

Utilização de cascas e bagaços de laranjas como tecnologia sustentável para remoção de íons cobre de soluções aquosas

Use of orange peels and pomace as a sustainable technology for removal of copper ions from aqueous solutions

Utilización de cáscaras y orujo de naranja como tecnología sostenible para la eliminación de iones de cobre de soluciones acuosas

Jucieli Stadnik

Acadêmica de Farmácia, Instituto Federal do Paraná_ Palmas, Brasil
jucielistadnik.ju@gmail.com

Aline Rocha Borges

Professora Doutora, Instituto Federal do Paraná_ Palmas, Brasil
aline.rocha@ifpr.edu.br

RESUMO

A presença de metais tóxicos contribui para a poluição do ar, dos solos e da água. O cobre por exemplo, atua em nosso corpo como um mineral essencial e está presente na mineração, fundição, incineração e agrotóxicos. Visando a melhoria das condições ambientais e atingir as metas de desenvolvimento sustentável é indispensável o manejo racional dos recursos naturais. Nesse sentido, a biossorção é uma alternativa que oferece baixo custo operacional e possibilidade de reutilização de biomassa. Este trabalho apresenta a investigação das cascas e bagaços de laranjas para a utilização na remoção de íons cobre de soluções aquosas. Os resultados mostraram que o melhor pH a ser utilizado é maior do que 5,8 para bagaço da laranja Pêra; 5,5 para casca da laranja Pêra; 4,5 para bagaço da laranja Bahia e 5,5 para casca da laranja Bahia, pois estes valores foram correspondentes ao valor do ponto de carga zero das superfícies das biomassas; o melhor tempo de contato entre solução metálica e biomassa foi estabelecido em 6 horas para casca da laranja Pêra e 9 horas para as demais; a massa de biossorvente que proporcionou os maiores índices de recuperação foi de 0,15g em solução de aproximadamente 10 mgL⁻¹ de cobre. As superfícies das biomassas foram avaliadas por espectroscopia no infravermelho, sendo possível identificar os grupos -NH, -OH e -CH como responsáveis pelo processo de biossorção; também, a microscopia de varredura, mostrou a natureza irregular e porosa do material antes da biossorção e o preenchimento destes espaços após o processo.

PALAVRAS-CHAVE: Biossorção. Cobre. Laranja.

ABSTRACT

The presence of toxic metals contributes to air, soil, and water pollution. Copper, for example, acts in our bodies as an essential mineral and is present in mining, smelting, incineration, and in agrochemicals. In order to improve environmental conditions and achieve the goals of sustainable development, the rational management of natural resources is indispensable. In this sense, biosorption is an alternative that offers low operational cost and the possibility of biomass reuse. This work presents the investigation of orange peels and pomace for the removal of copper ions from aqueous solutions. The results showed that the best pH to be used is higher than 5.8 for Pêra orange bagasse; 5.5 for Pêra orange peel; 4.5 for Bahia orange bagasse and 5.5 for Bahia orange peel, because these values were corresponding to the zero point of charge of the biomass surfaces; The best contact time between the metal solution and biomass was established at 6 hours for Pera orange peel and 9 hours for the others; the biosorbent mass that provided the highest rates of recovery was 0.15g in a solution of approximately 10 mgL⁻¹ of copper. The surfaces of the biomasses were evaluated by infrared spectroscopy, and it was possible to identify the groups -NH, -OH and -CH as responsible for the biosorption process; also, scanning microscopy showed the irregular and porous nature of the material before biosorption and the filling of these spaces after the process.

KEY WORDS: Biosorption. Copper. Orange.

RESUMEN

La presencia de metales tóxicos contribuye a la contaminación del aire, el suelo y el agua. El cobre, por ejemplo, actúa en nuestro organismo como un mineral esencial y está presente en la minería, la fundición, la incineración y los plaguicidas. Para mejorar las condiciones medioambientales y alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible, es esencial la gestión racional de los recursos naturales. En esta dirección, la biosorción es una alternativa que ofrece bajo costo operacional y posibilidad de reutilización de la biomasa. Este trabajo, presenta la investigación de las cáscaras y orujos de naranjas para la remoción de iones de cobre de soluciones acuosas. Los resultados mostraron que el mejor pH a utilizar es superior a 5,8 para el bagazo de naranja Pêra; 5,5 para la cáscara de naranja Pêra; 4,5 para el bagazo de naranja Bahia y 5,5 para la cáscara de naranja Bahia, ya que estos valores correspondían al punto cero de carga de las superficies de la biomasa; El mejor tiempo de contacto entre la solución de metal y la biomasa se estableció en 6 horas para la cáscara de naranja Pera y 9 horas para las demás. La masa de biosorbente que proporcionó los mayores índices de recuperación fue de 0,15g en solución de aproximadamente 10 mgL⁻¹ de cobre. Las superficies de las biomassas fueron evaluadas por espectroscopia infrarroja, siendo posible identificar los grupos -NH, -OH y -CH como responsables por el proceso de biosorción; también, la microscopia de barrido, mostró la naturaleza irregular y porosa del material antes de la biosorción y el relleno de estos espacios después del proceso.

PALABRAS CLAVE: Biosorción. Cobre. Naranja.

1. INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais são caracterizados pelas alterações no meio ambiente, provocadas antropicamente ou advindas de processos industriais ou agrícolas de modo a alterar suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Sendo causados por qualquer fonte de matéria ou energia, podem afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, além de comprometer a qualidade dos recursos naturais (OLIVEIRA, 2016).

