

MEIOS POROSOS FILTRANTES DE POLÍMERO RECICLADO E RESÍDUO AGROINDUSTRIAL OBTIDO POR PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM¹

Ana Paula Soares Pereira²

Victor Soares Pereira³

Luis Paulo Lopes⁴

Carmen Gilda Barroso Tavares Dias⁵

Resumo

Neste trabalho está sendo utilizado o processo de rotomoldagem para obtenção de meios filtrantes porosos. O estudo tem por objetivo a avaliação de meios poros obtidos pelo processo de rotomoldagem, os materiais utilizados são polietileno de alta densidade reciclado (PEADr) e resíduo agroindustrial do açaí (borra). A metodologia adotado é a combinação de diferentes proporção dos materiais PEADr e borra; produção dos meios filtrantes por processo de rotomoldagem e avaliação dos poros através de análise superficial por Microscopia Ótica e microanálise mineral do resíduo agroindustrial por Microscopia Eletrônica de Varredura acoplada a Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV-EDS).

Palavras-chave: PEADr; Poros; Borra de açaí; MEV.

POROUS FILTER MEDIA OF POLYMER RECYCLED AND WASTE AGROINDUSTRIAL OBTAINED BY ROTATIONAL MOLDING PROCESS

Abstract

This work is being used rotomolding process for obtaining porous filter media. The study aims to evaluate media pores obtained by rotational molding process, the materials used are recycled high density polyethylene (PEADr) and agroindustrial residue of açaí (sludge). The methodology adopted is the combination of different proportions of materials PEADr and sludge; production of filter media by rotational molding process and evaluation of the pores through superficial analysis by Optical Microscopy and Microanalysis of mineral residue agroindustrial by Scanning Electron Microscopy coupled with Energy Spectroscopy dispersive (SEM-EDS).

Key words: PEADr; Pores; Sludge acai; SEM.

¹ Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil

² Engenheira química. Doutoranda, Universidade Federal do Pará. Belém, PA, Brasil.

³ Graduando, Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal do Pará. Belém, PA, Brasil.

⁴ Graduando, Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Pará. Belém, PA, Brasil.

⁵ Engenheira química. Pós-doutora. Pesquisadora colaboradora. Universidade Federal do Pará. Belém, PA, Brasil.

6 1 INTRODUÇÃO

O preparo do material determina a morfologia do meio poroso e é fundamental para otimizar as propriedades de transporte. Os meios porosos podem ser construídos de materiais metálicos,⁽¹⁾ cerâmicos,⁽²⁾ poliméricos⁽³⁾ e de compósitos.⁽⁴⁾

Os meios porosos são caracterizados através da porosidade, tamanho e distribuição de tamanho de poros.⁽⁵⁾ O tamanho controlado dos poros é de fundamental importância, pois quanto menor for o poro, mais seletivo é o material. A porosidade e o tamanho médio dos poros dependem do material empregado, da granulometria do pó, da temperatura e tempo de residência nesta temperatura.⁽⁶⁾

O tamanho dos poros determina a acessibilidade de moléculas de adsorvato ao interior do material adsorvente.⁽⁷⁾ Como exemplos de materiais adsorventes têm biomassa e materiais poliméricos sintéticos. A biomassa é considerada como resíduos florestais e agroindustriais têm propriedade altamente hidrofóbica, somada à elevada porosidade, desenvolve uma força capilar no sentido da adsorção e apresenta alta área superficial e com grandes poros.⁽⁸⁾

O resíduo agroindustrial oriundo do fruto de palmeira de açaí (*monocotiledôneas*) são carpos caracterizados por um pericarpo formado por parênquima externo, esclerênquima intermediário e parênquima interno seguido do endocarpo e tegumento da semente.⁽⁹⁾ O esclerênquima intermediário, conhecido como borra do açaí, é um resíduo lignocelulósico fragmentado e retido em peneira com abertura de 5 mm.⁽¹⁰⁾

Outro material que pode ser utilizado como material poroso é o polietileno, polímero sintético, ele apresenta baixo peso específico, resistência à deterioração por decomposição e ataque de microorganismos, resistência à corrosão, resistência mecânica e facilidade de processamento e reprocessamento.⁽¹¹⁾ Esses tipos de polímeros podem ser processados por extrusão,⁽¹²⁾ injeção,⁽¹³⁾ termoformagem,⁽¹⁴⁾ moldagem por compressão,⁽¹⁵⁾ moldagem rotacional.⁽¹⁶⁾

