiais microporosos. Utilizando-se do método de BET pode-se observar na Tabela 2 que o carvão CaB obteve maior área específica, sendo esse resultado esperado devido a presença de microporos observada na isoterma de adsorção da Figura 4. Esses resultados além de indicar que o CaA apresenta área inferior ao CaB também mostram que os valores do CaA foi bastante expressivo quando comparados com os da literatura para carvão ativado do bagaço de cana, o que pode ser verificado com os resultados obtidos em análise de BET para área específica da Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades físico-químicas dos carvões preparados e alguns resultados da literatura.

Carvão	Área Superficial Específica Total (m ² ·g ⁻¹)	Volume Total de Poros (cm ³ ·g ⁻¹)	Diâmetro Médio de Poro (nm)
CaA	29,8	0,058	7,82
CaB	510,8	0,359	2,81
Gonçalves et al 2006	247 à 455	-	-
Borba et al 2009	744 à 862	-	-

4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados e das discussões realizadas nos capítulos anteriores, pode-se concluir que o bagaço de cana-de-açúcar analisado no presente trabalho apresentou teor de lignina baixo, o que influencia diretamente o preparo do carvão ativado.

O carvão preparado com H₃PO₄ apresentou maior área superficial específica (510 m²·g⁻¹) com predominância de micro e mesoporos. Esse resultado foi cerca de 17 vezes maior que o obtido usando como agente ativante o KOH.

O estudo com o hidróxido de potássio como ativante revelou baixo valor de área específica, podendo ser justificado pelo fato de não haver material desidratante para promover criação de poros durante a primeira pirólise. No entanto os resultados obtidos, em relação à área específica, se aproximam da faixa de valores encontrados na literatura.

Diante do exposto conclui-se que o bagaço de cana-de-açúcar apresenta grande potencial para a produção de carvão ativado, não só por ser matéria prima disponível em abundancia e, conseqüentemente, apresentar baixo custo de produção. Estudos e testes com demais agentes ativantes devem ser realizados a fim de se obterem melhores resultados.

REFERÊNCIAS

- [1] Borba, L. L. S., Oliveira, M. F. D., Dantas, T. N. C., Silva, D. R., Medeiros, L. L., “Produção de carvão ativado a partir de bagaço de cana e endocarpo de coco para tratamento de efluentes no setor de petrolífero” 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Fortaleza/CE, 2009.
- [2] Chen, C. X., Huang, B., Li, T., Wu, G. F., “Preparation of phosphoric acid activated carbon from sugarcane bagasse by mechanochemical process.” 2012.
- [3] Gonçalves, G.C., Mendes, E. S., Pereira, N. C., Sousa, J. C., “Produção de carvão ativado a partir de bagaço e melaço de cana-de-açúcar” Acta Sci. Technol, Maringá, 2006.
- [4] Rosa, M. F; Souza Filho, M S. M., Figueiredo, M. C. B.; Morais, J. P. S.; Santaella, S.T., Leitão, R.C. “Valorização de resíduos da agroindústria”, In: II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II sigera, Foz do Iguaçu/PR, 2011.
- [5] Rafatullah, M.; Sulaiman, O.; Hashim, R.; Ahmad, A. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. *Journal of Hazardous Materials*, v. 177, p.70-80, 2010.
- [6] Schettino, M. A. J., “Ativação Química do Carvão de Casca de Arroz Utilizando NaOH” Dissertação de Mestrado em Física. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2004.
- [7] Soares, L. A. “Síntese, ativação e caracterização de carvão obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar e avaliação da capacidade de adsorção.” 2014. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/ RN.

Capítulo 6

*Calor específico de polpas de frutas da região norte do Brasil estudo de caso: Açaí (*Euterpe Oleracea*, Mart.).*

Ana Caroline Pereira Dias

Marcelo Dérick Oliveira das Chagas

Fabriele de Sousa Ferraz

Manoel Messias Alvino de Jesus

Lina María Grajales

Resumo: O açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é um fruto exótico e um alimento básico na região norte do Brasil, é consumido tradicionalmente in natura ou na forma de sorvetes, geleias, doces e sucos. Para aumentar sua vida útil, diversos processos térmicos como congelamento, criocongelamento, concentração por evaporação, branqueamento, pasteurização, esterilização, secagem e desidratação podem ser realizados. Portanto, o conhecimento das propriedades térmicas para o seu processamento tem grande importância, especificamente o calor específico (C_p) para o projeto de equipamentos e simulação de processos. Assim, este trabalho tem como objetivo determinar experimentalmente o C_p da polpa de açaí. Para isto, um calorímetro adiabático foi construído com uma garrafa térmica segundo o método descrito por Ferraz et al. (2018). O princípio de funcionamento está baseado no efeito Joule, no qual a energia elétrica é convertida em energia térmica. As leituras das temperaturas foram registradas utilizando a plataforma Arduino. Os frutos obtidos em feiras de Palmas-To foram branqueados, despulpados e congelados, a polpa foi utilizada na determinação do C_p . Através de um balanço de energia do sistema, o C_p da polpa de açaí na faixa de temperatura de 8 a 45°C foi determinado. O valor do calor específico encontrado para o açaí foi de 0,4512 cal/g°C. O valor de C_p encontrado para o açaí se aproxima de dados encontrados na literatura para outras frutas de composição similar.

1. INTRODUÇÃO

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.), de origem nativa da América Central e do Sul, é considerado como a palmeira mais produtiva da região amazônica. Destaca-se por ser um fruto exótico e é consumido como um alimento básico nessa região do Brasil, além de ser considerada de grande importância econômica, cultural e social do Norte do país. O açaizeiro frutifica na estação seca entre julho e dezembro, seus frutos são arredondados com diâmetro de 1-1,5 cm, com coloração roxa-escuro quando maduros. Possuem um mesocarpo polposo de 1 mm de espessura e um endocarpo fibroso, a parte comestível do fruto representa em média 26,54 % da sua massa, enquanto a semente compõe a maior parte da fruta (CEDRIM, 2018; FREITAS et al., 2015; SOUZA, 2015).

O açaí é uma fruta altamente perecível devido às condições ambientais desfavoráveis, tais como, temperatura e umidade relativa elevadas, a falta de assepsia no manuseio favorece a proliferação de microrganismos e reações enzimáticas acelerando a deterioração da fruta. Sendo assim, o despulpamento deve ser realizado dentro de 24 h após a coleta e, mesmo se mantida refrigerada, possui uma vida útil máxima de 12 h, sendo então necessário submetê-lo a processamentos térmicos (CEDRIM, 2018; SILVA et al., 2017; SOUZA, 2015).

Para o seu processamento é necessário o conhecimento das propriedades termofísicas, pois estas afetam a transferência de calor e de massa, conseqüentemente, o armazenamento e vida de prateleira. Estas propriedades são utilizadas no projeto, otimização e implementação de projetos na área de engenharia de alimentos, exigindo informações precisas das propriedades térmicas dos alimentos líquidos e semissólidos como densidade, condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico em função da variação de temperatura (MOURA et al., 2016; SOUZA, 2015).

Levando em consideração a importância do conhecimento das propriedades térmicas para o processamento de alimentos, este trabalho tem como objetivo determinar experimentalmente o calor específico da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*, Mart.) em uma faixa de temperatura de 8 a 45°C.

2. METODOLOGIA

Para a obtenção da polpa de açaí os frutos foram adquiridos em feiras municipais de Palmas-TO, armazenados e transportados para o laboratório de Tecnologia de Frutas e Hortaliças da Universidade Federal do Tocantins (UFT), campus de Palmas. Os frutos foram lavados com água corrente para remoção das sujidades e branqueados a 80°C por 10 segundos, seguidos de resfriamento, de acordo com a metodologia descrita por Silva et al. (2017). Em seguida foi realizado o despulpamento, em despulpadeira bonina 0.25 DF, compacta com capacidade de processamento de 100 kg/h e motor elétrico de 1,0 cv. Foi utilizado um litro de água potável para cada cinco quilogramas do fruto, em seguida a polpa foi embalada em sacos de polietileno de baixa densidade e congelada.

Análises físico-químicas foram realizadas para a matéria seca. A secagem foi realizada em estufa a 70°C até peso constante. Uma vez seca a amostra, esta foi triturada em processador Arno (Magiclean Duetto) até a obtenção de um pó. O açaí foi caracterizado com relação a: umidade, proteína, lipídeos, cinzas, carboidrato, pH e sólidos solúveis totais. As análises foram realizadas seguindo os métodos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), para análise de alimentos.

O calor específico do açaí foi determinado experimentalmente através de uma adaptação do método descrito por Ferraz (2018). Um calorímetro adiabático foi construído em parceria com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná –UTFPR, em Apucarana-PR, no laboratório de Pesquisa II. Este utiliza uma resistência elétrica que converte a energia em térmica.

Pela lei de conservação da energia apresentada na Equação (1), o calor específico é calculado de acordo com a Equação (2).

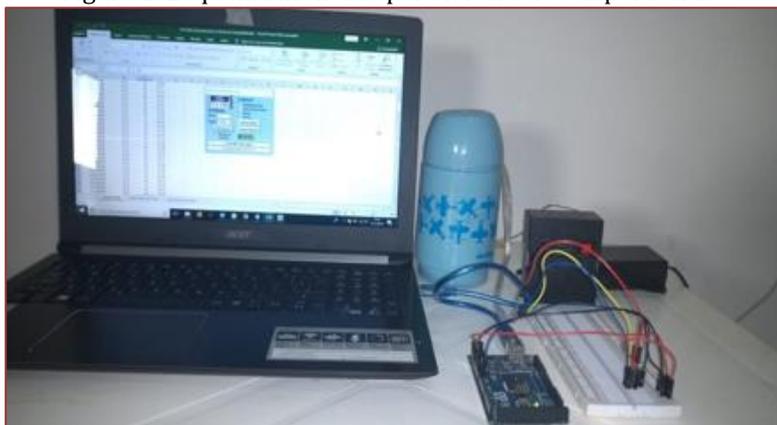
$$Q_{res} = Q_{cal} + Q_{am}. \quad (1)$$

$$\frac{V^2}{R} (t_2 - t_1) - Cp_{cal}(T_2 - T_1) = Cp_{am}.(T_2 - T_1) \quad (2)$$

Onde: Q_{res} = é o calor gerado pela corrente que percorre a resistência elétrica; Q_{cal} = calor absorvido pelo calorímetro (cal); Q_{am} é o calor ganho pela amostra na faixa de temperatura; V = diferença de potencial elétrico, em volts (V); R = resistência elétrica do condutor, em Ω ; t = tempo em segundos (s); Cp_{cal} = calor específico do calorímetro (cal/g°C); T_1 = Temperatura inicial (°C); T_2 = Temperatura final (°C); Cp_{am} = calor específico da amostra (cal/g°C);

Os registros das temperaturas foram realizados utilizando a plataforma de prototipagem Arduino, utilizando uma linguagem de programação padrão (C/C++). Foi utilizado uma placa Arduino Uno, um termômetro eletrônico LM35DZ e um capacitor de leve capacitância que tem a função de filtrar os picos de leituras naturais do termômetro. O termômetro foi adaptado com uma extensão dos fios. Como fonte de energia térmica foi utilizada uma fonte de notebook com uma tensão de 12,3 W, conforme apresentado na fotografia da Figura 2.

Figura 1. Esquema montado para leitura de temperatura.



3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE AÇAÍ

A caracterização do açaí foi realizada considerando os teores de umidade, proteínas, lipídeos, cinzas, pH, sólidos solúveis e densidade, conforme apresentado na Tabela 1. A Instrução Normativa N° 1 de 07 de Janeiro de 2000, regulamenta os padrões de identidade e qualidade para polpas de frutas, a quantidade de sólidos solúveis foi o único parâmetro avaliado que está em desconformidade com a mesma. O valor encontrado em °Brix (3,2) neste estudo mostra-se muito inferior ao que preconiza a legislação brasileira, entretanto, este valor pode estar relacionado à colheita do fruto, que ocorreu em época de fortes chuvas na região. Pereira et al. (2017), ao avaliarem a polpa de açaí encontraram alguns valores de °Brix aproximados e outros menores ao obtido neste trabalho, umidade e pH similares aos encontrados neste estudo.

Tabela 1 - Composição físico-química dos frutos de açaí

Composição	Experimental	Instrução Normativa	
		Mínimo	Máximo
Umidade (%)	83,97±0,03	-	-
Proteína (g/100g _{ss})	7,97±0,18	5	-
Lipídeos (g/100g _{ss})	24,39±1,47	20	60
Cinzas (g/100g _{ss})	3,24±0,041	-	-
Sólidos solúveis (°Brix)	3,2±0	40	60
pH	5,41±0	4	6,2

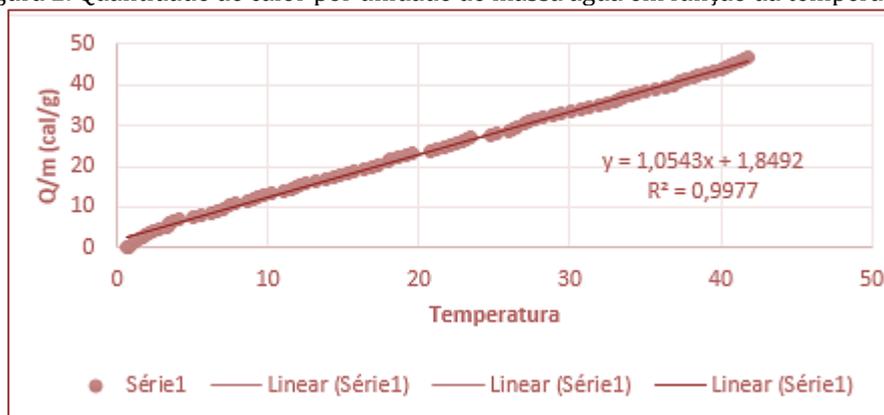
ss – matéria seca

Os valores médios encontrados estão de acordo com os determinados pelo MAPA, sendo similares aos obtidos por Pereira et al. (2017) e superiores aos apresentados por Tonon, Brabet e Hubinger (2010) para polpa de açaí congelada. Isso pode ser explicado pelo fato da composição do açaí variar de acordo com o período da coleta e com o grau de maturação dos frutos. Com o amadurecimento, o teor de lipídeos aumenta, enquanto as cinzas, proteínas e açúcares totais são reduzidos (GORDON et al., 2012).

3.2 DETERMINAÇÃO DO CALOR ESPECÍFICO

Conhecida a capacidade calorífica do calorímetro, foi possível validar o método determinando o calor específico da água, a quantidade de calor absorvida pela amostra, é a diferença entre a energia total fornecida ao sistema e a absorvida pelo calorímetro. A Figura 2 mostra a quantidade de calor por unidade de massa de água em função da temperatura.

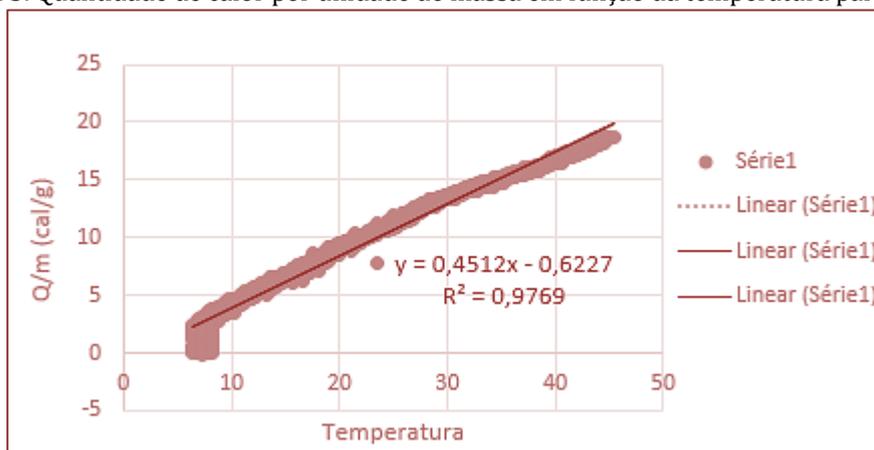
Figura 2. Quantidade de calor por unidade de massa água em função da temperatura.



A relação Q/m vs. T é descrita por um ajust linear onde o calor específico da água equivale ao coeficiente angular da reta, $1,054 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$. O resultado é muito próximo ao encontrado por vários autores da literatura (Almeida, 2012; Ferraz et al, 2018), que encontraram valores de $1,04 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e $1,058 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$. Esses resultados indicam a eficiência do método e do sistema desenvolvido.

Para o açaí também foi realizada uma regressão linear de (Q/m) vs. T , onde o coeficiente angular da reta corresponde ao calor específico da amostra de açaí, conforme informações fornecidas na Figura 3. Os experimentos foram conduzidos na faixa de temperatura de 8 a 45°C . O valor obtido para o calor específico da polpa de açaí foi de $0,451 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$.

Figura 3. Quantidade de calor por unidade de massa em função da temperatura para o açaí.



Existem na literatura outros estudos que determinam as propriedades termofísicas de frutas. Pereira (2001) ao determinar o calor específico da polpa de açaí pelo método calorimétrico de misturas encontrou um valor de 0,83 cal/g°C, Ashrae (1981) encontrou para ameixa, cereja, pêra e outras frutas com teor de umidade próxima a do açaí um valor de 0,45 cal/g°C. Ferraz (2018) ao avaliar polpa de murici (*Byrsonima crassifolia*) *in natura* utilizando o método descrito neste trabalho encontrou um valor de Cp de 0,54 cal/g°C. Pode-se inferir que frutas com composição similar podem apresentar propriedades térmicas similares.

4. CONCLUSÃO

Os resultados da montagem e determinação da capacidade calorífica do calorímetro foram satisfatórios. Foi possível elaborar e construir um calorímetro simples com uma garrafa térmica e posteriormente determinar sua capacidade calorífica, a qual foi utilizada para os demais cálculos. O valor encontrado para o calor específico da polpa de açaí se aproxima dos valores encontrados para frutas como ameixa, cereja e pêra, frutas que possuem umidade aproximada ao da polpa de açaí.

REFERÊNCIAS

- [1] Almeida, D. S. *Determinação experimental do calor específico de matéria mole (soft matter)*. 2012. 35f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Processos Químicos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2012.
- [2] Ashrae. 1981. *Ashrae Handbook—Fundamentals*. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [3] Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 1, de 07 de janeiro de 2000. Aprova padrões de identidade e qualidade para polpas de frutas. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 jan. 2000, Seção 1. p.54.
- [4] Cedrim, P. C. A. S.; Barros, E. M. A.; Nascimento, T. G. do. *Propriedades antioxidantes do açaí (Euterpe oleracea) na síndrome metabólica*. Brazilian Journal Of Food Technology, Campinas, v. 21, p.1-7, 16 ago. 2018. Fapunifesp (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.09217>.
- [5] Ferraz, F. de S. "*Determinação do calor específico do murici (byrsonima crassifolia) a diferentes temperaturas e concentrações de sólidos solúveis*". 2018. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2018.
- [6] Ferraz, F. S.; Dias, A. C. P.; Oliveira, J. C. S. R.; Dallastra, E. D. G.; Jesus, M. M. A.; Grajales, L. M. ; "*Determinação do calor específico do murici (Byrsonima crassifolia) a diferentes temperaturas*". p. 2719-2722 . In.: São Paulo: Blucher,2018. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/cobeq2018-PT.0720
- [7] Freitas, B. et al. *Características Físico-químicas, Bromatológicas, Microbiológicas e Microscópicas de Polpas de Açaí (Euterpe oleraceae) Congeladas do Tipo B*. Journal Of Applied Pharmaceutical Sciences – Japhac, Governador Valadares, v. 2, n. 2, p.2-13, 12 ago. 2015.
- [8] Gordon, André et al. *Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of Açaí fruits (Euterpe oleracea Mart.) during ripening*. Food Chemistry, vol. 133, p. 256-263, 2012.
- [9] Lutz, I. A. *Métodos físico-químico para análise de alimentos*. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.
- [10] Moura, S. C. S. R. et al. *Propriedades físicas e reológicas de produtos à base de frutas*. Food Technol, Campinas, v. 19, n. 8, p.1-8, nov. 2016.
- [11] Pereira, E. R. S. et al. *Análises físico-químicas da polpa de açaí (Euterpe oleraceae Mart.) comercializada no município de salvaterra e soure*. in: Congresso brasileiro de química, 57. Gramado, 2017.
- [12] Silva, F. S. et al. *Avaliação higiênico-sanitária dos estabelecimentos com o selo "Açaí Bom" da Vigilância Sanitária*. Brazilian Journal Of Food Research, Campo Mourão, v. 4, n. 8, p.157-169, dez. 2017.
- [13] Souza, Paula Gimenez de. *Produção e caracterização de açaí (Euterpe oleracea Mart.) desidratado em pó por cast-tape drying*. 2015. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- [14] Tonon, Renata V.; Brabet, Catherine; Hubinger, Míriam D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. Food Research International, vol. 43, p. 907-914, 2010.

Capítulo 7

Influência da granulometria do talo de açaí na adsorção do corante têxtil rodamina 6g em leito fixo

Raíssa Cristine Santos de Araújo

Raylime Louise Tavares Costa

Débora Freitas da Silva

Hellen Carvalho Barros

Lênio José Guerreiro de Faria

Resumo: A presente pesquisa foi proposta como alternativa para solucionar problemas ambientais gerados pelos efluentes líquidos da indústria têxtil. A fim de minimizar estes, utilizou-se as fibras do talo de açaí como adsorvente na remoção do corante têxtil básico Rodamina 6G em solução (200 mg.L⁻¹). Para isto, verificou-se a influência da granulometria do adsorvente modificado com NaOH em leito fixo, com vazão de 0,018 L/min. A classificação do material foi realizada em três faixas granulométricas: 2,362-1,652 mm; 1,652-1,180 mm e 1,180-0,850 mm. Os resultados mostraram excelentes valores na faixa granulométrica inferior: 99,54% de taxa de remoção do corante com capacidade de adsorção do adsorvente de 10,48 mg.g⁻¹.

1 INTRODUÇÃO

A cadeia industrial têxtil, principalmente as etapas de tingimento e estamparia, geram grande quantidade de águas residuais, devido a incompleta fixação do corante e outros compostos. Necessitando de um método de remoção correto que atenda a legislação ambiental vigente. Segundo Veloso (2012), na indústria têxtil os corantes básicos (catiônicos) são os mais utilizados, pois fornecem cores intensas e brilho às fibras sintéticas acrílicas, lã e seda. Além disto, produzem efluentes com menor concentração residual, devido a sua ótima fixação, possibilitando o uso de diversas técnicas para sua purificação, dentre elas, a adsorção.

O tratamento por adsorção é um processo físico-químico utilizado para a remoção de corantes, compostos metálicos, orgânicos e entre outras substâncias. No qual ocorre a transferência de massa e retenção de um ou mais constituintes de um soluto (adsorvato), presente em uma etapa fluida, na superfície de uma fase sólida e porosa (adsorvente) através de interações físicas e/ou químicas. Ressalta-se que a capacidade de adsorção sofre influência direta das naturezas do adsorvente, adsorvato e das condições operacionais do processo físico-químico (DE BOER, 1968).

A viabilidade na execução do processo de adsorção e o seu baixo custo de implementação estão relacionados com a possibilidade de utilização de rejeitos. No estado do Pará tem-se o açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.), uma palmeira tropical típica do norte do Brasil, que após a colheita e debulha (ato de retirar os frutos dos cachos), os restos dos cachos, conhecidos como vassoura ou talo de açaí, são deixados nos locais de retirada para decomposição sem perspectiva de reciclagem (EMBRAPA, 2005). Em suma, o talo de açaí é um rejeito biodegradável fibroso, corroborando para um alto potencial como material bioadsorvente (CARDOSO *et al.*, 2011).

Desta forma, dentro da pesquisa maior que visa a remoção por bioadsorção de corantes básicos, optou-se pelo corante Rodamina 6G (Vermelho Básico 01) presente em efluentes têxteis. Tendo este trabalho o objetivo específico de verificar a influência granulométrica do adsorvente na capacidade de remoção deste corante em sistema de leito fixo com fluxo ascendente de alimentação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

O talo de açaí foi fornecido por agricultores da Ilha das Onças, situada na Baía do Guajará, estado do Pará. O bioadsorvente foi lavado com água destilada e seco em estufa a 50 °C por 24 horas. Posteriormente, foi cominuído em moinho de facas e liquidificador basculante industrial. Com agitação mecânica a fibra moída foi transferida para peneiras padronizadas, ocorrendo a classificação da fibra nas seguintes granulometrias 2,362-1,652 mm; 1,652-1,180 mm e 1,180-0,850 mm, respectivamente, Tyler 10, 14 e 20, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Granulometria das fibras do talo de açaí após o processo de peneiramento.



Com o intuito de aumentar e avaliar a capacidade de adsorção do adsorvente para remoção do corante, adaptou-se as metodologias de tratamento químico de Dos Santos *et al.* (2011) e Araújo *et al.* (2017). As fibras foram imersas em solução de NaOH (3,0M) com homogeneização constante em mesa agitadora, durante o período de 1 hora. Em seguida, o bioadsorvente foi filtrado, lavado com água destilada, seco em estufa a 50 °C por 24 horas e armazenado em dessecador.

2.2 PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO

A solução estoque empregada como adsorvato foi preparada a partir da dissolução do corante em pó Rodamina 6G, CI: 45160, em água destilada, com concentração fixa de 200 mg.L⁻¹ e pH natural da solução de 4,51, medido pelo pHmetro de bancada modelo W3B.

2.3 ENSAIO DE ADSORÇÃO

O procedimento de adsorção escolhido foi em leito fixo com fluxo ascendente e vazão de 0,018 L.min⁻¹. Na coluna, ocorreu a passagem da solução estoque, por 30 minutos, através de 10 g da bioadsorvente particulado (fase estacionária). Todas as faixas granulométricas foram analisadas em seis amostras. Por fim, os valores de absorvância foram determinados pelo espectrofotômetro SP220, com comprimento de onda 530 nm e equipamento previamente calibrado.

A taxa de remoção (%R) do corante adsorvido foi calculada pelas diferenças de concentração, Equação 1. A capacidade máxima de adsorção (Q_e) em leito fixo, encontrada pela Equação 2. Nas quais, a concentração de entrada e saída da coluna representadas por C₀ e C_s, respectivamente, M_{Ads} é a massa de adsorvente na coluna e Q a vazão volumétrica utilizada (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

$$\%R = \left(\frac{C_0 - C_s}{C_0} \right) 100\% \quad (1)$$

$$Q_e = \frac{C_0 Q}{M_{Ads}} \int_0^t \left(1 - \frac{C_s}{C_0} \right) dt \quad (2)$$

3 RESULTADOS

No peneiramento com agitação mecânica, cada faixa granulométrica avaliada apresentou, em porcentagem mássica, os seus rendimentos: 37,61% (Tyler 10), 37,70% (Tyler 14) e 24,70% (Tyler 20). Assim, constataram-se desempenhos semelhantes nas duas faixas de maior granulometria. Ressalta-se que os dois tipos de cominuição realizados buscavam a forma dos bastões que melhor preenchesse a coluna de adsorção com menos espaços vazios.

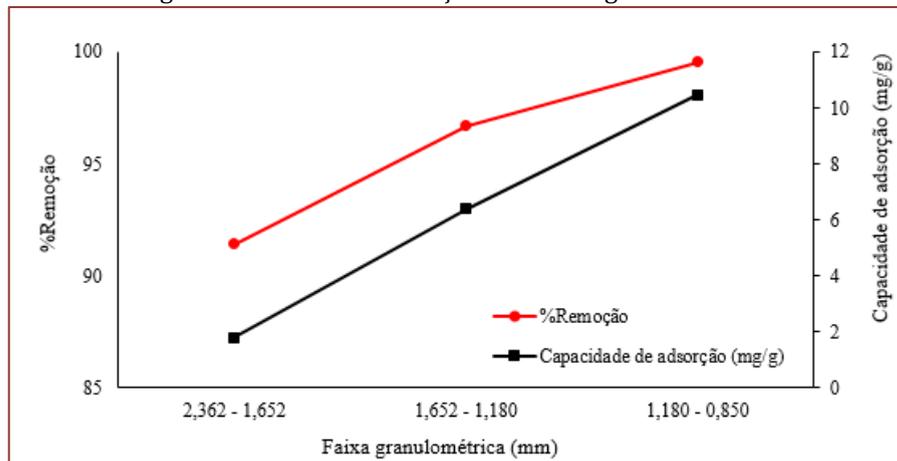
Após o peneiramento, realizaram-se os testes de adsorção em coluna de leito fixo, com solução de concentração inicial de 200 mg.L⁻¹. Para cada amostra obteve-se no espectrofotômetro os valores de absorvância (Abs). Posteriormente, calculou-se o teor de remoção (%R) e a capacidade de adsorção (Q_e) para cada faixa granulométrica, através da Equação 1, Equação 2 e com o auxílio da equação da reta da curva de calibração: Abs=0,147 x C_s-0,07, específica para a obtenção dos valores das concentrações finais (C_s) de cada corrida amostral. Valores presentes na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de adsorção.

Tyler	Especificação da peneira (mm)	Absorvância média	C _s (mg.L ⁻¹)	Q _e (mg.g ⁻¹)	% R
10	2,362 < x < 1,652	2,456	17,183	1,804	91,409
14	1,652 < x < 1,180	0,899	6,590	6,381	96,705
20	1,180 < x < 0,850	0,065	0,916	10,477	99,542

Os resultados apresentados na Tabela 1 e Figura 2 mostram que nas faixas granulométricas estudadas Q_e e %R constituíram valores ótimos e satisfatórios para o tratamento do efluente têxtil em questão. No entanto, a faixa de 1,180-0,850 mm mostrou os resultados mais eficientes na adsorção do corante Rodamina 6G, indicando que 99,54% do corante foi adsorvido.

Figura 2 – Estudo da adsorção nas faixas granulométricas.



Promulgando que os poros das partículas de menor tamanho das fibras do talo de açaí conseguem retirar quase que inteiramente o corante da solução. Desta forma, conforme Nascimento *et al.* (2014) ratifica, diversos materiais têm melhor capacidade de adsorção com a redução do tamanho da partícula, devido ao aumento da área superficial disponível para o contato adsorvato/adsorvente. Por conseguinte, visto que a técnica de adsorção é um fenômeno de superfície, diminui-se a resistência à difusão do processo e aumenta-se a intensidade de adsorção.

4. CONCLUSÃO

Para o tratamento de efluentes por adsorção, faz-se necessário a caracterização do material adsorvente por meio de suas propriedades físico-químicas, haja vista que a capacidade de adsorção depende inteiramente da interface sólida. Logo, o estudo do efeito da granulometria da partícula adsorvente é indispensável para eficácia do processo de adsorção.

Confirmou-se que o percentual de remoção do corante catiônico Rodamina 6G, utilizado em fibra têxtil, e a capacidade máxima de adsorção do talo de açaí são inversamente proporcionais ao tamanho da partícula sólida. Por isto, nesta pesquisa os melhores valores procederam da faixa granulométrica inferior 1,180-0,850 mm, ou seja, o tamanho da partícula e os seus poros decorrem das características físicas e químicas da fibra, das condições de cominuição propostas no procedimento, assim como, proporcionam menos espaços vazios no empacotamento do adsorvente.

Por fim, o talo de açaí, resíduo biodegradável, fibroso e poroso pode ser considerado um eficiente adsorvente para remoção do corante Rodamina 6G e para tratamento de efluentes industriais dependendo da sua composição química e da concentração da solução.

REFERÊNCIAS

- [1] Araújo, N.C., Scarponi, G.H.G., Carvalho, D.C. Utilização de coco in natura e modificado quimicamente como adsorvente alternativo para tratamento de efluente têxtil. *Revista Perquirere*. Patos de Minas. v. 2, p. 178-179, 2017.
- [2] Cardoso, N.F., *et al.* Application of aqai stalks as biosorbent for the removal of the dyes Reactive Black 5 and Reactive Orange 16 form aqueous solution. *Journal of Chemical and Engineering*, v. 56, p. 1857-1868, 2011.
- [3] De Boer, J.H. *The dynamical character of adsorption*. 2ª Ed. Clarendon Press, Oxford, 1968.
- [4] Dos Santos, *et al.* Copper ions adsorption from aqueous medium using the biosorbent sugarcane bagasse in nature and chemically modified. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 216, p. 351-359, 2011.
- [5] Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. *Sistemas de Produção 4 - Açaí*. Belém, 2005.
- [6] Nascimento, R. F., *et al.* *Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais*. 256 p. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.
- [7] Veloso, L. Dossiê Técnico: Corantes e Pigmentos. Instituto de Tecnologia do Paraná. *Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (BRT) e Tecpar*. 2012.

Capítulo 8

Aproveitamento de casca de mandioca e palha de milho para produção de goma xantana

Juliana Albuquerque da Silva

Elisiane Cristina Andrade Reis

Denilson de Jesus Assis

Gleice Valeria Pacheco Gomes

Janice Izabel Druzian

Resumo: Os resíduos de processos agroindustriais necessitam de destino adequado para evitar problemas ambientais. Uma alternativa é usá-los como matéria prima em meios de cultivo, diminuindo o custo de produção de bioprodutos. Esse trabalho teve como objetivo avaliar a produção de goma xantana (GX) a partir da casca de mandioca (CM) e palha de milho (PM) por *Xanthomonas campestris* 1866. A GX foi produzida em meio de cultivo contendo estes substratos alternativos moídos, minimamente suplementados com nitrogênio e potássio, em agitador orbital (28°C / 250 rpm / 96 horas). A sacarose (S) foi utilizada como controle. A produção e viscosidades das GX foram: 1,31 g.L⁻¹ e 181,88 mPa.s; 5,38 g.L⁻¹ e 110,40 mPa.s; e 1,82 g.L⁻¹ e 173,86 mPa.s, quando utilizados sacarose, casca de mandioca e palha de milho, respectivamente. Estes parâmetros foram inversamente proporcionais ($R^2=1,0$), indicando que a viscosidade do meio de cultivo influencia a transferência de nutrientes para as células e, conseqüentemente, a produção extracelular do biopolímero

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos gerados nos processos agroindustriais representam perdas econômicas nos processos produtivos, podendo ocasionar problemas ambientais se não receberem destinação adequada (Ravindran & Jaiswal, 2016). Uma alternativa para o aproveitamento desses rejeitos é o desenvolvimento de novos produtos e a redução do custo da produção (Assis *et al.*, 2014).

Considerando os problemas ambientais ocasionados pelo descarte dos resíduos, a casca de mandioca (CM) resultante do processamento da fabricação da farinha (Vilhalva *et al.*, 2012) e a palha de milho (PM) muitas vezes deixada no campo após a colheita (Ziglio *et al.*, 2007), podem ser usados como substratos alternativos na produção de GX substituindo a sacarose, fonte energética mais utilizada em bioprocessos aeróbios (Paiva, 2014).

A goma xantana (GX) é um exopolissacarídeo natural produzido por bactérias fitopatogênicas, em sua maioria do gênero *Xanthomonas*, sendo mais utilizada a *X. campestris* (Silva & Schmidt, 2015). Suas colônias normalmente são lisas, viscosas e caracterizadas por produzirem um pigmento amarelo relacionado com a membrana xantomadina (Fornari, 2006).

Devido às características e vantagens reológicas, como também sua estabilidade em diferentes temperaturas e em ampla faixa de pH, além do comportamento pseudoplástico a GX vem sendo utilizada nas indústrias de alimentos, cosmética, farmacêutica e de petróleo, como espessante, geleificante, estabilizante e emulsionante (Ghashghaei *et al.*, 2016).