Dentre os contaminantes ambientais, os metais representam o maior problema dos resíduos industriais, sendo advindos da transformação de matéria prima em produto final (GROSSI, 2018; MOREIRA *et al*, 2018). A contaminação do ambiente por meio de metais potencialmente tóxicos contribui diretamente para a poluição do ar, dos solos e da água, provocando a mortandade de espécies, assim como a intoxicação do homem (BARROCO *et al*, 2018). Apesar de alguns metais serem essenciais para o crescimento dos organismos como o cobre, zinco e ferro, todas as formas de vida são afetadas por estes, dependendo da dose e de sua forma química. Alguns compostos são biologicamente ativos no ambiente e podem interagir com a biota do meio, interferindo de maneira significativa no metabolismo e no comportamento das espécies.

A agenda 2030 da ONU preza pela melhoria da qualidade da água, "reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente", sendo assim a utilização de tecnologias sustentáveis para a descontaminação das águas são extremamente bem vindas, pois são capazes de gerar economia de energia e permitir o uso inteligente dos recursos da cadeia produtiva (NAÇÕES UNIDAS, 2015). Dessa forma, a biossorção tem papel de destaque, pois vem sendo empregada como método mais barato e eficaz, que utiliza um adsorvente natural que proporciona alta taxa na capacidade de remoção de contaminantes (GROSSI, 2018).

O cobre é um dos principais metais presentes no corpo humano, sendo distribuído praticamente em todo o organismo, mas em diferentes concentrações, o que indica seu papel funcional (AZEVEDO *et al*, 2003). É um metal que está envolvido em diversos processos no corpo humano como o metabolismo energético e funcionamento do sistema imune, já nas plantas ele é responsável pelo balanço de nutrientes (BARCELOS, 2008). Porém, quando ocorre a exposição em excesso pode ocasionar Doença de Wilson nos seres humano e perda de vigor no crescimento de espécies de plantas, por exemplo. Desta forma, o controle da presença deste metal, assim como de outros possíveis contaminantes, é essencial para reestabelecer o equilíbrio vital para ambas as espécies.

A biossorção é caracterizada por utilizar de microrganismos ou biomassa vegetal para remoção, recuperação ou retenção dos contaminantes em resíduos tóxicos, envolvendo uma fase sólida (adsorvente) e uma fase líquida (adsorvato), em que por diversos mecanismos, o adsorvato é atraído pelo adsorvente (SILVA *et al*, 2014). Este método possui diversas vantagens frente as técnicas tradicionais, dentre elas estão, o baixo custo operacional, a reutilização do biossorvente, a biomassa não requer nenhum tratamento especial, a alta eficiência para o tratamento de efluentes e a minimização de lama química ou biológica para posterior descarte (BUENO, 2007).

O Brasil produz grande quantidade de resíduos, que podem ser reutilizados na recuperação de diversos recursos energéticos, além de mitigar a poluição, promover o uso sustentável dos recursos naturais disponíveis e, por fim, agregar valor a biomassa orgânica gerada. Diversos materiais podem ser utilizados como biomassa para o processo de biossorção, como por exemplo a laranja, em que cerca de 50% da fruta é descartada na forma de bagaço após a extração do suco (CYPRIANO *et al.*, 2017), logo, dependendo de suas características, pode ser utilizada como um potencial biossorvente de espécies metálicas.

O uso de resíduos agroindustriais para a remoção de metais em águas residuais tem se mostrado uma alternativa promissora devido a afinidade que compostos naturais tem com elementos metálicos (PINO, 2011). A captura dos íons metálicos pela biomassa é um processo relativamente rápido, independente de energia, podendo ser reversível, que se dá por interações físico-químicas entre os íons e os grupos funcionais presentes na superfície da biomassa (PODSTAWCZYK *et al.*, 2015). Determinados grupos funcionais existentes na superfície da partícula, tais como, carboxila, hidroxila, aminas, sulfetos e fosfatos, garantem uma boa superfície de contato e porosidade (SILVA *et al.*, 2013; GUPTA *et al.*, 2020).

Vários aspectos precisam ser considerados para a utilização de um material como biossorvente, como por exemplo o pH, a massa de biossorvente, melhor tempo de contato entre solução metálica e biomassa, além do conhecimento da estrutura do material biossorvente. O pH influencia a natureza dos locais de ligação da biomassa e a solubilidade do metal; afeta a química de solução dos metais, que está relacionada à especiação e ao grau de ionização das espécies em solução; a disponibilidade dos grupos funcionais presentes na biomassa, alterando sua atividade no processo de adsorção. Diante disso, esse ponto pode variar de acordo com a formação de complexos catiônicos ou aniônicos na superfície do sólido (OMRI *et al.*, 2016; LIMA *et al.*, 2020).

O ponto de carga zero (PCZ), pode ser definido como o valor de pH no qual a adsorção de íons H^+ e OH^- é igual, ou seja, a superfície do biossorvente possuirá carga neutra (TEIXEIRA *et al.*, 2017; FREITAS *et al.*, 2016). Portanto, quando o adsorvente está carregado negativamente em soluções com pH superior ao PCZ, poderá atrair espécies metálicas positivas; por outro lado, quando o adsorvente está carregado positivamente em soluções com pH inferior, poderá interagir com espécies de carga negativa (FREITAS *et al.*, 2016; WERNECK *et al.*, 2018).

Além do estudo do PCZ, outro fator crítico é a massa de biossorvente a ser utilizado, pois influencia diretamente na eficiência da biossorção, visto que, com o aumento do biossorvente ocorre o aumento da superfície de contato e da disponibilidade de sítios ativos, até que seja atingida a condição de saturação (SHABAN *et al.*, 2017). No entanto, a eficiência do processo tende a decrescer com o aumento da dosagem de material adsorvente, pois em quantidades elevadas pode ocorrer uma sobreposição dos sítios ativos, que impossibilita a saturação completa do adsorvente, reduz a área superficial e aumenta a competição dos íons pelos locais de ligação disponíveis (TRAN *et al.*, 2016). Ainda, análises de espectroscopia de infravermelho e microscopia de varredura, objetivam melhor observação das características da biomassa, visando identificar os grupos funcionais responsáveis pelo processo de biossorção, bem como reconhecer a modificação da estrutura da superfície após o processo.