Peças obtidas por processo de rotomoldagem são influenciadas pela distribuição do tamanho de partículas, rugosidade do molde; velocidade de rotação do molde; quantidade de material no molde; presença de aditivos; umidade e temperatura inadequada no forno.⁽¹⁷⁾

O objetivo principal desta pesquisa foi preparar meios porosos filtrantes através do processo de rotomoldagem e determinar a influência da granulometria na formação dos poros por Microscopia Ótica e microanálise mineral do resíduo agroindustrial por Microscopia Eletrônica de Varredura acoplada a Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV-EDS).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais Utilizados na Confecção dos Meios Filtrantes

A borra do açaí foi obtida após despulpamento do fruto por secador de caroço de açaí. As partículas foram peneiradas e utilizadas as seguintes frações: (i) passante em peneira ABNT # 28 e retida em peneira ABNT # 35; (ii) passante em peneiras ABNT # 35 e retida em peneira ABNT # 42 (ver figura 01 (A)).

O polietileno de alta densidade reciclado (PEADr) foi obtido por reciclagem de embalagens pós-consumo, em forma de flocos após trituração em moinho de facas marca RONE modelo NFA 1533. O PEADr foi peneirado via seco e as frações granulométricas utilizadas foram: a) passante em peneiras ABNT # 28 e retida em

peneira ABNT # 35; e b) passante em peneiras ABNT # 35 e retida em peneira ABNT # 42 (Figura 1b).



Figura 1. (a) Borra do açai; e (b) PEAD reciclado.

Para confecção dos meios filtrantes foram realizadas quatro composições do polímero polietileno de alta densidade reciclado e da borra do açai, tanto para passante em peneiras ABNT # 28 e retida em peneira ABNT # 35 quanto para passante em peneiras ABNT # 35 e retida em peneira ABNT # 42, para verificação de saturação da borra no polietileno devido o não fechamento do corpo rotomoldado. A Tabela 1 mostra a composição dos materiais em estudo.

Tabela 1. Composição dos materiais

Malhas (%)	Materiais (%)	
35	60	40
	50	50
	40	60
	30	70
42	60	40
	50	50
	40	60
	30	70

2.2 Caracterização dos Meios Filtrantes Preparados

Os meios filtrantes preparados foram caracterizados por Microscopia ótica e MEV-EDS.

As fotomicrografias foram obtidas em Microscópio Ótico Quimis modelo 0706TKP da Faculdade de Engenharia Mecânica do Laboratório de Metalografia da Universidade Federal do Pará, ilustrando o efeito do processo de rotomoldagem nas características superficiais dos meios filtrantes do polímero polietileno de alta densidade reciclado e resíduo agroindustrial do fruto do açai (borra).

A microanálise química pontual qualitativa e semi-quantitativa da borra do açai foi obtido por espectroscopia de energia dispersiva modelo LEO-1430 da Faculdade de Geociências da UFPA.

2.3 Preparação do Meio Filtrante

O meio filtrante foi preparado em um molde de alumínio. As dimensões finais dos meios porosos foram de 45 mm de diâmetro externo e altura de 20 mm. O polímero e o resíduo agroindustrial em pó foram colocados em molde de alumínio e rotomoldados a temperatura de 180°C onde permaneceram por 50 minutos para coalescência do polímero. Após coalescência do material o molde foi retirado da

máquina e o conjunto deixado para resfriar naturalmente a temperatura ambiente quando o mesmo foi aberto e desmoldado.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização Superficial do Meio Filtrante por Microscopia Ótica

Após obtenção dos meios porosos por processo de rotomoldagem, os mesmos foram avaliados com relação à saturação da borra no PEADr (Figura 2), além disso foi realizado a obtenção das micrografias por Microscopia Ótica, ilustrando o efeito do processo de rotomoldagem nas características superficiais dos meios porosos. Todas as micrografias apresentadas têm um aumento da objetiva acromática infinita de 10x (Figura 3).



