

Balanço de massa no processo de produção de bioadsorvente à base de casca de banana

César Augusto Canciam (UTFPR – Câmpus Ponta Grossa) canciam@utfpr.edu.br

Paulo Odone Reginato Berto (UEM) pauloodone.rb@gmail.com

Diego Gouveia Marques (UEM) diegogm41@hotmail.com

Nehemias Curvelo Pereira (UEM) nehemias@deq.uem.br

Marcelo Fernandes Vieira (UEM) mfvieira@deq.uem.br

Resumo:

Pesquisas por novos materiais bioadsorventes vêm se destacando, principalmente no caso de resíduos industriais ou agrícolas. A casca de banana seca representa um desses novos materiais bioadsorventes, sendo empregada na remoção de íons metálicos, corantes e ânions dissolvidos na água. O balanço de massa é importante para a análise de processos já existentes, bem como para novos processos. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi aplicar o balanço de massa na produção de bioadsorvente à base de casca de banana. A partir do desenvolvimento de um processo de produção, o balanço de massa permitiu quantificar a massa de bioadsorvente em diferentes granulometrias, bem como a quantidade de água que retornou a Natureza na forma de vapor.

Palavras chave: Bioadsorvente, Produção, Balanço de massa.

Mass balance in the bioadsorbent production process of banana peel

Abstract

Research for new materials bioadsorbents have gained prominence, especially in the case of industrial or agricultural waste. The dried banana peels is one of these new materials bioadsorbents, being employed in the removal of metal ions, dyes and anions dissolved in water. The mass balance is important for the analysis of existing processes, as well as new processes. Accordingly, the aim of this work was to apply the mass balance in the production for bioadsorbent of banana peel. From the development of a production process, the mass balance allowed to quantify the mass of bioadsorbent in different granulometrys and the amount of water returned to Nature in the form of steam.

Key-words: Bioadsorbent, Production, Mass balance.

1. Introdução

O consumo *in natura* e o processamento de frutas para a produção de sucos e doces resultam em grandes volumes de resíduos que devem ser adequadamente dispostos. Esses resíduos são constituídos, em sua maioria, por bagaços, cascas e sementes. Oliveira (2010) comenta que apesar dos esforços tecnológicos empregados para o aproveitamento desses resíduos, a demanda ainda é muito incipiente em relação à sua disponibilidade.

A banana é uma das culturas de frutas mais populares, cultivada em mais de 130 países. Representa a quarta mercadoria mais comercializada no mundo e em muitas regiões é o principal produto alimentício (CASTILHO; ALCANTARA e CLEMENTE, 2014).

No cenário mundial, o Brasil destaca-se com a produção anual de 7 milhões de toneladas e área plantada de 505 mil hectares. O país ocupa o segundo lugar em produção e área colhida. Considerando o consumo, o Brasil é o maior consumidor mundial de banana (CASTILHO; ALCANTARA e CLEMENTE, 2014).

No mundo, estima-se que a produção anual de banana seja superior a 100 milhões de toneladas (ARANAKUMARA; WALPOLA e YOON, 2013).

Com relação a quantidade de casca gerada, Da Cruz (2009) e Rocha (2011) relatam que a casca da banana representa de 40 a 50% do peso total da fruta madura. Dessa forma, estima-se que são gerados de 40 a 50 milhões de toneladas de casca de banana por ano.

Geralmente, as cascas de bananas consumidas são descartadas, pois não apresentam aplicações de ordem industrial. Esporadicamente, podem ser utilizadas na alimentação animal. E, eventualmente, são utilizadas na compostagem (DA CRUZ, 2009; ROCHA, 2011).

A casca de banana apresenta cerca de 59% de carboidratos, 3,1% de fibras brutas, 1,7% de lipídios e 0,9% de proteínas. Em termos de minerais, são encontrados: potássio, manganês, ferro, sódio e cálcio (JAISHANKAR *et al.*, 2014). São encontrados os polímeros: pectina (10 a 21%), lignina (6 a 12%), celulose (7,6 a 9,6%) e hemicelulose (6,4 a 9,4%) (ARANAKUMARA; WALPOLA e YOON, 2013).