Portanto, esse trabalho objetiva investigar as melhores condições para a utilização de cascas e bagaços de laranjas, das espécies Pêra e Bahia, para a remoção de íons cobre em

soluções aquosas, contribuindo assim com práticas tecnológicas sustentáveis, de modo a preservar os recursos naturais e o meio ambiente.

2. METODOLOGIA

2.1 Preparo dos bioissorventes

Os bioissorventes investigados foram casca da laranja espécie Pêra, bagaço da laranja espécie Pêra, casca da laranja espécie Bahia e bagaço da laranja espécie Bahia, as mesmas foram adquiridas no comércio local. Para o preparo do material, as cascas e bagaços foram lavados com água destilada, secos em estufa por 24 horas a 80 °C. Após a secagem, as biomassas foram trituradas em moinho de facas e peneiradas em membranas de poliéster de 354 µm.

2.2 Determinação do Ponto de Carga Zero (PCZ)

A fim de determinar o PCZ, o estudo se baseou no experimento dos 11 pontos descrito por Regalbutto (2004). Para isso, pesou-se cerca de 50 mg de cada adsorvente e adicionou-se 50 mL de água destilada e o pH foi ajustado com HCl ou NaOH 0,1 mol L⁻¹ em 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 9,0; 10,0; 11,0 e 12,0. As soluções foram colocadas em agitação por 24 horas à temperatura ambiente. Após 24 horas em agitação, o pH foi medido novamente com pHmetro digital.

2.3 Determinação do melhor tempo de contato entre solução metálica e os bioissorventes

Para a determinação de melhor tempo para o processo de bioissorção, optou-se por utilizar 0,1 g de biomassa em 50 mL de solução de cobre na concentração de 10 mg L⁻¹ no pH 6, nos tempos de 0,5; 1; 3; 6; 9; 12 e 24 horas. A determinação da concentração de cobre foi realizada em triplicata por Espectrometria de Absorção Atômica de Chama (*PinAAcle 900T*, Perkin Elmer) na Central de Análises da UTFPR Pato Branco.

2.4 Determinação das melhores massas de bioissorventes

Para cada bioissorvente, as massas foram variadas em 0,03; 0,05; 0,07; 0,1; 0,13 e 0,15 gramas em 50 mL de solução de cobre 10 mg L⁻¹ no pH 6, as soluções foram agitadas pelo tempo necessário pré-estabelecidos para cada tipo de biomassa, os quais são descritos nos resultados. A determinação da concentração de cobre foi realizada em triplicata por Espectrometria de Absorção Atômica de Chama (*PinAAcle 900T*, Perkin Elmer) na Central de Análises da UTFPR Pato Branco.

2.5 Análise de Espectroscopia de Infravermelho

A identificação dos principais grupos funcionais presentes nas superfícies dos materiais adsorventes foi realizada por Espectroscopia de Infravermelho na região do Médio com Transformada de Fourier (FT- MIR) (modelo *Frontier*, Perkin Elmer), usando-se da análise de

Refletância Total Atenuada (ATR). A análise foi realizada na Central de Análises da UTFPR Pato Branco.

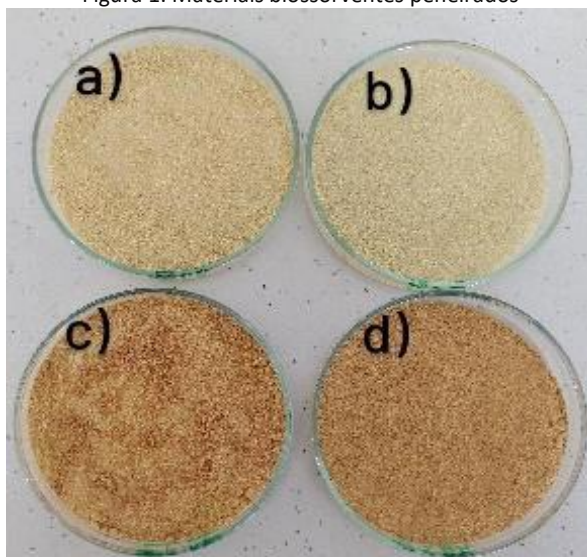
2.6 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura

Neste ensaio, foram analisadas as biomassas antes e após o processo de biossorção do íon cobre. Cada biomassa foi observada nas aproximações de 100, 200, 500 e 1000 vezes. As análises foram realizadas por Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV (modelo *TM3000*, Hitachi) na Central de Análises da UTFPR Pato Branco.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é possível observar os materiais biossorbentes peneirados em membranas de 354 nm: em que a) corresponde bagaço da laranja Pêra; b) casca da laranja Pêra; c) bagaço da laranja Bahia e d) casca da laranja Bahia.