Figura 2. Avaliação de saturação do meio poroso com relação à borra de açaí. Corpo (a): 60% de PEADr – 40% de borra; Corpo (b): 50% de PEADr – 50% de borra; Corpo (c): 40% PEADr – 60% de borra; Corpo (d): 30% de PEADr- 70% de borra; Corpo (e): 60% de PEADr – 40% de borra; Corpo (f): 50% de PEADr – 50% de borra; Corpo (g): 40% PEADr – 60% de borra; Corpo (h): 30% de PEADr – 70% de borra.

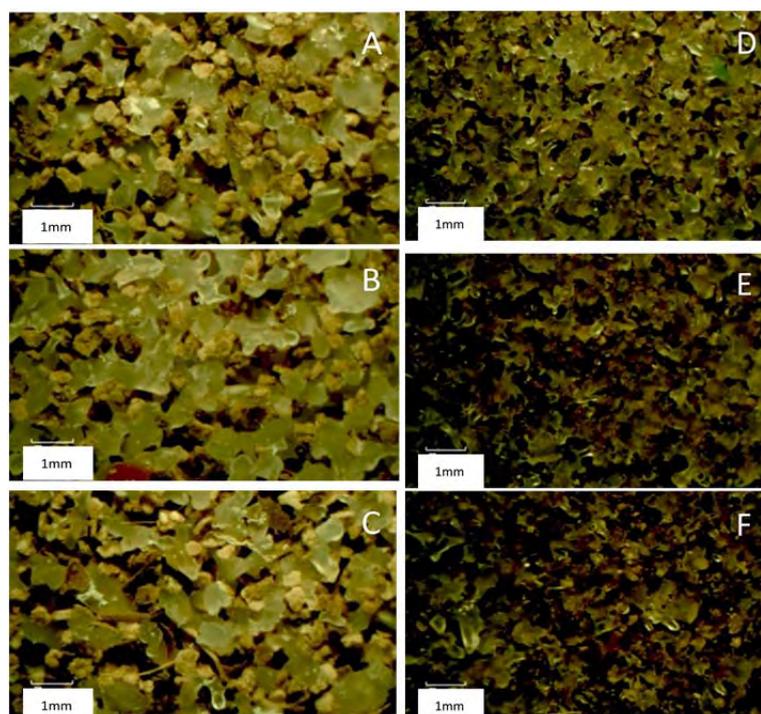


Figura 3. Micrografia dos meios porosos rotomoldagem com tamanho de partículas retidas em # 35 (A, B, C) e # 42 (D, E, F) com ampliação de 10X.

3.2 Caracterização da Borra de Açai por Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS)

A morfologia superficial e distribuição elemental da borra do açai in natura estão sendo mostrada na Figura 4. Foram analisadas duas áreas pontuais com relação a sua composição mineral.