A pectina é formada por uma estrutura central de 100 a quase 1000 monômeros de ácido galacturônico (SANTI; BERGER e SILVA, 2014). Aranakumara, Walpola e Yoon (2013) comentam que a presença desse ácido na pectina, torna a pectina um adsorvente de íons metálicos.

Dentre os íons metálicos pesquisados, a casca de banana foi empregada como bioadsorvente na remoção dos íons arsênio (III), arsênio (V), cádmio (II), chumbo (II), cobalto (II), cobre (II), cromo (III), cromo (IV), mercúrio (II), níquel (II), tório (IV) e zinco (II) (ANNADURAI; JUANG e LEE, 2002; MEMON; BHARGER e MEMON, 2008; MEMON *et al.*, 2008; SAIKAEW e KAEWSARN, 2009; ABBAS, 2013; ALIKARAMI; ABBASI e MOHAMMADNEZHAD, 2013; TONGYAM; APICHARTPATTANASIRI e PORMSILA, 2013; RAJORIYA; KAUAN e SAHARAN, 2014; EDE, 2015).

Pesquisas foram feitas empregando casca de banana na remoção dos corantes amarelo reativo 15, amarelo titan, azul de metileno, basic blue 159 e vermelho congo; todos em solução aquosa (AMEL; HASSENA e KERROUM, 2012; KHAN; AZHARI e CHAUDHURI, 2012; RAVINDRA, 2013; PISHGAR *et al.*, 2013). Também foram pesquisadas as remoções de compostos fenólicos em águas residuais, ácido acético em solução aquosa, ametrine e atrazina (herbicidas), fluoreto e sulfeto dissolvidos em água (MANDI *et al.*, 2009; ABBASI e ALIKARAMI, 2012; SILVA *et al.*, 2013; ZAIDAN; SALAH e WAHEED, 2013; BHAUMIK e MODAL, 2014).

Mattar, Costa e Belisário (2013) definem como bioadsorção, a adsorção feita por biomassas.

O processo de adsorção é amplamente usado e geralmente aceito como método de menor custo, mais eficaz e mais simples para a remoção de contaminantes dissolvidos na água (RUTHVEN, 1984; HABUDA-STANIĆ; RAVANČIĆ e FLANAGAN, 2014).

Como qualquer outro método de tratamento de água, a bioadsorção apresenta algumas desvantagens. A principal desvantagem está relacionada à saturação da biomassa, ou seja, quando todos os sítios ativos estão ocupados é necessário realizar a dessorção ou substituir a biomassa (AHLUWALIA e GOYAL, 2007).

O processo de adsorção é complexo, pois envolve diversos fatores como o tipo de adsorvente, tipo de adsorvato, granulometria do adsorvente, pH, agitação do sistema, temperatura, entre outros fatores. Com relação à granulometria do adsorvente, Chaves e Tito (2011) comentam que, em geral, com a diminuição do tamanho das partículas de adsorvente, aumenta-se a área específica do material. Esse aumento na área específica pode ou não interferir no processo de adsorção. Dessa forma, é importante classificar um bioadsorvente quanto à sua granulometria.

Pesquisas por novos materiais bioadsorventes vêm se destacando, principalmente no caso de resíduos industriais ou agrícolas, uma vez que não apresentam valor comercial, são materiais naturais praticamente sem custo, abundantes e apresentam capacidades adsorptivas quando tratados (FLECK; TAVARES e EYNG, 2013).

O balanço de massa está fundamentado na lei de Lavoisier ou lei da conservação de massa, que afirma que a massa não pode ser criada, nem destruída. Dessa forma, o balanço de massa pode ser considerado como o inventário de um determinado material em relação a um sistema definido (AQUIM, 2004).

Para Stephani e Perrone (2012), o balanço de massa pode ser definido como o estudo da transferência de massa que ocorre durante as operações unitárias industriais.

O balanço de massa é fundamental para a análise de processos já existentes, bem como para novos processos. Para a tomada de decisões no processo industrial, o balanço de massa pode ser um dos procedimentos a ser usado (AQUIM, 2004).

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi analisar o processo desenvolvido na produção de bioadsorvente à base de casca de banana, através do balanço de massa, em regime permanente.

2. Material e métodos

No Laboratório de Processos de Separação I da Universidade Estadual de Maringá foi desenvolvido um processo para a produção de bioadsorvente à base de casca de banana. A Figura 1 relaciona cada uma das etapas envolvidas nesse processo.