Figura 1. Materiais biossorbentes peneirados



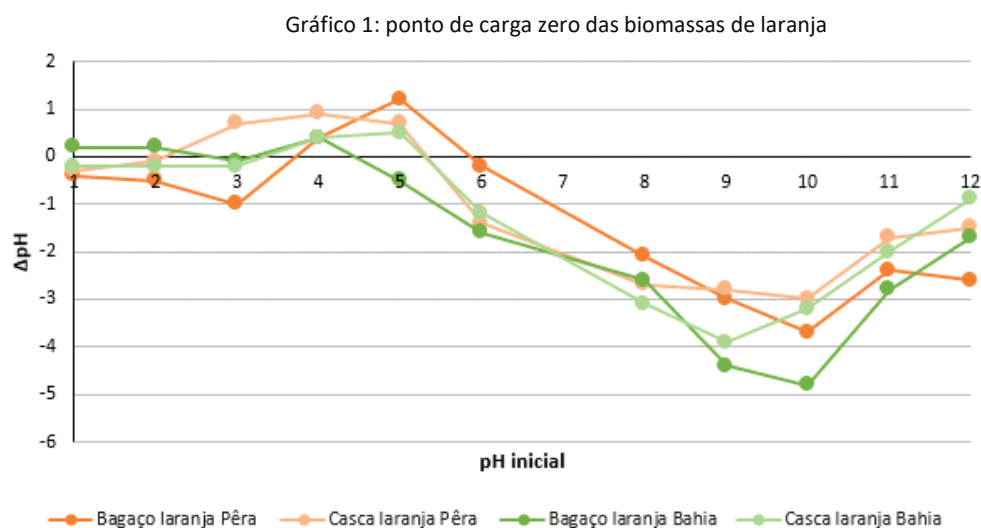
Na Tabela 1 estão dispostos os resultados de pH para o estabelecimento do PCZ e na Tabela 2 estão representadas as variações dos valores de pH (pH final - pH inicial). O Gráfico 1, mostra em gráfico os valores obtidos conforme as variações de pH. No Quadro 1, estão os resultados, indicando os biossorbentes como BLP, bagaço da laranja Pêra; CLP, casca da laranja Pêra; BLBh, bagaço da laranja Bahia e CLBh, casca da laranja Bahia.

Tabela 1. Valores de pH iniciais e finais

pH inicial	pH final			
	BLP	CLP	BLBh	CLBh
1,0	0,6	0,7	1,2	0,8
2,0	1,5	1,9	2,2	1,8
3,0	2,0	3,7	2,9	2,8
4,0	4,4	4,9	4,4	4,4
5,0	6,2	5,7	4,5	4,5
6,0	5,8	4,6	4,4	4,8
8,0	5,9	5,3	5,4	4,9
9,0	6,0	6,2	4,6	5,1
10,0	6,3	7,0	5,2	6,8
11,0	8,6	9,3	8,2	9,0
12,0	9,4	10,5	10,3	11,1

Tabela 2. Variações nos valores de pH

pH inicial	Δ pH			
	BLP	CLP	BLBh	CLBh
1,0	-0,4	-0,3	0,2	-0,2
2,0	-0,5	-0,1	0,2	-0,2
3,0	-1,0	0,7	-0,1	-0,2
4,0	0,4	0,9	0,4	0,4
5,0	1,2	0,7	-0,5	0,5
6,0	-0,2	-1,4	-1,6	-1,2
8,0	-2,1	-2,7	-2,6	-3,1
9,0	-3,0	-2,8	-4,4	-3,9
10,0	-3,7	-3,0	-4,8	-3,2
11,0	-2,4	-1,7	-2,8	-2,0
12,0	-2,6	-1,5	-1,7	-0,9



Através da análise do gráfico acima, é possível estimar o aumento na capacidade de retenção de ânions, com o aumento de pH até próximo a 4,0. Após este valor de pH, a retenção de ânions diminui gradativamente até que em pH próximo ao ponto de carga zero (5,8 para bagaço da laranja Pêra; 5,5 para casca da laranja Pêra; 4,5 para bagaço da laranja Bahia e 5,5 para casca da laranja Bahia) as cargas positivas e negativas se equivale, etapa na qual a curva intercepta o pH inicial. Após o PCZ, predomina-se a atração de cátions pela superfície do biossorvente.

No Quadro 1, pode-se observar os valores do PCZ para cada biossorvente.

Quadro 1. Resultado da determinação do PCZ

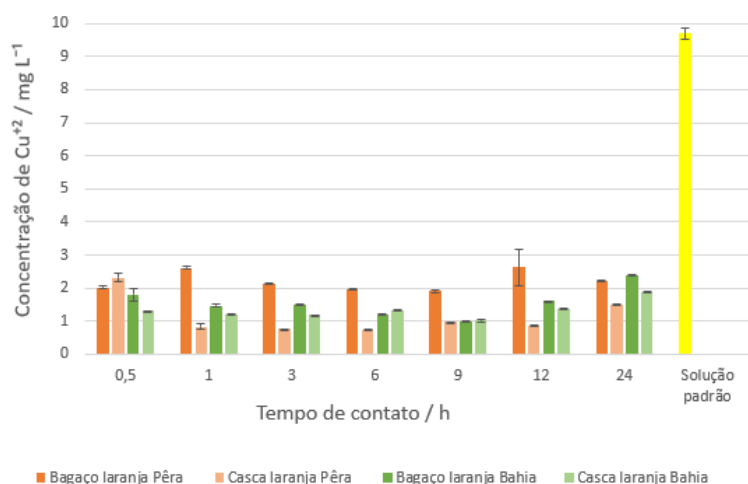
Biomassa	PCZ
BLP	5,8
CLP	5,5
BLBh	4,5
CLBh	5,5

Esses pH's representam que as cargas negativas e positivas estão em equilíbrio, apresentando superfície neutra. Para valores de pH abaixo do PCZ, a superfície da biomassa possui cargas superficiais positivas, desse modo atrai íons negativos. Em valores acima do PCZ a biomassa possui cargas superficiais negativas, atraindo íons positivos (RECH, 2014). Desta forma, o melhor pH a ser utilizado para testes de adsorção de metais com BLP está entre 5,9 e 10,0; para CLP entre 5,6 e 10,0. Já para testes com BLBh, é indicado ser realizados experimentos com pH entre 4,6 e 10,0 e para CLBh entre 5,6 e 9,0.