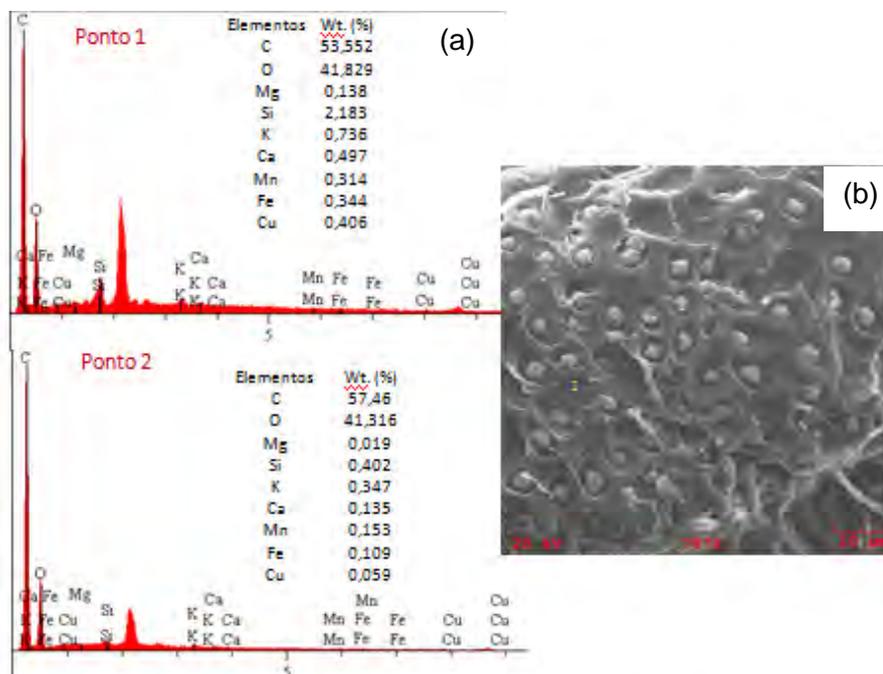


Figura 4. (a) Análise dos componentes minerais presentes na borra do açai; e (b) superfície da borra vista por MEV.

4 DISCUSSÃO

4.1 Efeito do Tamanho e da Quantidade da Partícula na Morfologia do Meio Poroso

Observou-se, através da Figura 2 que o processo de rotomoldagem é viável para obtenção de materiais porosos⁽¹⁸⁾ a partir de embalagens recicláveis (PEADr) e resíduo agroindustrial (borra de açai). Segundo Cruz ET AL. é devido a fluidez do PEADr, pois ele apresenta elevada massa molar, distribuição de tamanho das macromoléculas, grande número de conformações estruturais, bem como a possibilidade de emaranhamentos temporários das cadeias poliméricas, refletindo diretamente no seu reprocessamento.⁽¹⁹⁾ O tamanho e o formato da partícula influenciam na peça final obtida por processo de rotomoldagem, pois partículas muito pequenas com outras relativamente grandes traz como consequência a absorção de calor não homogênea podendo ocasionar um recobrimento desigual das paredes do molde e o formato da partícula afeta diretamente a sua fluidez e densidade aparente.⁽²⁰⁾

Na Figura 3 foi avaliado a saturação da borra do açai com relação ao PEADr. Os corpos das Figuras 3a e 3e são compostos com uma maior quantidade de PEADr tornando o meio poroso com uma parede mais espessa. Os corpos das Figuras 3d e 3h não obtiveram o formato do molde, devido a maior quantidade de borra que impossibilitou a coalescência das partículas de PEADr, segundo Liu e

Peng isto acontece devido a distribuição de partículas em uma matrix polimérica não ser uniforme pelo processo de rotomoldagem.⁽²¹⁾

Observa-se que os corpos D, E, e F (retido em malha 42), possuem menor tamanho de partícula, logo era de se esperar maior densidade aparente nas amostras, porém partículas muito reduzidas podem aumentar o tempo para livre fluidez do pó. Quando se aumenta a área superficial, pela redução do tamanho de partícula, aumenta-se a área de contato entre elas reduzindo o fluxo do pó (Figura 3). Segundo Bittencourt,⁽²²⁾ as características do pó como morfologia, tamanho e distribuição de partícula e porosidade influenciam diretamente no grau de compactação do pó, de modo geral, partículas irregulares com larga distribuição e menor tamanho médio conferem uma maior densidade aparente.

Na Figura 3 também podemos observar a presença do resíduo agroindustrial nas paredes no meio poroso e elas não estão totalmente recobertas pelo PEADr o que possibilita um área superficial disponível para absorção de poluentes.

4.2 Determinação Mineral na Borra do Açaí

A nutrição da planta é realizada através da adsorção de íons que são classificados em macronutrientes (N, K, Ca, Mg, P, S, Si) e micronutrientes (Fe, B, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo). Na Figura 4a foi observado que os elementos minerais silício e potássio estão em maior concentração na borra de açaí. Sulaiman et al.⁽²²⁾ e Souza et al.⁽²³⁾ observaram que o elemento mineral potássio também é o mais abundante no fruto de bananeira, devido a sua alta mobilidade nas plantas. O íon potássio está envolvido na ativação enzimática, síntese de proteínas, osmorregulação, fotossíntese e expansão celular.⁽²⁴⁾ No açaí este elemento vai diminuindo à medida que o fruto vai amadurecendo.⁽²⁵⁾

Na Figura 4b observamos uma superfície rugosa com numerosos vacúolos chamados de stigmata (corpos silicosos), nesta região ocorre uma maior concentração de silício, eles são frequentes em monocotiledôneas e são aleatoriamente distribuídos na superfície do PEADr.