O objetivo desse trabalho foi avaliar a produção e qualidade reológica de goma xantana obtida por *Xanthomonas campestris* a partir de casca de mandioca e palha de milho como substratos fermentescíveis alternativos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MICRORGANISMO E MANUTENÇÃO

A cepa utilizada foi a *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* 1866, doada da Coleção de Culturas de Fitobactérias do Instituto Biológico - IBSBF, Campinas-SP. A cultura foi mantida em placas de Petri contendo meio YM-agar, composto de agar puro (2,0% m/v) e YM-padrão (0,3% m/v de extrato de malte, 0,3% m/v de extrato de levedura, 0,5% m/v de peptona bacteriológica, 1,0% m/v de glicose), dissolvidos em água destilada, sob refrigeração e repicadas periodicamente. A goma foi obtida a partir das etapas de repicagem, inóculo, produção e recuperação.

2.2. RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

A casca de mandioca e a palha de milho, utilizadas como substratos fermentescíveis alternativos, foram submetidas ao processo de secagem, através da utilização de estufa com ventilação forçada (Nova Ética, modelo 400/ND) a uma temperatura média de 50°C até obter peso constante. Depois do processo de secagem, o material foi triturado e acondicionado em sacos plásticos transparentes.

2.3. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DOS RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Os resíduos foram avaliados quanto ao teor de umidade, cinzas e proteína bruta de acordo com a metodologia de AOAC (2000) e, em termos de lipídios totais, segundo o método de Bligh & Dyer (1959). A partir da diferença entre 100 e a soma dos percentuais de umidade, proteína, lipídios totais e cinzas, foi calculado o teor de carboidratos. As análises foram realizadas em triplicatas.

2.4. REPICAGEM DA CEPA

Para o processo de repicagem foi utilizado o meio YM-agar. O mesmo foi autoclavado (Autoclave vertical, Alpha, 121 °C/15 min) e transferido para placas de Petri.

Após solidificação do meio e equilíbrio com a temperatura ambiente, foi realizada a repicagem da linhagem com uma alçada da cultura mantida em estoque seguida de incubação em estufa bacteriológica (Tecnal, modelo TE 398/2, 48 horas/ 28 °C).

2.5. INÓCULO

Para a preparação do inóculo foi utilizado o meio YM-padrão. Foram distribuídos volumes de 50 mL do meio YM para Erlenmeyer de 250 mL. O mesmo foi resfriado até equilíbrio com a temperatura ambiente, inoculado com uma alçada da cultura de *Xanthomonas campestris* 1866 e incubado em agitador rotativo (Shaker Tecnal, TE-424, 28 °C/180 rpm/24 horas).

2.6. PRODUÇÃO DE GOMA XANTANA

A produção de goma xantana foi realizada em meio fermentativo convencional como controle (sacarose, 2,0% m/v) e em meios alternativos (casca de mandioca e palha de milho, 2,0% m/v), como fontes de carbono. Os dois meios foram minimamente suplementados com uréia (0,01 % m/v) e K₂HPO₄ (0,10 % m/v). Foram distribuídos os volumes de 80 mL de meio fermentativo em Erlenmeyer de 250 mL e autoclavados (121°C/15 min.). Após resfriamento a temperatura ambiente, adicionou-se o inóculo da cepa 1866 (20 % m/v do meio fermentativo). O cultivo em batelada foi realizado em agitador rotativo (28 °C/250 rpm/96 horas). As produções foram realizadas em triplicatas.

2.7. RECUPERAÇÃO E PURIFICAÇÃO DA GOMA

A separação das gomas xantana dos diferentes substratos foi realizada isolando-se as células de bactérias de *Xanthomonas campestris* por centrifugação (Eppendorf, modelo 5702R, 12000 rpm/30 min/4 °C) e adicionando-se álcool etílico ao sobrenadante (3 partes de álcool para 1 parte do meio fermentativo). As gomas precipitadas foram retiradas com o auxílio de um bastão de vidro e transferidas para placas de Petri previamente taradas. As gomas obtidas foram secas em estufa (Nova Ética, modelo 400/ND, 30 °C/48 horas) e moídas com auxílio de gral com pistilo para a determinação gravimétrica da produção (g.L⁻¹), além de viscosidade aparente.

2.8. VISCOSIDADE APARENTE

A viscosidade aparente foi medida em função da taxa de cisalhamento em um reômetro de cilindros concêntricos (Haake CV-20). Para esse modelo de reômetro foram requeridos 25 mL das soluções aquosas de GX (0,5 % m/v), preparadas e mantidas sob refrigeração (4 °C/12 horas) antes de se proceder às medições. A viscosidade aparente das soluções aquosas de xantana foi determinada a 25 °C e taxa de cisalhamento de 25 a 1000 s⁻¹. O efeito da taxa de cisalhamento na viscosidade das soluções de GX foi descrito pelo modelo cinético de Ostwald-de Waele:

$$\mu = K \cdot (\dot{\gamma})^{n-1} \quad (1)$$

onde K é o índice de consistência, n é o índice de comportamento de escoamento, μ é a viscosidade aparente e $\dot{\gamma}$ é a taxa de cisalhamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da composição centesimal da casca de mandioca (CM) e da palha de milho (PM), assim como as produções de gomas xantana (GX) no meio convencional e nos meios alternativos estão relacionados na Tabela 1. Após a fermentação, as gomas xantana foram recuperadas com álcool etílico e avaliadas visualmente para verificar a diferença quanto à coloração, conforme mostra a Figura 1.

Constata-se que a composição centesimal de CM e PM apresenta diferenças bastante acentuadas, principalmente nos teores de cinzas, proteína bruta e lipídios totais e isto resulta também em diferenças nas composições dos substratos fermentescíveis para a produção de GX.

Tabela 1 – Composição centesimal dos substratos fermentescíveis e produções de gomas xantana após 96 horas de fermentação a 28 °C e 250 rpm pela cepa 1866.

Parâmetros	Sacarose	CM	PM
Umidade (%)	-	8,73 ± 0,02a	6,95 ± 0,04b
Cinzas (%)	-	6,07 ± 0,01b	1,36 ± 0,01c
Proteína Bruta (%)	-	3,76 ± 0,03c	7,48 ± 0,02d
Lipídios Totais (%)	-	1,70 ± 0,02d	0,84 ± 0,0e
Carboidratos (%)	100	79,74 ± 0,01e	83,37 ± 0,01f
C:N	-	23:1	12:1
GX 1866 (g.L ⁻¹)	1,13 ± 0,12	5,38 ± 0,12	1,82 ± 0,03

CM = Casca de Mandioca; PM = palha de Milho; GX = Goma Xantana

*Letras diferentes na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

De acordo com a Figura 1, a goma obtida com a sacarose apresenta coloração mais clara que as gomas obtidas com a casca de mandioca e com a palha de milho. Essas diferenças devem-se aos substratos utilizados na fermentação e também aos diferentes arranjos moleculares das cadeias dos polímeros (Rottava, 2005).

Figura 1 – Aspecto das gomas xantana sintetizada pela cepa 1866 e após precipitação com álcool etílico a partir de sacarose (a), casca de mandioca (b) e palha de milho (c).



(a)

(b)

(c)

A produção de GX normalmente é influenciada pelo elevado valor da relação C:N, que foi bastante diferente dependendo de CM ou PM (Tabela 1). Normalmente, o acúmulo de polímero é favorecido em meios onde o teor de carbono é elevado e o de nitrogênio é baixo, o que pode explicar a maior produção de GX obtida pelo cultivo de CM. A maior produção de GX foi obtida com o meio fermentativo da CM, que apresenta a maior relação C:N. Brandão *et al.* (2010 e 2008) relatam a produção de 6,79 g.L⁻¹ de GX utilizando o soro de mandioca e de 14,23 g.L⁻¹ com o caldo de cana. Nery *et al.* (2008) relatam 12,36 g.L⁻¹ com o soro de leite, com 120 horas de fermentação por *Xanthomonas campestris* 1866. Segundo Rosalam & England (2006) o microrganismo utilizado, o tempo de fermentação, o substrato do meio fermentativo e a composição do mesmo são fatores que influenciam a produção de GX. Sendo assim, a CM e a PM podem ser utilizadas como substratos alternativos nos processos fermentativos para produzir GX, por apresentar composição química significativa, além de tornar a produção mais viável do ponto de vista econômico e ambiental.

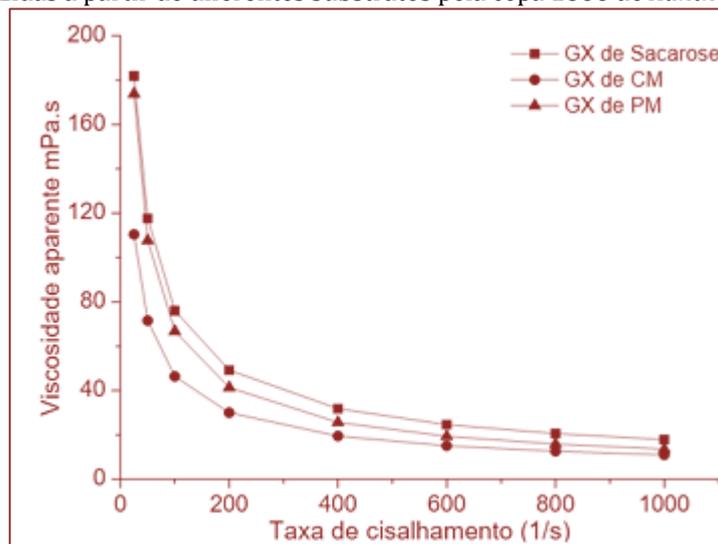
Segundo Nitschke *et al.* (2001), quando a concentração de nitrogênio do meio é mais elevada, ocorre rápido crescimento celular e a GX produzida apresenta viscosidade aparente baixa. Os processos industriais buscam utilizar meios em que as condições favoreçam tanto o crescimento como o acúmulo da goma.

As propriedades reológicas das gomas xantana foram avaliadas através da análise de viscosidade aparente, para verificar a qualidade das gomas obtidas a partir das soluções aquosas (0,5% m/v) dos polímeros no processo fermentativo com a linhagem 1866, realizada a 25°C e taxa de cisalhamento de 25 a 1000 s⁻¹. Os resultados estão ilustrados na Figura 2. Conforme a taxa de cisalhamento aumenta a viscosidade diminui, comprovando o comportamento pseudoplástico, característico de goma xantana

(García-Ochoa *et al.*, 2000). De acordo com Fornari (2006), quanto maior a viscosidade aparente melhor a qualidade da goma produzida.

A maior viscosidade máxima foi obtida para a goma xantana produzida com sacarose (181,88 mPa.s), seguidos da PM (173,86 mPa.s) e da CM (110,40 mPa.s).

Figura 2 – Taxa de cisalhamento x Viscosidade aparente (25°C, 25s⁻¹, 0,5% GX (m/v)) das gomas xantana produzidas a partir de diferentes substratos pela cepa 1866 de *Xanthomonas*.



A partir da regressão de potência foi realizado o ajuste do modelo de Ostwald-de Waele aos dados experimentais, de acordo com a Equação 1. Os parâmetros reológicos das gomas produzidas com os três substratos são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros reológicos das gomas xantana produzidas com a cepa de *Xanthomonas campestris* 1866 e os substratos: Casca de Mandioca (CM), Palha de Milho (PM) e Sacarose.

Substratos	T°C	<i>n</i>	<i>K</i>	R ²
CM	25	0,38	829,45	0,99
PM	25	0,31	1607,60	0,99
Sacarose	25	0,37	1378,80	0,99

Todas as amostras das soluções de goma xantana apresentaram coeficientes de correlação (R²) iguais a 0,99, mostrando que o modelo é válido e índice do comportamento de escoamento (*n*) menor que uma unidade, o que confirma o comportamento pseudoplástico das soluções preparadas com os polissarídeos. O valor do índice de consistência (*K*) indica o grau de resistência do fluido diante do escoamento, ou seja, quanto maior o valor de *K* mais viscoso será o fluido, o que desperta o interesse das áreas de alimentos, cosméticos e medicamentos pelo polímero já que este irá favorecer a redução da quantidade do aditivo (Druzian & Pagliarini, 2007). A GX de melhor qualidade quando comparada com o padrão é a produzida com a PM.

4. CONCLUSÃO

Foi possível produzir goma xantana utilizando casca de mandioca e a palha de milho como componentes dos meios de cultivo, minimamente suplementados com uréia e fosfato pelas cepas nativas de *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* 1866 em agitador orbital (28°C / 250 rpm / 96 horas). O maior rendimento de goma xantana foi obtido a partir da bioconversão da casca de mandioca, sendo aproximadamente cinco vezes maior que a bioconversão da sacarose, fonte de carbono convencional. Todas as soluções apresentaram comportamento reológico pseudoplástico, característico de soluções poliméricas de goma xantana, no entanto, a goma produzida com a palha de milho foi a que apresentou

melhor qualidade quando comparada com a do controle. Sendo assim, a casca de mandioca e a palha milho podem ser fontes viáveis de substrato para a produção de goma xantana, por apresentar uma possibilidade alternativa de bioconverter rejeitos agroindustriais de baixo custo em um produto de alto valor agregado.

REFERÊNCIAS

- [1] Assis, D. J.; Costa, L. A. S.; Campos, M. I.; Souza, C. O. de.; Druzian J. I.; Nunes, I. L.; Padilha, F. F. Influência da Natureza do Rejeito Agroindustrial Fermentado por *Xanthomonas axonopodis* pv. *Manihotis* nas Propriedades das Gomas Xantana Resultantes. *Polímeros*, v. 24, p. 176-183, 2014.
- [2] Association of official analytical chemists. Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th ed., Gaithersburg, 2000.
- [3] Bligh, E. G. & Dyer, W. J. J. A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification. *Can. J. - Biochem. Physiol.*, v. 37, p.911-7, 1959.
- [4] Brandão, L. V.; Esperidião, M. C. A.; Druzian, J. I. Utilização do Soro de Mandioca como Substrato Fermentativo para a Biosíntese de Goma Xantana: Viscosidade Aparente e Produção. *Polímeros*, v. 20, p. 175-180, 2010.
- [5] Brandão, L. V.; Nery, T. B. R.; Machado, B. A. S.; Esperidião, M. C. A.; Druzian, J. I. Produção de Goma Xantana obtida a partir do Caldo de Cana. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, v. 28, p. 217-222, 2008.
- [6] Druzian, J. I. & Pagliarini, A. P. Produção de Goma Xantana por Fermentação do Resíduo de Suco de Maçã. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, v. 27, p. 26-31, 2007.
- [7] Fornari, R. C. G. Aproveitamento de Soro de Queijo para Produção de Goma Xantana. *Dissertação (Mestrado)* - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Departamento de Ciências Agrárias. Erichim, 2006.
- [8] García-Ochoa, F.; Santos, V. E.; Casas, J. A.; Gómez, E. Xanthan Gum: Production, Recovery, and Properties. *Biotechnol. Adv.*, v. 18, p. 549-79, 2000.
- [9] Ghashghaei, T., Soudi, M. R., Hoseinkhani, S. Optimization of Xanthan Gum Production from Grape Juice Concentrate Using Plackett-Burman Design and Response Surface Methodology. *Appl Food Biotechnol.*, v. 3, p. 15-23, 2016.
- [10] Nery, T. B. R.; Brandao, L. V.; Esperidião, M. C. A.; Druzian, J. I. Biosíntese de Goma Xantana a partir da Fermentação de Soro de Leite: Rendimento e Viscosidade. *Quím. Nova*, v. 31, p. 1937-1941, 2008.
- [11] Nitschke M., Rodrigues V., Schinatto L. F. Formulação de Meios de Cultivo à base de Soro de Leite para a Produção de Goma Xantana por *X. Campestris* C71. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, v. 21, p.82-85, 2001.
- [12] Paiva, V. M. N. de. Resíduos Agroindustriais para Produção de Goma Xantana. *Trabalho de conclusão de curso (graduação)*, UFJF, Faculdade de Farmácia. Juiz de Fora, 2014.
- [13] Ravindran, R. & Jaiswal, A.K. Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. *Trends Biotechnol.*, v. 34, p. 58-69, 2016.
- [14] Rosalam, S. & England, R. Review of Xanthan Gum Production from Unmodified Starches by *Xanthomonas campestris* sp. *Enzyme Microb. Tech.*, v. 39, p.197-207, 2006.
- [15] Rottava, I. Seleção de Linhagens de *Xanthomonas* sp. para Produção de Goma Xantana. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Regional Integrada do Alto do Uruguai e das Missões. Brasil, 2005.
- [16] Silva, G. S. & Schmidt, C. A. Prospecção Tecnológica da Produção de Goma Xantana ao Longo dos Anos. *Cadernos de Prospecção*, v. 8, p.93-102, 2015.
- [17] Vilhalva, D. A. A.; Soares Júnior, M. S., Caliar, M.; Silva, F. A. da. Secagem Convencional de Casca de Mandioca Proveniente de Resíduos de Indústria de Amido. *Pesq. Agropec. Trop.*, v. 42, p. 331-339, 2012.
- [18] Ziglio, B. R.; Bezerra, J. R. M. V.; Branco, I. G.; Bastos, R.; Rigo, M. Elaboração de Pães com Adição de Farinha de Sabugo de Milho. *Recen.*, v. 9, p. 115-128, 2007.

Capítulo 9

Caracterização energética da fibra da casca do coco com posterior produção de briquete

Ailton Freitas Balieiro Ferreira

Agnes Danilo Fernandes da Costa

Mara Rosana de Carvalho Moraes

Luan Bruno Pinho Flores

Renan Teixeira Baia

Schilienne de Oliveira Moreno

Resumo: O Brasil produz muitos resíduos que podem gerar energia, um exemplo disso, é a fibra da casca do coco, que pode trazer vantagens por ser de baixo custo, por emitir menos fumaça que a combustão da madeira, pois compactada apresenta baixo teor de cinzas, e por reaproveitar um material que é encaminhado ao lixo, que pode agravar ainda mais o sistema de coleta e tratamento do mesmo. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar energeticamente a fibra do coco, determinando o teor de umidade, o teor de voláteis, o teor de cinzas, o teor de carbono fixo e o poder calorífico da fibra. A metodologia adotada foi baseada nas normas NBR 8112 e ASTM's E871, E872 e D1102. Os resultados demonstraram que a fibra pode ser usada como biomassa para produzir energia, pois apresentou teor de umidade de 12,08%, teor de voláteis de 62,48%, teor de cinzas de 8,58%, teor de carbono fixo de 28,92% e poder calorífico superior de 21,86 MJ/kg, valores próximos aos da literatura adotada. Portanto, a fibra de coco é viável para gerar energia, pois os dados obtidos ficaram próximos aos da literatura, por causa disso, usou-se a mesma para produzir um briquete de 7,2 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura, compactado por 4 minutos sob uma carga 5 toneladas, sendo submetido depois ao ensaio mecânico de compressão - NBR 5738 – adaptado, onde suportou uma carga de 11,178 kN (1140 kgf) e resistência a compressão de 2,75 MPa.

Palavras-chave: fibra da casca do coco, biomassa, energia, caracterizar e briquete.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda energética é tão preocupante quanto o aumento do volume de lixo acumulado nas cidades, que é fruto do avanço tecnológico, do consumo desenfreado e do estilo de vida das pessoas. Nos próximos anos equacionar esse crescimento será um dos grandes desafios da humanidade.

No último panorama divulgado pela Associação Brasileira Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2016), estima-se que o Brasil produz, em média, aproximadamente 79 milhões de toneladas de resíduos por ano, dos quais aproximadamente 41% são descartados de forma inadequada em lixões ou a aterros “controlados”, ameaçando o meio ambiente e a saúde das pessoas, uma vez que esses lugares não apresentam as condições adequadas de receber essa quantidade de matéria, tampouco realizam a reutilização, a reciclagem e/ou o tratamento total desses resíduos.

Um dos resíduos que contribui para esse panorama é a casca do coco, que em muitas capitais brasileiras tem uma destinação inadequada, sendo jogada aos arredores de praças, em praias, no mar e nas orlas de cidades litorâneas, caracterizando um desperdício de matéria-prima, pois a fibra de coco pode ser considerada como biomassa, apresentando alto valor energético, podendo ser utilizada na geração de energia, através de processos como a briquetagem.

Por causa disso, o reaproveitamento da fibra do coco como biomassa para gerar energia, a partir de sua combustão parcial, traz vantagens por ser uma energia renovável, por ser de baixo custo, por emitir menos fumaça e por possuir baixo teor de cinzas quando compactada, características que, segundo Bernardino (2010), contribuem para a diminuição do efeito estufa e do aquecimento global.

Portanto, o presente trabalho visa caracterizar a fibra do coco em função de parâmetros energéticos e, desta forma, avaliar o seu potencial para aplicá-la na geração de energia, através da confecção de briquetes, contribuindo assim para a sustentabilidade, reaproveitando o resíduo cujo o descarte incorreto pode apresentar impactos nocivos ao meio ambiente, a saúde das pessoas e aumentar o tempo de vida útil dos aterros das cidades, uma vez que a decomposição do coco é extremamente lenta no meio.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Resistência e Tecnologia dos Materiais do Núcleo Tecnológico das Engenharias, pertencente a Universidade do Estado do Amapá (UEAP).

2.1 MATÉRIA-PRIMA E SUA PREPARAÇÃO

A casca do coco foi coletada nos quiosques da praça do Coco, localizada a cerca de 1,5 km do centro da capital Macapá, em frente ao rio Amazonas (na orla da cidade). Ela é gerada em grandes quantidades após o descarte no lixo ou em lugares impróprios pelos vendedores deste produto. A Figura 1 ilustra o processo de retirada das fibras do coco manualmente.

Figura 1. Retirada das fibras do coco (processo manual).

a) Visão superior.



b) Visão lateral.



Fonte: arquivo próprio.

A fibra foi extraída da região do mesocarpo para a sua caracterização energética. Após a definição dos parâmetros energéticos, a matéria-prima foi desfibrada e moída com auxílio de um triturador, porque o material não se encontrava na granulometria ideal para a etapa de briquetagem.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO

Para determinar a Análise Imediata da fibra *in natura*, regida pela NBR 8112 e ASTM's E871, E872 e D1102 é necessário determinar o teor de umidade, o teor de voláteis, o teor de cinzas, o teor de carbono fixo e o poder calorífico superior da fibra do coco.

2.2.1 Determinação do teor de umidade (NBR 8112 e ASTM E871)

A fibra foi colocada em uma estufa da marca Sterilifer, a 115°C, até a massa tornar-se constante. A massa antes e depois da secagem foi utilizada para determinar o teor de umidade (ω_{bu}), conforme a Equação 1.

$$\omega_{bu} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \times 100 (\% bu) \quad (1)$$

onde m_1 é a massa inicial da amostra e m_2 é a massa final, ambas em gramas (g).

A Figura 2 ilustra as fibras do coco dentro da estufa sofrendo o processo de secagem.

Figura 2. Fibra do coco a 115°C.



Fonte: arquivo próprio.

2.2.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE VOLÁTEIS (NBR 8112 E ASTM E872)

A fibra de coco foi introduzida em um cadinho e levada à mufla da marca RRP, previamente aquecida a $\pm 815^\circ\text{C}$, por cerca de 7 minutos. Posteriormente, a amostra foi esfriada em um dessecador contendo sílica gel, até atingir o equilíbrio térmico. O teor de voláteis foi calculado pela Equação 2.

$$T_v = \left(\frac{m_2 - m_3}{m_2} \right) \times 100 (\% bs) \quad (2)$$

onde m_2 e m_3 são as massas inicial e final, respectivamente, após o processo de combustão.

2.2.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS (NBR 8112 E ASTM D1102)

O teor de cinzas foi obtido queimando-se 1 g da fibra, já sem umidade e sem voláteis, em uma segunda mufla, sob a temperatura de $\pm 715\text{ }^\circ\text{C}$ por uma hora.

O teor de cinzas foi obtido por meio da Equação 3.

$$T_{\text{cinzas}} = \left(\frac{m_3 - m_4}{m_3} \right) \times 100 (\% \text{ bs}) \quad (3)$$

T_{cinzas} é o teor de cinzas, m_3 é a massa da amostra antes do experimento e m_4 é a massa resultante após a calcinação, sendo dadas em g.

A Figura 3 demonstra o resfriamento das fibras de coco no dessecador, antes da determinação do teor de cinzas. Já Figura 4 mostra as cinzas resultantes da combustão a $\pm 715\text{ }^\circ\text{C}$.

Figura 3. Resfriamento das fibras



Fonte: arquivo próprio.

Figura 4. Cinzas da fibra do coco.



Fonte: arquivo próprio.

2.2.4 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CARBONO FIXO (NBR 8112)

Este parâmetro é obtido depois de se ter em mãos o teor de voláteis e o de cinzas, por intermédio da Equação 4.

$$T_{cf} = 100 - (T_v + T_{\text{cinzas}}) \quad (4)$$

2.2.5 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)

O PCS é obtido por bomba calorimétrica ou por análise elementar. De acordo com Rendeiro *et al.* (2008), relaciona-se o PCS de uma biomassa com a quantidade de ligações químicas envolvendo seus elementos, neste caso, basta conhecer a fração mássica dos componentes da biomassa, que é possível determinar o PCS. A Equação 5 é um exemplo deste tipo de correlação.

$$PCS = 437,1m_c - 1669,4 \quad (5)$$

em que m_c é a fração mássica de carbono na biomassa combustível seca, em porcentagem. O PCS é expresso em kJ/kg de biomassa seca.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a análise imediata da biomassa *in natura* da fibra do coco estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização energética da fibra de coco e comparação com outras biomassas.

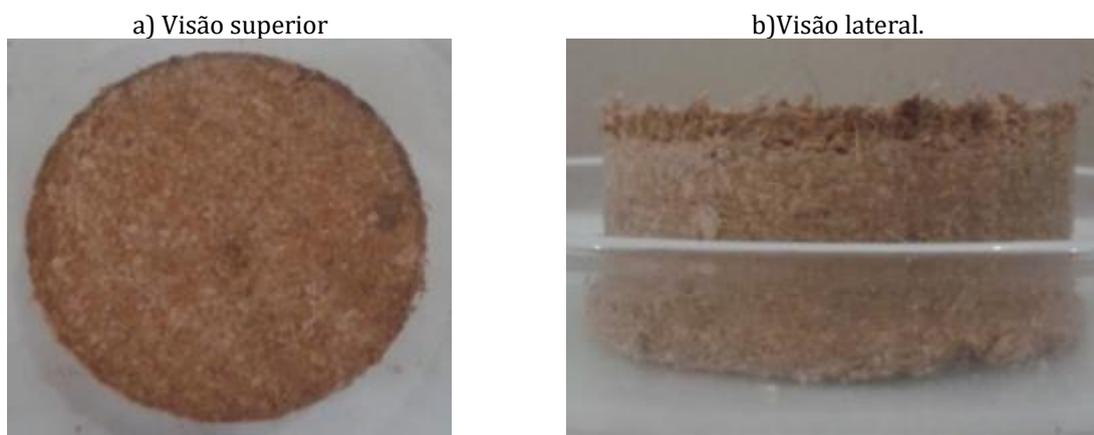
Valores	Teor de umidade(%)	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas(%)	Teor de carbono fixo(%)	Poder calorífico superior (MJ/kg)
Experimental	12,08	62,48	8,58	28,92	21,86
Fibra de coco*	12	70,6	4,7	24,7	18,67
Cascas de castanha-do-pará	15,7	71,0	1,9	27,1	20,28
Casca de amêndoa	8,5	77,7	1,6	20,7	22,22
Casca de nozes	10,0	75,9	1,7	22,5	21,10
Casca de palmito	14,3	76,1	5,9	18,0	16,18

*valor obtido por Rendeiro *et al.*(2008).

Nota-se que os valores dos parâmetros obtidos, a partir da análise imediata de caracterização da fibra do coco, foram condicentes com os da literatura, porque todos ficaram muito próximos dos valores encontrados por Rendeiro *et al.* (2008) e, em comparação com as outras biomassas, a casca do coco apresentou resultados satisfatórios e, em alguns casos, até superiores, como o elevado poder calorífico superior, o teor de umidade relativamente baixo e o teor de carbono alto. Sendo assim, conclui-se que a fibra é de fato uma biomassa que pode ser reaproveitada para produzir energia.

Portanto, produziu-se um briquete em formato de “pequena almofada”, conforme ilustrado na Figura 5, para verificar o potencial energético da fibra do coco. As dimensões do briquete compactado, sob prensagem manual, foram de 2,5 cm de espessura por 7,2 cm de diâmetro.

Figura 5. Briquete produzido.



No briquete produzido realizou-se também uma análise imediata, para verificar se os valores se diferenciavam muito com os obtidos apenas para a fibra, sem o processo de briquetagem. A Tabela 2 apresenta os dados encontrados mediante a caracterização energética no briquete.

Tabela 2. Resultados da composição imediata para o briquete produzido.

Valores	Teor de umidade (%)	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)	Poder calorífico superior (MJ/kg)
Briquete	10,3	87,093	5,03	7,87	-
Fibra de coco	12,08	62,48	8,58	28,92	21,86

Analisando a Tabela 2, é possível visualizar que os valores dos parâmetros energéticos se alteraram para o briquete confeccionado, observa-se que o teor de umidade diminuiu, pois o corpo de prova apresenta menor quantidade de água livre do que a fibra e os espaços preenchidos anteriormente por ar, passaram a ser ocupados por partículas de tamanho menor na briquetagem. O teor de cinzas foi menor, o que garante menor liberação de gases ao meio ambiente. O teor de voláteis foi alto em virtude da quantidade de matéria que se volatilizou, a maioria compostos orgânicos, como CO, CO₂, H₂ e H₂O, que se encontravam no interior do briquete.

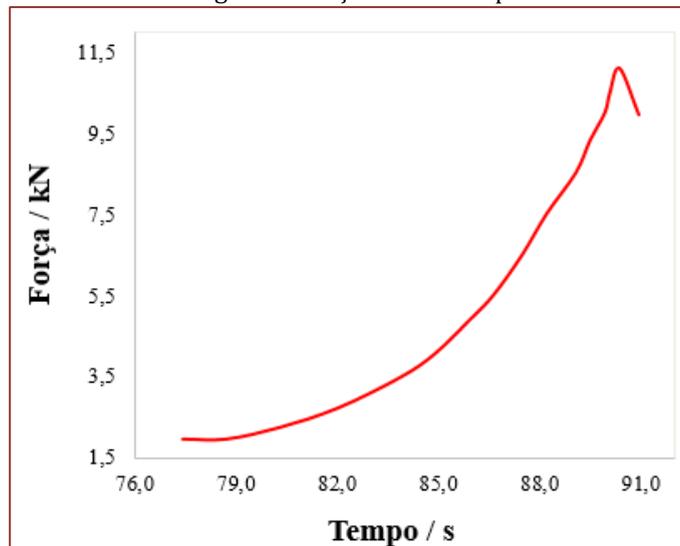
Após a determinação da composição imediata do briquete, o mesmo foi submetido ao ensaio de resistência à compressão (Figura 6). Segundo Quirino (1989), este também é um importante parâmetro a ser avaliado na confecção e comercialização de briquetes. Em geral, os briquetes devem apresentar carga de ruptura superior a 70 kgf (686,5 N).

Figura 6. Briquete durante o ensaio mecânico de resistência à compressão.



O briquete se rompeu sob uma carga de 1140 kgf (11,178 kN) e suportou uma tensão máxima de 2,75 MPa (28,0033 Kgf/cm²), conforme pode-se visualizar na figura 7.

Figura 7. Força versus tempo.



Analisando o teste (Figura 7), em relação ao limite de carga que o material deveria suportar, percebe-se que o briquete produzido superou os dados da literatura, rompendo-se sob uma força maior do que a estabelecida por Quirino (1989), isto é acima de 70 kgf (686,5 N), demonstrando ser um excelente produto para suportar cargas elevadas no transporte e no acondicionamento dos briquetes, durante a sua comercialização.

4 CONCLUSÃO

A fibra do coco apresentou bons parâmetros de caracterização energética, tais como baixo teor de umidade, elevado teor de voláteis, baixo teor de cinzas, alto teor de carbono fixo e poder calorífico superior elevado, resultados próximos aos da literatura adotada (RENDEIRO *et al.*, 2008). Além disso, o briquete produzido se comportou muito bem no teste de resistência à compressão, consequentemente, a fibra de coco é uma excelente matéria-prima na produção de biomassa para a geração de energia.

Entretanto, ainda é necessário estudar a fibra em escala industrial, avaliando também o possível emprego da casca como biomassa, além de considerar outros fatores que podem encarecer a logística e o seu acondicionamento, tais como a retirada das fibras, que fora realizada manualmente e demandou bastante tempo.

REFERÊNCIAS

- [1] Abrelpe. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. São Paulo: 2016. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2016/>>. Acesso em: 07 mai. 2019.
- [2] Bernardino, M. J. N.; Tavares, J. Biomassa: a biomassa (massa biológica) é a quantidade de matéria orgânica produzida numa determinada área de um terreno. *Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense*. v. 1, p. 237-242, 2010.
- [3] Quirino, W. F.; Okino, E. Y. A. *Aspectos técnicos da briquetagem do carvão vegetal no Brasil*. Laboratório de Produtos Florestais – LPF – Série Técnica nº1, Brasília, 1989. p. 14.
- [4] Rendeiro, G.; Nogueira, M. F. M; Brasil, A. C. M; Cruz, D. O. A.; Guerra, D. R. S.; Macêdo, E. N.; Ichihara, J. A. *Combustão e gasificação de biomassa sólida: soluções energéticas para a Amazônia*. 1. ed. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

Capítulo 10

Conservação de alface hidropônica sob refrigeração não isotérmica

Fernanda Raquel Wust Schmitz

Isadora de Andrade Paulo

Tuany Gabriela Hoffmann

Sávio Leandro Bertoli

Lisiane Fernandes de Carvalho

Carolina krebs de Souza

Resumo: A alface é uma das hortaliças mais consumidas pelos brasileiros e é fonte de vitaminas e minerais. Este trabalho teve o objetivo de obter informações que propiciem a otimização de sistemas de refrigeração para alimentos folhosos. Verificou-se o comportamento da temperatura e umidade relativa no interior do refrigerador com sensor Klimalogg Pró. As amostras de alface foram armazenadas em bandejas de polietileno e pet cristal com filme de PVC e todos os ensaios foram feitos em triplicata. Utilizaram-se as metodologias de termogravimetria (TGA), variação de massa e avaliação sensorial com 07 julgadores. Este estudo complementou conhecimentos a respeito do comportamento da alface refrigerada em sistemas não isotérmicos, estudando condições de armazenamento e tecnologia de refrigeração que possam inclusive influenciar na redução do gasto de energia e desperdício de água e alimentos.

1. INTRODUÇÃO

Hortalças são muito consumidas pela população brasileira, pois são fonte de vitaminas e minerais (Françoso *et al.*, 2008) e devido ao dia-a-dia corrido das pessoas, estes itens da alimentação se tornam práticos quando encontrados minimamente processados. Porém a exigência dos consumidores é grande, optando por alimentos frescos e de boa aparência. Estas exigências são atendidas com armazenamento sob refrigeração e processamento mínimo, que permitem um tempo de vida maior às frutas e hortalças (Jacobi *et al.*, 2000)

O armazenamento em ambiente refrigerado faz com que as características físico-químicas, biológicas e químicas se mantenham inalteradas por mais tempo, podendo ser por dias ou até semanas (Toledo, 1991; Fellows, 2006).