Proporcionando a continuidade dos estudos para a determinação de melhor massa e melhor tempo para o processo de biossorção, o valor de pH utilizado foi 6,0 para todas as biomassas. Este valor está de acordo com o apontado por Freitas *et al* (2016), em que o valor de pH encontrado foi realizado com a média aritmética dos pontos em que o pH se manteve constante, resultando em um valor 6,72. Formica *et al* (2017), investigou as propriedades adsorptivas da casca da laranja e o valor de PCZ encontrado foi de 6,53 baseado em um gráfico feito com a diferença dos valores de pH inicial e final.

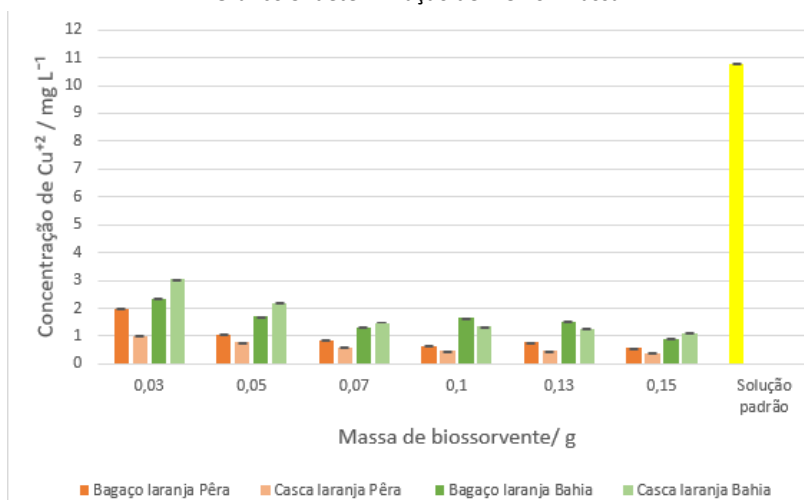
No Gráfico 2 é possível visualizar os resultados da variação do tempo de contato da solução metálica e os bio sorventes. A solução padrão utilizada foi de 10 mg L⁻¹ de cobre. Refletido a isso, observa-se que a princípio, conforme o tempo de contato vai aumentando, a porcentagem de recuperação aumenta junto, porém, em cerca de 12 horas nota-se que o índice de recuperação diminuiu. Possivelmente, isso se deve a capacidade que a biomassa tem de se ligar aos sítios ativos, ou seja, quando ela atinge sua capacidade máxima, ao invés de acontecer a bio sorção, ocorre a desorção de íons; a capacidade do material está expandida, não há espaço para captar novos íons.

Gráfico 2: Investigação do tempo de contato entre solução metálica e bio sorventes



Conforme é possível observar no Gráfico 3, está em destaque amarelo a solução padrão de aproximadamente 11 mg L⁻¹, já as concentrações após a bio sorção, variaram podendo atingir níveis inferiores à 1 mg L⁻¹, resultando em um alto índice de adsorção. Pode-se observar, que o aumento de massa contribuiu para o aumento da bio sorção, independente da biomassa utilizada; este fator, advém da ocupação dos sítios ativos, ou seja, com a maior massa estudada, houve melhor ocupação das unidades ativas da biomassa.

Gráfico 3: determinação de melhor massa



Considerando - se os dados obtidos através das análises realizadas, e levando em conta as massas de 0,03; 0,05; 0,07; 0,1; 0,13 e 0,15 gramas para todas as biomassas, têm-se como resultado, as porcentagens de bioissorção, apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: índices de bioissorção

Massa	% de Bioissorção			
	BLP	CLP	BLBh	CLBh
0,03	90,77	82,51	89,12	85,90
0,05	95,15	90,37	92,11	89,97
0,07	96,10	94,75	84,65	93,21
0,1	96,95	97,57	86,03	93,80
0,13	96,36	97,87	87,12	94,19
0,15	97,35	98,30	89,50	94,87

Os Gráficos 4, 5, 6 e 7 mostram os espectros de infravermelho para os bioissorventes em questão, antes e após a bioissorção, onde em ambas as amostras, os resultados obtidos foram semelhantes. Em coloração alaranjada, representando o processo anterior à bioissorção, é possível observar a banda em torno de 3477 cm^{-1} que representa o grupo -NH; estiramento de amins e amidas secundárias; a banda de 2985 cm^{-1} pode ser atribuída a presença dos grupos -OH e -CH, assim como 1075 cm^{-1} , representa um grupo -CH. Em azul, o espectro apresenta os grupos funcionais que sofreram ligações após o processo, sendo possível verificar a ocupação dos sítios ativos de adsorção após a bioissorção do íon cobre. A observação das bandas do espectro e a identificação dos grupos funcionais são importantes para a análise do comportamento do processo de adsorção. Assim, observando-se o desaparecimento dos picos nas bandas descritas, se nota que os grupos funcionais, facilitam a adsorção dos metais pesados, pois os íons metálicos são atraídos pelos sítios ativos que estão presentes na superfície das partículas (PEREIRA, 2017).