As amostras de casca de banana da variedade nanica utilizadas como matéria-prima na produção do bioadsorvente foram cedidas pelo restaurante “Casa do Japoneis”, localizado em Maringá (PR).

Devido a presença de outros materiais como cascas de outras frutas, pedúnculos e polpa de banana, foi necessário efetuar uma seleção da matéria-prima. O destino desses outros materiais (resíduos) foi o descarte.

Após a seleção, foi executado o fatiamento manual das cascas, de maneira que as fatias apresentaram um comprimento aproximado de 2 cm.

As cascas foram secas em um módulo experimental de secagem disponível no Laboratório de Engenharia Química II da Universidade Estadual de Maringá.

Esse módulo consiste em um secador convectivo de fluxo de ar ascendente, aquecido por meio de um conjunto de resistências elétricas, com vazão ajustada. A bandeja é de fundo telado com dimensões de 46 x 46 cm. O ar aquecido passa pela amostra em sentido perpendicular a mesma, conforme ilustrado pela Figura 2.

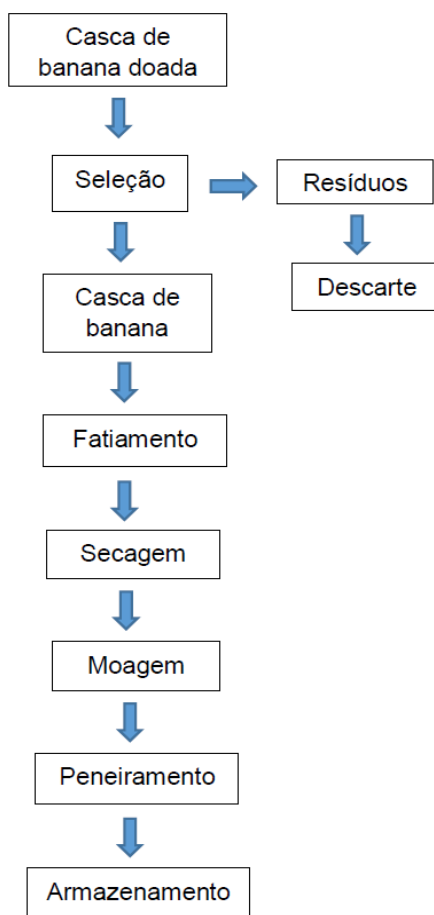


Figura 1 – Fluxograma de produção de bioadsorvente à base de casca de banana

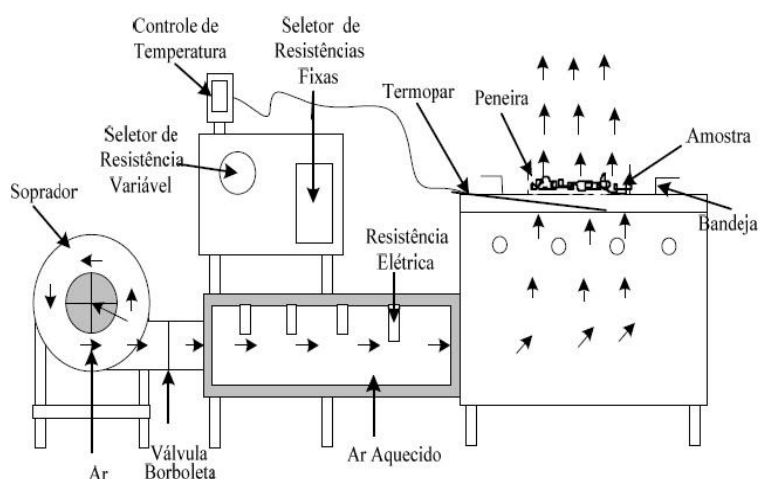


Figura 2 – Módulo experimental de secagem

Foram realizadas, em batelada, 4 secagens para cada temperatura de ar de secagem. As temperaturas de ar de secagem foram de 40, 50, 60, 70 e 80°C, totalizando 20 secagens.

O tempo de duração de cada secagem foi determinado experimentalmente a partir do estudo de cinética de secagem, realizado em duplicada. Nesse estudo, considerou-se como tempo de secagem, o tempo necessário para que as amostras alcançassem o equilíbrio mássico durante a secagem.