A alface é muito encontrada nos supermercados e feiras e também é uma hortalça que faz parte do dia a dia dos brasileiros, desta forma, o estudo para que este alimento mantenha suas características é de grande importância.

Segundo Mou (2005) uma alface de qualidade possui capacidade antioxidante, boas concentrações de minerais, proteínas e carboidratos para os consumidores.

A refrigeração dos alimentos em temperatura ótima logo após a colheita até o seu consumo é um dos fatores mais importantes, pois garante a qualidade do produto, já que temperaturas amenas reduzem a atividade respiratória, a atividade enzimática e microbiológica, prolongando a vida útil do alimento (Rickman *et al.*, 2007).

O controle da temperatura é fundamental, pois as alterações desta durante o armazenamento tem efeito direto nos atributos de qualidade como o valor nutricional, textura, aroma e sabor (Chitarra, 2005). Outro item a ser monitorado em sistemas de refrigeração de alimentos é a umidade relativa, pois valores incorretos podem causar murchamento da hortalça ou fruto, perda da qualidade, aumento da transpiração dos vegetais e conseqüentemente perda de qualidade (Galvão, 2009).

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. MATERIAL

Para os testes foram utilizadas folhas de alface crespa (*Lactuca sativa* L.), cultivadas em sistema de hidroponia. As mesmas foram colhidas em campos de produção comercial, no período matutino, na cidade de Blumenau, Santa Catarina. Após a colheita o material foi levado para o Laboratório de Processamento de Alimentos (LAPRA) do Departamento de Engenharia Química da FURB, onde foram preparadas para o início dos experimentos.

2.2.MÉTODOS

Preparo das amostras: As amostras de folhas de alface foram selecionadas de acordo com a cor, tamanho e ausência de defeitos. Após a seleção, as mesmas foram acondicionadas em embalagem de poliestireno expandido (isopor) sem cobertura e em bandeja de PET cristal com cobertura de filme PVC sem contato com o ar refrigerado. As amostras foram pesadas e armazenadas em B.O.D. (Incubadora refrigerada) a 4°C com umidade relativa inicial de 74%.

Monitoramento de temperatura e umidade relativa: O monitoramento da temperatura e da umidade relativa foi realizado durante os 14 dias para verificar e registrar possíveis flutuações dos mesmos em refrigerador doméstico e as suas influências ao longo do armazenamento refrigerado de vegetais folhosos utilizando sensor Klimalogg Pro.

Varição da massa: A variação da massa das folhas de alface foi quantificada ao longo dos 14 dias, expressa em porcentagem. Para esta análise utilizou-se balança analítica, modelo BG1000, marca Gehaka.

Termogravimetria: Determinação dos minerais totais e umidade, submetendo amostras a temperaturas de 24°C à 1000°C, em equipamento TGA (marca Shimadzu).

Análise sensorial: Foi realizada avaliação de cor e aparência global das folhas de alface nos dois tipos de embalagem (aberto e fechado) ao longo dos 14 dias de armazenamento refrigerado. Uma equipe julgadora contribuiu para a avaliação dos dois quesitos, levando em conta aspectos sensoriais de cor e aparência global (escurecimento da nervura central e das bordas superiores, aspecto viçoso e cozido). Estes

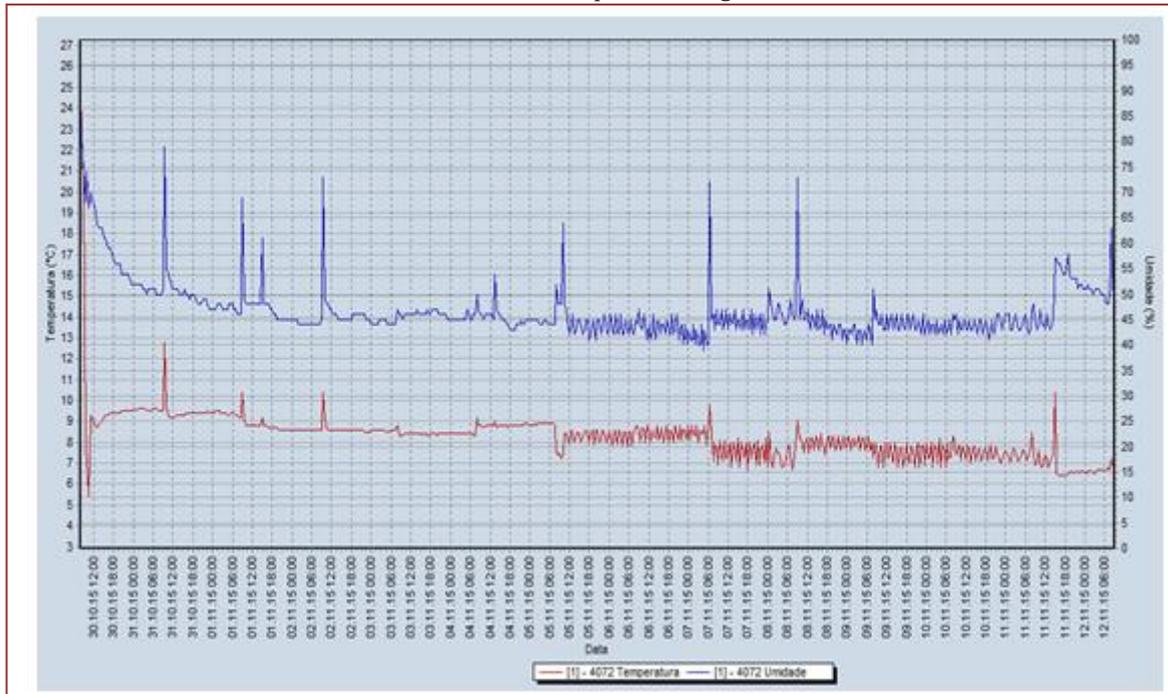
atributos foram avaliados em escala hedônica não estruturada de nove pontos ancoradas nos extremos correspondendo a 1 e 9 (onde 1 = não característica e 9 = característica). O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética, sendo que o número do projeto é CAEE 48613415.1.0000.5370.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA

Foram observadas flutuações na temperatura e umidade relativa durante todo o período de armazenamento, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Diagrama da visão geral da variação de temperatura e umidade relativa durante os 14 dias de armazenamento da alface crespa em refrigerador a 4°C.



Segundo Heldman (1981), uma das influências do ambiente de armazenamento, na qualidade do alimento, é a deterioração dos alimentos causada pela flutuação da temperatura. Geralmente pequenas flutuações de 1 °C a 2 °C tem influência insignificante sobre a qualidade do produto, enquanto uma flutuação de 10 °C podem apresentar efeitos prejudiciais definitivos sobre a qualidade.

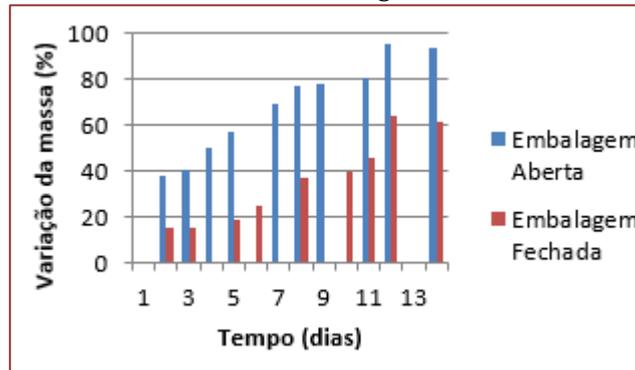
O contrário se verifica com as taxas de umidade relativa que quanto maiores, menor é a perda de massa e estresse hídrico em produtos frescos, que muitas vezes retarda a senescência (Hardenburg *et al*, 1986; Paull, 1999; Van Den Berg, 1978).

Verifica-se na figura 1 que a abertura da geladeira para a retirada das amostras para análises afetou a temperatura e umidade relativa do refrigerador.

3.2. VARIAÇÃO DA MASSA

Na Figura 2, observa-se que o armazenamento refrigerado da alface em embalagem aberta perdeu nos três primeiros dias 40,57% de massa, enquanto que as folhas de alface em embalagem fechada, a perda de massa foi menor (14,99%).

Figura 2 – Variação da massa das folhas de alface em embalagem aberta e fechada ao longo do armazenamento refrigerado a 4°C.

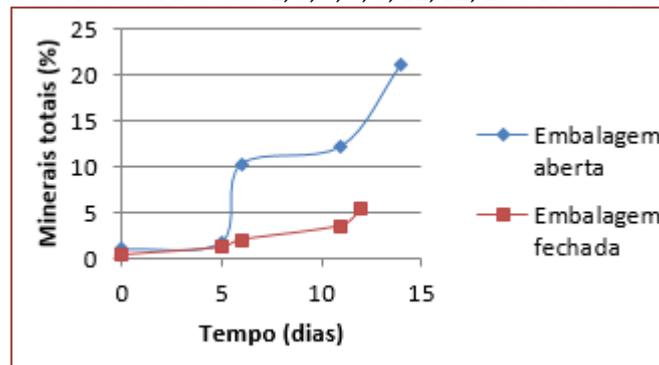


França (2011) verificou que a umidade relativa de 55% e temperatura de 5°C propiciou menor perda de massa fresca nas folhas de alface que as acondicionadas a 22 °C e 42% de umidade relativa e Santos *et al.* (2010) observou a perda de massa em torno de 23% para alface armazenada a 5 °C por 10 dias. Segundo Galvão (2009) a perda de massa fresca e da qualidade dos vegetais estão associadas à perda de água dos mesmos.

3.3. TERMOGRAVIMETRIA

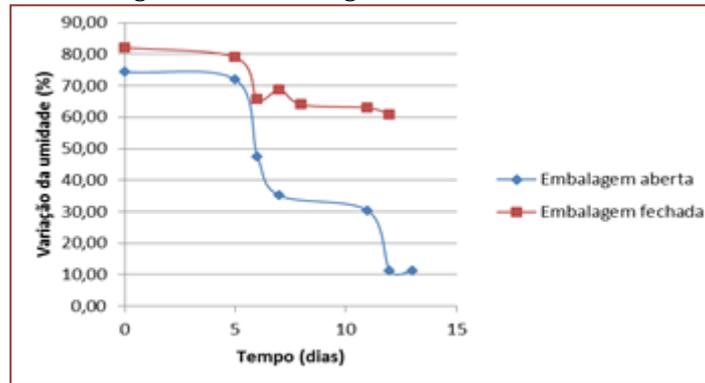
A concentração de minerais totais, presente nas amostras de alface crespa, tanto para embalagem aberta, quanto para a fechada aumentou devido a redução da massa das folhas, ou seja, devido a perda de umidade, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Cinética do conteúdo de minerais totais presentes nas amostras de alface crespa em embalagem aberta e fechada nos dias 1, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13 e 14 de análise.



De acordo com a Figura 4 a variação de umidade ao longo do tempo para a alface armazenada em bandeja com cobertura se manteve com poucas variações, diferente das amostras em embalagem abertas que apresentaram redução de 74,36% para 12,92% no teor de umidade.

Figura 4 – Variação da umidade da alface crespa ao longo dos 14 dias de armazenamento em ambiente refrigerado em embalagem aberta e fechada.



Segundo estudos de Araújo (2010) a umidade e os minerais totais para a alface fresca apresentaram valores de 94,53% e 0,89% respectivamente. Pedrosa (2011) encontrou 0,93% de minerais totais, valor próximo ao encontrado nos estudos de Ohse *et al.* (2009) para o cultivar Regina (0,87%).

Com base na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (2011) a alface crespa crua possui 96,1% de umidade e 0,7% de minerais na parte comestível. No presente estudo os valores de minerais totais encontrados nos dois tipos de embalagens (aberto e fechado) estão próximos aos encontrados na literatura.

3.4. ANÁLISE SENSORIAL

Para o armazenamento refrigerado em embalagem aberta, no 4º dia as folhas de alface começaram a murchar, apresentando, no 6º dia, aspecto ressecado, sem brilho e coloração nitidamente alterada em relação à folha fresca. A partir do 9º dia foi possível observar escurecimento na nervura central das folhas.

Para as amostras em embalagem fechada, o escurecimento das bordas foi observado no 8º dia e da nervura central a partir do 11º dia. Após o 13º dia as folhas apresentaram murchamento nas bordas superiores, conforme observado nos estudos de Freire Júnior *et al.* (2002) que observaram alteração da cor em alface minimamente processada armazenada em sacos plásticos no 7º dia de armazenamento refrigerado, perdendo a cor característica no 10º dia de armazenamento.

Os resultados das avaliações sensoriais realizadas pelos julgadores são mostrados nas Figuras 5 e Figura 6 em relação à variação da cor das folhas de alface e a aparência global, respectivamente.

Figura 5 – Análise da cor das folhas de alface crespa durante os 14 dias de armazenamento refrigerado (4 °C).

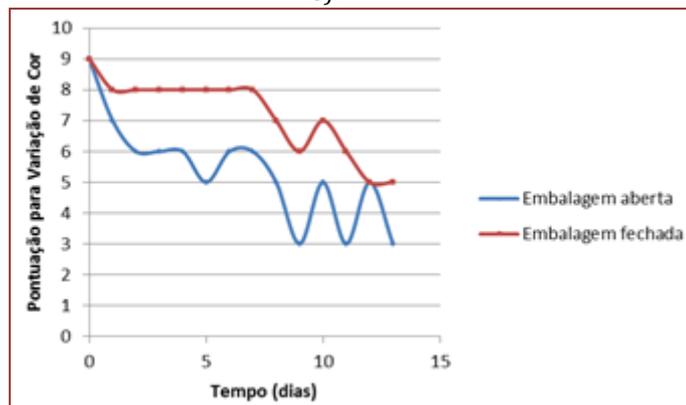
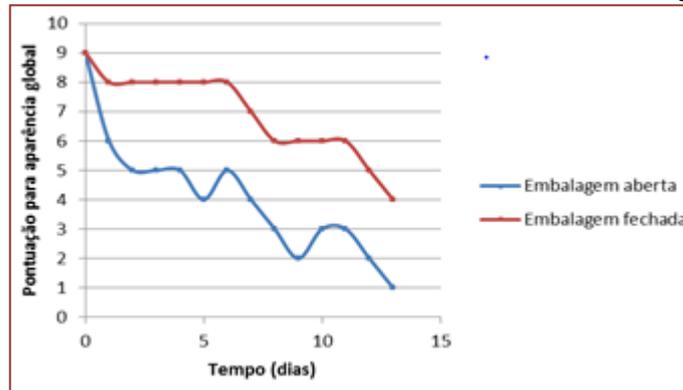


Figura 6 – Análise da aparência global das folhas de alface crespa realizada com julgadores aleatórios para embalagem aberta e fechada durante os 14 dias de armazenamento refrigerado (4 °C).



Os resultados das análises sensoriais demonstraram nítidas diferenças entre as embalagens aberta e fechada, sendo que as notas atribuídas pelos julgadores para o armazenamento das folhas de alface com filme de PVC foram melhores.

5. CONCLUSÃO

O sistema de refrigeração utilizado neste estudo não apresentou resultados desejáveis na conservação das folhas de alface, pois a temperatura e umidade relativa interna tiveram oscilações acima do esperado e a temperatura programada no refrigerador (4°C) não coincidiu com a registrada pelo sensor utilizado, apresentando diferença de temperatura de $\pm 3^{\circ}\text{C}$. As análises de umidade, minerais totais e sensoriais demonstraram que a embalagem sem contato com o ar refrigerado (embalagem fechada), comparada com as embalagens abertas, prolongou a vida de prateleira da alface.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Regional de Blumenau (FURB) e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) por permitirem a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] Araújo, E. M. de.; Menezes, H. C. de. Estudo de fibras alimentares em frutas e hortaliças para uso em nutrição enteral ou oral. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, v.30, p.42-47. 2010.
- [2] Chitarra, M. I. F.; Chitarra, A. B. *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio*. Lavras: Editora UFLA, 2005.
- [3] Fellows, P. J. *Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e práticas*. São Paulo: Editora Artmed, 2006.
- [4] França, C. F. M. *Conservação e qualidade pós-colheita em duas variedades de alface submetidas ao hidrosfriamento*. 2011. 44f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2011.
- [5] Françoso, I. L. T.; Couto, A. L.; Canniatti-BRAZACA, S. G.; Arthur, V. Alterações físico-químicas em morangos (*Fragaria anassa* Duch.) irradiados e armazenados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, p. 614-619, 2008.
- [6] Freire Júnior, M.; Deliza, R.; Chitarra, A. B. Alterações sensoriais em alface hidropônica cv. Regina minimamente processada e armazenada sob refrigeração. *Hort. Bras.* v. 20, p. 63-66, 2002.
- [7] Galvão, H. L. *Conservação pós-colheita de quiabo e jiló*. 2009. 136f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2009.
- [8] Hardenburg, R. E.; Watada, A. E.; Wan, C. Y. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. U.S. Department of Agriculture. *Agriculture Handbook* n 66, 1986.
- [9] Heldman, D. R.; Singh, R. P. *Food process engineering*. Westport: AVI, 1981.

- [10] Jacobi, K. K.; Macrae, E. A.; Hetherington, S. E. Effects of hot air conditioning of 'Kensington' mango fruit on the response to hot water treatment. *Postharvest Biology and Technology*, v. 21, p. 39-49, 2000.
- [11] Mou, B. Genetic variation of beta-carotene and lutein contents in lettuce. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 130, p. 870-876, 2005.
- [12] Ohse, O; Dourado-NETO, D; Marodin, VS; Manfron, PA; Aita, A. Composição centésima e teores de vitamina C, cálcio e fósforo de seis cultivares de alface produzidos sob dois sistemas de cultivo. *Revista Insula*, n. 30, p. 47-62, 2009.
- [13] PAULL, R. E. Effects of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biol. Technol.* v. 15, p. 263-277, 1999.
- [14] Pedrosa C. E.; Andrade Júnior V. C.; Pinto N. A. V. D.; Castro B. M. C.; Azevedo A. M.; Oliveira C. M.; Dornas M. F. S.; Silva A. C. R. 2011. Quantificação de componentes bromatológicos de Genótipos de alface sob cultivo protegido. *Hort. Bras.*, v. 29, p. 5090-5097, 2011.
- [15] Rickman, J. C.; Barrett, D. M.; Bruhn, C. M. Review Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 87, p. 930-944, 2007.
- [16] Santos, A. P. Extração e caracterização do amido do fruto-do-lobo (*Solanum lycocarpum* St. Hil) e elaboração de filmes biodegradáveis. 2009. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências Moleculares) – Universidade Estadual de Goiás, 2009.
- [17] Toledo, R. T. *Fundamentals of Food Process Engineering*. New York: Editora Chapman e Hall, 1991.
- [18] Tabela Brasileira de Composição de alimentos – Taco. *Núcleo de Estudos e Pesquisa em Alimentação*. Campinas: Unicamp, 2011.
- [19] Van Den Berg, L., Lentz, C. P. High humidity storage of vegetables and fruits. *HortScience*. v. 13, p. 565-569, 1978.

Capítulo 11

Análise físico-química da lecitina de soja clarificada

Letícia Vieira Castejon

Kássia Graciele dos Santos

Vinícius Salgado Cardoso

Eduardo Santos Almeida

José Roberto Delalibera Finzer

Resumo: A lecitina de soja é subproduto da industrialização e obtenção do óleo de soja. É composta por fosfolipídeos e possui coloração âmbar. A diminuição de sua coloração diversifica e amplia a utilização da lecitina de soja e é denominada de clarificação. Na clarificação utiliza-se o peróxido de hidrogênio, altamente reagente e oxidante. Portanto, objetivou-se a análise físico-química da lecitina de soja clarificada com peróxido de hidrogênio a 35% (v/v). Foi elaborado um planejamento composto central, de 20 experimentos variando-se a concentração de peróxido, temperatura e tempo de agitação. Foram analisados o índice de acidez, saponificação, atividade de água e coeficiente de extinção específica. Estatisticamente, tanto o índice de acidez, saponificação, extinção específica e atividade de água foram influenciados pela concentração do peróxido de hidrogênio e características qualitativas do lipídeo, lecitina de soja, foram mantidas.

Palavras-chave: clarificação; oxidação; peróxido de hidrogênio.

1. INTRODUÇÃO

A lecitina de soja é obtida pelo processo de degomagem do óleo bruto de soja, etapa posterior à extração e anterior ao refino propriamente dito. A etapa de degomagem possui a finalidade de se extrair substâncias que possuem determinada polaridade, como por exemplo, açúcares, proteínas, sais e principalmente fosfolípidos. A fosfatidilcolina constitui a maior proporção, seguido da fosfatidiletanolamina e fosfatidilinositol. Devido às características dos fosfolípidos de possuírem uma porção hidrofílica (polar) e outra parte lipofílica (apolar), a lecitina de soja tem sido bastante utilizada como emulsificante em produtos alimentícios. Por se tratar de material oleoso, possui parâmetros físico-químicos determinados perante a legislação para ser comercializada. Indústrias como a Cargill, ADM e Caramuru Alimentos Ltda, publicam em seus respectivos sites, uma lista completa de tipos de lecitinas e respectivos parâmetros avaliados para distingui-las, tais como: índice de acidez, índice de saponificação, insolúveis em acetona, insolúveis em hexano ou tolueno, umidade, cor em escala Gardner, viscosidade e índice de peróxidos. Todos esses índices possuem quantidades mínimas e máximas toleráveis para a comercialização, estipulados pela União Européia, FAO/WHO (*Food and Agriculture Organization/ World Health Organization*) e demais órgãos competentes que consideram a lecitina de soja como emulsificante alimentar natural (ADM, 2014).

A lecitina de soja comercial é padronizada com óleo de soja e classificada como emulsificante por possuir em sua composição cerca de 60% de matéria insolúvel em acetona, ou seja, fosfolípidos, que segundo STOPPER; SAFFER; BAUER, (1953) são compostos por fosfatidilcolina, fosfatidilinositol, fosfatidiletanolamina e açúcares. Possuem características de natureza polar e, portanto, insolúveis em acetona. Existem outros compostos polares que podem ser extraídos pelo processo de degomagem e constituírem as lecitinas, são proteínas e sais catiônicos, de cálcio, magnésio e ácidos fosfóricos livres (BEI, 2005).

2. METODOLOGIA

A lecitina de soja utilizada no experimento foi doada pela empresa Caramuru Alimentos Ltda. A lecitina de soja comercial foi submetida à clarificação com peróxido de hidrogênio a 35% (v/v) e foram variados a concentração adicionada de peróxido, a temperatura e o tempo de clarificação.

A agitação a lecitina de soja foi mantida constante (600±20rpm) e frequentemente verificada com tacômetro da marca Shimpo modelo DT-205B, foi realizada em agitador elétrico de bancada Nova Instrumento NI 1137, com impulsor do tipo placa (1,40 X 39,92 X 29,92 mm) com 4 orifícios de diâmetro de 8,12 mm.

Para verificar-se o efeito da temperatura, tempo e concentração, realizou um Planejamento Composto Central, com 8 pontos fatoriais, 6 pontos axiais e 6 pontos centrais, com o α utilizado foi ortogonal, cujo valor foi de 1,525, totalizando 20 pontos experimentais. Foi considerado o ponto 21, como os resultados da lecitina de soja sem tratamento, ou seja, adição de H₂O₂, temperatura e o tempo de agitação. Trabalhou-se com a variação na concentração de peróxido de hidrogênio (0,28%; 0,70%; 1,50%; 2,30% e 2,72%, m/v), temperaturas (25°C; 30°C; 40°C; 50°C e 55°C) e o tempo de agitação sob rotação constante (15 s; 120 s; 320 s; 520 s e 625 s) para a clarificação, a fim de se verificar a influência desses parâmetros ao final do planejamento experimental, na oxidação da lecitina de soja.

A verificação da oxidação da lecitina de soja clarificada deu-se pela determinação dos índices de acidez, saponificação e coeficiente de extinção específica.

Índice de acidez: É definido como o número de mg de hidróxido de potássio (KOH) necessário para neutralizar um grama da amostra. Seguiu-se a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz, (2008), método de número 325/IV que corresponde ao método internacional oficial da AOCS (*American Oil Chemistry Society*) de número Ja6-55(11), cuja base de cálculo é mostrada na Equação (1), onde V é o volume em mL de solução de hidróxido de sódio a 0,1M gastos na titulação, f , o fator de correção da solução de KOH utilizada igual a 1, p é a massa da amostra e 5,61 fator numérico de correção da análise.

$$IA(mgKOH/g) = \frac{5,61 * V * f}{p} \quad (1)$$

O índice de acidez normalmente é associado à conservação dos lipídeos, conotando estado de rancificação hidrolítica. Foram pesados mais ou menos 1,5 g de amostra em cada amostragem dos resultados dos experimentos e realizadas as titulações.

Índice de Saponificação: Este método é aplicável a todos os óleos e gorduras e expressa o número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para saponificar um grama de amostra. Mas, diferentemente do índice de acidez, as amostras são levadas a uma chapa aquecedora até fervura por mais ou menos uma hora, com um condensador acoplado (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Foram pesados cerca de 3 g de cada amostra e a base de cálculo para a determinação do Índice de Saponificação foi obtido pela Equação (2), onde 28,06 é o fator de correção numérico para a análise, f é o fator de correção da solução de HCl 0,5M, ($f=0,9850$), V_a é o volume gasto de ácido clorídrico para titulação das amostras e V_b , volume gasto de HCl na titulação do branco e p , a massa das amostras pesadas.

$$IA(mgKOH/g) = \frac{28,06 * f * (V_a - V_b)}{p} \quad (2)$$

O I.S. é usado como uma estimativa média dos tamanhos das cadeias de ácidos graxos que compõem os triglicerídeos ou a lecitina. Quanto maior for o valor do índice de saponificação, menores são os tamanhos das cadeias de ácidos graxos e vice-versa (RANKEN et al., 1997).

Coefficiente de Extinção Específica: A absorção nos comprimentos de onda a 232 e 270 nm, especificados no método, é devido à presença de sistemas dienos e trienos conjugados, respectivamente. Estes compostos são formados por oxidação e/ou processo de refino do óleo, como uso de temperatura excessiva (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Segundo Oetterer; Regitano D'Arce; Spoto, (2006), resumidamente, a determinação do coeficiente de extinção específica é uma estimativa dos compostos oxidativos formados que fornece o estado de oxidação. Se a absorvidade for maior a 232 nm é o início da oxidação e se maior a 270 nm refere-se ao final da oxidação, cujos valores são obtidos pelas equações (3) e (4).

$$K_{232} = K_{232}/cl \quad (3)$$

$$K_{270} = K_{270}/cl \quad (4)$$

Tal análise foi realizada em espectrofotômetro UV-VIS da marca RAY LEIGH UV 1800, leitura em cubetas de quartzo de 1 cm (l) e c refere-se às massas de lecitinas clarificadas de 0,25 g diluídas em 50 mL de clorofórmio PA da marca Synth, obtendo-se diluição de 1:200. Foram construídas curvas de calibração e as leituras foram realizadas em triplicata

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ÍNDICE DE ACIDEZ

Se o Índice de Acidez representa a quantidade de ácidos graxos hidrolisados pela água, como mencionam Silva, Borges e Ferreira (1999), tem-se que a lecitina comercial possui qualidade inferior às lecitinas clarificadas obtidas. Portanto, a adição de peróxido de hidrogênio, sob controle de agitação, tempo de agitação e temperatura foram fatores que contribuíram para aumentar-se a qualidade, ou seja, diminuindo a quantidade de ácidos graxos livres.

Baixos valores de índice de acidez foram obtidos nos Experimentos 12 (11,901 mgKOH/g de lecitina) e 8 (12,885 mgKOH/g de lecitina). Esses experimentos foram realizados às temperaturas de 40 e 50°C, concentrações de H₂O₂ elevadas de 2,72% e 2,3% (m/v) e tempo de agitação, iguais a 320 e 520 segundos, respectivamente.

Nessas condições, houve a diminuição da concentração dos ácidos graxos livres, podendo-se postular que ocorrem outras reações que não sejam a formação de ácidos graxos livres (hidrólise das ligações de ésteres) e esses reagiram com elevadas concentrações de peróxidos. Com a ANOVA realizada foi obtida a Equação (5), R^2 igual a 93,10% com apenas os efeitos significativos para descrever o comportamento do Índice de Acidez (*I.A.*), onde x_2 é a concentração e x_1 a temperatura.

$$I.A. = 15,7076 - 2,0599x_2 - 0,2933x_2x_1 - 0,2679x_1 \quad (5)$$

3.2 ÍNDICE DE SAPONIFICAÇÃO

A lecitina de soja comercial apresentou o mais baixo índice de saponificação, que corresponde a um elevado peso molecular estimado dos ácidos graxos que compõem os fosfolipídeos e trigliceróis. Comparando-se a lecitina comercial com o resultado do Experimento 9, que possui mesma temperatura de clarificação, verifica-se que a concentração de peróxido e o tempo de agitação promovem alterações no *I.S.*

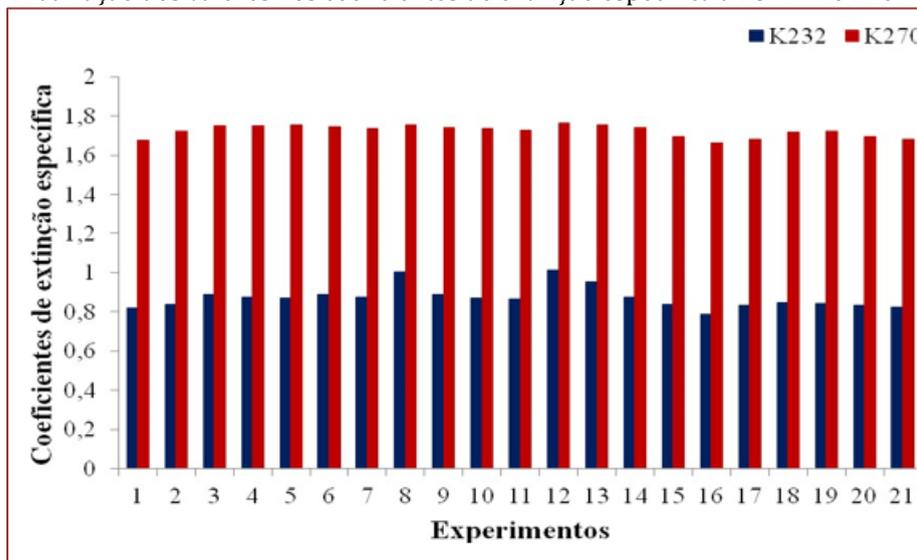
Obteve-se coeficiente de regressão igual a 83,59% correspondente aos efeitos significativos quanto à análise de saponificação. Foram significativos os efeitos da temperatura e do tempo de agitação na forma quadrática e da concentração de H_2O_2 (m/v) na forma linear. A Equação (6) mostra sob quais parâmetros os efeitos significativos variam em relação ao índice de saponificação, onde x_1 é a temperatura, x_2 a concentração e x_3 o tempo.

$$I.A. = 196,8002 + 10,1301x_2 - 2,3970x_1^2 - 2,3323x_3^2 \quad (6)$$

3.3 COEFICIENTE DE EXTINÇÃO ESPECÍFICA

Verificou-se a diluição pela linearidade da Lei de Lambert-beer através das curvas de calibração. Com os resultados de K_{232} e K_{270} , calculados foi elaborada a Figura 1, na qual se verifica a variação dos valores de coeficiente de extinção específica a 232 nm e 270 nm.

Figura1: Variação dos valores nos coeficientes de extinção específica a 232 nm e 270 nm.



Portanto, os parâmetros que mais influenciaram a formação de compostos primários e secundários foram o tempo de agitação e concentração de H₂O₂ e foi verificado a não estabilidade das reações de oxidação, uma vez que a análise foi realizada imediatamente após o processo de clarificação.

4. CONCLUSÃO

Oxidativamente, a lecitina clarificada apresentou baixos valores de atividade de água, que corresponderam a menores índices de acidez, elevados índices de saponificação e conseqüente oxidação, pela geração de compostos primários e secundários da oxidação. Os parâmetros oxidativos foram praticamente influenciados pela concentração de peróxido de hidrogênio adicionada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro provido pela FAPEMIG (PCE-00154-16: *Participação Coletiva em Eventos Técnicos-Científicos*).

REFERÊNCIAS

- [1] Adm. Lecithin emulsifying. 2014.
- [2] Bei, N. Otimização do processo de degomagem de óleo de soja por membrana cerâmica, 2005. Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).
- [3] Lutz, I. A. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4^a ed. São Paulo: IAL, 2008.
- [4] Oetterer, M.; Bismara Regitano D'Arce, M. A.; Spoto, M. H. F. Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos. 1st ed. Barueri: Manole, 2006.
- [5] Ranken, M. D.; Kill, R. C.; Baker, C. G. J. (EDS.). Food Industries Manual. 24th ed. Cornwall: Blackie Academic & Professional, 1997.
- [6] Silva, F. A. M.; Borges, M. F. M.; Ferreira, M. A. Métodos para Avaliação do Grau de oxidação Lipídica e da capacidade Antioxidante. Química Nova, v. 22, n. 1, p. 94–103, 1999.
- [7] Stopper, H. R.; Saffer, B. A.; Bauer, S. T. Factors Influencing the determination of the acetone insolubles of commercial lecithins. AOCS, p. 408–413, 1953.

Capítulo 12

Comportamento reológico da polpa do fruto cubiu à diferentes temperaturas

Luyara de Almeida Cavalcante

Maiara Lopes Ferreira Sales

Franz Berbert Ferreira

Yanne Katlussy Pereira Gurgel Aum

Ocileide Custódio da Silva

Resumo: A Amazônia possui uma grande biodiversidade e um grande potencial comercial a partir da utilização de produtos naturais. O fruto cubiu é um exemplo, consumido através de sucos, cosméticos e medicamentos caseiros. A determinação das propriedades físicas e reológicas é importante no projeto e operação de equipamentos utilizados no processamento de frutos. Deste modo, este trabalho visou o estudo do comportamento reológico da polpa de cubiu em diferentes temperaturas (25, 30, 35, 40, 45 e 50°C). As medidas reológicas foram realizadas em reômetro Haake Mars. As propriedades umidade, pH, °BRIX e densidade foram determinadas para a polpa. Os valores obtidos das propriedades físicas se mostraram adequados à polpa analisada e foram comparados aos dados da literatura. A polpa apresentou uma tendência de diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, comportando-se como fluido não newtoniano com características pseudoplásticas.

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia possui uma grande biodiversidade e conta com fauna e flora diversificadas e com grande potencial comercial. Nesse contexto, o fruto cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) constitui excelente exemplo de fruto com possibilidades comerciais, capaz de contribuir para a sustentabilidade do desenvolvimento regional através da produção rural.

Uma das características mais interessantes deste fruto é sua função medicinal, que é atribuída à presença de componentes bioativos, tais como os compostos fenólicos e carotenóides que possuem ação antioxidante no organismo humano (Mercadante *et al.*, 2013). Por isso, o cubiu tem sido empregado popularmente no tratamento de mordidas de cobra, picadas de escorpião, infecções cutâneas, como redutor de colesterol, glicose e dos níveis de ácido úrico do sangue (Silva Filho *et al.*, 2005). Além disso, as geléias produzidas a partir deste fruto já mostraram forte apelo comercial, tendo aproximadamente 97% de aprovação em análise sensorial (Yuyama *et al.*, 2008).

A determinação do comportamento reológico é de grande importância na aferição da qualidade da matéria-prima e de produtos alimentícios, como também indispensável na avaliação, no projeto e na operação de equipamentos utilizados em seu processamento. Contudo, não consta na literatura estudos reológicos realizados com a polpa de cubiu.