Gráfico 4: Espectro infravermelho do bagaço da laranja Pêra

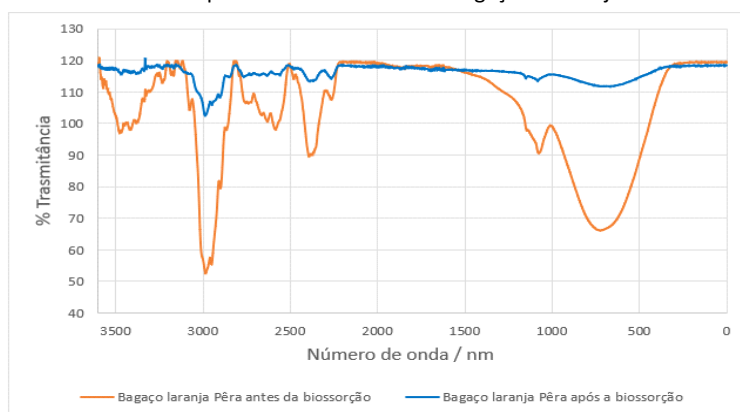


Gráfico 5: Espectro infravermelho da casca da laranja Pêra

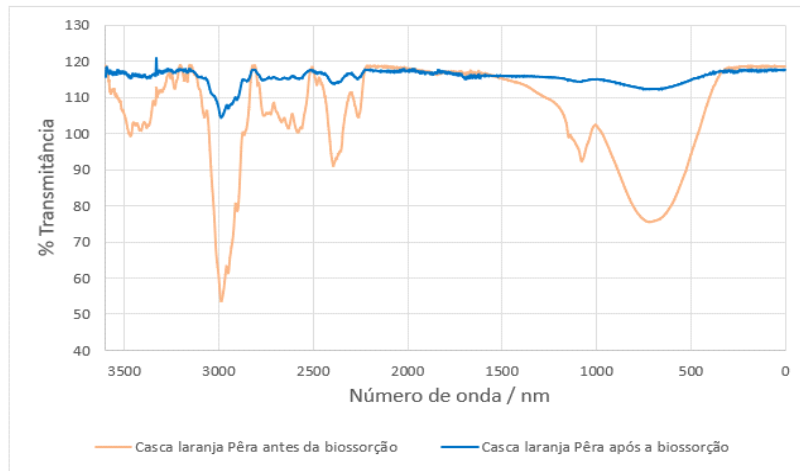


Gráfico 6: Espectro infravermelho do bagaço da laranja Bahia

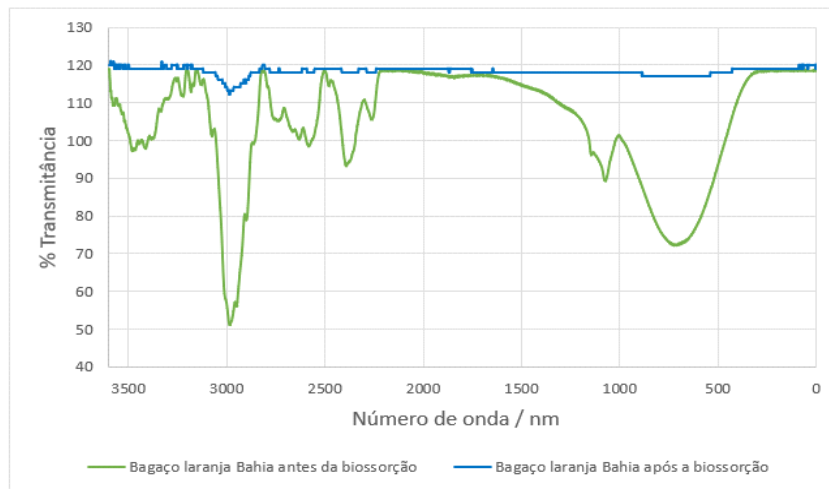
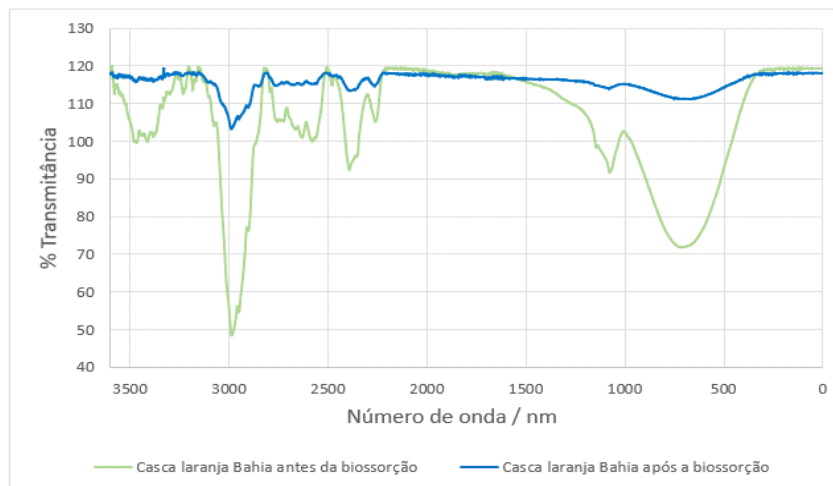


Gráfico 7: Espectro infravermelho da casca da laranja Bahia



A microscopia eletrônica de varredura (MEV), mostra as micrografias obtidas dos bioadsorventes antes e após o processo de bioadsorção. Nas imagens caracterizadas como “A”, Percebe-se a natureza irregular e porosa destes materiais, característica fundamental em estudos de bioadsorção, visto que assim, se torna possível a adsorção do adsorvato nas diferentes partes das biomassas, ocupando as superfícies porosas, como observa-se nas imagens com a letra “B”. (PEREIRA, 2017).