Como resultado desse estudo de cinética de secagem foram obtidos os tempos de 5 horas e 30 minutos para a secagem das cascas de banana a 40°C, 4 horas e 10 minutos para a secagem a 50°C, 2 horas e 30 minutos para a secagem a 60°C, 2 horas para a secagem a 70°C e 1 hora e 30 minutos para a secagem a 80°C.

Em cada uma das 20 secagens, foram obtidas as massas antes e após a secagem.

Para o cálculo do rendimento no processo de secagem, utilizou-se a grandeza: perda percentual de peso (P_p). Segundo Almeida, Silva e Marra (2010), a perda percentual de peso corresponde à razão entre a massa de água removida e a massa inicial (antes da secagem), conforme indicado pela Equação 1.

$$P_p = \frac{(M_0 - M_f) \cdot 100}{M_0} \quad (1)$$

Em que M_0 corresponde à massa do material antes da secagem e M_f , à massa do material depois da secagem.

A moagem foi realizada em um liquidificador da marca Britânia, modelo Eletronic Filter, de 600 W com 10 velocidades.

A condição experimental da moagem das cascas de banana secas foi pesar 80 g do material seco e triturar por 30 segundos na velocidade 2.

No peneiramento realizou-se a separação granulométrica em peneiras laboratoriais da série Tyler, com um tempo de peneiramento de 60 minutos.

Esse tempo foi determinado experimentalmente, em triplicata, durante o peneiramento de amostras de casca de banana seca e moída, seguindo a metodologia proposta por Allen (1990).

Essa metodologia considera um tempo de peneiramento inicial de 20 minutos, repetindo-se por 10 minutos até que se alcance o peso constante em cada uma das peneiras.

As peneiras laboratoriais utilizadas foram Tyler mesh 6, 8, 12, 16, 32, 48, 60 e fundo cego.

O conjunto de peneiras foi agitado mecanicamente por 60 minutos em um agitador de peneiras, conforme ilustrado na Figura 3.

Foram realizadas 6 análises granulométricas para cada experimento de secagem na mesma temperatura. Em cada uma das análises granulométricas, foi obtido o diâmetro médio de Sauter.

Para o cálculo da massa de bioadsorvente obtida em cada intervalo de peneira, adotou-se a média aritmética das frações mássicas das análises granulométricas que apresentaram o menor e o maior diâmetro médio de Sauter.



Figura 3 – Módulo experimental de separação granulométrica

3. Resultados e discussão

A Tabela 1 relaciona a média dos valores obtidos para a perda percentual de peso.

Temperatura de secagem (°C)	Média da perda percentual de peso (%)
40	88,89
50	89,49
60	88,79
70	89,78
80	88,23

Fonte: Autor (2015)

Tabela 1 – Valores médios da perda percentual de peso durante o processo de secagem

Pode-se observar na Tabela 1, que, em média, a perda percentual de peso durante a secagem variou de 88,23% a 89,78%.

Dessa forma, considerando uma massa de 1000g de casca de banana selecionada e fatiada, ao final da secagem, terá uma massa de casca de banana seca variando de 102,20g a 117,77g, em média. Enquanto que a quantidade de água removida e que retorna a Natureza na forma de vapor variou de 882,30g a 897,80g, em média, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Temperatura de secagem (°C)	Quantidade média de material seco (g)	Quantidade média de água na forma de vapor (g)
40	111,10	888,90
50	105,10	894,90
60	112,10	887,90
70	102,20	897,80
80	117,70	882,30

Fonte: Autor (2015)

Tabela 2 – Quantidade média de material seco e de água na forma de vapor

A Tabela 3 elenca as médias das frações mássicas obtidas pelo peneiramento da casca de banana, nas secagens a 40, 50 e 60°C. Enquanto que a Tabela 4, aos valores obtidos pelo peneiramento da casca banana, nas secagens a 70 e 80°C.

