

6

Conclusões e Recomendações para trabalhos futuros

6.1.

Conclusões

Este estudo avaliou a remoção a partir de soluções aquosas de três espécies de metais pesados (Pb(II), Cu(II) e Cr(III)) usando o microorganismo *Rhodococcus opacus* como biosorvente. Estes metais foram selecionados por seu grau de periculosidade à saúde humana, ao ambiente e por serem descartados em diversos efluentes industriais.

Diante dos resultados obtidos, apresentados e discutidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- A capacidade de captação de chumbo, cromo e cobre pelo microorganismo *R. opacus* é dependente do pH do meio, obtendo-se maior eficiência em pH 5,0 para o Pb(II) e pH 6,0 para o Cr(III) e o Cu(II) e concentrações iniciais dos metais de 20 mg.L⁻¹.
- Para o estudo cinético do processo de biossorção em batelada verificou-se que as interações entre os metais e a biomassa são rápidas, apresentado uma fase inicial rápida, 5 minutos para o Pb(II) e 15 minutos para o Cu(II) e Cr(III) seguida de uma segunda etapa mais lenta. A máxima remoção foi atingida em 60 minutos onde ao redor 95%, 52% e 70% dos íons Pb(II), Cu(II) e Cr(III) foram captados pela biomassa e logo a biossorção dos metais atingiu sua estabilização.
- O modelo cinético de pseudo segunda ordem foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para todas as espécies metálicas, apresentando uma constante cinética de 0,105; 0,667 e 0,108 (g/mg.min) para o Pb(II), Cr(III) e Cu(II), respectivamente, para uma concentração inicial de 20 mg.L⁻¹ para todas as espécies.

- As isotermas de adsorção de chumbo, cobre e cromo são regulares, positivas e côncavas ao eixo das concentrações. Considerando a faixa de concentração estudada, os dados experimentais de chumbo, cobre e cromo foram melhor ajustados ao modelo da Isoterma de Langmuir, com coeficientes de correlação acima 0,93. A capacidade máxima de sorção foi de 94,3, 72,9 e 32,2 (mg/g) para o chumbo, cromo e cobre, respectivamente; a afinidade do biosorvente pelas espécies metálicas seguiu a ordem, 0,0704, 0,0589 e 0,0208 (L.mg⁻¹) para o chumbo, cobre e cromo. Essa diferença na afinidade do *R. opacus* pode ser atribuída às propriedades dos metais em questão, dentre elas peso atômico, raio iônico e eletronegatividade.
- No estudo da influência da temperatura na biossorção de Pb(II) encontrou-se um valor da energia de ativação E_A : 30,4 KJ/mol, o qual sugere que a etapa controladora da taxa de sorção é de natureza química.
- No estudo dos parâmetros termodinâmicos da biossorção o valor negativo da ΔG° (-22,1 KJ.mol⁻¹) indicou a espontaneidade do processo, e os valores de ΔH° (10,9 KJ.mol⁻¹) e ΔS° (0,11 KJ.mol⁻¹.K⁻¹) mostraram a natureza endotérmica e irreversível da biossorção do Pb(II).
- As interações entre os íons metálicos e os grupos funcionais na superfície da parede celular da biomassa foram confirmadas pelas análises de FTIR, MEV/EDS. Os grupos funcionais envolvidos na biossorção das espécies metálicas incluíram os grupos carboxila, hidroxila, fosfato e amida. A capacidade de captação dos íons Pb(II) pela biomassa foi reduzida pela presença de outras espécies metálicas no sistema.
- Em sistemas de mistura verificou-se que *R. opacus* apresenta uma afinidade maior para o cromo em comparação com os outros metais em estudo. Isto pode ser verificado através do valor de q_e para cada metal no sistema ternário o qual segue a seguinte ordem: Cr(III)>Pb(II)>Cu(II).
- O modelo modificado da Isoterma de Langmuir representou os dados de equilíbrio da mistura binária dos íons Pb(II) e Cr(III) pela biomassa *R. opacus*. Os resultados mostraram que o Cr (III) tem uma maior afinidade pelos sítios da biomassa do que o íon Pb(II).

- Na bioflotação, verificou-se que o microorganismo apresenta resultados muito promissores como coletor e espumante, obtendo-se percentagens de remoção de Pb(II), Cr(III) e Cu(II) de 94%, 54% e 43%, respectivamente, aos 30 minutos de flotação, partindo de uma concentração de 20 mg.L⁻¹.
- Os resultados obtidos na bioflotação indicaram que a biomassa carregada com as espécies metálicas flota rapidamente, apresentando uma constante cinética de 0,519, 0,453 e 0,263 min⁻¹, para o Pb(II), Cr(III) e Cu(II), respectivamente, de acordo com o modelo não integral, para uma concentração inicial de 20 mg.L⁻¹ para todas as espécies.
- Os resultados apresentados mostram o grande potencial do *R. opacus* no que tange a bioissorção e bioflotação para a remoção de metais pesados.

6.2. Recomendações para trabalhos futuros

Dando prosseguimento ao estudo de bioissorção visando à remoção de metais pesados através do microorganismo *R. opacus*, tanto no processo batelada quanto no processo contínuo, são sugeridos os seguintes trabalhos de pesquisa:

- Estudo experimental para um efluente real;
- Modelagem e simulação numérica para o estudo do efluente real;
- Análise de viabilidade econômica nos ciclos de operação da célula de flotação.