Figura 2: MEV bagaço laranja Pêra

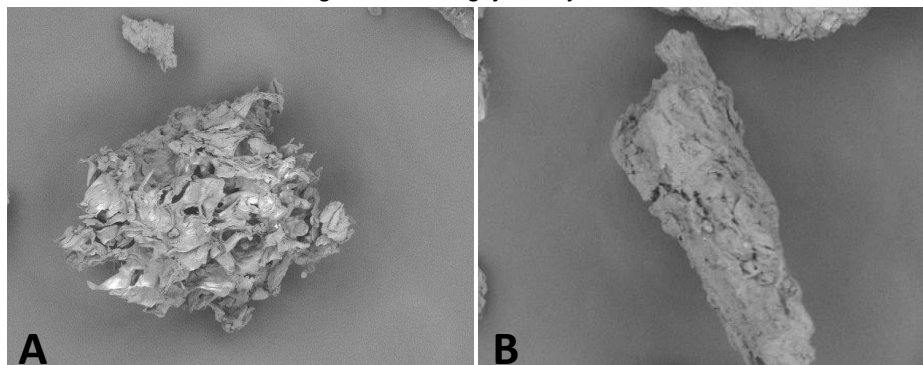


Figura 3: MEV casca laranja Pêra

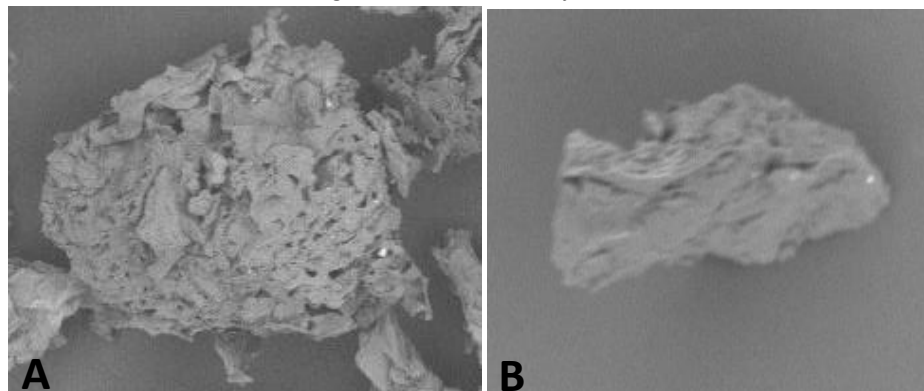


Figura 4: MEV bagaço laranja Bahia

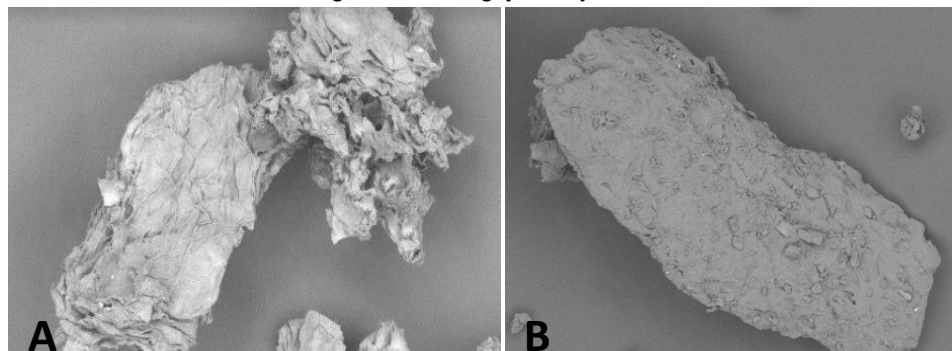
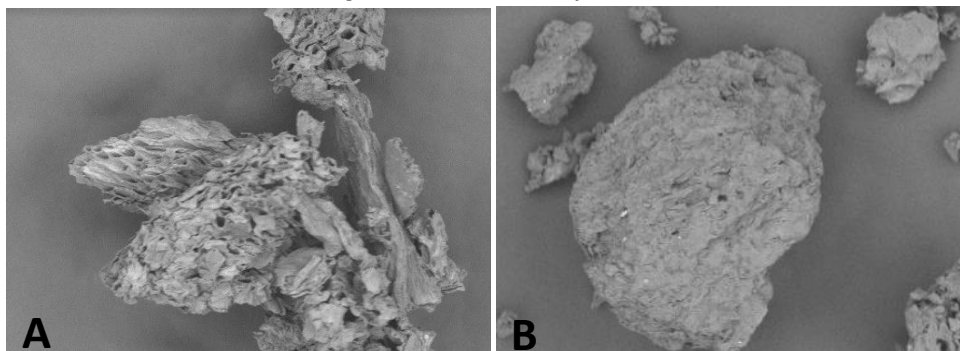


Figura 5: MEV casca laranja Bahia



4. CONCLUSÃO

Conforme os resultados obtidos nos testes, foi possível observar que a laranja, independente da espécie e parte orgânica, possui PCZ entre os valores de pH 4,5 e 6,0. E quanto às porcentagens de bioadsorção, a casca da laranja Pêra obteve 98,30%; o bagaço da laranja Pêra demonstrou 97,35%; a casca da laranja Bahia obteve 94,87% e o bagaço da laranja Bahia demonstrou 89,50% de bioadsorção quando utilizado os tempos de 6 horas para CLP e 9 horas para as demais; com massa de 0,15g e concentração da solução em aproximadamente 10mg L⁻¹ de cobre; podendo-se então, considerar as cascas e bagaços de laranja como bons bioadsorventes de íons cobre.

Por fim, vale lembrar a importância das alternativas que contribuem para a recuperação do meio ambiente, principalmente as que utilizam de materiais orgânicos que seriam descartados, sendo a bioadsorção uma delas. Para a construção de um meio ambiente melhor, são necessárias ferramentas utilizadas com o objetivo de preservação dos recursos naturais e o desenvolvimento social e econômico para as próximas gerações.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, S. M.; CARDOSO, M. G.; PEREIRA, N. E.; RIBEIRO, C. F. S.; SILVA, V. F.; AGUIAR, F. C.; Levantamento da contaminação por cobre nas aguardentes de cana-de-açúcar produzidas em Minas Gerais. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.3, p. 618-624, 2003.