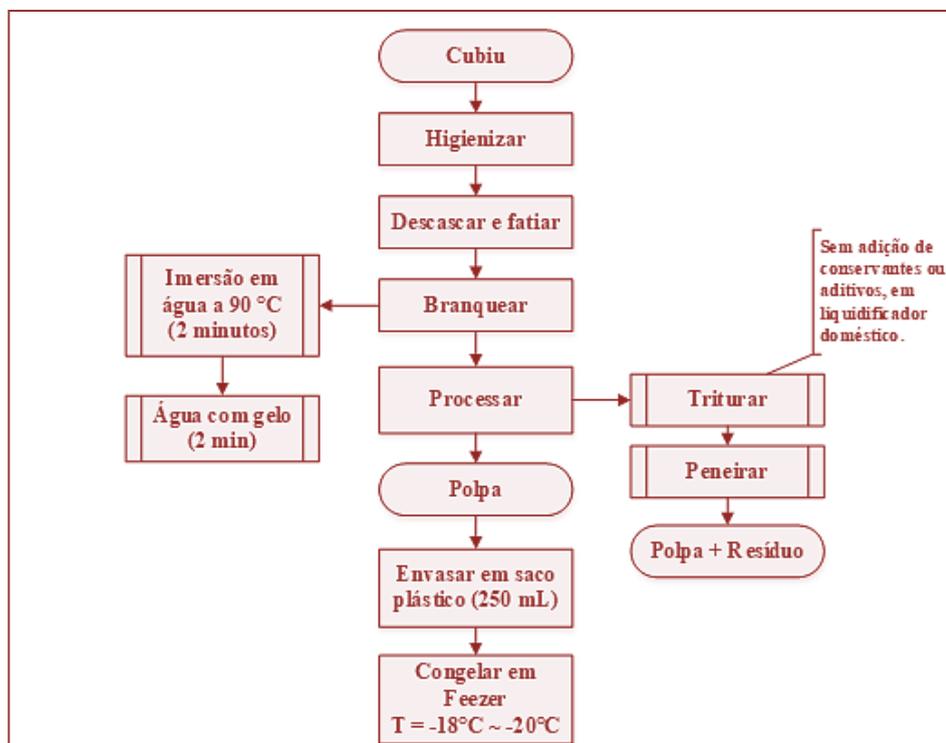
Dessa forma, este trabalho teve como objetivo determinar o comportamento reológico da polpa de cubiu e a influência da temperatura nesse comportamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. PROCESSAMENTO DO FRUTO

A matéria-prima utilizada foi o cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) em estágio de maturação maduro e a obtenção de sua polpa é descrita na Figura 1.

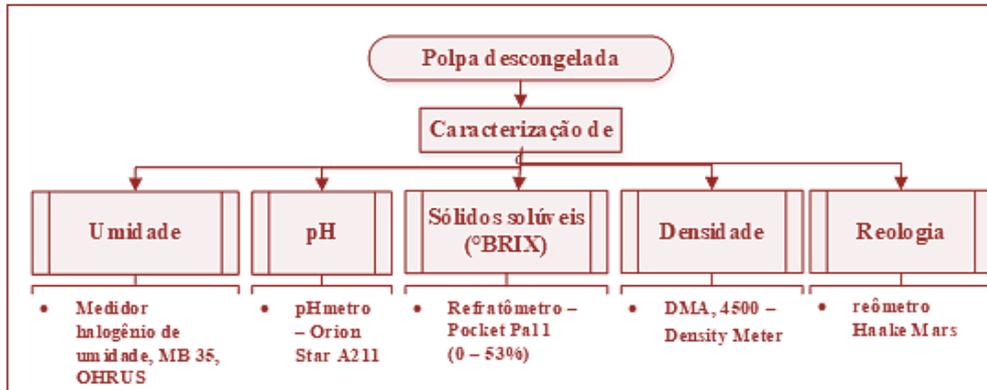
Figura 2 – Fluxograma do processamento da polpa



2.2. CARACTERIZAÇÃO DA POLPA

A Figura 2 apresenta as análises realizadas na polpa de cubiu para sua caracterização física e reológica e os equipamentos utilizados em cada análise. As medidas de umidade, pH, sólidos solúveis e densidade foram obtidas com base nos métodos físico-químicos para análise de alimentos do Instituto Adolfo Lutz (2008).

Figura 3 – Fluxograma de caracterização da polpa de cubiu



2.3. MEDIDAS REOLÓGICAS

As medidas reológicas da polpa foram realizadas em reômetro Haake Mars, de cilindros coaxiais, nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50°C. A taxa de deformação empregada foi de 3 a 500 s⁻¹. O modelo reológico utilizado foi o de Ostwald-de-Waelle descrito pela Equação 1.

$$\tau = K.(\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

Onde, τ : tensão de cisalhamento (Pa); $\dot{\gamma}$: taxa de deformação (s⁻¹); K: índice de consistência (Pa.sⁿ); n: índice de comportamento do fluido (adimensional).

Os critérios de determinação de ajuste do modelo foram o coeficiente de determinação (R²) e o desvio percentual médio (P), dado pela Equação 2.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_{exp} - x_{teó}}{x_{exp}} \right|_i \quad (2)$$

Onde, P: desvio percentual médio (%); n: números de dados experimentais; x_{exp}: valores experimentais; x_{teó}: valor preditos pelo modelo.

2.4 VISCOSIDADE APARENTE

As curvas da viscosidade aparente da polpa foram traçadas em função das taxas de deformação (3 a 500 s⁻¹) utilizando-se os dados experimentais de viscosidade e valores teóricos calculados a partir do modelo Ostwald-de-Waelle.

2.5. EFEITO DA TEMPERATURA

A equação de Arrhenius foi utilizada para a avaliação do efeito da temperatura sobre os valores da viscosidade aparente, descrita pela Equação 3.

$$\eta = \eta_0 \exp(-E_a/RT) \quad (3)$$

Onde, η : viscosidade aparente (Pa.s); η_0 : viscosidade aparente inicial (Pa.s); T: temperatura absoluta (K); R: constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol.K); E_a : energia de ativação para viscosidade (kJ/mol).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DA POLPA DE CUBIU

As propriedades físicas da polpa do cubiu estão apresentadas na Tabela 1.

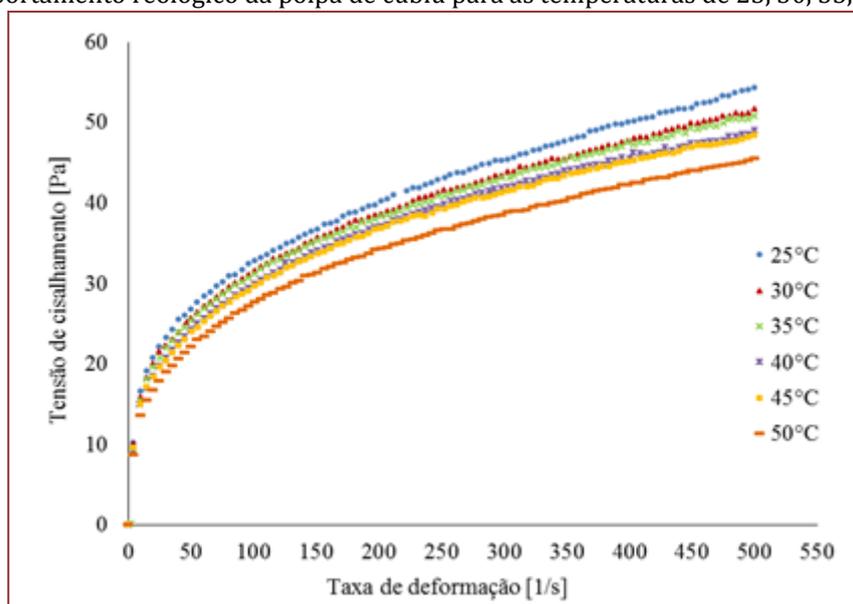
Tabela 1 – Propriedades físicas da polpa de cubiu

Propriedade	Valor
Umidade (%)	93,16
pH	3,89
Sólidos Solúveis (°BRIX)	4,6
Densidade (g/cm ³)	0,99462

3.2 AJUSTE DO MODELO REOLÓGICO

A Figura 3 apresenta as curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de cubiu nas temperaturas analisadas.

Figura 3 - Comportamento reológico da polpa de cubiu para as temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50°C.



Observando a Figura 3, nota-se a redução da tensão de cisalhamento com o aumento da temperatura, em um dado valor de taxa de deformação. A tensão apresentou um aumento brusco na faixa de taxa de 3 – 150 s⁻¹ em todas as curvas, tendendo a um comportamento linear para as taxas mais elevadas.

Os valores dos parâmetros para o ajuste das curvas tensão *versus* taxa de deformação, realizado com o modelo de Ostwald-de-Waele, utilizando a Equação 1, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da potência), coeficiente de determinação (R^2) e desvio percentual médio (P), para a polpa de cubiu à diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Parâmetros		R^2	P(%)
	K (Pa.s ⁿ)	n		
25	8,072	0,304	0,996	2,04
30	7,823	0,302	0,997	1,70
35	7,616	0,305	0,995	0,81
40	7,216	0,309	0,996	0,67
45	7,138	0,309	0,997	0,60
50	6,471	0,314	0,998	0,56

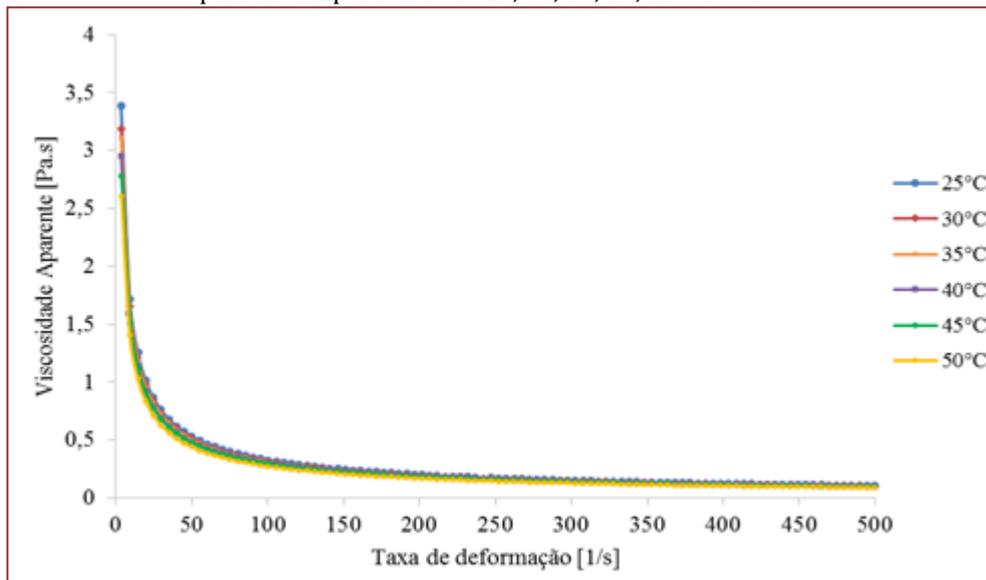
Nessa tabela podemos observar um bom ajuste do modelo escolhido, evidenciado pelos valores de R^2 e P. A polpa do cubiu apresentou altos coeficientes de determinação (R^2), que foram acima de 0,99; e valores de desvios percentuais médios (P) inferiores a 2%, os quais indicam que este pode ser utilizado para estimar os dados reológicos da polpa nas temperaturas avaliadas. O aumento da temperatura causou a diminuição no índice de consistência (K). O índice de comportamento manteve-se abaixo de um ($n < 1$), mostrando um caráter pseudoplástico para o fluido.

3.3 COMPORTAMENTO DA VISCOSIDADE APARENTE

A Figura 4 mostra o comportamento da viscosidade aparente na faixa de taxa de deformação de 3 – 500 s⁻¹ para as temperaturas analisadas.

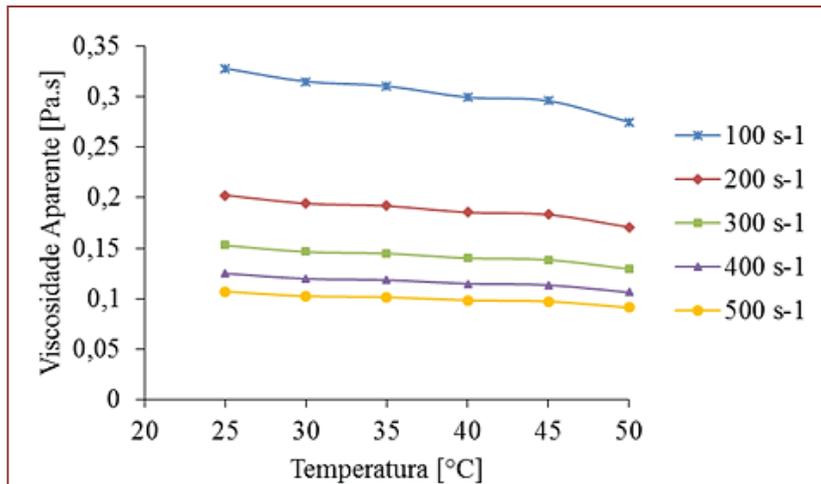
De acordo com as curvas da Figura 4, é possível indicar que a polpa apresentou um comportamento de fluido pseudoplástico, pois apresentaram diminuição drástica na viscosidade quando a taxa de cisalhamento passa de níveis mais baixos para mais altos. Esse comportamento, pode significar que, para certa força, uma massa maior pode ser movimentada ou a energia para manter a mesma taxa de cisalhamento pode ser reduzida. Em altas taxas de deformação a viscosidade tende a um comportamento de fluido newtoniano, o qual apresenta viscosidade constante.

Figura 4 – Comportamento da viscosidade aparente em função da taxa de deformação da polpa de cubiu, para as temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50°C.



A Figura 5 apresenta o comportamento da viscosidade aparente em função da temperatura para as taxas de deformação analisadas.

Figura 5 – Influência da temperatura na viscosidade aparente para polpa de Cubiu, para as taxas de deformação 100, 200, 300, 400 e 500 s⁻¹



Analisando a Figura 5, a elevação de temperatura reduziu a viscosidade, pois com o aumento da temperatura a rapidez de movimentação das partículas é maior, enquanto que as forças de interação enfraquecem e as partículas ficam mais livres para escoar.

3.4 ENERGIA DE ATIVAÇÃO

A Tabela 3 apresenta os valores das viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e das energias de ativação (E_a), que foram obtidos através da Equação 3, para a polpa de cubiu nas as diferentes taxas de deformação ($\dot{\gamma}$).

Tabela 3 – Parâmetros da Equação de Arrhenius para polpa de Cubiu em diferentes taxas de deformação

$\dot{\gamma}$ (1/s)	η_0 (Pa.s)	E_a (kJ/mol)	R^2
100	0,043	5,06	0,938
200	0,029	4,83	0,937
300	0,023	4,70	0,937
400	0,019	4,61	0,936
500	0,017	4,54	0,936

A equação de Arrhenius apresentou um bom ajuste do efeito da temperatura na viscosidade aparente da polpa, nas taxas de deformação utilizadas. Os valores de viscosidade aparente inicial e de energia de ativação encontrados apresentaram uma tendência de redução com o aumento da taxa de deformação. O que indica uma menor dependência da viscosidade com a temperatura, quando se aumenta a taxa de deformação, como pode ser visto na Figura 5.

4. CONCLUSÃO

A polpa de cubiu apresentou comportamento pseudoplástico e os valores de viscosidade aparente apresentaram a tendência de diminuição com a temperatura.

O modelo de Ostwald-de-Waelle ajustou-se bem aos dados reométricos. A equação de Arrhenius nas taxas de deformação analisadas pode ser utilizada para descrever a influência da temperatura na viscosidade aparente da polpa de cubiu.

A polpa de cubiu apresentou comportamento reológico semelhante a outros tipos de polpa de frutas,

podendo ser ajustado pelo mesmo modelo reológico.

REFERÊNCIAS

- [1] Oliveira, R. C.; Rossi, R.; Barros, S. T. D. Estudo do Efeito da Temperatura sobre o Comportamento Reológico das Polpas de Gabiroba e Goiaba. *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, v. 33, n. 1, p. 31-37, 2011.
- [2] Ferreira, G. M.; Guimarães, M. J. O. C.; Maia, M. C. A. Efeito da Temperatura e Taxa de Cisalhamento nas Propriedades de Escoamento da Polpa de Cupuaçu (*T. grandiflorum* Schum) integral. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 385-389, 2008.
- [3] Instituto Adolfo Lutz - IAL. *Métodos Físico-químicos para Análise de Alimentos*. São Paulo, 2008.
- [4] Mercadante, A. Z. Bioaccessibilidade in vitro de compostos fenólicos em frutas: efeito da digestão gastrointestinal na composição e na capacidade desativadora de espécies reativas de oxigênio e de nitrogênio. Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). 2013.
- [5] Silva Filho, D. F.; Yuyama, L. K. O.; Aguiar, J. P. L.; Oliveira, M. C.; Martins, L. H. P. Caracterização e Avaliação do Potencial Agronômico e Nutricional de Etnovarietades de Cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) da Amazônia. *Acta Amazonica*, v.35, n. 4, p. 399-406, 2005.
- [6] Sousa, E. P.; Queiroz, A. J. M.; Figueirêdo, R. M. F.; Lemos, D. M. Comportamento reológico e efeito da temperatura da polpa de Pequi em diferentes concentrações. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 17, n. 3, p. 226-235, 2014.
- [7] Yuyama, L. K. O.; Pantoja, L.; Maeda, R. N.; Aguiar, J. P. L.; Silva, S. B. Desenvolvimento e aceitabilidade de geléia dietética de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal). Coordenação de Pesquisas em Ciências da Saúde – CPCS. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. 2008.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro e bolsa concedida, ao Laboratório de Controle de Qualidade/UFAM pela concessão dos equipamentos e materiais, e ao Laboratório do NUPEG/UFRN no qual foram realizados os ensaios reológicos.

Capítulo 13

Structure and Rheological Behavior of cassava starch solutions for application in food products

Ádina Lima de Santana

Shirley Cristina Cabral Nascimento

Abstract: Cassava starch is used in various applications in food industry as encapsulating agent, stabilizer, binder, thickener, gelling agents and many more. Solutions composed of native cassava starch are used in food products formulations and may be applied on pilot plants for testing in order to prevent losses of products. We studied the rheological behavior of 7.5% native cassava starch solutions containing conventional additives sucrose and sodium chloride in the proportions of 10% and 0.25%, respectively, on the possibility to provide low-cost formulations for food products. A gradual loss in viscosity was observed during days of storage. Microstructural aspects of starch granules varied as a consequence in their response to water uptake and consequent gelatinization in the presence of additives sucrose and sodium chloride. Power-law model described the behavior of the solutions as pseudoplastic. Time-dependence behavior of formulations is described as thixotropic, or shear-thinning fluids.

Keywords: *Manihot esculenta*; Food rheology; Starch; Polymer formulations.

1. INTRODUCTION

Starch is widely consumed by humans as an inexpensive and stable available carbohydrate source, and much work has been performed on the structure, functionality and applicability of starches (Santana & Meireles, 2014). The overall starch market is continually expanding, and the current demand is covered by four conventional sources: wheat, corn, potato and cassava (Alcázar-Alay & Meireles, 2015).

Cassava starch is very important in view of its easy extractability, high viscosity and paste clarity. Starch is normally used along with other ingredients like salts, surfactants, acids, sugars or fats and these are reported to modify the physicochemical properties of starch (Jyothi, et al., 2005).

Recently, the rheological behavior of starchy formulations with the presence of sugars and salts has been studied by several authors in order to promote process parameters for equipment design and the optimization of processing conditions for the formulation of a huge variety of products, such as thermoplastic material (Castaño, et al., 2014), edible polymer (Barrera, et al., 2013), and plasticizer agent (Fakhoury, et al., 2012).

In this context, the goal of this work was to investigate the physical structure and rheological behavior of gelatinized native cassava starch formulations containing sucrose and sodium chloride during 7 days of storage and to evaluate the effects of thermal processing on the rheological behavior with respect to the shear stress time dependence (thixotropy or rheopexy).

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. MATERIAL

Native cassava starch was obtained from Amazon Amidos (Moju, Brazil), sucrose and sodium chloride were purchased from Snow Sugar (Rio de Janeiro, Brazil) and Cisne, (Rio de Janeiro, Brazil), respectively.

2.1. CASSAVA STARCH FORMULATIONS

Four solutions containing native cassava starch (7.5%) diluted in distilled water were prepared, i.e., the first one containing only starch and water (identified as SW), the second containing starch diluted in water with the addition of 0.25% of sodium chloride (identified as SWC). The third containing starch diluted in water and 10% sucrose was identified and SWS and the fourth containing starch diluted in water, sucrose (10%) and sodium chloride (0.25%), was identified as SWCS. The solutions were gelatinized at 70°C for 10 minutes using a heating bath (Laborota 4002, Heidolph, Germany), and stored at 8°C during 7 days.

2.2. SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM)

The gelatinized solutions were dehydrated using an oven (Quimis, Piracicaba, São Paulo) at 40°C for 48h. Afterwards the samples were inserted to double polished blades for rolling, which GY 257 resin (Araldite, Texas, USA) and HY 951 (Aradur, Texas, USA) catalyst were used. The polished blades were coated with 200 Å of gold using a sputter coater for 150 seconds and current of 25 mA. The micrographs were obtained using scanning electron microscope (LEO ZEISS 1430, Cambridge, England).

2.3. RHEOLOGICAL BEHAVIOR

Shear stress versus shear rate curves were obtained using a rotating viscosimeter (VT 550, Haake, New Jersey USA), with coaxial cylinder configuration (SV cup, SV1 sensor). The viscosimeter was coupled to a heating bath (DC30, Haake, New Jersey, USA) at 30 °C. The shear rate applied ranged between 20 and 200 s⁻¹. The evaluations were performed in triplicate.

2.3.1. TIME-DEPENDENCE BEHAVIOR

For the evaluation of the behavior related to the shear time dependence (thixotropy or rheopexy), we selected only the SWCS formulation, because its composition constituted of sucrose and sodium chloride is comparable with common formulations used in food products.

Aliquots of SWCS formulation were inserted into hermetically sealed glass flasks and subjected to thermal processing in a heating bath (Laborota 4002, Heidolph, Germany) at 60 ° C for 4 hours. Aliquots were withdrawn at each 1 hour for measurement of the shear-time dependence assays. An aliquot that was not subjected to thermal treatment was identified as “Control” sample. No replicates were performed during the assays.

2.4. MATHEMATICAL MODELING AND STATISTICAL EVALUATION

Mathematical modeling was performed using the Power-Law model (Eq. 1) using the Origin 8 software.

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Where τ is the shear stress (Pa), $\dot{\gamma}$ is the shear rate (s^{-1}), K is the consistency index ($Pa \cdot s^n$) and n is the fluid index (dimensionless).

Statistical parameters evaluated were correlation coefficient (R^2), chi-squared (χ^2) and sum square of residuals (SSR). The statistical difference among data obtained with triplicate was evaluated by the one-way analysis of variance (ANOVA) and the post-hoc comparison was performed by the Tukey's test. The results were expressed as mean \pm standard deviation. All statistical tests were realized on the level of significance 0.05.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The gelatinized cassava starch granules showed in the micrographs consisted of oval form similarly to those reported elsewhere for native cassava starch (Huang, et al., 2007; Kasemwong, et al., 2011).

The presence of formless sacs (Figure 1. A2-A3 Figure 1.B2-B3, Figure 1. D2-D3) are attributed to the leaching of soluble portion of starch into water (Santana et al., 2017), as consequence in their response to water uptake and consequent gelatinization that varied with the presence of additives used.

The characteristics of the native starch, the effects of the physical or chemical modifications of the granules, the process parameters and the botanical sources of the starch are all critical factors governing the behavior and characteristics of the starchy solutions.

The starch granules in the SW and SWC formulations presented rigid structure (Figure 1.A3) and granules surrounded by sodium chloride crystals (Figure 1. C2-C3), respectively. The rigid aspect from SW is attributed to the retrogradation tendency and syneresis from native starch sources.

The aspect observed in starch granules in the SWC suggests a partial impediment of water absorption by the granule due to the presence of sodium chloride (Figure 1. C2-C3) resulting on shear stress decreasing according to the days of storage (Figure 2). Nevertheless, this behavior is the opposite to the results from literature (Moreira, et al., 2011) which related that sodium chloride to the increasing of water absorption on chestnut flour, because of hygroscopic character of this additive. In addition, the salt addition enhanced viscosity of cassava starch-xanthan gum mixtures (Hong, et al., 2014).

All the formulations presented non-Newtonian behavior. Fluid index values (n) lower than 1 describe the pseudoplastic behavior (Table 1), similarly to those reported to the starches of Peruvian carrot (Albano, et al., 2014), wheat, wheat and barley (Gambuś, et al., 2004) and higher than those reported to lotus root starch-konjac glucomannan mixtures (Zhang, et al., 2017). The smaller the value of n , the stronger is the pseudoplasticity or shear thinning.

The addition of sucrose in SWS formulation, associated to the time of storage indicate the stability of water absorbed in starch granules, contributing to the stability of a standard flow behavior (Figure 2).

The decreasing of shear stress values from the SWC and SWCS formulations (Figure 2) were attributed to the presence of sodium chloride, indicating that the swelling of starch granules is predominantly influenced by the added salt, similarly to those reported to flaxseed polysaccharide-potato starch complexes (Chen, et al., 2014).

Figure 1. Aspect (1) and SEM pictures (2 and 3) of the formulations SW (A), SWS (B), SWC (C) and SWCS (D).

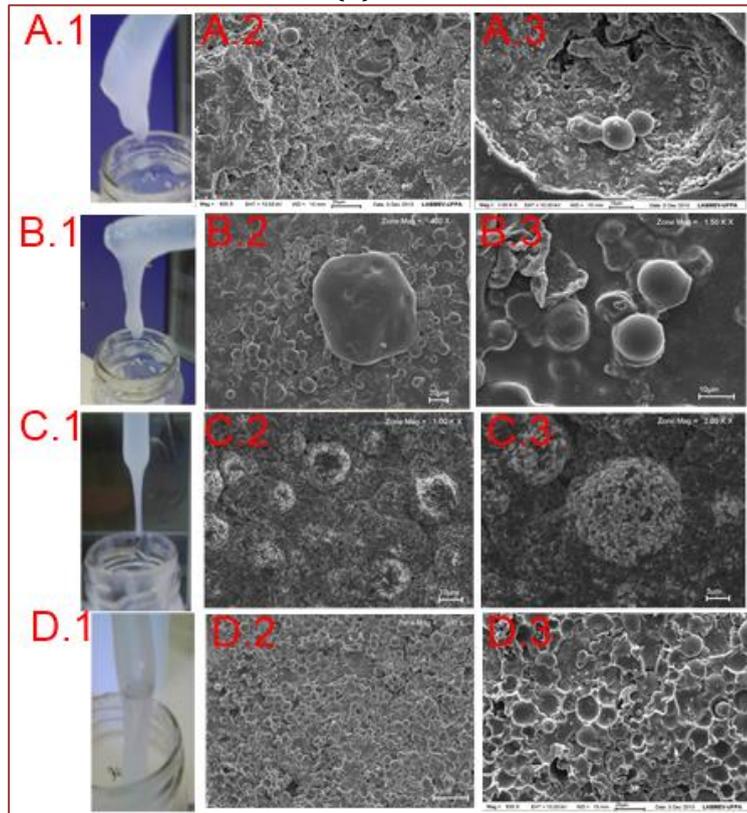
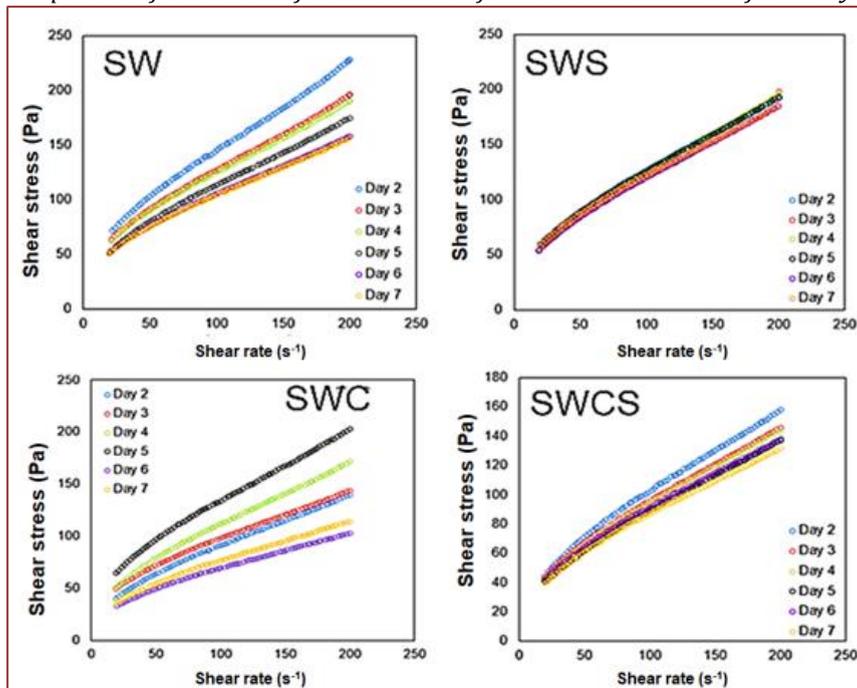


Figure 2. Comparative flow curves of cassava starch formulations obtained after 7 days of storage.



Mathematical modeling showed that Power-Law model was able to describe the rheological behavior of the formulations correlation coefficient values higher than 0.99. The low values of qui-squared and sum square residual values indicate good quality in measurements and subsequent adjustment (Table 1). The lowest variation of K and n was attributed to the SWCS formulation, which values were not statistically different between second and seventh day of storage (Table 1).

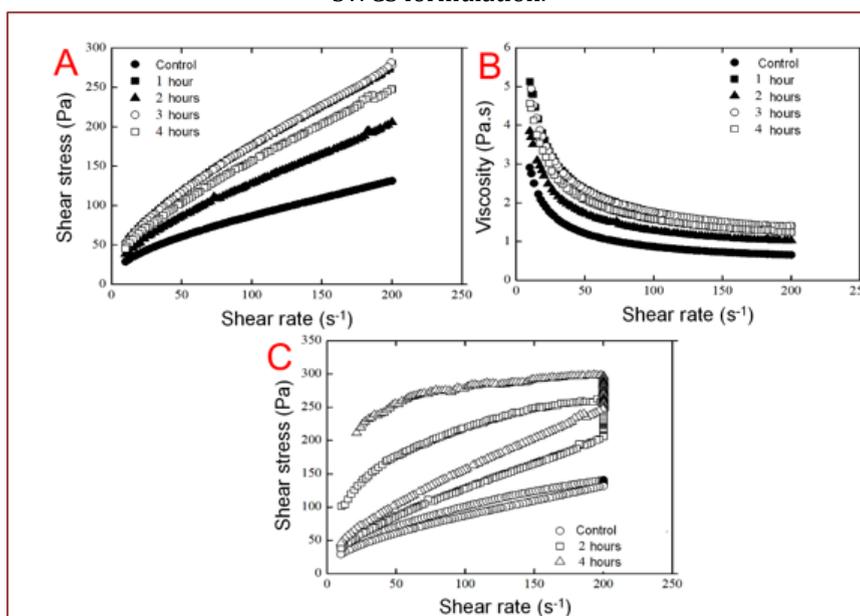
Table 1. Mathematical modeling of cassava starch formulations in the second and seventh days of storage.

	Second dayF			
	SW	SWS	SWC	SWCS
K (Pa.s ⁿ)	12.24±0.54 ^A	10.24±1.08 ^c	5.78±2.20 ^E	8.10±0.90 ^G
n (-)	0.54±0.03 ^a	0.55±0.02 ^b	0.64±0.07 ^c	0.55±0.02 ^e
R ²	0.99	0.99	0.99	0.99
χ ²	0.10	0.01	0.03	0.02
SSR	1.37	0.14	0.21	0.21
	Seventh dayF			
	SW	SWS	SWC	SWCS
K (Pa.s ⁿ)	11.58±1 ^B	12.22±1.07 ^D	8.02±1.98 ^F	7.82±2.41 ^G
n (-)	0.48±0.02 ^a	0.50±0.05 ^b	0.42±0.07 ^d	0.53±0.07 ^e
R ²	0.99	0.99	0.99	0.99
χ ²	0.07	0.08	0.04	0.03
SSR	0.60	0.78	0.26	0.22

Mean ± standard deviation of determinations of replicates. Different letters in the same column indicate significant difference related to each model parameter modelled (p≤0.05).

The thermal processing time contributed to enhance gelatinization of starch in the formulations, which contributed to the need to apply higher shear stress values, in comparison with the control sample (Figure 3A). The solutions present a thixotropic or shear-thinning behavior, i.e., the viscosity of material decreases with the increasing of the shear time (Figure 3B). Another approach to evaluate time-dependence of a material is to verify the presence of a hysteresis lobe (Figure 3C). The time-dependence decreasing is attributed to the increasing of the hysteresis lobe (area formed between the up and down curves), which was induced by the thermal process.

Figure 3. Flow (A), viscosity (B) and hysteresis (C) curves of time-dependence tests of thermal processed SWCS formulation.



Pseudoplastic and thixotropic behaviors were also observed in solutions formulated with wheat, potato and corn starches (Zhang, et al., 2013). The thixotropic behavior is not always desirable, because in a carefully evaluation of the apparent viscosity values, it is perceptible that this variable may present two different values for a same shear rate.

The Power-law modeled parameters on shear time-dependence tests indicates the n values increased approximately 9% and remained constant in comparison with control (Table 2). Great oscillations of K values were observed between the first three hours of thermal processing, followed by slight decreasing.

Table 2. Rheological and statistical parameters of mathematical modeling of thermal-processed SWCS.

	Control	1 hour	2 hour	3 hour	4 hour
K(Pa.s ⁿ)	7.82	12.24	8.85	11.78	10.23
n (-)	0.53	0.58	0.59	0.59	0.60
R ²	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
χ ²	0.03	0.05	0.07	0.06	0.08
SSR	0.22	0.72	0.78	0.83	0.95

4. CONCLUSIONS

Shear stress tests were employed to describe the rheological behavior of native cassava starch formulations as affected by various factors including temperature on gelatinization procedure and additives sodium chloride and sucrose. The addition of sucrose and sodium chloride resulted on physical modification of native cassava starch granules, and consequently the rheological behavior during seven days of storage.

Mathematical modeling showed that rheological behavior of the formulations can be described as pseudoplastic. Time-dependence evaluations described the formulations as thixotropic.

It is expected that the results obtained in this work support further studies on the rheological behavior of cassava starch solutions for application in foods formulations.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank prof. MSc. Vania M.F. Barriga and prof. Dr. Claudio Nery Lamarão (Geosciences Institute, Federal University of Pará) for lamination and scanning electronic microscopy procedures. Part of the information available in this chapter was presented in the Brazilian Congress of Chemical Engineering (COBEQ 2016) and in the Brazilian Congress on Food Science and Technology (CBCTA 2018).