Intervalo de peneiras	Secagem a 40°C	Secagem a 50°C	Secagem a 60°C
-5+6	3,40%	2,41%	3,17%
-6+8	10,77%	1,87%	10,22%
-8+12	23,00%	10,62%	21,65%
-12+16	16,03%	14,19%	13,06%
-16+32	25,13%	25,75%	21,98%
-32+48	13,48%	15,19%	12,62%
-48+60	5,31%	12,77%	7,15%
-60+ fundo cego	2,88%	17,20%	10,15%

Fonte: Autor (2015)

Tabela 3 – Valores médios das frações mássicas do material seco a 40, 50 e 60°C

Intervalo de peneiras	Secagem a 70°C	Secagem a 80°C
-5+6	4,41%	1,15%
-6+8	10,01%	2,19%
-8+12	20,95%	17,55%
-12+16	14,61%	16,89%
-16+32	22,59%	26,72%
-32+48	12,42%	13,26%
-48+60	7,87%	8,51%
-60+ fundo cego	7,14%	13,73%

Fonte: Autor (2015)

Tabela 4 – Valores médios das frações mássicas do material seco a 70 e 80°C

A partir dos dados indicados nas Tabelas 2, 3 e 4, e aplicando o balanço de massa, em regime permanente, pode-se obter a massa de bioadsorvente classificada em cada intervalo de peneiras.

A Tabela 5 relaciona os valores médios encontrados para a massa de bioadsorvente seco a 40, 50 e 60°C e classificado em cada intervalo de peneiras. Já a Tabela 6 relaciona os valores médios encontrados para os materiais secos a 70 e 80°C.

Intervalo de peneiras	Secagem a 40°C	Secagem a 50°C	Secagem a 60°C
-5+6	3,78g	2,53g	3,55g
-6+8	11,97g	1,97g	11,46g
-8+12	25,56g	11,16g	24,27g
-12+16	17,81g	14,91g	14,64g
-16+32	27,92g	27,06g	24,64g
-32+48	14,98g	15,97g	14,14g
-48+60	5,89g	13,42g	8,02g
-60+ fundo cego	3,19g	18,08g	11,38g

Fonte: Autor (2015)

Tabela 5 – Valores médios das massas de bioadsorvente seco a 40, 50 e 60°C e classificado em intervalos de peneiras

Intervalo de peneiras	Secagem a 70°C	Secagem a 80°C
-5+6	4,51g	1,35g
-6+8	10,23g	2,58g
-8+12	21,41g	20,66g
-12+16	14,93g	19,88g
-16+32	23,09g	31,45g
-32+48	12,69g	15,60g
-48+60	8,04g	10,02g
-60+ fundo cego	7,30g	16,16g

Fonte: Autor (2015)

Tabela 6 – Valores médios das massas de bioadsorvente seco a 70 e 80°C e classificado em intervalos de peneiras

Observa-se nas Tabelas 5 e 6, que nas condições experimentais de moagem descritas, o intervalo de peneiras que apresentou a maior quantidade de material bioadsorvente é o intervalo “-16+32”, ou seja, entre 0,500 e 1,000 mm.

McCabe, Smith e Harriot (1993) comentam que as condições experimentais de moagem interferem diretamente na granulometria dos produtos. No caso de uma alimentação sufocada, mantendo a mesma velocidade e tempo de residência, a tendência é a de prevalecer tamanhos de partículas maiores (maior granulometria). Por outro lado, com uma alimentação livre, mesmo tempo de residência e aumento da velocidade, a tendência é a de prevalecer tamanhos de partículas menores (menor granulometria).

Dessa forma, a tomada de decisão por tamanhos de partículas menores ou maiores somente é possível graças a aplicação do balanço de massa no processo produtivo.

4. Conclusão

O balanço de massa, em regime permanente, permitiu quantificar a massa de bioadsorvente à base de casca de banana produzido e classificado em intervalos de peneiras, bem como a quantidade de água que retornou à Natureza na forma de vapor, devido ao processo de secagem.

A partir de uma massa de 1000g de casca de banana selecionada e fatiada foi possível obter, em média, uma massa de material seco variando de 102,20g a 117,77g. Esses valores foram obtidos considerando secagens nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C.

Nas condições específicas de moagem, obteve-se, em média, uma maior quantidade de bioadsorvente com tamanho de partículas entre 0,500 e 1,000 mm.

A escolha por tamanho de partículas maiores ou menores está relacionada diretamente com as condições experimentais de moagem. Nesse caso, o balanço de massa auxilia na tomada de decisão.