A borra de açaí por ser um material lignocelulósico, constituído basicamente por celulose, hemicelulose, lignina e constituintes menores, pode ser utilizada como adsorvente de metais pesados, pois este material é constituído por ácidos lignínicos e fenólicos, grupos funcionais carboxílicos, carbonílicos, aldeídos e ésteres, além de apresentar uma elevada quantidade de silício, favorecendo a propriedade adsorvente desse material.⁽²⁶⁻²⁷⁾

5 CONCLUSÃO

Meios porosos filtrantes de PEADr e borra do açaí foram obtidos. A separação granulométrica do material promoveu uma redução do tamanho dos grãos, proporcionando seu melhor agrupamento e redução dos poros no material rotomoldado.

É sabido que diversos materiais têm melhor capacidade de adsorção com a redução do tamanho da partícula. Porém, é importante ressaltar que partículas maiores e esféricas, em geral, apresentam maior adsorção, devido a uma maior transferência de massa que as partículas menores. Por outro lado, quando o processo de adsorção ocorre na superfície do adsorvente sólido, observa-se uma adsorção em partículas menores, devido à maior área superficial.

Foi possível observar a formação de poros, suas formas e distribuições irregulares ao longo de toda a superfície do material.

A superfície da borra é composta por corpos silicosos freqüentes em monocotiledôneas.

O estudo realizado nos permite confirmar que o processo de rotomoldagem é viável para confecção de meios filtrantes.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao:

Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior;

Labem – Laboratório de Engenharia Mecânica.

REFERÊNCIAS

- 1 Zhu, C.; Guo, C.; Dai, Z. **Fabrication and study of porous metals with a highly regular structure**. *Materials Letters*, v. 94, p. 189–192, 2013.
- 2 Vida-Simiti, I.; Jumate, N.; Moldovan, V.; Thalmaier, G.; Sechel, N. **Characterization of Gradual Porous Ceramic Structures Obtained by Powder Sedimentation**. *Journal Materials Science Technology*, v. 28, p. 362-366, 2012.
- 3 Jinhua, L.; Dongliang, L.; Honghua, W.; Guangyuan, Z. **Porous polyethylene spheres with nanofiber structure from Ziegler-Natta catalyst supported on porous polymer particles**. *Polymer*, v. 52, p. 602-605, 2011.
- 4 Liang, Xinhua; George, S. M.; Weimer, A. W. **Synthesis of a Novel Porous Polymer/Ceramic Composite Material by Low-Temperature Atomic Layer Deposition**. *Chemistry of Materials*, v. 19, p. 5388-5394, 2007.
- 5 Perry, Robert H. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**, 8^o Edição, 2007.
- 6 Bellehumeur, C.T.; Medina, A.; Xu, H. **Dimensional Stability of Single site ethylene copolymers in Rotational molding**. *Polymer Engineering and Science*, v. 49, p. 1400-1409, 2009.
- 7 Ulson de souza, A.A.; Schwanke, R.O.; Maliska, C.R. **Medidas de Difusividade em Fase Líquida de Hidrocarbonetos Aromáticos em Zeólitas do Tipo Y**. *Anais do IV Encontro Brasileiro sobre Adsorção – EBA*, Rio de Janeiro –RJ, p. 1-8, 2003.
- 8 Rubio, J; Ribeiro, T.H.; Smith, R. W. A. **Dried Hydrophobic Aquaphyte as an Oil Filter for Oil/Water Emulsions**. *Spill Science & Technology Bulletin*, Great Britain, v. 8, p. 483-489, 2003.
- 9 Paula J.E. **Anatomia de Euterpe oleracea Mart. (Palmae da Amazônia)**. *Acta Amazon*, v. 5, p. 265-278, 1975.
- 10 Pessoa, J. D. C.; Arduin, M.; Martins, Maria Alice; Carvalho, J. E. U. **Characterization of Açaí (E. oleracea) Fruits and its Processing Residues**. *Brazilian Archives of Biology Technology*, 53, 1451-1460, 2010.
- 11 Habert, A.C.; Borges, C.P. **Processos de separação com membranas**. Escola piloto de Engenharia Química. Programa de Engenharia Química, 1997.
- 12 Mu, B.; Thompson, M.R. **Examining the mechanics of granulation with a hot melt binder in a twin-screw extruder**. *Chemical Engineering Science*, v. 81, p. 46–56, 2012.
- 13 Jiang, K.; Yu, F.; Bai, H.; Gao, J.; Deng, H.; Zhang, Q.; Fu, Q. **Alternating Multilayer Structure of Polyethylene/Polypropylene Blends Obtained Through Injection Molding**. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 124, p. 4452–4456, 2012.
- 14 Martin, P. J.; McCool, R.; Choo, H.L. **Measurement of polymer-topolymer contact friction in thermoforming**. *Polymer Engineering and Science*, v. 52, p. 489-499, 2012.
- 15 Bittencourt, B. A.; Ellwanger, M. V.; Nascimento, W. A.; Belchior, L.; Araújo, E. M.; Melo, T. J. A. **Moldagem por Compressão a Frio do Polietileno de Ultra Alto Peso**