REFERENCES

- [1] Albano, K. M., Franco, C. M. L., & Telis, V. R. N. (2014). Rheological behavior of Peruvian carrot starch gels as affected by temperature and concentration. *Food Hydrocolloids*, 40, 30-43.
- [2] Alcázar-Alay, S. C., & Meireles, M. A. A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Sci. & Technol. (Campinas)*, 35, 2, 215-236.
- [3] Barrera, G. N., Bustos, M. C., Iturriaga, L., Flores, S. K., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2013). Effect of damaged starch on the rheological properties of wheat starch suspensions. *Journal of Food Engineering*, 116, 1, 233-239.
- [4] Castaño, J., Rodríguez-Llamazares, S., Contreras, K., Carrasco, C., Pozo, C., Bouza, R., Franco, C. M. L., & Giraldo, D. (2014). Horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) starch: Basic physico-chemical characteristics and use as thermoplastic material. *Carbohydrate Polymers*, 112, 0, 677-685.
- [5] Chen, H. H., Wang, Y.-S., Leng, Y., Zhao, Y., & Zhao, X. (2014). Effect of NaCl and sugar on physicochemical properties of flaxseed polysaccharide-potato starch complexes. *Science Asia*, 40, 60-68.
- [6] Fakhoury, F. M., Maria Martelli, S., Canhadas Bertan, L., Yamashita, F., Innocentini Mei, L. H., & Collares Queiroz, F. P. (2012). Edible films made from blends of manioc starch and gelatin – Influence of different types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties. *LWT - Food Science and Technology*, 49, 1, 149-154.
- [7] Gambuś, H., Gumul, D., & Juszcak, L. (2004). Rheological Properties of Pastes Obtained from Starches Derived from Immature Cereal Kernels. *Starch - Stärke*, 56, 6, 225-231.

- [8] Hong, Y., Zhu, L., & Gu, Z. B. (2014). Effects of sugar, salt and acid on tapioca starch and tapioca starch-xanthan gum combinations. *Starch-Starke*, 66, 436-443.
- [9] Huang, Z.-Q., Lu, J.-P., Li, X.-H., & Tong, Z.-F. (2007). Effect of mechanical activation on physico-chemical properties and structure of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 68, 1, 128-135.
- [10] Jyothi, A. N., Sasikiran, K., Sajeev, M. S., Revamma, R., & Moorthy, S. N. (2005). Gelatinisation Properties of Cassava Starch in the Presence of Salts, Acids and Oxidising Agents. *Starch - Stärke*, 57, 11, 547-555.
- [11] Kasemwong, K., Ruktanonchai, U. R., Srinuanchai, W., Itthisoponkul, T., & Sriroth, K. (2011). Effect of high-pressure microfluidization on the structure of cassava starch granule. *Starch - Stärke*, 63, 3, 160-170.
- [12] Moreira, R., Chenlo, F., & Torres, M. D. (2011). Effect of sodium chloride, sucrose and chestnut starch on rheological properties of chestnut flour doughs. *Food Hydrocolloids*, 25, 5, 1041-1050.
- [13] Santana, Á. L., & Meireles, M. A. A. (2014). New starches are the trend for industry applications: a review. *Food Publ. Health*, 4, 5, 229-241.
- [14] Zhang, F., Liu, M., Mo, F., Zhang, M., & Zheng, J. (2017). Effects of acid and salt solutions on the pasting, rheology and texture of lotus root starch-konjac glucomannan mixture. *Polymers*, 9, 695, 1-14.
- [15] Zhang, X., Tong, Q., Zhu, W., & Ren, F. (2013). Pasting, rheological properties and gelatinization kinetics of tapioca starch with sucrose or glucose. *Journal of Food Engineering*, 114, 2, 255-261.

Capítulo 14

*Análise do aumento de escala de produção do fungo entomopatogênico *metarhizium anisopliae* por fermentação em estado sólido*

Eloane Daize Gomes Dallastra

Enylson Xavier Ramalho

Lina María Grajales

Resumo: O objetivo deste trabalho foi produzir o fungo entomopatogênico *Metarhizium anisopliae* em um biorreator de bandejas, em escala piloto. A produção iniciou-se com o cozimento do substrato, arroz Tipo I, e esterilização simultânea do equipamento e substrato através da injeção de vapor. Os substratos foram dispostos em bandejas de forma a completar 1, 2 e 3 cm de profundidade. Após resfriamento do meio, este foi inoculado por sistema de aspersão e fermentado durante 13 dias a aproximadamente 28°C. A temperatura no decorrer do processo fermentativo foi controlada por uma camisa de resfriamento e monitorada através de sensores PT100. A umidade do ar foi controlada pela injeção de ar próximo à saturação no interior do biorreator. As quantidades produzidas de conídios do fungo, em escala piloto, com 1, 2 e 3 cm de profundidade foram comparadas entre si e com a produção de conídios em escala de frascos. Segundo o teste de Tukey, a maior produção de conídios entre as fermentações no interior do biorreator ocorreu quando foi utilizado substrato de forma a completar 2 cm de profundidade nas bandejas. Este resultado foi comparado com a produção do fungo em pequena escala e segundo o Teste T ($\alpha = 0,05$), foi possível constatar que a produção do fungo *Metarhizium anisopliae* em escala piloto apresenta maior concentração do que na escala de frascos.

1 INTRODUÇÃO

A utilização e desenvolvimento de metodologias para produção de agentes de controle biológico tem aumentado visando à produção de alimentos com alta segurança alimentar, maior qualidade, (EMBRAPA, 2016), diminuição de danos aos ecossistemas, à segurança do homem, (LIMEIRA; RAFIKOV, 2010) e devido ao seu baixo custo quando comparado ao controle químico (GRAJALES, 2010).

O fungo entomopatogênico *Metarhizium anisopliae* é mundialmente conhecido e utilizado como agente biocontrolador de inúmeras pragas agrícolas (ZAPPELINI, 2009) e no Brasil, vem sendo utilizado no controle de insetos presentes em lavouras e pastagens em diversas regiões (DE FARIA; MAGALHÃES, 2001).

Em geral, este fungo é produzido por Fermentação em Estado Sólido (FES) utilizando grãos de arroz como substrato (CUNHA, 2016) e apesar da grande importância deste agente, a sua produção é ainda muito artesanal (GRAJALES, 2010).

Desta forma, as dificuldades de se reproduzir em condições ideais obtidas em pequenas escalas (MUSONI et al., 2015) e unir todas as etapas do processo de produção em um só equipamento (GRAJALES, 2010) tornam-se um dos principais gargalos na tecnologia de fermentação. Por estes motivos, o presente trabalho propõe produzir o fungo *Metarhizium anisopliae*, por fermentação em estado sólido, em um biorreator de bandejas, em escala piloto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Microrganismo: Fungo entomopatogênico *Metarhizium anisopliae* (ICBC 425) adquirido no laboratório Biocontrol (Sertãozinho-SP).

Substrato: Arroz Tipo I obtido em comércio local.

Biorreator de bandejas: O equipamento foi construído em aço-inox (111 cm de comprimento, 40 cm de largura e 86 cm de altura), está suportado por uma base metálica (100 cm de altura), contém quatro bandejas de aço-inox perfuradas (46 cm de comprimento, 24 cm de largura e 3 cm de altura) e conta com um sistema de esterilização a vapor, umidificação de ar, aspersão de inóculo e controle e monitoramento de temperatura.

2.2 METODOLOGIA

Pré-inóculo e suspensão de conídios: A repicagem do fungo foi feita em frascos erlenmeyers contendo meio de batata-dextrose-ágar (BDA) incubados durante 07 dias à temperatura de 28 ± 1 °C. Após, foi preparada uma solução nutriente constituída por cloreto de potássio (0,025%), extrato de levedura (0,012%) e tensoativo Tween 80® a 0,01% que foi utilizada para o preparo de uma suspensão de conídios para inoculação dos substratos na concentração de $6,9 \times 10^7$ conídios/mL.

Preparo dos substratos e fermentação em escala de frascos e escala piloto: Para as fermentações em escala de frascos, o substrato (5g) foi cozido por imersão (80 °C durante 4 minutos), colocado em sacos de polipropileno (15cm x 20 cm), submetido à esterilização em autoclave, inoculados com 1 mL da suspensão de conídios e a fermentação ocorreu por 13 dias em BOD a 28 ± 1 °C. Para as fermentações em escala piloto, o arroz tipo I foi disposto nas bandejas em 1, 2 e 3 cm de profundidade e o conjunto biorreator-substrato foi esterilizado através da injeção de vapor à 100°C durante 20 minutos (determinados por experimentos preliminares). Após o resfriamento do meio, através da circulação de água na camisa de refrigeração do equipamento, a solução inoculante foi aspergida sob o substrato. Os processos fermentativos ocorreram durante 13 dias, a contagem dos conídios produzidos foi realizada fazendo diluição em água e agente tensoativo, diluições seriadas foram realizadas quando necessário e a concentração foi estimada utilizando câmara de Neubauer e microscópio óptico. Os resultados obtidos foram comparados entre si e com a produção de conídios em sacos de polipropileno. Os experimentos foram realizados em quadruplicatas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos após a fermentação no interior do biorreator apresentaram distribuição normal (Shapiro-Wilk, $\alpha=0,05$), a análise de variância revelou diferença significativa entre os tratamentos ($\alpha=0,05$). Como no experimento foram testados somente três profundidades diferentes (1cm, 2cm e 3cm), as médias da concentração de *M. anisopliae* no substrato, em conídios/mL, foram comparadas através do teste de Tukey (Tabela 1).

Tabela 1 – Médias da concentração de *M. anisopliae* no substrato submetido a diferentes profundidades de arroz tipo I na bandeja

Profundidade de arroz tipo I na bandeja (em cm)	Concentração de <i>M. anisopliae</i> no substrato (em conídios/mL)		
	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)
1	$1,23 \cdot 10^9$ b	$2,60 \cdot 10^8$	21,14
2	$1,9675 \cdot 10^9$ a	$3,17 \cdot 10^8$	16,12
3	$1,0125 \cdot 10^9$ b	$3,57 \cdot 10^7$	3,53

*Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo Teste de Tukey

Constatou-se que, dentre os três tratamentos testados, o fungo *M. anisopliae* produziu mais conídios/mL na profundidade de 2cm de arroz tipo I. Essa condição pode ter minimizado problemas de compactação do meio permitindo aeração do substrato, vencendo um dos grandes desafios em processos de aumento de escala de produção de microrganismos em FES, segundo Cunha (2016). Em relação à camada de 1cm de substrato, essa condição pode ter apresentado maior ressecamento do meio prejudicando o crescimento do fungo.

Ao comparar este resultado com a produção de conídios em sacos de polipropileno (escala de frascos), o teste t ($\alpha=0,05$) indicou que ao se utilizar o biorreator de bandejas, com o substrato disposto em 2cm de profundidade é possível aumentar a escala de produção do fungo *M. anisopliae* (Tabela 2).

Tabela 2 – Quantidades médias de conídios de *M. anisopliae* obtidas a partir de arroz tipo I em biorreator de bandejas e em sacos de polipropileno

Tratamento	Concentração de <i>M. anisopliae</i> no substrato (em conídios/mL)
Escala piloto	$1,9 \cdot 10^9 \pm 3,17 \cdot 10^8$ a
Escala de frascos	$8,5 \cdot 10^8 \pm 1,6 \cdot 10^8$ b

*Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo Teste t

As concentrações obtidas de *M. anisopliae*, tanto na escala de frascos quanto na escala piloto, foram superiores às concentrações obtidas por Lopes (2016) e Cunha (2016), $3,62 \cdot 10^8$ e $3,21 \cdot 10^8$ conídios/mL, respectivamente, onde os autores avaliaram a produção deste microrganismo em uma bandeja contendo arroz tipo I com 2 cm de profundidade.

Observa-se que na escala piloto, o fungo foi capaz de produzir mais que o dobro de conídios/mL em relação à escala de frascos, ainda muito utilizada nos dias de hoje, mas que exige muita mão de obra e apresenta riscos de contaminação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre as profundidades de substratos testadas a condição que proporcionou ao fungo a maior produção de conídios foi a de 2 cm. Foi possível constatar que a produção do fungo *M. anisopliae* em escala piloto foi maior do que na escala de frascos.

O emprego do biorreator de bandejas, através dos seus mecanismos de controle de umidade e temperatura, permite que o fungo *M. anisopliae* seja produzido em escala piloto.

Trabalhos futuros explorarão a utilização de resíduos agroindustriais como substratos com o objetivo de aumentar a produção deste fungo e diminuir os custos de produção.

REFERÊNCIAS

- [1] Cunha, L. P. da. *Aspectos de engenharia da produção do fungo entomopatogênico *Metarhizium anisopliae* em biorreator de bandeja*. 2016. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, 2016.
- [2] De Faria, M. R.; Magalhães, B. P. O uso de fungos entomopatogênicos no Brasil. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*. Brasília, v. 1, n. 22, p.18-21, 2001
- [3] Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Controle biológico: ciência a serviço da sustentabilidade*. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-controle-biologico/sobre-o-tema>>. Acesso em: 16 jan. 2017.
- [4] Grajales, L. M. *Avaliação de um biorreator rotativo para Fermentação em Estado Sólido*, 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2010
- [5] Limeira, E. de H.; Rafikow, M. Dinâmica de interação da praga da cana-de-açúcar com seu parasitóide *Trichogramma galloi*. In: DINCON'10 Conference on Dynamics Control and their Applications, 9, 2010, Serra Negra. *Anais Conference on Dynamics Control and their Applications*, 2010. p. 238-242.
- [6] Lopes, C. I. Produção de conídios do fungo entomopatogênico *Metarhizium anisopliae* em diferentes condições de cultivo e em biorreator de bandeja. 2016. 59f. Dissertação (Mestre em Microbiologia) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, 2016.
- [7] Musoni, M.; Destain, J.; Thonart P.; Bahama, J.; Delvigne, F. Bioreactor design and implementation strategies for the cultivation of filamentous fungi and the production of fungal metabolites: from traditional methods to engineered systems. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* v. 19, n. p. 430-442, 2015
- [8] Oliveira, L.J.; Malaguido, A.B.; Nunes JR., J.; Corso, I.C.; DE Angelis, S.; De faria, L.C.; Hoffmann-Campo, C.B.; Lantmann, A. F. *Percevejo castanho da raiz em sistema de produção de soja* Londrina, PR, 2000, 44 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 28).
- [9] Zappelini, L. O. *Seleção de Isolados dos Fungos Entomopatogênicos *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* Visando o Controle da Broca da Cana-de-Açúcar, *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae)*. 2009. 67 f. Dissertação (Mestre em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) - Instituto Biológico, São Paulo, 2009.

Capítulo 15

Avaliação dos processos de eletrocoagulação e coagulação/floculação através do coagulante policloreto de alumínio no tratamento de efluente têxtil.

Paula Cristina de Souza

Nehemias Curvelo Pereira

Paulo Henrique Rodrigues

Vanessa Marconi Jamarim

Giovanna Beatriz Eler de Almeida

Lais Regina dos Santos

Resumo: O trabalho avaliou o tratamento de efluente têxtil por processos de coagulação/floculação, utilizando Policloreto de Alumínio (PAC), comparando com a eletrocoagulação, para o tratamento de efluentes têxtil. Na coagulação/floculação, foi realizado um estudo para determinar a melhor dosagem do coagulante em relação ao efluente, nestas condições foram verificadas as porcentagens de remoções dos parâmetros: DQO, cor aparente e turbidez. Para a eletrocoagulação, foi utilizado um reator de batelada, escala laboratorial, com eletrodos de alumínio. O tratamento com o coagulante PAC e com a eletrocoagulação, atingiram para o parâmetro DQO, reduções de 82% e 98%, respectivamente. Nas reduções de cor e turbidez, o processo de eletrocoagulação também apresentou melhores resultados comparado ao PAC, atingindo reduções de 100% da cor 98% da turbidez. O efluente têxtil apresentou, após os processos de tratamentos avaliados, características físico-químicas dentro dos limites impostos pelo CONAMA.

1. INTRODUÇÃO

O efluente da indústria têxtil apresenta uma ampla variação na sua composição devido às características de suas fibras e dos produtos químicos usados em diferentes processos, caracterizando portanto os despejos gerados neste setor como sendo fortemente coloridos, devido à presença dos corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento (V. Khandegar *et al.* 2013). A poluição de corpos d'água com estes compostos provocam, além da poluição visual, alterações em ciclos biológicos afetando principalmente processos de fotossíntese. Além deste fato, estudos tem mostrado que algumas classes de corantes, podem ser cancerígenos e/ou mutagênicos. (Kunz, *et al* 2002).

O estudo de novas alternativas capazes de minimizar o volume empregado de água nos processos industriais e também a redução da sua toxicidade é um dos principais obstáculos ao combate à contaminação ambiental. Dentre as várias técnicas investigadas podem-se citar os processos de coagulação/floculação e eletrocoagulação. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de parâmetros físico-químicas, os processos de tratamento com coagulante/floculante Policloreto de Alumínio (PAC) em relação processo de eletrocoagulação e eletroflotação para o tratamento de efluentes líquidos de uma lavanderia têxtil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras utilizadas neste trabalho provêm de uma lavanderia industrial localizada no município de Campo Mourão. A determinação dos parâmetros: DQO, cor, turbidez, foi feita em duplicata aplicando os métodos estabelecidos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Análises de DQO foram realizadas em um reator de COD da MARCONI MA4004, a determinação de cor e turbidez foi realizada através de um espectrofotômetro HACH modelo DR/2010, sendo a leitura da turbidez de forma direta e os resultados expressos em FTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) e a cor com os resultados expressos em mg PtCo/L. A evolução do pH foi determinada por meio de pHmetro e a condutividade elétrica foi determinada em um condutivímetro da marca METTLER TOLEDO.

Os experimentos de coagulação/floculação (CF) foram realizados em equipamento jar-test para seis amostras, marca Milan – Modelo JT 101/6, com regulador de rotação das hastes misturadoras, em temperatura ambiente (19 a 33°C). Consistiram na adição de diferentes dosagens de coagulantes em béqueres de prova contendo 500 ml do efluente têxtil. As dosagens adicionadas do coagulante foram de 0,2ml/L, 0,3 ml/L, 0,4 ml/L, 0,5 ml/L e 0,6 ml/L. As dosagens ótimas dos coagulantes foram determinadas por variação da dosagem de coagulante em condições reais, sem alteração das condições iniciais.

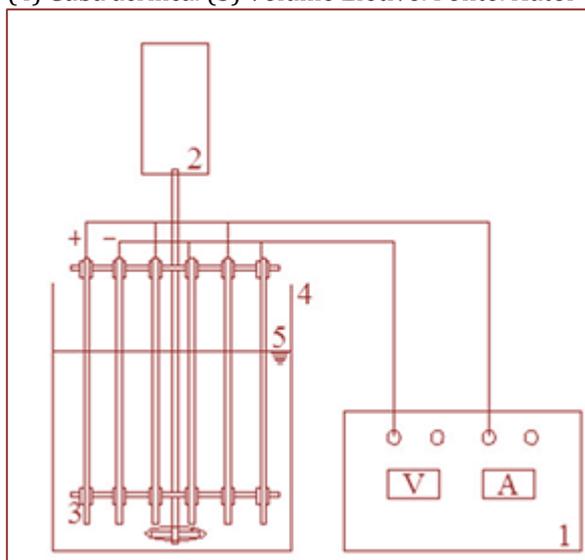
Foram empregados para o processo de CF, o tempo de mistura rápida (TMR) de 5 minutos a 95 rpm, para desestabilizar a suspensão. Seguiu-se uma agitação lenta (TML) durante 30 min a 35rpm, para facilitar a floculação. Para ocorrer a sedimentação (SED) foi definido um tempo de 30 min, após esse tempo foram retiradas amostras do sobrenadante abaixo da superfície sendo os ensaios realizados em duplicata. Foram determinadas a DQO, cor aparente, turbidez. As amostras foram filtradas utilizando filtro de membrana de 0,45µm e determinada a cor real. As porcentagens de remoções (Y) foram definidas conforme Equação 1.

$$Y(\%) = \frac{C_i - C}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

Em que C_i é a concentração do efluente real, e C do tratado. Para comparação múltipla das médias de cor, turbidez e DQO das amostras de cada ensaio foi aplicado o teste de Tukey HSD ao nível de 5 % de significância. A análise estatística dos resultados foi realizada com apoio do software livre ACTION (Licença Pública Geral GNU). O processo de eletrocoagulação-eletroflotação (EF) foi realizado por meio de um reator de do tipo batelada, composto por um tanque cilíndrico de acrílico com dimensões de 0,20 metros de diâmetro e 0,20 metros de altura, tendo um volume útil de 4 litros. O conjunto de eletrodos é constituído por seis placas de íon alumínio, inserido verticalmente no reator, a uma distância de 10mm entre as placas, apoiado por uma base de sustentação, parcialmente imersa na solução, com área efetiva de 660 cm², interligado a uma fonte de energia de corrente contínua, fornecendo tensão não faixa de 0 a 50V e intensidade de corrente na faixa de 0 a 10A (Fonte de Alimentação DC - Instrutherm - FA-1030). Foi empregado um agitador mecânico da marca FISATON, modelo 711, cod.450-1, 230V. A densidade de corrente (i) foi fixada em 7,58 mA.cm⁻², o que corresponde a valor de corrente (i) de 5A. Todos os ensaios foram realizados à temperatura ambiente (19 – 29 °C). O tempo de eletrolise foi fixado em 15 minutos,

baseado nos estudos de alguns autores que comprovaram que este intervalo de tempo foi suficiente para a redução de parâmetros como cor e turbidez do efluente têxtil (Manenti *et al*, 2014, Merzouk, 2011, Merzouk, 2009). O desenho esquemático do reator de eletrocoagulação é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Desenho esquemático do reator de eletrocoagulação. (1) Fonte estabilizada de corrente contínua (V= regulador de voltagem; A= regulador de corrente). (2) Agitador mecânico. (3) Eletrodos de EF. (4) Cuba acrílica. (5) Volume Efetivo. Fonte: Autor (2015).



As figuras poderão ser coloridas e deverão ser inseridas no corpo do trabalho, tão próximas quanto possível das citações, no texto, sobre elas. As figuras deverão ser centralizadas, sem exceder o tamanho limitado pelas margens da página.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A Tabela 1 resume os valores médios das características principais, obtidas após duas análises de cada parâmetro, resultantes de três diferentes coletas. Os efluente foram coletados durante os períodos de outubro e novembro de 2014, e após a caracterização foram armazenados a 5°C. A tabela 1 resume os valores médios das características principais obtido após duas análises de cada parâmetros.

Tabela 1 – Característica do Efluente Têxtil.

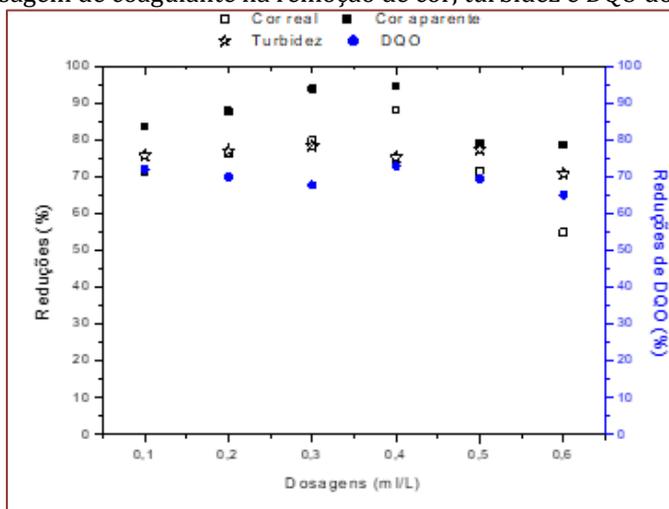
Parâmetros	Unidade	Valor	Desvio
pH		6,03	26%
Temperatura	°C	25,02	21%
Condutividade	mScm ⁻¹	6,42	9%
DQO	mg O ₂ L ⁻¹	224,03	8%
Turbidez	NTU	90,55	30%
Cor Real	gPt-Co L ⁻¹	154,67	11%
Cor Aparente	gPt-Co L ⁻¹	482,80	4%

3.2. TRATAMENTO COM COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO UTILIZANDO O COAGULANTE PAC

As dosagens adicionadas do coagulante foram de 0,2ml/L, 0,3 ml/L, 0,4 ml/L, 0,5 ml/L e 0,6 ml/L. As dosagens ótimas dos coagulantes foram determinadas por variação da dosagem de coagulante em condições reais, sem alteração das condições iniciais. Os parâmetros analisados foram DQO, cor real, cor aparente, turbidez e condutividade. A Figura 2 apresenta o gráfico com os resultados das porcentagem de remoção do coagulante. O coagulante apresentou redução de cor aparente de aproximadamente 95% na dosagem de 0,3 e 0,4ml/L, nestas dosagens a absorvância atingiu reduções acima de 90%, a turbidez

apresentou redução em torno de 75% e a DQO em torno de 70%.

Figura 2. Efeito da dosagem de coagulante na remoção de cor, turbidez e DQO dos coagulante PAC.

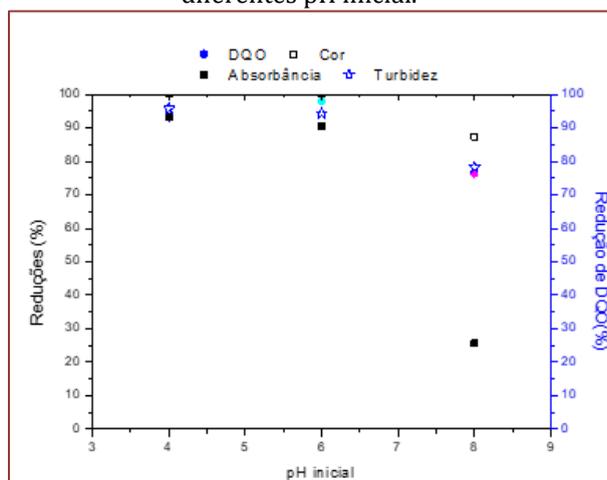


Aplicando o teste Tukey para o parâmetro cor aparente e cor real, observou-se que as melhores remoções deste parâmetro ocorreram para a dosagem de 0,2mL/L, obtendo as seguintes remoções: DQO 72%, cor aparente 83%, cor real 73% e turbidez de 77%.

3.3. TRATAMENTO COM ELETROCOAGULAÇÃO.

Foram verificadas as reduções de DQO, cor e turbidez do processo EC, a densidade de corrente utilizada no processo foi de 1,51mA/m². Para correção do pH foram adicionadas alíquotas de NaCl, afim de aumentar a força iônica do efluente a ser tratado, mantendo a condutividade na faixa de 6-9mS.cm⁻¹. O tempo de reação fixado em 15 minutos e utilizado um agitador mecânico com rotação de 175rpm. Os resultados experimentais são resumidos na Figura 2 e mostram que o melhor pH inicial para o processo de eletrocoagulação nas condições estabelecidas para o efluente têxtil tratado foi de 6,0, com reduções de DQO de 98%, Cor Aparente de 100% e turbidez de 98%.

Figura 2 – Eficiência da eletrocoagulação em termos de remoção de cor aparente, turbidez, DQO para três diferentes pH inicial.



3.4. COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.

Na Figura 3 estão apresentadas a eficiência de remoção da coagulação/floculação utilizando o coagulante PAC e da eletrocoagulação para os parâmetros de redução de DQO, cor e turbidez estudados. Verificou que o processo de CF (coagulação/floculação) e EC apresenta grande eficiência na remoção dos poluentes do efluente têxtil estudado, destacando a redução da DQO observada no processo de EC.

A Resolução CONAMA n.º 357 (Brasil,2005) estabelece padrões de lançamento de efluentes industriais nos corpos hídricos, fixando valores de até 100 unidades nefelométricas de turbidez, pH entre 6,0 e 9,0 e cor inferior a 75mg Pt-Co L⁻¹, apesar de não especificar os valores para os parâmetro de DQO, sugere que este parâmetro seja inferior a 300 mg O₂ L⁻¹.

Na Tabela 2 são apresentados os valores absolutos obtidos nas condições ótimas para os três coagulantes e para o processo de EC. Pode ser observado que os quatro tratamentos propostos atendem a Resolução citada, ou seja permitem o lançamento após o tratamento nos corpos hídricos brasileiros.

Figura 3 – Eficiência dos tratamentos utilizando coagulação/floculação (CF) e da EC em termos de remoção de cor real, turbidez e DQO

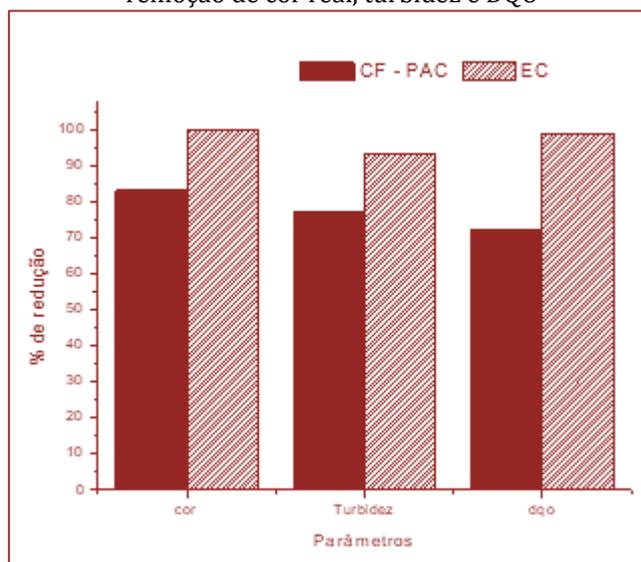


Tabela 2 – Valores absolutos obtidos nas condições ótimas para os tratamentos propostos.

Parâmetros	CF -PAC	EC
Cor (gPt-Co L-1)	43,0	0,0
Turbidez (NTU)	20,8	4,2
DQO(mg O ₂ L-1)	60,4	2,8
pH final	3,1	7,8

4. CONCLUSÃO

O efluente têxtil apresentou para os dois processos de tratamento, as características físico-químicas dentro dos limites de despejo em corpos hídricos receptores impostos pelo CONAMA, sendo o tratamento através do processo de eletrocoagulação o que apresentou a melhor eficiência de remoção dos parâmetros analisados.

REFERÊNCIAS

- [1] Apha/Wef/Awwa. Standard Methods for the examination of water and wastewater. In: CLESCERI, L.S, Greenbreg, E.; Eaton, A.D. (Ed). *American public health association*. 20 th ed. Washington, 2012
- [2] Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. 2005.
- [3] Khandegar, V., Saroha, A.K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent –review. *Journal of Environmental Management*. . p. 949 -963, 2013.
- [4] Kunz, Airton; Peralta-Zamora, Patricio; Moraes, Sandra Gomes; Durán, Nelson. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Quim. Nova*, Vol. 25, No. 1, 78-82, 2002.
- [5] Manenti, D. R.; Borba, F. H.; Módenes, A. N.; Espinoza-Quiñones, F. R.; Palácio, S. M.; Vilar, .V. J. P.; BERGAMASCO, R. Avaliação do desempenho de um sistema de tratamento utilizando os processos eletrocoagulação e foto-fenton integrados no tratamento de um efluente têxtil. *Engevista*, V. 16, n. 3, p.420-431, 2014.
- [6] Merzouk B., Gourich B., Sekki A., Madani K., Ch. Vial, Barkaoui M.. Studies on the decolorization of textile dye wastewater by continuous electrocoagulation process, *Chem. Eng. J.* 149 .2009.
- [7] Merzouk, B. , Gourich, B. , Madani, K. , Vial, CH. , Sekki, A. Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation. A comparative study. *Desalination*. Volume 272, Issues 1–3, 3 May 2011.
- [8] Stroher, A. P. ; Menezes, M. L; Pereira, N.C.; Bergamasco, R. . Utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans. *Engevista*, V. 15, n. 3. p. 255-260, 2013.

Capítulo 16

Estudo do teor de nitrogênio e fósforo no meio de cultivo da microalga spirulina visando produção de biomassa e proteínas

Shana Kimi Farias Yamaguchi

Lisiane Fernandes de Carvalho

Taís Regina Canal

Carolina Krebs de Souza

Sávio Leandro Bertoli

Resumo: As microalgas têm sido foco de muitos estudos tendo em vista sua grande aplicabilidade na indústria de alimentos e farmacêutica, como também nas áreas da biomedicina e ambiental. A Spirulina é uma microalga que possui alto valor nutricional, apresenta alto teor proteico e é rica em substâncias bioativas. No cultivo de microalgas, os nutrientes presentes no meio podem alterar a composição da biomassa gerada. Em vista disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da concentração dos nutrientes fosfato de potássio (K_2HPO_4) e nitrato de sódio ($NaNO_3$), presentes no meio Zarrouk, na obtenção de biomassa e proteínas provenientes da Spirulina sp. LEB 18. Foi utilizado planejamento experimental fatorial completo 2^2 , variando os níveis de $NaNO_3$ e K_2HPO_4 , e como resposta avaliada a concentração final de biomassa, produtividade máxima e teor de proteínas. A microalga foi cultivada em fotobiorreatores do tipo erlenmeyer de 2 L com volume útil de 1,8 L e mantida a 30 °C com fotoperíodo de 12 h claro/escuro. A concentração da biomassa e pH foram determinados a cada 24 h. Ao final dos cultivos foi realizada separação da biomassa, secagem da mesma e determinado o teor de proteínas. Não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as concentrações finais de biomassa da microalga e produtividade máxima. Entretanto, a concentração de nitrogênio apresentou influência significativa sob o teor de proteínas, sendo possível atingir 60,4%. Desta forma verificou-se que utilizando menores concentrações dos substratos avaliados foi possível incrementar o conteúdo proteico da biomassa, além de diminuir o custo com substratos.

Palavras-chave: biomassa, fotobiorreatores, proteínas.

1. INTRODUÇÃO

A biotecnologia microalgal explora diversas aplicações destes microrganismos, desde o tratamento de águas residuais, indicadores biológicos, produção de biocombustíveis e suplementação nutricional em alimentos (MORAIS et al., 2017).

Como alternativa no fornecimento de nutrientes em formulações alimentícias, tem-se a microalga *Spirulina*. Esta microalga possui elevada concentração de proteína digerível (MORAIS et al., 2008), além de ser fonte de ácidos graxos essenciais, vitaminas, minerais e pigmentos, podendo ser utilizada no desenvolvimento de produtos médicos, farmacêuticos e para enriquecer nutricionalmente os alimentos (SPOLAORE et al., 2006; VOLK; FURKERT, 2006). A *Spirulina* também é muito estudada como ação antioxidante que auxilia na prevenção de doenças cardíacas, envelhecimento precoce e outros danos que os radicais livres podem causar às células e ao DNA (COLLA et al., 2007).

A microalga *Spirulina* pode ser cultivada em diversos sistemas de produção, com volume variando desde poucos litros até bilhões de litros (BOROWITZKA, 1999). Os cultivos são realizados tanto em sistema fechado quanto aberto, em painéis de forma achatada ou em serpentinas, espirais ou cilindros, construídos em tubos de plástico, vidro ou policarbonato. Nos fotobiorreatores, é possível controlar as condições de cultivo (quantidade dos nutrientes, temperatura, iluminação, pH, etc.). Isto implica uma elevada produtividade, viabilizando a produção comercial de uma série de compostos de elevado valor (TREDICI, 2004).

A variação no suprimento de nutrientes no cultivo da microalga *Spirulina* altera a composição final da biomassa, desta forma, um cultivo otimizado pode duplicar a sua biomassa diariamente (MULITERNO et al., 2005). A deficiência de nutrientes no meio pode fazer com que a microalga adapte seu metabolismo à nova condição. Assim, as modificações no meio de cultivo mudam principalmente a composição de proteínas, lipídeos e pigmentos (CAMPO et al., 2007).