Referências

ABBAS, F.S. Thorium removal from waste water using banana peel and employment of waste residues. *Advances in Natural and Applied Sciences*. Vol. 7, número 3, p. 336-344, 2013.

ABBASI, Z.; ALIKARAMI, M. Kinetics and thermodynamics studies of acetic acid adsorption from aqueous solution by peels of banana. *Biochemistry and Bioinformatics*. Vol. 1, número 1, p. 1-7, 2012.

AHLUWALIA, S.S.; GOYAL, D. Review: Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technology*. Número 98, p. 2243-2257, 2007.

ALIKARAMI, M.; ABBASI, Z.; MOHAMMADNEZHAD, S. *Kinetics and thermodynamics studies of copper (II), mercury (II) and chromium (III) adsorption from aqueous solution by peels of banana.* Journal of basic and Applied Scientific Research. Vol. 3, número 3, p. 8-15, 2013.

ALLEN, T. *Particle Size Measurement.* 4. ed. Cornwall: Chapman and Hall, 1990.

ALMEIDA, E.A.; SILVA, J.M.; MARRA, K.N. *Análise do rendimento de frutos de cajá-manga submetidos ao processo de desidratação osmótica seguida de secagem em estufa.* In: VIII Seminário de Iniciação Científica e V Jornada de Pesquisa e Pós-graduação, 2010, Anápolis, Anais eletrônicos.

AMEL, K.; HASSENA, M.A.; KERROUM, D. *Isotherm and kinectics study of biosorption of cationic dye onto banana peel.* Energy Procedia. Número 19, p. 286-295, 2012.

ANNADURAI, G.; JUANG, R.S.; LEE, D. *Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels.* Water Science and Technology. Vol. 47, número 1, p. 185-190, 2002.

AQUIM, P.M. *Balanço de massa: uma ferramenta para otimizar os processos de ribeira e curtimento.* 2004. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

ARUNAKUMARA, K.K.I.U.; WALPOLA, B.C.; YOON, M.H. *Banana peel: a green solution for metal removal from contaminated waters.* Journal of Environmental Agriculture. Vol. 32, número 2, p. 108-116, 2013.

BHAUMIK, R.; MONDAL, N. K. *Optimizing adsorption of fluoride from water by modified banana peel dust using response surface modelling approach.* Applied Water Science, 2014.

CASTILHO, L. G.; ALCANTARA, B. M.; CLEMENTE, E. *Desenvolvimento e análise físico-química da farinha da casca, da casca in natura e da polpa de banana verde das cultivares maçã e prata.* E-xacta. Vol. 7, número 2, p. 107-114, 2014.

CHAVES, L.H.G.; TITO, G.A. *Cadmium and copper adsorption on bentonite: effects of pH and particle size.* Revista Ciência Agrônômica. Vol. 42, número 2, p. 278-284, 2011.

DA CRUZ, M. A. R. F. *Utilização da casca de banana como biossorvente.* 2009. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Londrina, Londrina - PR.

EDE, A. G. *Adsorptive removal of Cr (VI) ion from wastewater by activated coffee husk and banana peel: comparative study.* World Journal of Pharmaceutical Research. Vol. 4, número 1, p. 212-225, 2015.

FLECK, L.; TAVARES, M.H.F.; EYNG, E. *Adsorventes naturais como controladores de poluentes aquáticos: uma revisão.* Revista Eixo. Vol. 2, número 1, p. 39-52, 2013.

HABUDA-STANIĆ, M.; RAVANČIĆ, M. E.; FLANAGAN, A. *A review on adsorption of fluoride from aqueous solution.* Materials. Número 7, p. 6314-6366, 2014.

JAISHANKAR, M.; MATHEW, B. B.; SHAH, M. S.; MURTHY T. P., K. GOWDA K. R., S. *Biosorption of few heavy metal ions using agricultural wastes.* Journal of Environment Pollution and Human Health. Vol. 2, número 7, p. 1-6, 2014.

KHAN, T.; AZHARI, M. A. B.; CHAUDHURI, M. *Banana peel: a low-cost adsorbent for removal of reactive dye from aqueous solution.* In: International Conference on Civil, Offshore and Environmental Engineering, 2012, Kuala Lumpur, Anais eletrônicos.