- Molecular. Parte 1: Influência do Tamanho, Distribuição e Morfologia da Partícula na Densidade a Verde.** *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 19, p. 224-230, 2009.
- 16 Marcilla, A.; García-Quesada, J.C.; Ruiz-Femenia, R.; Beltrán, M.I. **Crosslinking of Rotational Molding Foams of Polyethylene.** *Polymer Engineering and Science*, v. 47, p. 1804-1812, 2007.
 - 17 R.J. Crawford, **Rotational Molding of Plastics**, Polymer Engineering Series, Wiley, New York (1992).
 - 18 Pereira, A. P. S.; Dias, C. D. B. T. Meios **filtrantes obtidos por processo de rotomoldagem para filtração de óleo diesel de água de rios.** 65^o Congresso Internacional ABM – Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2010.
 - 19 Cruz, S. A.; Farah, M.; Zanin, M.; Bretas, R. E. S. Bretas. **Avaliação das Propriedades Reológicas de Blendas de PEAD Virgem/PEAD Reciclado.** *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 18, 144-151, 2008.
 - 20 Silva, R. L. B. **Calotas rotomoldadas de polietileno reciclado.** Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, 2010.
 - 21 Liu, S. J.; Peng, K. M. Peng. **Rotational Molding of Polycarbonate Reinforced Polyethylene Composites: Processing Parameters and Properties.** *Polymer Engineering and Science*, v. 50, p. 1457-1465, 2010.
 - 22 Sulaiman, S. F.; Yosoff, N. A. M.; Eldeen, I. M.; Seow, E. N.; Sajak, A. A. B.; Ooi, S. K. L. **Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity os eight Malaysian bananas (Musa sp.).** *Journal of Food Compositions and Analysis*, v. 24, p. 1–10, 2011.
 - 23 Souza, V. R. S.; Pereira, P. A. P.; Queiroz, F.; Borges, S. V.; Carneiro, J. D. S. **Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits.** *Food Chemistry*, v. 134, p. 381–386, 2012.
 - 24 Pallardy SG. **Physiology of woody plants.** 5th ed. Massachusetts, USA: Elsevier Inc.; 2008.
 - 25 Gordon, A., Cruz, A. P. G.; Cabral, L. M. C.; Freitas, S. C.; Taxi, C. M. A. D.; Donangelo, C. M.; Matietto, R. A.; Friedrich, M.; Matta, V. M.; Marx, F. **Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of Açaí fruits (Euterpe oleraceae Mart.) during ripening.** *Food Chemistry*, v. 133, p. 256–263, 2012.
 - 26 Schafhause, B. H.; Consolin Filho, N.; Silva, N. C. R.; Consolin, M. F. B. **Estudo da adsorção (cinética e equilíbrio) de metais pesados em subprodutos agrícolas.** XVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPA (SICITE), 2012.
 - 27 Silva, J.C.; Diaz, J.M.R.; Silva, G.H.B.; Ferreira Júnior, J.J.; Silva, P.F.L.; Silva, V.L. **Emprego de cinzas de bagaço de cana na eliminação íons Ni²⁺ de uma solução aquosa.** 52^o Congresso Brasileiro de Química, 2012.