Em vista disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da concentração dos nutrientes fosfato de potássio (K_2HPO_4) e nitrato de sódio ($NaNO_3$), presentes no meio Zarrouk, na obtenção de biomassa e proteínas provenientes da *Spirulina* sp. LEB 18.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o cultivo da microalga foi realizado Planejamento Fatorial Completo 2^2 com três pontos centrais cujas variáveis reais e codificadas são apresentadas na Tabela 1. A partir do delineamento experimental foi avaliada a influência da concentração dos componentes: fósforo (fosfato de potássio) e nitrogênio (nitrato de sódio) sobre a concentração de biomassa, produtividade máxima de biomassa e teor de proteínas.

Tabela 1 – Matriz do Planejamento Fatorial Completo 2^2 com três pontos centrais

Experimento	K_2HPO_4 (g.L ⁻¹)	$NaNO_3$ (g.L ⁻¹)
1	0,00 (-)	0,50 (-)
2	0,00 (-)	2,50 (+)
3	0,50 (+)	0,50 (-)
4	0,50 (+)	2,50 (+)
5	0,25 (0)	1,50 (0)
6	0,25 (0)	1,50 (0)
7	0,25 (0)	1,50 (0)

Para realização dos cultivos foram utilizados fotobiorreatores do tipo Erlenmeyers de 2 L, com volume útil de 1,8 L de meio de cultivo Zarrouk (1966) modificado de acordo com os teores de fósforo e nitrogênio apresentados na Tabela 1 e concentração inicial de inóculo de 0,10 g.L⁻¹. A aeração foi realizada por meio de ar comprimido e a iluminação feita com a utilização de lâmpadas fluorescentes fornecendo iluminância de 2000 Lux. O cultivo foi mantido a 30 °C com fotoperíodo de 12 h claro/escuro.

A concentração de biomassa da microalga foi determinada a cada 24 h através de medida de densidade óptica a 670 nm (COSTA et al., 2002) em espectrofotômetro (modelo Cirrus 80ST FEMTO), utilizando-se uma relação pré-estabelecida entre massa seca de biomassa e absorvância. O pH das culturas foi determinado diariamente em pHmetro digital (Tec-3MP).

A produtividade máxima da biomassa foi avaliada utilizando-se a Equação 1 (SCHMIDELL et al., 2001).

$$P_{\max} = \frac{X_t - X_0}{t - t_0} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

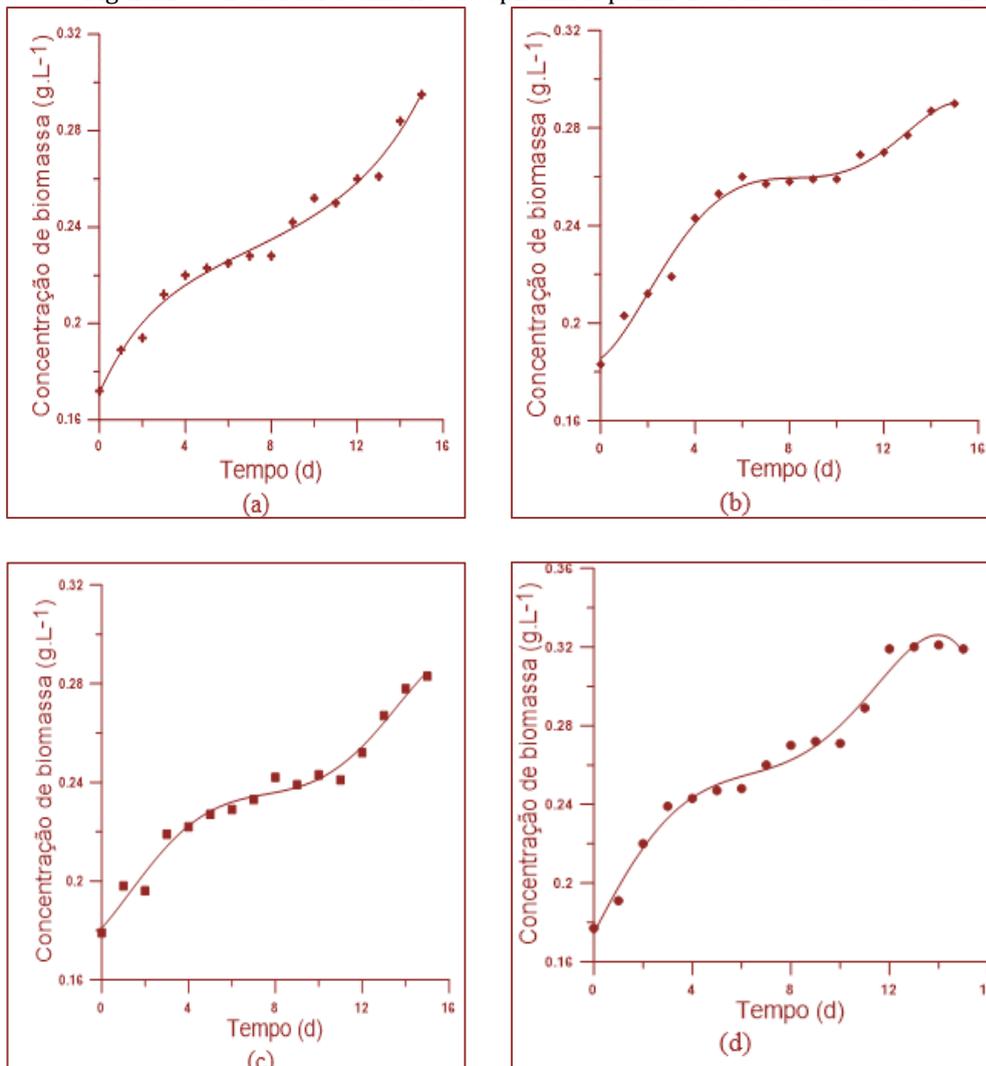
X_t = concentração de biomassa (g.L⁻¹) no tempo t
 X_0 = concentração de biomassa (g.L⁻¹) no tempo t₀

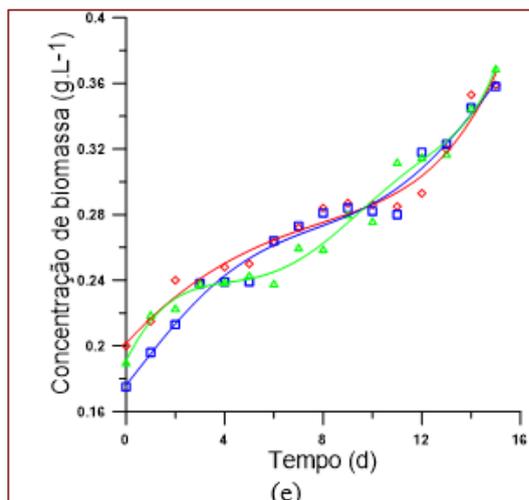
Após o término do cultivo, a microalga foi centrifugada a 6000 rpm, liofilizada e submetida a análise de proteínas (AOAC, 2000). Os resultados obtidos para concentração de biomassa final e produtividade máxima foram avaliados através de análise de variância com 95% de confiança e diferença de médias através do Teste de Tukey.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se observar na Figura 1 que as curvas de crescimento da microalga *Spirulina* sp. LEB 18 foram semelhantes para os diferentes experimentos realizados, ocorrendo crescimento exponencial até o 15º dia para todos os experimentos, indicando que a microalga se adaptou às novas condições de cultivo.

Figura 1 - Curva de crescimento de *Spirulina* sp. LEB 18 durante 15 dias de cultivo





O pH dos cultivos realizados de *Spirulina* sp. LEB 18 mantiveram-se entre 9,83 e 10,02, permanecendo na faixa descrita por Vonshak (1997) como sendo adequada para o crescimento da microalga. Observou-se que, quanto maior o tempo de cultivo, maior o valor de pH, pois à medida que o microrganismo se desenvolve, seu metabolismo torna o meio mais alcalino. No final do tempo de cultivo, verificou-se uma tendência à estabilização do pH, provavelmente, devido a redução do crescimento da microalga. Segundo Rodrigues (2008), o aumento do pH com o crescimento celular pode ser explicado pelo consumo da fonte de carbono durante o cultivo.

Os resultados referentes a concentração de biomassa, produtividade máxima e teor de proteínas são apresentados na Tabela 2. De acordo com esta tabela, não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as concentrações finais de biomassa da microalga *Spirulina* sp. LEB 18, indicando que a microalga se adaptou às diferentes condições nutricionais dos meios de cultivos. Segundo Colla et al., (2007) a produtividade da microalga *Spirulina platensis* permanece inalterada sob variação da concentração de nitrato de sódio no intervalo entre $0,625 \text{ g.L}^{-1}$ e $2,500 \text{ g.L}^{-1}$; mantendo-se o cultivo a 30°C . Esses estudos demonstraram que a quantidade desse composto pode ser reduzida para aproximadamente 25% da concentração aplicada no meio de Zarrouk, sem perdas na produção de biomassa e com diminuição no custo de produção.

Em relação ao teor de proteínas (Tabela 2), o experimento 1, no qual foi utilizado menores concentrações de K_2HPO_4 e NaNO_3 , apresentou o maior teor de proteína (60,4%). Já no experimento 4, no qual foram utilizadas maiores concentrações de K_2HPO_4 e NaNO_3 , o teor de proteínas foi menor (40,0%). As maiores concentrações de nitrogênio e fósforo nos cultivos podem ter saturado o meio, fazendo com que a fase de adaptação da microalga se estendesse por mais tempo do que nos cultivos com menores concentrações.

Sassano et al. (2007) verificou que a concentração de até $0,10 \text{ g.L}^{-1}$ de nitrogênio não prejudica o crescimento da microalga *Spirulina* sp. LEB 18, pois em condições mínimas de nitrogênio no meio de cultivo, a microalga degrada ficocianina, que é utilizada como fonte reserva de nitrogênio.

Tabela 2 - Concentração final de biomassa (X_f), produtividade máxima (P_{\max}) e teor de proteína dos cultivos da microalga *Spirulina* LEB 18 realizados de acordo com o planejamento experimental

Experimento	K_2HPO_4 (g.L^{-1})	NaNO_3 (g.L^{-1})	X_f (g.L^{-1})	P_{\max} ($\text{g.L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	Proteínas(%)
1	0,00 (-)	0,50 (-)	$0,320 \pm 0,039^a$	$0,016 \pm 0,00078^a$	60,4
2	0,00 (-)	2,50 (+)	$0,325 \pm 0,052^a$	$0,017 \pm 0,00007^a$	55,0
3	0,50 (+)	0,50 (-)	$0,317 \pm 0,047^a$	$0,016 \pm 0,00035^a$	48,5
4	0,50 (+)	2,50(+)	$0,298 \pm 0,029^a$	$0,011 \pm 0,00014^a$	40,0
5	0,25 (0)	1,50 (0)	$0,323 \pm 0,062^a$	$0,013 \pm 0,00012^a$	51,7
6	0,25 (0)	1,50 (0)	$0,291 \pm 0,063^a$	$0,010 \pm 0,00024^a$	49,8
7	0,25 (0)	1,50 (0)	$0,310 \pm 0,065^a$	$0,011 \pm 0,00030^a$	50,2

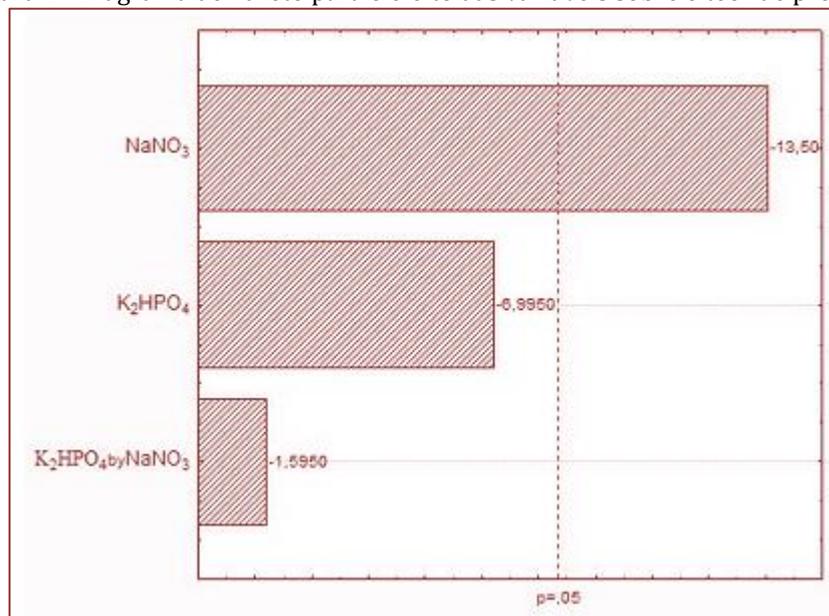
*Resultados com letras iguais na mesma coluna não diferiram entre si, enquanto com letras diferentes apresentaram diferença significativa ao nível de 95% de confiança pelo teste de Tukey.

A produtividade máxima (P_{max}) dos cultivos não tiveram diferença significativa e foram proporcionais à concentração final de biomassa obtendo valores entre 0,010 e 0,017 $g.L^{-1}.d^{-1}$ para concentrações de 0,291 e 0,325 $g.L^{-1}$, respectivamente. Andrade e Costa (2008) também encontraram valores proporcionais de produtividade máxima e concentração final de biomassa com valores entre 0,045 e 0,098 $g.L^{-1}.d^{-1}$ e 1,440 e 2,830 $g.L^{-1}$, respectivamente, em cultivos de *Spirulina platensis* utilizando melão em pó e líquido como substratos.

Çelekli, Yavuzatmaca e Bozkurt (2009) definiram que a concentração ideal de fosfato para o crescimento de *Spirulina sp.* é de até 0,5 $g.L^{-1}$. Tendo em vista que os resultados de concentração final de biomassa e produtividade máxima não tiveram diferença significativa em nível de 5%, este trabalho corrobora com os autores citados, pois os cultivos com e sem fosfato não apresentaram diferença significativa nos resultados obtidos.

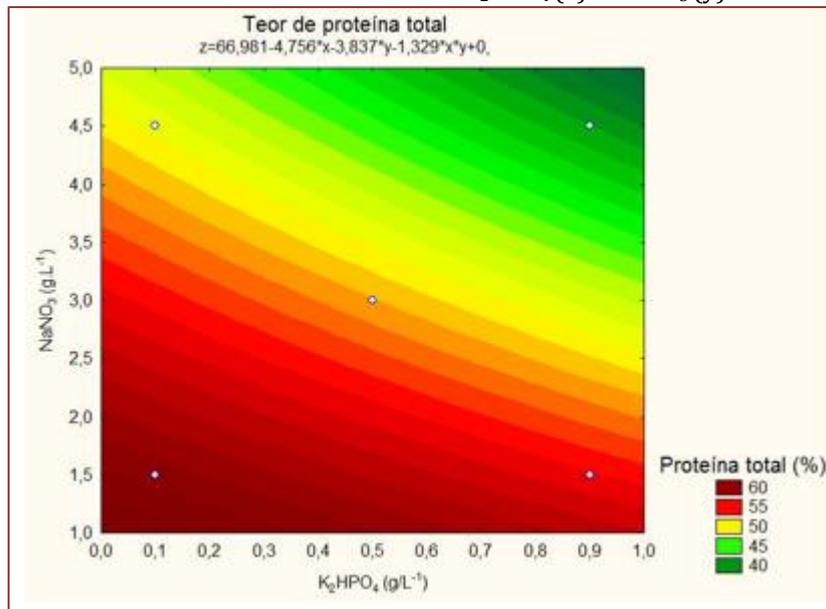
A Figura 2 apresenta o Diagrama de Pareto do efeito das variáveis sobre o teor de proteína. Como se pode observar, somente o $NaNO_3$ apresentou influência significativa ($p < 0,05$) na produção de proteínas. Já para diferentes concentrações de K_2HPO_4 , o teor de proteínas não apresentou variação, assim como para a interação dos dois componentes. Contrário a este resultado, Colla et. al. (2007) não encontraram diferença significativa ao variar $NaNO_3$ no cultivo de *Spirulina platensis* LEB 52 em meio Zarrouk, obtendo valores entre 59,76% e 57,61% de proteínas para concentrações entre 0,625 $g.L^{-1}$ e 2,500 $g.L^{-1}$, respectivamente.

Figura 2 - Diagrama de Pareto para o efeito das variáveis sobre o teor de proteína



A Figura 3 mostra a curva de contorno referente às concentrações de $NaNO_3$ e K_2HPO_4 , que apresentaram influência no teor de proteínas. Pode-se observar que, quanto menor a concentração de $NaNO_3$ maior é a produção de proteínas pela microalga *Spirulina sp.* LEB 18, porém para o K_2HPO_4 , a variação da sua concentração não alterou o teor de proteínas significativamente.

Conforme Arruda et al. (2013), utilizando o meio Paoletti (PAOLETTI et al. 1975) em concentração mínima de 1,935 $g.L^{-1}$ e máxima de 2,57 $g.L^{-1}$ de KNO_3 os resultados encontrados indicam que a menor concentração de nitrogênio resultou em maior teor de proteínas, isso significa que é possível utilizar menores concentrações de substrato para o mesmo objetivo, tornando o cultivo mais econômico nas condições estudadas.

Figura 3 - Curva de contorno da influência dos nutrientes K_2HPO_4 (x) e $NaNO_3$ (y) no teor de proteínas (z)

4. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos foi possível observar que a variação de fosfato de potássio (fonte de fósforo) e de nitrato de sódio (fonte de nitrogênio), nos níveis estudados, não apresentou influência significativa em relação à concentração celular e produtividade máxima. Porém, em relação ao teor de proteínas, a concentração de nitrogênio apresentou influência significativa, sendo possível obter maior teor de proteínas utilizando menor concentração de nitrogênio avaliada neste estudo.

Com isso, verifica-se que pode ser utilizado menores concentrações dos substratos avaliados e ainda assim obter resultados satisfatórios em relação a produção de biomassa microalgal e obtenção de proteínas.

REFERÊNCIAS

- [1] Andrade, M. R.; Costa, J. A. V. Culture of microalga *Spirulina platensis* in alternative sources of nutrients. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 5, p. 1551-1556, set./out., 2008.
- A. O. A. C. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist, EUA, 2000.
- [2] Arruda, R. O. M.; Barbosa, D. C. C. R.; Medeiros, M. M.; Oliveira, M. R. Frattini, W. C. Aspectos fermentativos de *Spirulina platensis* sob condições naturais de temperatura e iluminação. Revista da Saúde, v. 7, n. 3/4, 2013.
- [3] Borowitzka, M. A. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. Journal of Biotechnology, v. 70, p. 313-321. 1999.
- [4] Campo, J. A. D.; González, M. G.; Guerrero, M. G. Outdoor cultivation of microalgae for carotenoid production: current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, v.74, p.1163-1174, 2007.
- [5] Colla, L. M.; Reinehr, C. O.; Reichert, C.; Costa, J. A. V. Production of biomass and nutraceutical compounds by *Spirulina platensis* under different temperature and nitrogen regimes. Bioresource Technology, v. 98, p. 1489-1493, 2007.
- [6] Costa, J. A. V.; Colla, L. M.; Duarte Filho, P.; Kabke, K.; Weber, A. Modeling of *Spirulina platensis* growth in fresh water using response surface methodology. World Journal of Microbiology and Biotechnology, v. 18, p. 603-607, 2002.
- [7] Çelekli, A.; Yavuzatmaca, M.; E Bozkurt, H. Modeling of biomass production by *Spirulina platensis* as function of phosphate concentration and pH regimes. Bioresource Technology, in press, 2009.
- [8] Morais, M. G.; Silva, C. K.; Cassuriaga, A. P. A.; Rosa, A. P. C.; Costa, J. A. V. Microalgal engineering of biopolymers. In Mishra, A. K. (Ed) Biopolymers: Structure, Performance and Applications. Nova Iorque Eua: Nova Science publishers, Hauppauge, 2017.
- [9] Morais, M. G.; Reichert, C. C.; Dalcanton, F.; Durante, A. J.; Marins, L. F.; Costa, J. A. V. Isolation and characterization of a new *Arthrospira* strain. Z. Naturforsch. v. 63c, p. 144-150, 2008.

- [10] Muliterno, A.; Mosele, P. C.; Costa, J. A. V.; Hemkemeier, M.; Bertolin, T. E.; Colla, L. M. Mixotrophic growth of *Spirulina platensis* in fed-batch mode. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1132-1138, nov./dez., 2005.
- [11] Paoletti, C.; Pushparaj, B.; Tomaselli, L. Ricerche sulla nutrizione minerale di *Spirulina platensis*. *Atti Cong Naz Soc Ital Microbiol.* 28 (2): 845-53. 1975.
- [12] Rodrigues, M. S. Avaliação do cultivo de *Spirulina platensis* utilizando simultaneamente nitrato de potássio e cloreto de amônio como fonte de nitrogênio. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Farmacêutica) – Faculdade de São Paulo, 2008.
- [13] Sassano, C. E. N.; Gioielli, L. A.; Almeida, K. A.; Sato, S.; Perego, P.; Conveti, A.; Carvalho, J. C. M. Cultivation of *Spirulina platensis* by continuous process using ammonium chloride as nitrogen source. *Biomass and Bioenergy.* v. 31, p. 593-598, 2007.
- [14] Schmidell, W.; Lima, A. U.; Aquarone, E.; Borzani, W. *Biotecnologia Industrial.* v. 2, São Paulo: Edgard Blücher, 254 p., 2001.
- [15] Spolaore, P.; Joannis-Cassan, C.; Duran, E.; Isambert, A. Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering.* v. 101, n. 2, p. 87-96, 2006.
- [16] Tredici, M.R. Mass production of microalgae: photobioreactors. In: Richmond, A. (Ed). *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology.* Oxford: Blackwell Science. p.178-214. 2004.
- [17] Volk, R. B.; Furkert, F. H. Antialgal, antibacterial and antifungal activity of two metabolites produced and excreted by cyanobacteria during growth. *Microbiological Research,* v. 161, n. 2, p. 180-186, 2006.
- [18] Vonshak, A. *Spirulina platensis* (Arthrospira) physiology, cell-biology and biotechnology. London Taylor & Francis, p. 43, 1997.
- [19] Zarrouk, C. Contribution à l'étude d'une cyanophycée: influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* Geitler. Thesis (Ph.D.) - University of Paris, Paris, 1966.

Capítulo 17

Estudo de degradação luminosa do extrato antociânico da polpa de cará-roxo (dioscorea trifida l.)

Walber José Pereira Costa

Raylime Louise Tavares Costa

Raissa Leão Santos

Rafael Alves do Nascimento

Erika Milene Pinto de Sousa

Lênio José Guerreiro de Faria

Resumo: As antocianinas representam um dos mais importantes pigmentos naturais e devido à crescente procura por produtos alimentares mais saudáveis, visa-se também novas fontes e meios de extrações das mesmas, assim como estudo de sua estabilidade. Neste presente trabalho, a solução etanol 95%:HCl 1,5N (85:15) foi utilizada na extração das antocianinas da polpa de cará-roxo, permitindo o estudo da influência degradativa de diferentes luminosidades. A cinética de degradação das antocianinas mostrou que sob todas as condições estudadas, o modelo de primeira ordem foi o que melhor se ajustou. Mínima foi a diferença do tempo de meia-vida entre as amostras submetidas à lâmpada de LED e fluorescente, enquanto que ao abrigo de luz as amostras apresentaram tempo de meia-vida superior às demais condições. Quanto à cor, ao final dos experimentos os extratos submetidos às luzes apresentaram mudança perceptível da cor, ao contrário das amostras ao abrigo de luz.

1. INTRODUÇÃO

O cará-roxo pertence à família Dioscoreaceae e é um dos nomes mais comuns pelo qual o tubérculo da planta *Dioscorea trifida* L. é conhecido, podendo também ser chamado de cará, cará-comum, cará-doce, cará-momosa entre outros. A polpa do cará-roxo corresponde em média 75% do peso total do tubérculo e também a principal fonte de antocianinas do mesmo. Sendo este pigmento natural uma importante solução quanto à substituição de corantes artificiais no mercado.

Diversos estudos e pesquisas vêm sendo realizados a fim de descobrir novas fontes, melhores formas de extração e processos que aumentem a estabilidade dos corantes naturais em alimentos. Neste trabalho, realizou-se o estudo da estabilidade do extrato antociânico da polpa por meio de testes acelerados de degradação, frente a diferentes fontes luminosas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado para os estudos foi a polpa de cará-roxo *in natura*. Sendo realizada a seleção manual dos melhores tubérculos, observando cor e integridade da casca. Todos os experimentos foram realizados no LEQ – Laboratório de Engenharia Química (UFPA).

A solução com etanol 95% + HCl 1,5N na proporção 85:15 (v:v) foi utilizada na extração. Do extrato antociânico foi retirada uma alíquota inicial para a quantificação de antocianinas totais, de acordo com o método de Fuleki e Francis (1968). O extrato remanescente foi distribuído em tubos de ensaio necessários para 15 dias de testes de degradação. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Dessa forma, foi possível determinar a ordem aparente da reação, constante de velocidade (k) e tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), parâmetros mostrados na Tabela 1. Para o estudo de degradação do corante, foram utilizadas as seguintes condições fornecidas por câmaras: lâmpada de LED (9 W), lâmpada fluorescente (25 W) e ao abrigo de luz.

Tabela 1: Tempos de meia-vida para diferentes ordens de reação

Ordem aparente da reação	Tempo de meia-vida ($t_{1/2}$)	Referência
Ordem zero	$t_{1/2} = C_0/2k$	TAOUKIS; LABUZA; SAGUY (1997)
Primeira ordem	$t_{1/2} = \ln 2/k$	TAOUKIS; LABUZA; SAGUY (1997)
Segunda ordem	$t_{1/2} = 1/kC_0$	TAOUKIS; LABUZA; SAGUY (1997)

C_0 : concentração inicial; k: constante de velocidade da reação

Foram realizadas leituras diárias de perda de cor (colorimetria) e quantificação de antocianinas (Equação 1), via espectrofotometria.

$$A_T = \frac{Abs_{\lambda_{m\acute{a}x}} Fd}{E_{1cm}^{1\%}} 100 \quad (1)$$

Para a estimativa da ordem da reação de degradação, foram utilizados três modelos que são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Modelos utilizados na predição dos dados de degradação do pigmento

Ordem da reação	Modelos	Referência
Ordem zero	$C = C_0 - kt$	FU; LABUZA (1997)
Primeira ordem	$C = C_0 e^{-kt}$	FU; LABUZA (1997)
Segunda ordem	$C = \frac{1}{kt + \frac{1}{C_0}}$	MAHAN; MYERS (1993)

C = concentração final; Co = concentração inicial; k = constante; t = tempo

Na avaliação do melhor modelo cinético de reação foram utilizados os seguintes critérios: coeficiente de determinação (R^2), análise do gráfico bidimensional (pontos experimentais e curva representativa do modelo), análise de resíduos. Foram utilizadas as seguintes medidas colorimétricas: ΔL^* , Δa^* e Δb^* . Assim obtendo a variação total de cor das amostras (ΔE^*), determinada a partir da Equação 2.

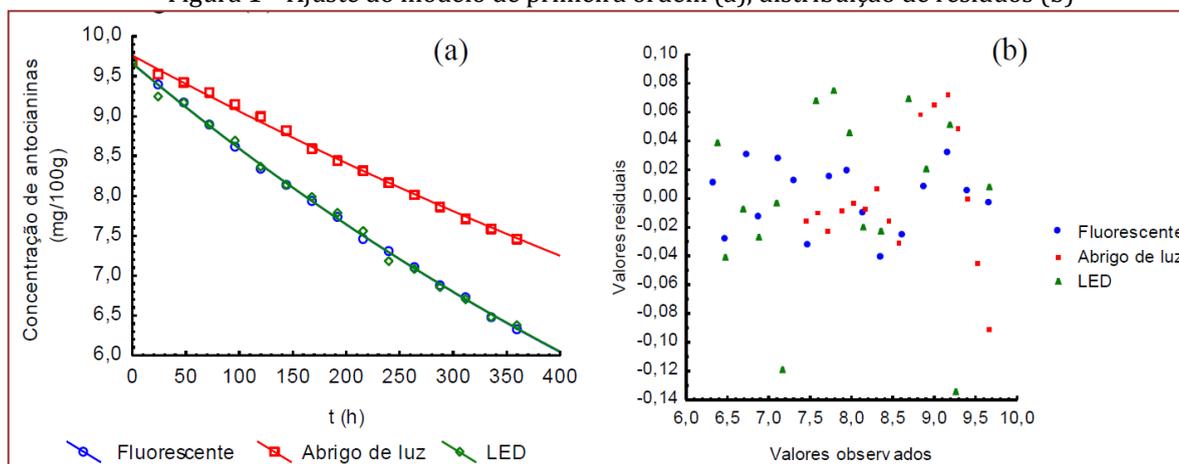
$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

Onde: ΔL^* , Δa^* , Δb^* são a variação entre a leitura da amostra e o padrão ($t = 0$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

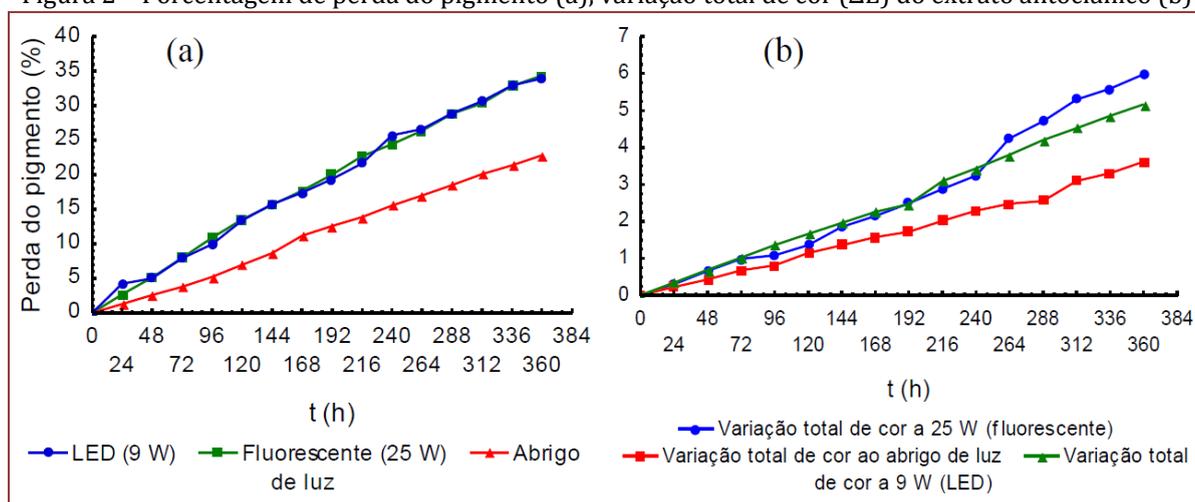
Em todas as condições as quais foi submetido, a ordem aparente da reação de degradação do extrato antocianico se mostrou ser de primeira ordem, ajuste mostrado na Figura 1 (a). Apresentou também baixos valores de resíduos, além de distribuição aleatória dos mesmos, Figura 1 (b).

Figura 1 – Ajuste do modelo de primeira ordem (a), distribuição de resíduos (b)



Na Figura 2 (a) se evidencia a degradação mais acentuada do pigmento sob a incidência das luminosidades emitidas pelas lâmpadas fluorescente e de LED. Os comportamentos das amostras submetidas a essas condições foram similares.

Figura 2 – Porcentagem de perda do pigmento (a), variação total de cor (ΔE) do extrato antociânico (b)



As amostras ao abrigo de luz apresentaram maior estabilidade quanto ao estudo de fotodegradação, fato também mostrado na Figura 2 (b), onde ao abrigo de luz o extrato sofreu variação total de cor próximo de 3, enquanto que exposto à luz o extrato ultrapassou o valor de 5, assim caracterizando mudança na coloração facilmente notada pelo olho humano.

Os parâmetros cinéticos para a fotodegradação do extrato antociânico do cará-roxo estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros cinéticos de fotodegradação do extrato antociânico do cará-roxo por diferentes tipos de luzes.

Luminosidade	k (h ⁻¹)	R ²	t _{1/2} (h)	t _{1/2} (dias)
Abrigo de luz	1,83x10 ⁻³	0,9998	1093,29	45,55
Fluorescente (25 W)	1,17x10 ⁻³	0,9998	589,91	24,58
LED (9 W)	1,17x10 ⁻³	0,9983	593,45	24,73

k: constante de velocidade de reação; R²: coeficiente de determinação; t_{1/2}: tempo de meia-vida

4. CONCLUSÃO

Sob diferentes luminosidades, o extrato antociânico apresentou cinética de primeira ordem, como ordem aparente que descreve a degradação do pigmento. As amostras armazenadas ao abrigo de luz apresentaram menor perda da concentração inicial de antocianinas. As luminosidades de LED e fluorescente apresentaram comportamento similar durante os testes e maior perda do pigmento quando se comparado ao abrigo de luz. Todas as amostras apresentaram variação de cor perceptível durante o estudo.

REFERÊNCIAS

- 1) Fu, B.; Labuza, T.P. Shelf life of frozen foods. In: Labuza, T.P.; FU, B.; Shelf life testing: procedures and prediction methods. Denver: CRC Press, cap.19., p.377-415, 1997
- 2) Fuleki, T.; Francis, F. J. Quantitative methods for anthocyanins. 1 Extraction and determination of total anthocyanin in crabberries. Journal of Food Science, v.33, p.72- 77, 1968.
- 3) Mahan, B.M.; Myers, R.J.; Química - um curso universitário (tradução da 4ª edição americana). Editora Edgard Blücher LTDA, São Paulo-SP, 1993
- 4) Taoukis, P.S.; Labuza, T.P.; Saguy, I.S.; Kinetics of food deterioration and shelf-life prediction. In: Valentas, K.J.; Rotstein, E.; Singh, R.P. The handbook of food engineering practice. Boca raton: CRC Press LLC, p.361-402, 1997

Capítulo 18

Crescimento de methylobacterium organophilum em metanol e produção de exopolissacarídeo durante batelada alimentada em biorreator agitado mecanicamente

Ana Cristina Pantoja Simões

Rodrigo Pimentel Fernandes

Nei Pereira Junior

Victor Hugo Amorim Rique

Isabela Castro Pinto Rodrigues

Resumo: O interesse por bactérias metilotróficas é devido à sua capacidade de utilização de compostos de carbono simples, tais como metano e metanol. Estas células também podem ser usadas para se obter outros produtos de elevado valor agregado para a indústria de biotecnologia, como exopolissacarídeos, além de aminoácidos propriamente ditos. O metanol é um substrato facilmente solúvel em soluções aquosas e tem sido utilizado como fonte de carbono para o crescimento da bactéria metilotrófica *Methylobacterium organophilum* (DSMZ 18172). O trabalho visou estudar o crescimento da espécie em biorreator agitado, sendo observada a produção de um exopolissacarídeo mais ao final do crescimento celular, devido à limitação de oxigênio. Esta substância foi investigada e alguns açúcares como glicose, galactose e manose foram identificados na sua composição, indicando a capacidade da espécie de produzir e excretar uma matriz polissacarídica, classificada reologicamente como um pseudoplástico. O ensaio em biorreator instrumentado, foi conduzido por batelada alimentada por pulsos de metanol. Em 55 horas de operação, após as devidas alimentações foi alcançada uma biomassa celular de 5 g/L.

1. INTRODUÇÃO

Os seres chamados metilotróficos são capazes de utilizar fontes de carbono único como metanol, metano e também outros compostos contendo um ou mais grupos metil não diretamente ligados, constituindo um grupo heterogêneo. Estes apresentam diversas rotas bioquímicas de assimilação destes compostos, o que sugerem diferentes aplicações industriais, tais como a produção de enzimas, biocombustíveis, microsensores e proteínas de unicelulares.