MANDI, L.; ACHAK, M.; HAIDI, A.; OUZZANI, N. *Low cost bio-sorbent for the removal of phenolic compounds from olive mill wastewater.* In: EL MOUJABBER, M.; MANDI, L. TRISORIO-LIUZZI, G.; MARTÍN, I.; RABI, A.; RODRÍGUEZ, R. *Technological perspectives for rational use of water resources in the Mediterranean region.* Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens. Número 88, p. 179-186, 2009.

MATTAR, M. S.; COSTA, H. B.; BELISÁRIO, M. *Emprego de bioadsorventes na remoção de corantes de efluentes provenientes de indústrias têxteis.* Revista Analytica. Número 64, p. 90-95, 2013.

McCABE, W.L.; SMITH, J.C.; HARRIOT, P. *Unit Operations of Chemical Engineering.* 5. ed. Singapore: McGraw-Hill, 1993.

MEMON, S. Q.; BHANGER, M. I.; MEMON, J. U. R. *Evaluation of banana peel for treatment of arsenic contaminated water.* In: I Technical Meeting of Muslim Water Researchers Cooperation, 2008, Bangi Selangor, Anais eletrônicos.

MEMON, J.; MEMON, S. Q.; BHANGER, M. I.; KHUHAWAR, M. Y. *Banana peel: a green and economical sorbent for Cr (III) removal.* Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry. Vol 9, número 1, p. 20–25, 2008.

OLIVEIRA, S. L. R. *Aproveitamento da casca de coco verde (Cocos nucifera L.) para produção de celulases.* 2010. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE.

PISHGAR, M.; YAZDANSHENAS, M. E.; GHORBANI, M. H.; FARIZADEH, K. *Removal of Basic Blue 159 from aqueous solution using banana peel as a low-cost adsorbent.* Journal of Applied Chemical Research. Vol.7, número 4, p. 51–62, 2013.

RAJORIYA, S.; KAUR, B.; SAHARAN, V. K. *Kinetics and Isotherm on the adsorption of Zn (II) from aqueous solutions by natural bio – sorbents.* International Journal of Engineering Sciences & Research Technology. Vol. 3, número 8, p. 17–31, 2014.

RAVINDRA, R. P. *Banana peel as a potente, low-cost bio-adsorbent for water purification.* In: International Exhibition and Conference on Water Technologies, Environmental Technologies & Renewable Energy, 2013, Mumbai, Anais eletrônicos.

ROCHA, L. G. *Aproveitamento de resíduos agroindustriais.* Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 2011.

RUTHVEN, D. M. *Principles of adsorption and adsorption process.* New York: John Wiley & Sons, 1984.

SAIKAEW, W.; KAEWSARN, P. *Cadmium ion removal using biosorbents derived from fruit peel wastes.* Songklanakarin Journal of Science and Technology. Vol. 31, número 5, p. 547–554, 2009.

SANTI, L.; BERGER, M.; SILVA, W. O. B. *Pectinases e pectina: aplicação comercial e potencial biotecnológico.* Caderno pedagógico. Vol. 11, número 1, p. 130–139, 2014.

SILVA, C. R.; GOMES, T. F.; ANDRADE, G. C. R. M.; MONTEIRO, S. H.; DIAS, A. C. R.; ZAGATTO, E. A. G.; TORNISIELO, V. L. *Banana peel as an adsorbent for removing atrazine and ametryne from waters.* Journal of Agricultural and Food Chemistry. Número 61, p. 2358–2363, 2013.

STEPHANI, R.; PERRONE, I.T. *Balanço de massa aplicado a tecnologia de produção do leite condensado: considerações teóricas.* Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes. Vol. 67, número 387, p. 49–56, 2012.

TONGYAM, C.; APICHARTPATTANASIRI, S.; PORMSILA, W. *Characterizations of banana peel and its efficiency for copper adsorption.* Journal of Environmental Science and Engineering A. Número 2, p. 608–613, 2013.

ZAIDAN, T.; SALAH, E.; WAHEED, M. *Banana peel as removal agent for sulfide from sulfur springs water.* Civil and Environmental Research. Vol. 3, número 10, p. 27–36, 2013.