BARCELOS, T. D. J., BARATA, J. L. R. T. Cobre: vital ou prejudicial para a Saúde Humana? Dissertação para grau de mestre em medicina pela Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2008.

BARROCO, I. S.; CASTRO, F. S.; MARTINHON, P. T.; ROCHA, A. S.; SOUSA, C. Impactos ambientais de metais pesados de pilhas tríade água-ar-solo. **Scientiarum História XI**, 2018.

BUENO, BELENIA YANETH MEDINA. Remoção de Pb, Cr e Cu por Processo Combinado Bioadsorção/ Bioflotação utilizando a Cepa *Rhodococcus Opacus*. [Tese de Doutorado]. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2007.

CYPRIANO, D. Z.; da SILVA, L. L.; MARIÑO, M. A.; TASIC, L. A biomassa da Laranja e seus Subprodutos. **Revista Virtual Química**, v. 9, n,1, p. 176-191, Campinas, 2016.

FORMICA, B. C.; BRUDZINSKI, P. B.; CARVALHO, K. Q.; FLORIANO, J. B.; PASSIG, F. H.; LIZ, M. V. Caracterização e avaliação das propriedades adsorptivas da casca da laranja na remoção do corante Direct Blue 86. **Revista Virtual de Química**, v.9, n.2, p.608-625, Curitiba, 2017.

GROSSI, CAROLINE DIAS. Contribuição ao estudo comparativo da biossorção de níquel e cobalto utilizando a bactéria *R. erythropolis* e casca de banana com diferentes tipos de ativação. [Relatório de iniciação científica-PIBIC]. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2018.

LIMA, L. R.; COSTA, O. F.; ALVES, B. S. F.; DANTAS, K. G. F.; LEMOS, V. P.; PINHEIRO, M. H. T. Remoção de Cu(II), Zn(II) e Ni(II) utilizando resíduo de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) como biossorvente em solução aquosa. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 5, p. 1-13, 2020.

MOREIRA, D. A.; SOUZA, J. A. R.; SILVA, É. L.; GONÇALVES, J. M.; REZENDE, D. C. V.; OLIVEIRA, W. M.; RIBEIRO, W. A. S.; REZENDE, J. G. F.. Biossorção de metais pesados pela casca de ovo de galinhas poedeiras. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.7, p.289-295, 2018.

NAÇÕES UNIDAS. Água potável e saneamento. **Objetivos do desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>, acesso em 05/2023.

OLIVEIRA, D. S.; NUNES, C. V. B.; JESUS, L.; LOIOLA, S. A. S.; SANTOS, A. C. A. O. Impactos do mercúrio no meio ambiente e na saúde. Faculdade Alfredo Nasser, **5º Seminário Pesquisar**, 2016.

OMRI, A.; WALI, A.; BENZINA, M. Adsorption of bentazon on activated carbon prepared from Lawsonia inermis wood: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. **Arabian journal of chemistry**, v. 9, p. S1729-S1739, 2016.

PEREIRA, J. E. S. Biossorção de cobre em solução aquosa utilizando os pós das folhas do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) e da carnaúba (*Copernicia prunifera*). **Dissertação de Mestrado** _ Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

PINO, G. H.; TOREM, M. L. Aspectos fundamentais da biossorção de metais não ferrosos estudo de caso. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**, v. 8, n. 1, p. 57-63, 2011.

PODSTAWCZYK, D.; WITEK-KROWIAK, A.; DAWIEC, A.; BHATNAGAR, A. Biosorption of copper (II) ions by flax meal: empirical modeling and process optimization by response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN) simulation. **Ecological Engineering, Netherlands**, v. 83, p. 364–379, 2015.

SHABAN, M.; ABUKHADRA, M. R.; NASIEF, F. M.; EL-SALAM, H. A. Removal of ammonia from aqueous solutions, ground water, and wastewater using mechanically activated linoptilolite and synthetic zeolite-a: kinetic and equilibrium studies. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 228, n. 11, p. 450, 2017.

SILVA, J. L. B. C.; PEQUENO, O. T. B. L.; ROCHA, L. K. S.; ARAÚJO, E. C. O.; MARCIEL, T. A. R.; BARROS, A. J. M. Biossorção de metais pesados: uma revisão. **Revista Saúde e Ciência Online**, v.3, n.3, p.137-149, 2014.

SILVA, M. V. R. Adsorção de cromo hexavalente por carvão ativado granulado comercial na presença de surfactante aniônico (LAS). **Programa de Pós-graduação em Engenharia Química**, Belém, 2012.

TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B.; PÉREZ, D. V. Manual de métodos de análise de solo, 3 ed, cap.9, p.249-254, **EMBRAPA**, Brasília, 2017.

TRAN, H. T.; VU, NGO D.; MATSUKAWA, M.; OKAJIMA, M.; KANEKO, T.; OHKI, K.; YOSHIKAWA, S. Heavy metal biosorption from aqueous solutions by algae inhabiting rice addies in Vietnam. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 2, p. 2529-2535, 2016.

WERNECK, G. O.; REIS, A. L.; DANIEL, K. T.; MELGAR, L. Z. Determinação do ponto de carga zero de adsorventes utilizados na remoção de contaminantes em soluções aquosas. **15º Congresso Nacional de Meio Ambiente**. Poços de Calda, 2018.

ZOMER, M. L.; MARQUES, C. R. M.; CAMPOS, D. P.; MELO, A. R. Utilização do bagaço da laranja e da cinza da casca de arroz como adsorventes de efluente têxtil. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.14, n.1, p.204-216, 2022.