Extensas pesquisas foram realizadas sobre uma gama de microrganismos como possíveis fontes de proteínas alternativas, sendo que as bactérias despertam interesse especial por apresentarem em sua biomassa altos valores nutritivos, além de alta velocidade de crescimento e elevado conteúdo proteico, variando de 50% a 85% (Bu'lock & Kristiansen, 1991).

O uso do metanol como substrato para o crescimento de bactérias metanotróficas se torna muito favorável tendo em vista as dificuldades em se executar processos fermentativos com substratos gasosos, como o metano, haja vista as implicações que envolvem a transferência de massa deste gás bastante hidrofóbico para o meio aquoso.

A aplicação dos seres metilotróficos vai além dos processos para a produção de proteína de unicelular destinada à alimentação animal, já que tais microrganismos produzem diversos produtos de interesse industrial através de metabolismo fermentativo, como solventes, fármacos, produtos da química fina, pigmentos do tipo carotenoides, biopolímeros e exopolissacarídeos dentre outros. Isto permite identificar diferentes segmentos industriais importantes nos quais as aplicações dessas células bacterianas, bem como de seus produtos são possíveis (Pereira JR., 2012).

De acordo com trabalhos de Kim et al (1990 a, b) o polissacarídeo excretado pela espécie *Methylobacterium organophilum* tem as vantagens de ser biologicamente degradável na natureza, não causar problema de poluição ambiental com seu uso em relação aos polímeros sintéticos e recalcitrantes, e este novo polímero pode ser produzido a um custo mais baixo devido à utilização de uma fonte de carbono de baixo custo, isto é, o metanol. Destaca-se ainda a função dos polissacarídeos como agentes de controle reológico na indústria química de alimentos e petróleo. É também útil como agente de gelificação e absorvente de água, sendo eficaz no controle da quantidade de umidade.

2. OBJETIVOS

- Estudar o crescimento da espécie em biorreator agitado;
- Investigar de forma preliminar a composição do exopolissacarídeo produzido em ensaio fermentativo.

3. METODOLOGIA

A espécie bacteriana utilizada foi a *Methylobacterium organophilum* (DSMZ – 18172), a qual foi adquirida em condição liofilizada e ativada seguindo as recomendações do banco de coleções. O meio de cultura preparado para os ensaios de crescimento celular em frascos (para ensaios em frascos agitados e obtenção do pré inóculo) e em ensaio no biorreator foi autoclavado a 121°C por 20 min com as fontes de fosfato separadas. A composição do meio de cultivo mineral é composta de: KNO₃ -1g/L; MgSO₄ x 7 H₂O – 0,20 g/L; CaCl₂ x 2 H₂O – 0,02 g/L; FeSO₄ x 7 H₂O- 1mg/L; CuSO₄ x 5 H₂O – 5 µ/L; H₃BO₃ - 10 µ/L; MnSO₄ x 5 H₂O – 10 µ/L; ZnSO₄ x 7 H₂O – 70 µ/L; Na₂MoO₄ x 5 H₂O – 10 µ/L; CoCl₂ x 6 H₂O – 5 µ/L; Na₂HPO₄ – 0,23 g/L; NH₂PO₄ - 0,07 g/L. O metanol foi adicionado posteriormente, nas concentrações a serem estudadas.

Uma parte da solução mineral foi autoclavada dentro do vaso de vidro do biorreator, com sensores inseridos e a outra parte da solução mineral (composta de fosfatos) foi utilizada para ressuspender a biomassa microbiana obtida no pré inóculo preparado nos frascos, conforme mostrado na figura 1.a, servindo então de inóculo uma proporção de 10% v/v do biorreator. O pré inóculo foi centrifugado a 10.000 rpm por 20 minutos (figura 1.b) e retirada uma parte do sobrenadante sendo o centrifugado de células ressuspensionado na solução de fosfatos restante.

Ao longo do ensaio foram realizadas observações periódicas por microscopia óptica para verificar a condução do processo sem contaminações, denotando a característica Gram negativa da espécie (figura 1.c).

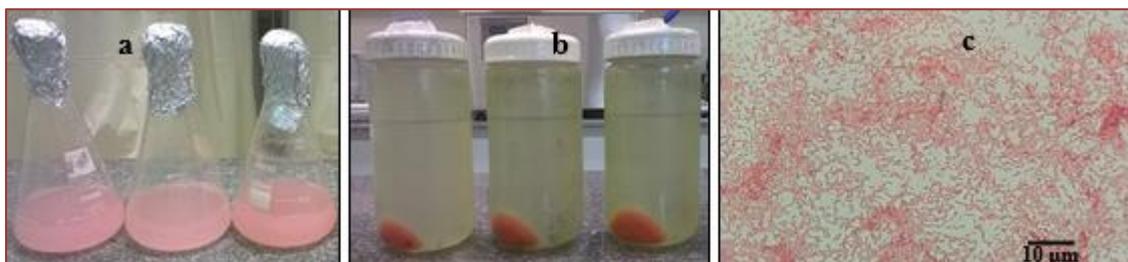


Figura 1 – Crescimento em frascos para obtenção do pré inóculo (a), após centrifugação (b) e microscopia óptica de *M.organophilum*, caracterizada como Gram negativa (c).

4. 1 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS E REOLÓGICAS

Para o acompanhamento do perfil cinético de crescimento celular foi realizada a estratégia de análise gravimétrica das amostras obtidas da suspensão celular, com leitura da densidade óptica no comprimento de onda de 600 nm (DO_{600nm}), baseada em uma curva padrão previamente realizada. A concentração de metanol, glicose, galactose e manose nas amostras foi determinada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) no equipamento da Waters, Milford, MA, U.S.A. equipado com detector de índice de refração. Para a separação foi utilizada a coluna PL Hi-Plex H 8 μ m 300 x 7,7mm. O composto H_2SO_4 (0,005mol/L) foi usado como fase móvel a uma vazão de 0,6 mL/min e pressão máxima de 0,5 psi. A temperatura da coluna foi de cerca de 60 °C e o volume da injeção foi de 20 μ L. As concentrações nas amostras foram calculadas por comparação com padrões externos de concentração conhecida, com áreas cromatográficas calculadas pelo próprio equipamento. As concentrações das substâncias analisadas nas amostras foram calculadas por comparação com padrões externos de concentração conhecida, com áreas cromatográficas calculadas pelo próprio equipamento.

A análise reológica foi feita no Reômetro Advanced Rheometer - AR-2000 com forno ETC, TA Instruments, no Laboratório de Apoio Instrumental (LAPIN) do Instituto de Macromoléculas Eloisa Mano/UFRJ.

4.2 ANÁLISE DE PARÂMETROS DE CONVERSÃO DO PROCESSO FERMENTATIVO

4.2.1 RENDIMENTO EM BIOMASSA ($Y_{x/s}$)

O rendimento em biomassa foi obtido dividindo a quantidade de biomassa produzida (g) pela quantidade de substrato consumido (g), a partir da expressão. O fator de conversão de substrato (metanol) em células é expresso pela equação 1.

$$Y_{X/S} = \frac{X_{máx} - X_0}{S_0 - S_{Xmáx}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$Y_{x/s}$ = fator de conversão de substrato em biomassa (células), expresso em g de matéria seca por g de substrato consumido.

X_0 = Concentração inicial celular (g.L)

X_m = Concentração máxima celular (g.L)

S_0 = Concentração de metanol (g.L)

$S_{xmáx}$ = Concentração de metanol quando a biomassa é máxima (g.L)

4.3 TRATAMENTO PRELIMINAR PARA ANÁLISE REOLÓGICA E DOS AÇÚCARES

Uma amostra da suspensão ao final do processo fermentativo foi submetida a um tratamento com álcool 90% e o precipitado foi tratado com ácido sulfúrico 1M (v/v) e esta suspensão foi aquecida em banho maria por 120 minutos. A amostra foi centrifugada a 10.000 rpm por 10 minutos e o sobrenadante foi enviado para análise por cromatografia líquida (CLAE).

Para análise reológica, a suspensão bacteriana passou por lavagem com etanol 90% seguido de retirada do precipitado que então foi levado para secagem em estufa a 60° C por pelos menos 12 horas.

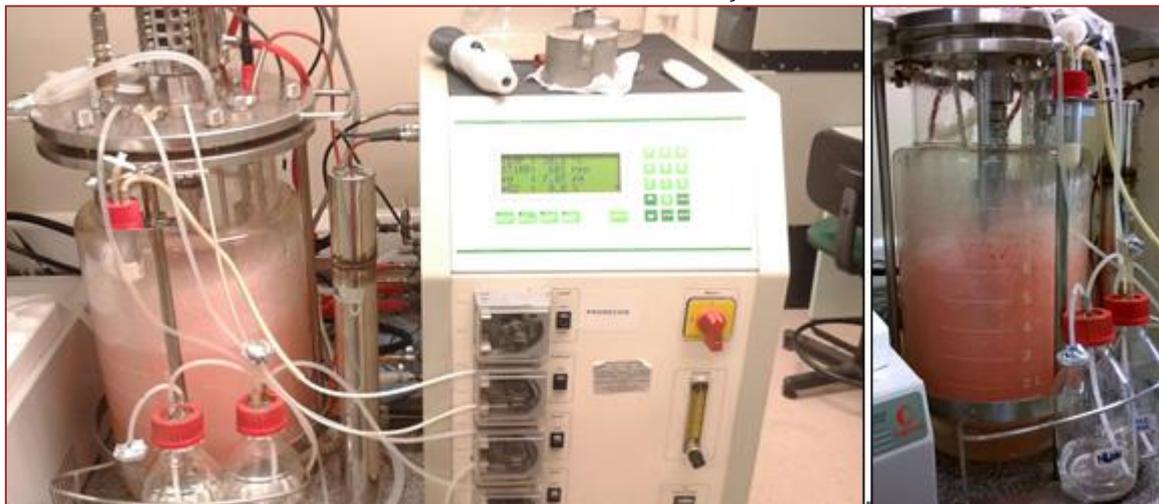
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento iniciou-se com uma batelada simples com uma concentração inicial de metanol de cerca de 7 g/L, que se esgotou em 26 horas, tempo em que se atingiu a concentração de células de 2,5 g/L. Na sequência, alimentações de metanol em meio mineral (75 mL de meio mineral, sendo estes 50 mL de meio mineral e 25 mL de metanol) foram realizadas a fim de se fornecer o substrato em uma concentração de metanol mais baixa, diminuindo uma possível inibição pelo substrato após a alimentação, o que foi realizado utilizando então cerca de 3,5 g/L de metanol.

Foram realizadas mais 4 alimentações e em todas as etapas o metanol foi consumido integralmente. Neste ensaio o pH foi mantido em 7.0 e oxigênio dissolvido inicialmente em 60% da saturação, com agitação iniciada em 250 rpm. Após 33 h, a agitação foi aumentada para 600 rpm com aumento do oxigênio dissolvido em 10%. No tempo de 45 h, a agitação foi novamente aumentada para 700 rpm, com aumento do oxigênio dissolvido para 2%. A taxa específica de aeração inicial (0,3 vvm – volume de ar por volume de meio) foi aumentada de forma até o valor máximo permitido de 1,7 vvm, considerando o aumento da biomassa microbiana, cuja demanda aumenta a necessidade de aeração proporcionalmente. Devido ao volume de meio reacional ser de 6 litros, não foi possível aumentar a vazão de ar e o sistema passou a operar com limitação de oxigênio. Entre 36 h a 40 h foi observada a formação do polissacarídeo, o que dificultou a separação da biomassa microbiana do polissacarídeo para análise da concentração celular. O processo total durou 55 horas onde foi obtido ca. de 5g/L de biomassa celular (figura 2).

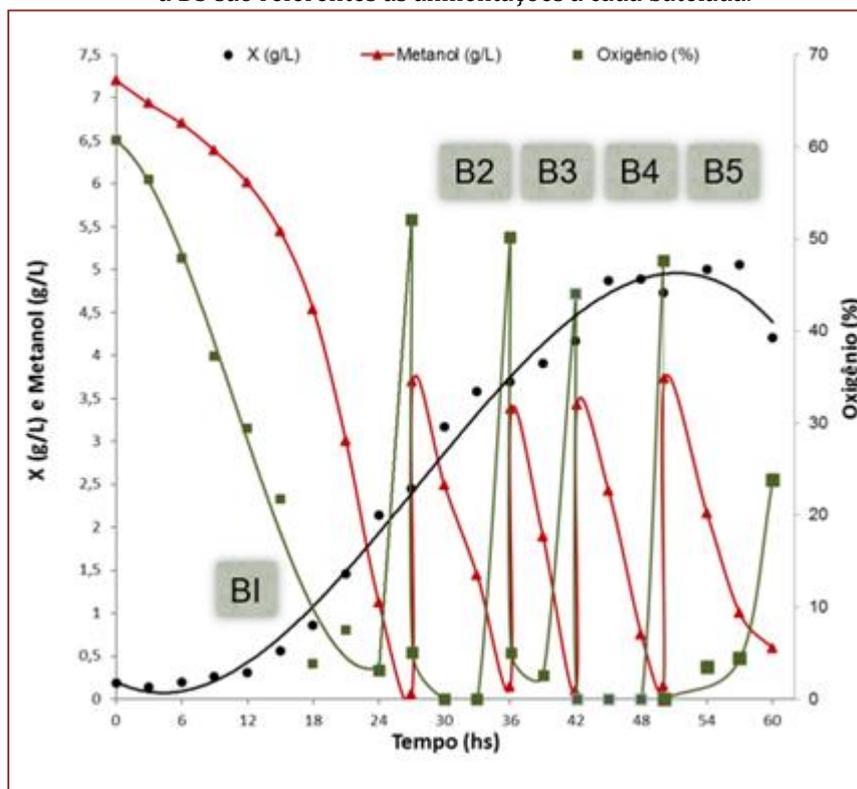
A taxa específica de crescimento entre os tempos 21h e 33 h foi de 0,07 h⁻¹.

Figura 2 – Cultivo de *M.organophilum* em biorreator agitado mecanicamente (Biostat B (B. Braun Biotech International, Alemanha))



De acordo com as variáveis de resposta obtidas após cada batelada de alimentação, verifica-se um fator de conversão de substrato em células inicial bem maior do que após a batelada 3. Confirmando que a estratégia da batelada alimentada só se mostraria eficiente caso não houvesse formação do exopolissacarídeo após as 36 h, o que mostrou que o substrato era usado de forma desviada do crescimento celular para a produção do polissacarídeo, pois era a única fonte de carbono inserida no processo. Há um aumento do percentual de oxigênio dissolvido após as alimentações, como visto na figura 3.

Figura 3 – Cinética de crescimento de *Morganophilum* em biorreator agitado mecanicamente. Temperatura: 30°C; Velocidade de agitação inicial: 250 rpm; pH: 7,0 e X_0 : ~ 0,3 g/L; Concentração de metanol inicial: ~7 g/L; Volume reacional: 6L; Vazão de ar/volume de meio: 0,3 a 1,7 vvm. Observação: BI a B5 são referentes às alimentações a cada batelada.



Os fatores de rendimento de substrato em células em cada ciclo de batelada pode ser analisado na tabela 1, demonstrando uma diminuição na conversão do metanol em biomassa celular, devido à dificuldade de dissolução de oxigênio no meio possivelmente.

Tabela 1: Fatores de rendimento $Y_{x/s}$

Batelada inicial	Batelada 2	Batelada 3	Batelada 4	Batelada 5
0 a 27 h (0,32 g/g)	27 a 36 h (0,34 g/g)	36 a 42 h (0,14 g/g)	42 a 50 h (0,17 g/g)	50 a 55 h (0,11 g/g)

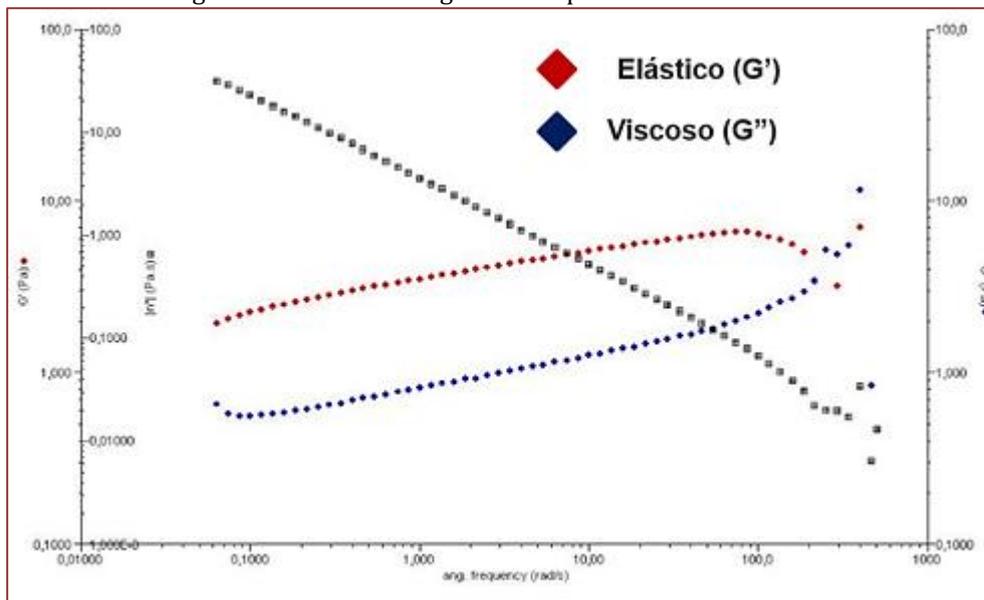
Em relação aos açúcares analisados, foram identificados glicose (1,2 g/L), Manose (3,5 g/L) e galactose (3,5 g/L). A importância da determinação destes açúcares foi a de corroborar com a observação de uma substância integralmente produzida pela espécie microbiana, pois não foi adicionado ao meio nenhum tipo de açúcar ao meio de cultivo e nem nas alimentações realizadas. Verifica-se um possível desvio de rota metabólica, em função da limitação do oxigênio no meio de cultivo, o que leva a formação do exopolissacarídeo com menor crescimento celular. Isso é confirmado a partir da identificação de açúcares como glicose, galactose e manose no meio de cultivo estritamente mineral com o metanol como fonte de carbono unicamente.

De acordo com os estudos de Kim et al (1990 a,b) o método para a produção de um novo polissacarídeo biológico através de fermentação compreende a cultura da espécie metilotrófica facultativa de *M. organophilum* ou seus mutantes por mutação clássica em um meio de cultura contendo metanol como uma fonte de carbono e energia. No presente estudo foram realizados ensaios com a finalidade de estudar a capacidade da referida bactéria de crescer utilizando o substrato metanol e ainda acompanhar o ensaio em biorreator, onde foi verificada a formação do polissacarídeo extracelular.

Em análise realizada por Kim et al (1990) a viscosidade do biopolímero foi de 18.000 centipoise, isso é cerca de 10 vezes maior do que a viscosidade da goma xantana e cerca de 200 vezes maior do que a de

pululano, um polissacarídeo excretado por algumas espécies de bactérias. Essa análise viscosimétrica equivale a 0,018 Pa.s, semelhante ao encontrado nas análises deste trabalho, cujo valor foi de aproximadamente 0,02 Pa.s. Observou-se um decréscimo da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento, sugestivo de comportamento de um fluido pseudoplástico, além de uma viscosidade de cerca de 20 vezes maior do que a da água, quando comparada à mesma. O módulo elástico se mostra superior ao módulo viscoso, confirmando a característica de fluido não newtoniano pseudoplástico, conforme visto na figura 4.

Figura 4 – Análise reológica do exopolissacarídeo formado



6. CONCLUSÕES

Conclui-se que a bactéria *Methilobacterium organophilum* apresenta um extraordinário maquinário metabólico no que tange à capacidade de utilização de um substrato considerado tóxico para um grande número de organismos vivos, no caso, o metanol, gerando biomassa microbiana e ainda formando um tipo de polissacarídeo extracelular.

O exopolissacarídeo formado foi classificado reologicamente como um tipo de fluido não newtoniano de comportamento pseudoplástico, denotando uma versatilidade metabólica dessa espécie de bactéria metilotrófica em produzir esse tipo de biopolímero, ainda que em um meio mínimo de nutrientes.

REFERÊNCIAS

- [1] Bu'lock, J.; Kristiansen, B. (1991) Biotecnologia básica. Zaragoza: Acríbia
- [2] Pereira JR., (2012) Produção de proteínas para alimentação animal a partir de gás natural – PPGN. 70 p.
- [3] Kim, J.H., Choi, J.H.; Oh, D.K.; Lebeault, J. M (1990) A novel high viscosity polysaccharide biopolymer produced from metanol. Proceedings of Asia Pacific Biochemical Engineering Conference 90, 229-234, Korea.
- [4] Kim, J.H., Choi, J.H.; Oh, D.K.; Lebeault, J. M (1990) Characteristics of a novel high viscosity polysaccharide, Methylan, produced by *Methilobacterium organophilum*. Biotechnology. Lett., 13: 417-420.

Capítulo 19

Modelo matemático em cfd de um biorreator monolítico para o tratamento do sangue leucêmico

Jamille Coelho Coimbra

Weskley da Silva Cotrim

José Izaquiel Santos da Silva

Luis Antonio Minim

Marcio Arêdes Martins

Resumo: Uma proposta inovadora de um processo de purificação do sangue em um biorreator monolítico constituído de criogel foi desenvolvida a partir de simulações computacionais em CFD. O modelo fenomenológico inclui efeitos advectivos, difusivos e reativos, a fim de prever perfis de concentração, de conversão, de velocidade do escoamento e de pressão. Percebeu-se que os resultados foram satisfatórios com o efetivo consumo do reagente, atingindo 66% de conversão em 20 minutos de operação.

Palavras chave: Fluido Dinâmica Computacional (CFD), criogel, biorreator, leucemia.

1. INTRODUÇÃO

O tratamento extra corporal da leucemia linfoblástica é indicada na medicina, por dispensar o uso do agente terapêutico na circulação sistêmica, minimizando efeitos colaterais indesejáveis no paciente (SHRIVASTAVA *et al.*, 2016), de forma que as reações químicas são catalisadas em um meio externo. A enzima L-Asparaginase, frequentemente reportada na literatura médica como agente no tratamento de leucemia (ALI *et al.*, 2016), apresenta estudos de imobilização em géis de poliácridamida desde a década de 1970 (VINA, KARSAKEVICH & BEKERS, 2001). A potencial aplicação de criogéis macroporosos na área médica está relacionada ao arranjo de sua estrutura que favorece a organização das células e a possibilidade de fornecimento e remoção de metabólitos. A boa conexão entre estes poros grandes também permite o crescimento dos vasos sanguíneos e a construção de novos tecidos humanos (HENDERSON 2013). Entretanto, pouco se sabe sobre o comportamento hidrodinâmico no biorreator e seus efeitos sobre a taxa de conversão do substrato. Sendo assim, a modelagem hidrodinâmica da matriz de criogel é desafiadora, dada à dificuldade da exata descrição da matriz polimérica, das características do escoamento, da dispersão nos poros e da transferência de massa entre o fluido e a parede dos poros. Além disso, o tratamento da leucemia de forma extra-corporal em biorreatores constituídos de criogel não é reportado na literatura. Portanto, o objetivo do trabalho é propor um modelo matemático que descreva um processo alternativo para o tratamento desta doença através da imobilização de L-asparaginase em um biorreator constituído de criogel, garantindo uma melhora da qualidade de vida do paciente enfermo. Para tal, a avaliação hidrodinâmica e da transferência de massa com termos cinéticos acoplados será indispensável.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O domínio de cálculo da simulação é um biorreator composto de um criogel polimérico, estrutura porosa com capilares altamente interconectadas formando um corpo único, geometricamente um cilindro poroso com diâmetro de 1 centímetro e comprimento de 9,4 centímetros. Toda a simulação computacional foi realizada utilizando o software de Dinâmica de Fluidos Computacional CFX® ANSYS R18.2®. O domínio computacional foi discretizado, em 63720 elementos e 70047 nós com elementos tetraédricos, pela técnica dos volumes finitos definido em testes preliminares de independência de malha com um refinamento maior na entrada. O sangue do paciente enfermo (substrato) é alimentado continuamente no reator enzimático isotérmico e a enzima L-asparaginase é imobilizada nos capilares, onde ocorre a hidrólise de um aminoácido. O escoamento do fluido é considerado laminar, uniforme, totalmente desenvolvido, incompressível e opera no estado estacionário. A partir destas hipóteses simplificadoras, as equações (1) da continuidade e (2) de Darcy, capazes de descrever o escoamento do sangue em um meio poroso, podem ser expressas da seguinte forma:

$$\nabla \cdot \vec{q} = 0 \quad (1)$$

$$-\nabla P = \vec{m} = \frac{\mu}{k} \vec{q} \quad (2)$$

Em que \vec{q} é a velocidade superficial do fluido, $\nabla P [Pa]$ é a perda de carga, $m[N]$ é a força resistiva dada em função dos parâmetros viscosidade ($\mu = 0,766 \text{ cp}$) (MINIM,1994) e permeabilidade $k[m^2]$, calculada pelo modelo de Karman-Kozeny, cujo valor equivale a $7,66 \times 10^{-11} m^2$. O efeito da transferência de massa é descrito pela equação da conservação das espécies químicas (Equação 3).

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\vec{q}}{\varepsilon} \cdot \nabla C = D \nabla^2 C + R_A \quad (3)$$

Em que C [mol/m³] é a concentração do reagente, ε é a porosidade do biorreator monolítico, D é o coeficiente de dispersão axial ($D = 1,447 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$) (ZABKA *et al.*, 2005) e R_A [mol/m³.s] é a taxa da reação em um volume de controle. A cinética reacional segue o modelo de Michaelis-Menten Equação 4.

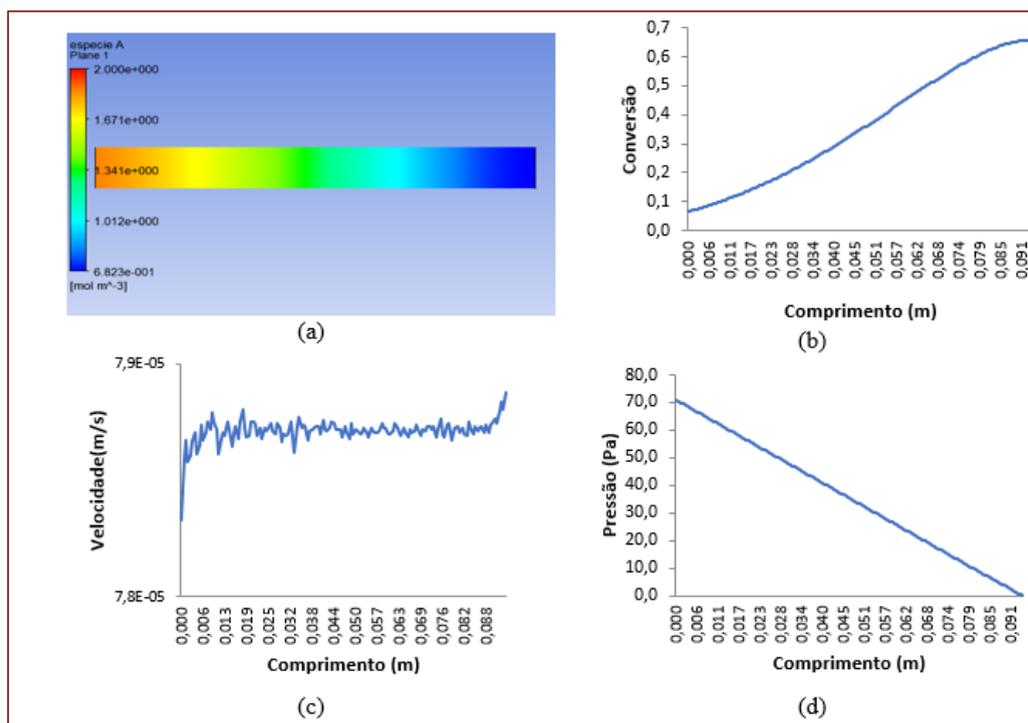
$$R_A = -\frac{V_m \cdot C}{K_m + C} \quad (4)$$

Em que os parâmetros cinéticos V_m e K_m , equivalem a 1,774 [mol/m³.s] e 3,15 [mol/m³], respectivamente (MATTHEWS *et al.*, 1971). Admitiu-se que a concentração inicial do reagente foi nula e para $t > 0$, na entrada do biorreator, a concentração foi de 2 mol/m³. A velocidade superficial do fluido na entrada do biorreator foi de $7,07 \times 10^{-5} \text{m/s}$ (MINIM, 1994) e a porosidade (ε) admitida como sendo 0,9 (FONTAN, 2013). Na saída do biorreator a média da pressão estática foi nula Adotou-se condição de não deslizamento nas paredes. A simulação foi realizada em um computador com processador Intel® Core™ i7-4500U 1.80 GHz e memória RAM de 8,00 GB.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações computacionais foram utilizadas para descrever o perfil de concentração do reagente, de conversão, de velocidade e de pressão ao longo do comprimento do biorreator (Figura 3). À medida que o fluido escoar no meio poroso, ocorre maior contato entre o substrato e a enzima nos capilares, causando um aumento de conversão de substrato a produto até 66% (Figura 3b). Em pequenos intervalos da seção longitudinal do biorreator (Figura 3a), não ocorre variação local da concentração, que pode ser explicado pela dispersão axial. Este efeito de dispersão tende a reduzir a força motriz da transferência de massa, limitando o processo de separação/purificação (YIN *et al.*, 2000). Em meios porosos, a velocidade superficial será constante semelhante a um reator do tipo *plug flow* (Figura 3c). De acordo com YIN *et al.* (2000), para valores de porosidade do leito próximo a 1 há baixa resistência ao escoamento e formação de caminhos preferenciais.

Figura 3 – (a) Distribuição de concentração de reagente no plano central do biorreator. No eixo central do biorreator, perfis de: (b) Conversão, (c) Velocidade do escoamento, (d) Pressão de operação.



O perfil da queda de pressão condiz com a lei de Darcy e se deve ao atrito do fluido com a parede e com os poros do criogel. Além disso, outros fatores como número de Reynolds interferem de forma indireta neste comportamento (SCHNITZLEIN, *et al.* 2001).

4. CONCLUSÕES

As simulações em CFD foram efetivas na caracterização do escoamento e da transferência de massa em um meio macroporoso, atingindo 66% de conversão em um curto período de tempo (20 min), em relação aos tratamentos convencionais, que possibilitam o tratamento extracorporal do paciente com leucemia. Este estudo servirá de base para predição de curvas de ruptura a partir de diferentes vazões de alimentação, para projeto e dimensionamento do biorreator, além da otimização deste processo.

REFERÊNCIAS

- [1] Ali, U., Naveed, M., Ullah, A., Ali, K., Shah, S.A., Fahad, S., Mumtaz, A.S. L-asparaginase as a critical component to combat Acute Lymphoblastic Leukaemia (ALL): A novel approach to target ALL. *European Journal of Pharmacology*, v. 771, p. 199-210, 2016.
- [2] Fontan, R. C. I. Desenvolvimento e caracterização de trocador catiônico supermacroporoso para a purificação de macromoléculas. Tese (Doutorado), Ciência e Tecnologia de Alimentos, UFV, Viçosa, MG, Brasil. 2013.
- [3] Henderson, T. M. A., Ladewig, K., Haylock D. N., Mclean K. M., O'connor A. J. Cryogels for biomedical applications. *Journal Of Materials Chemistry B*, v. 1, n. 21, p.2682-2695. 2013
- [4] Matthews W.S., Brownh.D., Riley T., Dale O'brien G. A comparative study: Kinetics of the enzyme l-asparaginase in several tissues of *Cavia cobaya*. *International Journal Of Biochemistry*, v. 2, n. 10, p.473-476. 1971.
- [5] Minim, L. A., 1994. Controle adaptativo de reatores tubulares de alta performance: aplicação para reatores enzimáticos. Tese (Doutorado), Engenharia Química, UNICAMP, São Paulo, SP, Brasil.
- [6] Shrivastava, A., Khan, A.A., Khurshid, M., Kalam, M.A., Jain, S.K., Singhal, P.K. Recent developments in l-asparaginase discovery and its potential as anticancer agent. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, v. 100, p. 1-10, 2016.
- [7] Vina, I., Karsakevich, A., Bekers, M. Stabilization of anti-leukemic enzyme l-asparaginase by immobilization on polysaccharide levan. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v. 11, p. 551-558, 2001.
- [8] Yin F.H, Sun C.G, Afacan A., Nandakumar K., Chuang K.T. CFD modeling of mass-transfer processes in randomly packed distillation columns. *Ind Eng Chem Res.*, v. 39, p. 1369-1380, 2000.
- [9] Zabka, M., Minceva, M. Rodrigues A. E. A. E. Experimental and modeling study of adsorption in preparative monolithic silica column. *Chemical Engineering And Processing: Process Intensification*. v. 45, n. 2, p.150-160. 2006.

Autores

ÁDINA LIMA DE SANTANA

Engenheira de Alimentos (fevereiro de 2011), mestra em Engenharia Química (dezembro de 2012) pela Universidade Federal do Pará e doutora em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (junho de 2017). Possui conhecimento nos ramos de pesquisa que envolvem tecnologia de fluidos supercríticos e líquidos pressurizados, aproveitamento de rejeitos, separação/caracterização/biotransformação de extratos e óleos vegetais, reologia de alimentos, análise da qualidade e segurança de alimentos processados, estudos de mercado de produtos alimentícios. Atualmente é pesquisadora de pós-doutorado com bolsa Capes (Processo Seletivo PNPd) na Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP.

AGNES DANILO FERNANDES DA COSTA

Técnico em mineração pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP (2015). Formado em bacharel em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Amapá - UEAP (2016). Na graduação, foi aluno-bolsista do CNPq (2012-2015), trabalhando com materiais adsorventes (carvão ativo), biocombustíveis, modelagem hidrodinâmica, processos de secagem. Atualmente, é servidor público do Estado do Amapá.

AILTON FREITAS BALIEIRO FERREIRA

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, com ênfase em termodinâmica de petróleo. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Ceará (2018). Tem experiência nas áreas de equilíbrio líquido-líquido (ELL), sistemas aquosos bifásicos (SAB's), simulação de processos, determinação e cálculo de propriedades termodinâmicas, em especial, propriedades volumétricas e de transporte. Graduado em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Amapá (2016). Na graduação, foi aluno bolsista do CNPq (2013-2015), realizando trabalhos nas áreas de modelagem e simulação de processos, secagem de biomassas/materiais, reaproveitamento e reciclagem de resíduos para o desenvolvimento de novos materiais.

ANA CAROLINE PEREIRA DIAS

Aluna de graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins. Bolsista de Iniciação Científica do programa PIBIC/UFT.

ANA CRISTINA PANTOJA SIMÕES

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2008). É Mestre pelo Programa de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da UFRJ, em estudos de otimização de crescimento de bactérias metilotróficas em biorreatores para produção de single cell protein (SCP). Atuando como tutora à distância da disciplina Microbiologia, para a Graduação em Biologia, da Fundação Centro de Ciências e Educação Superior à Distância do Estado do RJ. Colaboradora em Projetos de extensão universitária junto ao Instituto de Microbiologia da UFRJ. cursando Doutorado em Bioprocessos, pela Escola de Química da UFRJ. Professora de Ciências pela Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro.

ANDRE LUIS LOPES MORIYAMA

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2009), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2011), doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2014), e doutorado em Química pela Université de Toulon (2014). Atualmente é professor adjunto do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Tem experiência na área de Engenharia Química, Engenharia de Petróleo e Ciências de Materiais. Atualmente, desenvolve atividades focadas em tecnologias ambientais e termodinâmica, envolvendo principalmente a síntese de nanomateriais à base de óxidos mistos para aplicação em diferentes processos químicos e na detecção de gases poluentes.

ANGELINNE COSTA ALEXANDRINO

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Ceará- UFC (2010.2), Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará- UFC (2013), Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte- UFRN. Atualmente ensina no CEEP Professor João Faustino Ferreira Neto, ministrando as disciplinas do curso técnico em Nutrição e Dietética.

BÁRBARA AMBRÓSIO ARCHANJO

Graduação – Engenharia Química – Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). Período: Março 2011- dezembro 2016; Especialização – Gestão de processos industriais, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP); Analista pleno de planejamento na General Mills Brasil Período: Novembro de 2018 até o momento

CARLSON PEREIRA DE SOUZA

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1980), mestrado em Engenharia Mecânica com ênfase em Extração Líquido-Líquido pela UFRN (1987) e doutorado em Engenharia Química - Université Claude Bernard - Lyon 1- INSA (1992), França. Pós-Doutorado na Université de Toulon et du Var, Toulon , França (2000). Atualmente é professor Titular da UFRN, lotado no Departamento de Engenharia Química, participando como professor permanente nos programas de Pós-Graduação em Engenharia Química e Ciência e Engenharia de Materiais da UFRN. Além disso, tem desenvolvido atividades como professor visitante na Université de Toulon et du Var, França. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Processos de Separação e Mistura, Termodinâmica dos Materiais, com ênfase em Nanociência/Nanotecnologia e Reatores Químicos, atuando principalmente nos seguintes temas: Processos de separação envolvendo equilíbrio de fases L-L e S-L usando óleos vegetais como extratantes, síntese de nanomateriais com aplicações voltadas para catalise heterogênea, fotocatalise e metal duro, síntese de membranas cerâmicas (membranas inorgânicas), secagem de nanomateriais por spray drying, reação gás-sólido, e produção de carbetos, nitretos, carbonitretos de metais refratários (nióbio, tântalo, tungstênio e molibdênio) e materiais a base de elementos de Terras Raras com aplicações em catalise..

CAROLINA KREBS DE SOUZA

Graduada em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, com especialização em Bromatologia pela Universidade de Ferrara - Unife (Itália), doutorado internacional em Chemistry and Toxicology of Foods pela Universidade de Perúgia - Unipeg (Itália) e pós-doutorado em Engenharia Bioquímica pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Experiência em Ciência de Alimentos com destaque em química dos alimentos e alimentos funcionais. Atua nas linhas de pesquisa de desenvolvimento de novos produtos, Food Preservation e segurança dos alimentos. Coordenadora do curso de especialização em Tecnologia e Produção de Alimentos e Bebidas do Departamento de Engenharia Química da FURB e do grupo de pesquisa de Engenharia de Processos e Produtos na Área de Alimentos e Bebidas (Engepab/CNPq). Atualmente é professora nos cursos de Engenharia de Alimentos, Engenharia Química, Nutrição e no Programa de Pós-graduação em Engenharia Química (PPGEQ), da Universidade Regional de Blumenau. Membro do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (FURB).

CRISTIANE MARIA LEAL COSTA

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (1995), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (1999) e doutorado em engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2010). Atualmente é professor Associado II da Universidade Federal do Pará e exerceu o cargo de Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ), no período de 05/2014 a 04/2017. Atualmente é Vice-

Presidente do Conselho Regional de Química da 6ª Região. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Operações de Separação e Mistura

DÉBORA FREITAS DA SILVA

Graduada em Engenharia Química (bacharelado) pela UFPA (2018). Foi estagiária nas Centrais Elétricas do Pará (2018) realizando análises de óleos de transformadores para identificar possíveis falhas, identificar gases nocivos a operação do transformador e produção de enxofre. Atualmente, é Assistente Administrativo na mesma empresa, atuando como analista de orçamento de projetos e análise de contratos, e mestranda em Engenharia de Processos (PPGEP-UFPA).

DENILSON DE JESUS ASSIS

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Feira de Santana (2010), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (2013) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (2017). Tem experiência na área de ciência e tecnologia de alimentos, propriedade intelectual e biotecnologia, atuando principalmente nos seguintes temas: Otimização de processos, aproveitamento de co-produtos e resíduos industriais para obtenção de exopolímeros, lipídios, proteínas e bioplásticos microbianos; síntese de filmes flexíveis ativos e nanocompósitos; e caracterização de materiais por análises cromatográficas, térmicas e morfológica.

EDUARDO SANTOS ALMEIDA

Possui Licenciatura e Bacharelado em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2009). Trabalhou, durante a Iniciação Científica, com o desenvolvimento de métodos espectrofotométricos para a determinação de íons metálicos em matriz aquosa utilizando complexantes e mistura ternária homogênea de solventes. É Mestre e Doutor em Química Analítica pela mesma Universidade. Desenvolve os trabalhos na área de eletroanalítica, no Núcleo de Pesquisas em Eletroanalítica (NUPE), focando no desenvolvimento de métodos para o controle de qualidade de biocombustíveis. Atualmente é técnico no laboratório de físico-química do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM, campus Uberlândia, onde desenvolve projetos em colaboração com outros pesquisadores.

ELISANGELA LIMA ANDRADE

Possui Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (2004), Mestrado em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - PPGEQ/UFPA (2009) e Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais - PRODERNA/UFPA (2016). Possui Pós-Doutorado pelo Programa Nacional de Pós-Doutorado - PNPd/CAPES, desenvolvendo pesquisa sobre processos de encapsulamento de corantes naturais. Tem experiência em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos e Produtos com matérias primas naturais.

ELISIANE CRISTINA ANDRADE REIS

Professora e pesquisadora, graduada em Ciências Biológicas/ Licenciatura Plena pela Universidade Tiradentes (UNIT-SE), em 2010, e mestre em Biotecnologia Industrial pelo Programa de Pós Graduação em Biotecnologia Industrial da Universidade Tiradentes (UNIT-SE), 2013. Atualmente é doutoranda em Biotecnologia Industrial, pela Rede Nordeste De Biotecnologia (RENORBIO), lotada na Universidade Federal da Bahia (UFBA), sobre a orientação da Dra. Janice Izabel Druzian.

ELOANE DAIZE GOMES DALLASTRA

Mestre em Tecnologia e Ciência de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins. Engenheira de Alimentos formada pela Universidade Federal do Tocantins.

ELZA BRANDÃO SANTANA

Pós-doutoranda pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Química (2017), Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (2016), Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (2011), Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (2008). Experiência em Docência em Engenharia Química com ênfase em Operações Unitárias, Fenômenos de Transporte e Processos Químicos, com ênfase em processamento de produtos naturais.

ENYLSO XAVIER RAMALHO

Aluno de graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins. Bolsista do Programa de Educação Tutorial PET/UFT.

ERIKA MILENE PINTO DE SOUSA

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará, mestrado em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPEQ) da Universidade Federal do Pará e doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA) da Universidade Federal do Pará. Tem conhecimento na área de Engenharia Química, com ênfase em Desenvolvimento de Processos; Extração; Secagem; Espectrofotometria; Fenômenos de Transporte; Reatores; Termodinâmica; Cinética; Operações Unitárias; Hidráulica; Tratamento e Análise da Qualidade da Água; Tratamento de Efluentes; entre outras. Participa do grupo de pesquisa (GEPRON) que atua no beneficiamento de materiais da biodiversidade amazônica visando a obtenção de intermediários e produtos acabados de interesse da indústria farmacêutica, química, alimentícia e agroindústria, além do aproveitamento racional de sub-produtos. Atualmente é professora Adjunto A1 da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), no município de Capanema/PA.

FABRIELE DE SOUSA FERRAZ

Mestranda em Tecnologia e Ciência de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins. Engenheira de Alimentos formada pela Universidade Federal do Tocantins.

FERNANDA RAQUEL WUST SCHMITZ

Mestrado em Engenharia Química pela Fundação Universidade Regional de Blumenau, Brasil (2017). Bolsista da Fundação Universidade Regional de Blumenau

GIOVANNA BEATRIZ ELER DE ALMEIDA

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2016).

GLEICE VALERIA PACHECO GOMES

Atualmente é docente do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia Baiano-Campus Senhor do Bonfim. Tem experiência nas áreas de Ciência e Tecnologia de Alimentos e Engenharia de Alimentos, atuando principalmente em: propriedades físico-químicas, processamento de leite, desenvolvimento de novos produtos. Doutora em Engenharia Química (2014) e Mestre em Engenharia Química (2008) pela Universidade Federal da Bahia. No seu trabalho de doutorado e mestrado estudou produção de goma xantana utilizando resíduos agroindustriais. Graduada em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal da Paraíba (2006). Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Alimentos, atuando principalmente na linha de pesquisa de biotecnologia.

HELIDA MONIQUE CORDASSO FAGNANI

Engenheira química em 2011 pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Mestre (2014) e Doutora (2018) em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá. Professora assistente (2015-2018) no Departamento de Engenharia Têxtil, da Universidade Estadual de Maringá, e desde agosto de 2018. Professora EBTT no Instituto Federal do Tocantins. Atua principalmente nos seguintes temas: Adsorção; Troca iônica; Carbonização Hidrotérmica; Tratamento de Efluentes; Tratamento de Resíduos Industriais.

HELLEN CARVALHO BARROS

Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (UFPA). Possui graduação em licenciatura plena em química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (2012), graduação em Química Industrial pela Universidade Federal do Pará (2009) e mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (2015). Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química analítica, processos industriais Orgânicos e Otimização de Processos

ISABELA CASTRO PINTO RODRIGUES

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2016) e mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2018). Tem experiência trabalhando em pesquisas e desenvolvimento de tecnologias junto aos laboratórios de pesquisa da Escola de Química da UFRJ.

ISADORA DE ANDRADE PAULO

Cursando Engenharia de Alimentos, FURB 2014. Atou como bolsista de iniciação científica na Universidade Regional de Blumenau, FURB. Realizou estágio não obrigatório na empresa Pomerode Alimentos

JAMILLE COELHO COIMBRA

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa (2012) e mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2015) e doutorado em andamento em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em simulação, otimização e controle de processos de polimerização, atuando principalmente nos seguintes temas: modelagem de processos, estimação de parâmetros, fenômenos de transporte e análise fluidodinâmica em CFD.

JANICE IZABEL DRUZIAN

Possui graduação em Química Industrial, mestrado em Química e doutorado em Ciência de Alimentos pela UNICAMP, (2000). Atualmente é professor Associado IV da UFBA, docente permanente e vice-coordenadora do curso de Mestrado em Ciência de Alimentos /UFBA, docente permanente do Doutorado de Engenharia Química/UFBA e do RENORBIO. Titulou 40 Mestres, 15 Doutores, supervisionou 12 Pós-doutorados, e orientou mais de 60 projetos de Iniciação Científica. Tem experiência na área de Ciência de Alimentos e Biotecnologia, com ênfase em bioplásticos, biocompósitos, nanobiomaterias, embalagens biodegradáveis e propriedade intelectual. Coordenou e/ou coordena mais de 40 projetos de pesquisas financiados por órgãos de Fomento.

JOSÉ IZAQUIEL SANTOS DA SILVA

Técnico em Agroindústria (CAVN/CFT/UFPB, 2002-2005). Engenheiro Químico (UFCCG, 2005-2010). Especialização em Biocombustíveis (ANP/PRH-44, 2010-2012). Mestre em Engenharia Química (UFSCar, 2010-2012). Doutor em Engenharia Química (COPPE/UFRJ, 2013-2018). Professor Efetivo do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), no Instituto de Ciências e Tecnologia (ICT), Diamantina-MG.

Atualmente, faz Pós-Doutorado na FEQ/UNICAMP, com pesquisas voltadas para a Fluidodinâmica Computacional (CFD) na indústria do petróleo. Atua na Engenharia Química, especialmente em Processos e Equipamentos Industriais; Processos de Dessalinização de Águas por Osmose Inversa, Resinas de Troca Iônica e Eletrodialise; Tratamento de Águas e Esgotos; Processos de Beneficiamento do Calcário; Biocombustíveis e Desenvolvimento de Tecnologias para o Setor Sucroalcooleiro Brasileiro; Termodinâmica da Engenharia; Petróleo, Petroquímica e Alcoolquímica; Hidrotratamento (HDT) de Derivados do Petróleo; CFD; Modelagem, Simulação, Otimização e Controle de Processos Industriais.

JOSÉ ROBERTO DELALIBERA FINZER

Possui graduação em Curso de Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (1973), mestrado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (1984) e doutorado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (1989). Atualmente é professor do Curso de Graduação em Engenharia Química: Universidade de Uberaba-UNIUBE e Coordenador do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Química. Ex- Professor do Programa de Pós-Graduação e de Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia - Ex-Bolsista do CNPq da Universidade Federal de Uberlândia - Produtividade em Pesquisa. Ex-Professor do Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (Erechim ?RS). Ex- Professor do Curso de Engenharia de Alimentos das Faculdades Integradas - FAZU (Uberaba-MG). Tem experiência na área de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, com ênfase em Operações Industriais e Equipamentos para Indústrias Alimentícias e Químicas, atuando principalmente nos seguintes temas: secagem, cristalização: sacarose e ácido cítrico, secagem de materiais pastosos e secagem com inertes; secagem de café e grãos; transferência de calor e massa em sistemas vibrados, produção de sacarose, fabricação de biodiesel, balanço de massa e de energia.

JULIANA ALBUQUERQUE DA SILVA

Possui graduação em Bacharelado em Química pela Universidade Estadual de Santa Cruz (2014) e Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (2017). Tem experiência na área de Química, Biotecnologia com ênfase em Produtos Naturais, óleos essenciais, e compostos produzidos por cultivo microbiano. Atualmente é docente do Centro Estadual de Educação Profissional.

KÁSSIA GRACIELE DOS SANTOS

Possui graduação (2006), mestrado (2008) e doutorado (2011) em Eng. Química pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU. Foi pesquisadora bolsista de Pós-Doutorado PNPd/Capes (2011 a 2013) atuando UFU. Atualmente é Professora no curso de Engenharia Química na Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM e atua como membro efetivo do Programa Multicêntrico de Pós-Graduação em Química (PMPG-Qui), da Rede Mineira de Química. Tem experiência na área de Engenharia Química, atuando principalmente nos seguintes temas: secagem de resíduos, leito de jorro, pirólise de biomassa, fluidodinâmica computacional (CFD, CFD-DEM), granulação de fertilizantes; extração sustentável de óleos essenciais, escoamento multifásico granular, clarificação de lecitina de soja, energias renováveis. Ganhadora do Prêmio Capes de Tese de Doutorado 2012, da área de Engenharias II.

LAIS REGINA DOS SANTOS

Tem experiência na área de Engenharia Civil. Participou de projeto de Iniciação Científica. Ministrou monitoria de Cálculo 1. Participou do Programa de Educação Tutorial (PET). Estagiou na empresa Art Home, Edson Tomiyama e Pronenge. Fez intercâmbio de graduação parcial na Hungria.

LARISSA AZEVEDO SOARES

Possui graduação em Engenharia Industrial Química pela Escola de Engenharia de Lorena - USP (2011) e Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2014). Foi bolsista PIBIC do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais entre os anos de 2006 e 2008, período em que adquiriu experiência na área de catálise heterogênea, análise instrumental além de conhecimentos sobre engenharia aeroespacial, sistemas propulsivos e combustão. Foi estagiária na área de Segurança do Trabalho (2011) na faculdade em que se graduou e, no mesmo ano, foi Trainee pelo programa da International Association for the Exchange of Students for Technical Experience atuando em diversos projetos na Faculty of Technology - University of Banja Luka na Bósnia e Herzegovina. Em 2013, esteve como professora Substituta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido ministrando as disciplinas de Química Geral, Química Geral experimental e Química Orgânica. Atualmente é aluna do curso de doutorado da UFRN e atuante na área de docência e participando no desenvolvimento de projetos científicos, orientando e participando de bancas de monografias e congressos. Tem experiência nas áreas de Adsorção, Catálise Heterogênea, Controle de Emissões Gasosas, Escoamento com Reações Químicas, Engenharia Aeroespacial, Combustão e Propulsão.

LÊNIO JOSÉ GUERREIRO DE FARIA

Possui graduação em Engenharia Química (Universidade Federal do Pará - UFPA - 1979), Especialização em Orientação Acadêmica (UFPA - 1980), Especialização em Estatística (UFPA - 2012), Mestrado em Engenharia Química (Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP - 1986) e Doutorado em Engenharia Química (UNICAMP - 1998). Atualmente é Professor Associado IV da Universidade Federal do Pará. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Operações de Separação e Mistura, atuando nos processos de encapsulação de partículas em leitos dinamicamente ativos, adsorção e na otimização de processos de secagem

LETÍCIA VIEIRA CASTEJON

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Goiás (2006), especialização em Controle de Qualidade em Alimentos pela Faculdades Associadas de Uberaba (2007), mestrado (2010) e doutorado (2015) em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia. Tem experiência na área de Engenharia de Alimentos, com ênfase em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Atua principalmente na área de Engenharia de Processos na Indústria de Alimentos (panificação, nutrição, óleos e gorduras, lecitina de soja). Atualmente é professora no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM) - Campus Uberlândia.

LINA MARÍA GRAJALES

Professor Adjunto Universidade Federal do Tocantins do Curso de Engenharia de Alimentos e Docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia. Engenheira Química formada pela Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Mestrado e Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual Paulista (UNESP).

LISIANE FERNANDES DE CARVALHO

Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande, Brasil(2014). Professor titular da Fundação Universidade Regional de Blumenau

LÍVIA CHAGURI E CARVALHO

Professora Doutora na Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo. Graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) - 2003. Doutorado em Engenharia Química pela Universidade de Santiago de Compostela (USC) - 2008. Pós-Doutorado em Engenharia Química na Universidade de São Paulo (USP) - 2014. Professora Doutora na Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) -2013-2015. Atua nas áreas de pesquisa abrangendo

os processos de desidratação e pré-tratamentos visando sua conservação e melhoria de suas propriedades físico-químicas e estruturais.

LUAN BRUNO PINHO FLORES

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Amapá (2016) e mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Sergipe (2018). Tem experiência em processos de separação por adsorção, síntese e caracterização de MOFs, análises químicas laboratoriais de derivados de petróleo e reaproveitamento de resíduos.

LUYARA DE ALMEIDA CAVALCANTE

Professora EBTT do Instituto Federal do Amazonas - IFAM. Pós graduanda em Ciência e Engenharia de Materiais, com graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Amazonas (2016). Atuando em pesquisas no grupo de processos industriais GPI-UFAM e no Laboratório de Materiais Compósitos - CompMat.

LUYARA DE ALMEIDA CAVALCANTE

Professora do Instituto Federal do Amazonas - IFAM. Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Amazonas -UFAM (2019), com graduação em Engenharia Química - UFAM (2016). Atuando em pesquisas no grupo de Petróleo, Biocombustíveis e Recursos Renováveis - UFAM e grupo de Gestão e Produtividade de Processos Industriais e Ambientais Amazônicos - IFAM.

MAIARA LOPES FERREIRA SALES

Meste em Química, na área de Produtos Naturais e Biomoléculas, na Universidade Federal do Amazonas. Bacharela em Engenharia Química na UFAM. Atuou em pesquisa na área de secagem de alimentos, no projeto intitulado: Avaliação da Influência das Condições Operacionais de Secagem em Leite de Jorro na Preservação dos Componentes Bioativos do Cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal). Participa do projeto de pesquisa sobre Bioprodutos a partir de plantas de uso medicinal da Amazônia. Atua como professora substituta no departamento de Engenharia Química da UFAM.

MANOEL MESSIAS ALVINO DE JESUS

Professor do Ensino, básico técnico e tecnológico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Possui graduação, mestrado e doutorado em Física pela Universidade Estadual de Maringá (PR).

MARA ROSANA DE CARVALHO MORAIS

Possui Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará - UFPA (2008) e Graduação em Licenciatura plena em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA (2014) e Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (2011). Graduação em andamento em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Amapá. Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia - PRODERNA - UFPA, na linha de engenharia de processos inorgânicos da indústria minero-metalúrgica. Atualmente, é professora substituta da UEAP. Tem experiência na área de processos inorgânicos (argilominerais, síntese e zeólitas).

MARCELO DÉRICK OLIVEIRA DAS CHAGAS

Graduando em Engenharia Elétrica -UFT. Técnico em Agropecuária - IFTO, técnico em eletrotécnica - IFTO

MÁRCIA MARIA LIMA DUARTE

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Ceará - UFC (1978), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP (1983) e doutorado em Engenharia Química pelo Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT, França (1989). Atualmente é professor Titular, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, e membro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - PPGEQ. Atua como pesquisadora na área de Operações de Separação e Mistura, com ênfase em: extração líquido-líquido, tratamento de efluentes, processos oxidativos avançados, adsorção e remoção de corantes e de metais pesados, orientando alunos de doutorado, mestrado e iniciação científica. Pertence ao Banco de Avaliadores BASIs - SINAES / INEP, visando Autorização, Reconhecimento, Renovação de Reconhecimento de cursos de graduação.

MARCIO ARÊDES MARTINS

Possui graduação e Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (1996 e 1999), doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2002) e Pós-doutorado em Engenharia Agrícola e Biológica pela Universidade de Illinois (2016). Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal de Viçosa. Atua como pesquisador na área de Engenharia Térmica e Biocombustíveis, com ênfase em modelagem computacional CFD, produção e caracterização de óleos vegetais e biodiesel, e desenvolvimento de sistemas térmicos. Atua em estreita parceria com empresas no dimensionamento, projeto e construção de fornos, incineradores, trocadores de calor e desenvolvimento de plantas piloto.

MARIA ANGÉLICA SIMÕES DORNELLAS DE BARROS

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (1992), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (1996) e doutorado em Programa de Pós Graduação Em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2003). Atualmente é professor associado C da Universidade Estadual de Maringá. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Tratamentos e Aproveitamento de Rejeitos, atuando principalmente nos seguintes temas: adsorção e troca iônica em diferentes tipos de zeólitas, argilas e carvões ativados.

MURILO PEREIRA MOISÉS

Possui graduação em Química pela Universidade Estadual de Maringá (2007). Especialização em Gestão Ambiental pela Universidade Estadual de Maringá (2010). Mestrado em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá (2011). MBA em Gestão de Projetos. Doutor em Química Inorgânica (2014). Auditor da ANVISA RDC 16/2013. Atua nas áreas de tratamento de água e efluentes industriais, síntese e caracterização de materiais, catálise heterogênea, adsorção de gases, purificação do gás natural.

NEHEMIAS CURVELO PEREIRA

Possui graduação em Química Industrial pela Universidade Federal de Sergipe (1970), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1972) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1980). Atualmente é professor titular da Universidade Estadual de Maringá. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Operações Industriais e Equipamentos para Engenharia Química, atuando principalmente nos seguintes temas: secagem, sistemas particulados, separação sólido-fluido, processos de separação com membranas, secagem industrial e transferência de massa, produção de biodiesel, separação de biodiesel e glicerol.

NEI PEREIRA JUNIOR

Professor Emérito da Universidade Federal do Rio de Janeiro (2017); Professor Titular concursado da Escola de Química da UFRJ (2004); PhD em Biotecnologia (The Victoria University of Manchester, UK, 1991); Mestre em Tecnologia de Processos Bioquímicos (EQ/UFRJ, 1982) e Engenheiro Químico (EQ/UFRJ, 1977). Ingressou como docente na Escola de Química da UFRJ em 1978, na qual percorreu todos os cargos da carreira universitária, atuando no ensino de graduação e de pós-graduação, pesquisa e extensão. Coordena trabalhos de pesquisa acadêmica e tecnológica nos Laboratórios de Desenvolvimento de Bioprocessos e Bioprodutos do Departamento de Engenharia Bioquímica, em temáticas variadas, como a produção de biocombustíveis, enzimas, antibióticos, edulcorantes, ácidos orgânicos, biossurfactantes, incluindo também estudos voltados ao biotratamento de efluentes e resíduos recalcitrantes industriais. Foi Chefe do Departamento de Engenharia Bioquímica da EQ/UFRJ por duas ocasiões (1991-1993 e 2000-2002); Vice-Diretor da Escola de Química da UFRJ (1994-1998); Membro do Conselho Superior de Ensino para Graduados e Pesquisa da UFRJ (1997-2000); Coordenador do Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da EQ/UFRJ (2002-2006) e Superintendente Acadêmico da Pró-Reitoria de Pós-graduação e Pesquisa da UFRJ (07/2007-11/2008). Possui diversas publicações em periódicos científicos de relevância internacional e nacional, bem como patentes. Foi agraciado com os Prêmios: PETROBRAS Inventor 2005, 2006, 2007, 2009 e 2011; Prêmios Tese Ouro (2006), Tese Diamante (2010) e Tese Jequitibá (2014), concedidos pela Escola de Química por ter atingido a orientação de 50, 75 e 100 teses, respectivamente em seu Programa de Pós-graduação; Prêmio ABIQUIM Pesquisador de destaque 2006 e Cientista do Nosso Estado (FAPERJ, 2007 e 2008).

OCILEIDE CUSTÓDIO DA SILVA

Possui Doutorado em Engenharia de Materiais pela Escola Politécnica da USP, Tese realizada em co-tutela com o Conservatoire National des Arts et Métiers - CNAM - Paris/França (2003); Mestrado em Engenharia Química pela UFSCar (1997) e Graduação em Engenharia Química pela UFRN (1995). Desde 2010 é professora do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Possui grande experiência em P&D em Engenharia, com atuação na Indústria, Institutos de Pesquisa e Universidades, nas seguintes áreas: meio ambiente; engenharia de processos; caracterização e processamento de materiais; gestão de projetos e inovação tecnológica.

PAULA CRISTINA DE SOUZA

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Maringá (1999), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2006) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2016). Atualmente é professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Tem experiência na área de Engenharia Civil. Atuando principalmente nos seguintes temas: eletrocoagulação, coagulação/floculação, integração de processos, efluente têxtil.

PAULO HENRIQUE RODRIGUES

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Coordenador dos cursos de Engenharia Civil, Produção, Elétrica e Mecânica do Centro Universitário Integrado

PEDRO AUGUSTO ARROYO

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (1988), mestrado em Engenharia Química (1992) e doutorado em Engenharia Química (1996) pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEQ/COPPE/UFRJ), com estágio tipo sanduíche no Instituto de Tecnologia Química da Universidade Politécnica de Valencia (ITQ/UPV) - Espanha. Atualmente, é professor Associado nível C do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Estadual de Maringá (DEQ/UEM), e faz parte do corpo de professores permanentes dos Programas de Pós-graduação

em Engenharia Química (PEQ/UEM) e em Bioenergia (PPB/UEM) do Estado do Paraná - Brasil. É coordenador dos Laboratórios de Adsorção e Troca Iônica (LATI) e de Catálise Heterogênea e Biodiesel (LCHBio) do DEQ/UEM.

PRISCILLA CARVALHO VEGGI

É professor Adjunto da Universidade Federal de São Paulo atuando na área de Engenharia Química. Possui graduação em Engenharia de Alimentos na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2006), Mestrado e Doutorado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (2013). Desenvolveu projeto de Pós-doutorado no Instituto de Química da Universidade de São Paulo (2013) em Termodinâmica Química e no Depto. de Eng. Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2014). Atua na área de Engenharia Química, em linhas de pesquisa que envolvem a obtenção de compostos bioativos de matrizes vegetais com Fluidos Supercríticos e processos convencionais: Fracionamento e Identificação, Simulação de Processos e Engenharia econômica aplicada ao processamento de produtos naturais. Atualmente está credenciada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPG-EQ) da Unifesp. Esteve em licença maternidade em 2016.

RAFAEL ALVES DO NASCIMENTO

Possui Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (2015). Mestrado em Engenharia Química pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Química (PPGEQ) da Universidade Federal do Pará (2017), e atualmente é Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA). Tem conhecimento na área de Engenharia Química e experiência na otimização de processos de secagem, sistemas particulados, extração de matérias primas vegetais e quantificação de compostos bioativos.

RAÍSSA CRISTINE SANTOS DE ARAÚJO

Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (UFPA), com foco em gestão de projetos de plantas químicas e residuais, com ênfase em tratamentos de efluentes. Assim como, experiência em análises físico-químicas, prevalecendo o controle de qualidade. Atualmente, Mestranda em Engenharia Química (PPGEQ-UFPA), trabalhando em pesquisas de Adsorção por Bioadsorventes em Efluente Industrial e Processamento de Produtos Naturais (GEPRON/UFPA).

RAISSA LEÃO SANTOS

Tem experiência na área de Engenharia Química (bacharela), com ênfase em Processos Industriais Orgânicos. Atuou na indústria química em análises físico-químicas de óleos e gorduras.

RAYLIME LOUISE TAVARES COSTA

Bacharela em engenharia química pela Universidade Federal do Pará (UFPA), atualmente mestranda em Engenharia Química na área de adsorção. Atuou como estagiária na Gerência de Projetos Industriais - GEIND da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade -SEMAS - PA (2016-2017) e atuou como monitora de química no Programa de Cursos de Nivelamento e Aprendizagem - PCNA da Pró-reitoria de Extensão - PROEX (2014-2016).

RENAN TEIXEIRA BAIA

Engenheiro Químico formado pela Universidade do Estado do Amapá - UEAP (2016). Especialista em Gestão e Docência no Ensino Superior pela Faculdade de Teologia e Ciências Humanas - FATECH (2018). Mestre em Engenharia Química pelo Programa em Pós-graduação em Engenharia Química (PPGEQ) pela Universidade Federal do Pará - UFPA (2019). Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA-UFPA). Tem experiência em processos de tratamento de água, modelagem e simulação de processos, análise e caracterização mineral, lixiviação mineral e processo de separação por membrana.

RODRIGO PIMENTEL FERNANDES

Doutor em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, possui graduação em Engenharia de Bioprocessos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e ensino médio pela Escola Preparatória de Cadetes do Ar (EPCAr). Atua nas áreas de Processos Fermentativos e Tecnologia Enzimática, com ênfase na produção de biomoléculas de interesse integrada ao conceito de Biorrefinaria.

SÁVIO LEANDRO BERTOLI

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (1986), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1989) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2003). Atualmente é professor do quadro da Fundação Universidade Regional de Blumenau. Tem experiência nas áreas de Física e Matemática, com ênfase em Transferência de Calor, Processos Térmicos e Termodinâmicos, atuando principalmente nos seguintes temas: Transferência de Calor em Sistemas Multipartículas, Soluções Analíticas de Problemas em Fenômenos de Transporte, Escoamentos no Regime de Stokes, Processos de Oxidação Avançados

SCHILIENE DE OLIVEIRA MORENO

Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química na Universidade Federal de Sergipe (UFS), bolsista CAPES (2018). Graduada em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Amapá- UEAP (2016). Atuou, durante a graduação, nas áreas de pesquisa, extensão e estágio. Na iniciação científica, foi aluna bolsista do CNPq (2014-2015).

SHANA KIMI FARIAS YAMAGUCHI

Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Rio Grande (FURG). Tese intitulada: "Nanoencapsulamento de antocianina extraída do açaí pelo método de electrospraying e aplicação em iogurte liofilizado". - Mestre em Engenharia Química no Programa de Pós-Graduação da Universidade Regional de Blumenau (FURB) (2017). - Graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) (2011); - MBA em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pela UniCesumar de Maringá-PR (2013); - Especialização em Inovação de Produtos e Processos na Indústria de Alimentos pelo Centro de Ensino Universitário Católica de Santa Catarina, campus de Jaraguá do Sul-SC (2014).

SHIRLEY CRISTINA CABRAL NASCIMENTO

Graduou-se em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará em 1999, recebeu o título de Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará em 2002 e o título de D.Sc. em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE em 2007. Ingressou na Faculdade de Engenharia Química da UFPA em 2008, onde atualmente é Professor Adjunto IV, ministrando a disciplina Fenômenos de Transporte, Química Inorgânica, Processos Industriais Inorgânicos e desenvolvendo trabalhos experimentais em viscosimetria e materiais termoplásticos.

TAÍS REGINA CANAL

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Regional de Blumenau (FURB). Iniciante científica no laboratório de Engenharia Bioquímica na FURB.

TUANY GABRIELA HOFFMANN

A Tuany Gabriela Hoffmann é mestranda em Engenharia Química na Universidade Regional de Blumenau (FURB) desde out/2017. Desenvolve pesquisa na linha de processos da engenharia bioquímica e de alimentos, com foco em preservação de alimentos.

VANESSA MARCONI JAMARIM

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2015). Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2018) na área de tratamento de águas. Tem experiência na área de Construção Civil. Atualmente atua como professor substituto na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

VICTOR HUGO AMORIM RIQUE

Formado no Colégio Pedro II e atualmente cursando graduação em Engenharia de Bioprocessos na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui 4 anos de experiência trabalhando em pesquisas e desenvolvimento de tecnologias em diversas áreas na qual destacam-se Energia e Meio Ambiente. Apreciador da natureza, procura guiar a sua formação em temas e áreas como Sustentabilidade, Energias Renováveis e Bioenergia, Remediação de Impactos Ambientais, Biorrefinarias e Química verde entre outros através de minicursos e cursos de especialização.

VINÍCIUS SALGADO CARDOSO

Possui graduação em Tecnologia em Alimentos pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2016). Especialização em Controle de Qualidade em Processos Alimentícios, IFTM (2017). Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Ciência e Tecnologia de Alimentos, atuando principalmente nos seguintes temas: coloração, peróxidos, segurança, legislação e secagem.

WALBER JOSÉ PEREIRA COSTA

Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará. Atualmente, aluno de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Pará na área de Adsorção. Atuou como monitor no projeto de Aperfeiçoamento das Atividades Experimentais de Transferência de Quantidade de Movimento, calor e massa. Experiência no estudo de técnicas de secagem, análises físico-químicas, estabilidade de corantes, adsorção.

WESKLEY DA SILVA COTRIM

Possui graduação em Engenharia de Alimentos (2007), mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos (2010) e Doutorado em andamento em Ciência e Tecnologia de Alimentos, todos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Tem experiência na área de Engenharia de Alimentos, com ênfase em Engenharia de Processos Industriais, atuando principalmente nos seguintes temas: Operações Unitárias, Engenharia Bioquímica e Tratamento de Efluentes Industriais. Atuou como Analista de Serviços Tecnológicos no Centro de Tecnologia SENAI - Alimentos e Bebidas, no setor de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, realizando transferência de tecnologia das academias para as empresas do setor alimentício. Iniciou a carreira acadêmica como Professor e Coordenador do Curso de Engenharia de Alimentos e Professor do curso de Especialização em Segurança dos Alimentos das Faculdades Associadas de Uberaba (FAZU). Também atuou como Professor no curso de Química do Instituto Federal Goiano (IFGoiano). Atualmente é professor da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Universitário do Araguaia, onde ministra aulas para o Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos e coordena o Laboratório de Engenharia de Processos Industriais (LEPI).

YANNE KATIUSSY PEREIRA GURGEL AUM

Possui Graduação (2010), Mestrado (2012) e Doutorado (2016) em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atualmente é Professora Adjunto I na Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Petróleo, Alimentos e Operações Industriais, atuando principalmente nos seguintes temas: produção e transporte de petróleo, acidificação de poços, tecnologia de tensoativos e operações da indústria de alimentos.

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7042-129-6



9 788570 421296