

Avaliação da cinética de comportamento e capacidade de redução de cromo por linhagens bacterianas padrão

Behavioral kinetic evaluation and chromium reduction capacity by standard bacterial strains

Delmar Bizani¹ e Matheus Souza Spagiari²

¹Unilasalle-Canoas/RS
delmar@unilasalle.edu.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
souzasp@hotmail.com

Resumo

Com o crescente desenvolvimento mundial há uma grande geração de resíduos por sistemas agrícolas, industriais e além de diversos acidentes com diferentes poluentes, como por exemplo, de petroquímicas, metal-mecânico, couro-calçadista, mineração etc., levantando uma grande preocupação com o meio ambiente e maiores conhecimentos sobre a sua degradação. Neste sentido, buscam-se alternativas para tentar minimizar problemas ambientais empregando organismos vivos e suas enzimas, na biodegradação de compostos tóxicos visando à sua erradicação, redução ou transformação em substâncias menos tóxicas. Objetivando avaliar a cinética de crescimento, capacidade de sobrevivência e a biorredução, este trabalho utilizou linhagens bacterianas padrão de *Acetobacter acetii* e *Micrococcus luteus*, em meio contendo íon cromo. Os meios contendo íon cromo foram constituídos a partir da dissolução de 850 mg de $K_2Cr_2O_7$, ajustado para 1 litro na concentração desejada de 300 mg L⁻¹. O bioprocesso foi conduzido em frasco de 250 mL em incubadora orbital, a 32°C por 7 dias. A quantificação seguiu a metodologia estabelecida pelo Standard Methods (Método 3500 Cr B). Ambas as linhagens mostraram-se capazes de reduzir as concentrações do íon cromo, com um índice superior a 36%. O comportamento das linhagens em meio líquido apresentou crescimento constante e sem mostrar interferência do íon cromo.

Palavras-chave: Cromo hexavalente, biorredução, *Acetobacter acetii*, *Micrococcus luteus*.

Abstract

With the growing world development there is a big waste generation by agricultural systems, industrial and besides several accidents with different pollutants, such as petrochemical, metal mechanic, leather and footwear, mining, etc., raising concern with the environment and more knowledge about their degradation. In this sense, alternatives are sought to try to minimize environmental problems using living organisms and their enzymes in the biodegradation of toxic compounds aimed at its eradication, reduction or transformation into less toxic substances. To evaluate the growth kinetics, survivability and bioreduction, this study used standard bacterial strains of *Acetobacter acetii* and *Micrococcus luteus* in medium containing chromium ion (VI). The chromium ion-containing media were made up by dissolving 850 mg of $K_2Cr_2O_7$, 1 liter adjusted to the desired concentration of 300 mg L⁻¹. The bioprocess was conducted and 250 ml flask type incubator shaker at 32° C for 7 days. Quantification followed the methodology established by Standard Methods (Method 3500 Cr B). Both strains were shown to be capable of reducing the chromium ion concentrations, containing more than 36% rate. The behavior of strains in liquid medium presented constantly growing and showing no interference of chromium ion.

Keywords: Hexavalent chromium, bioreduction, *Acetobacter acetii*, *Micrococcus luteus*.

1 Introdução

O Brasil demonstra nessas últimas décadas uma maior preocupação em relação ao meio ambiente. Há inúmeras técnicas que visam diminuir as agressões ao meio ambiente, mas infelizmente elas por si só não são suficientes para o controle da degradação provocada nos recursos naturais. Juntamente com o crescente desenvolvimento tecnológico e industrial, há uma constante preocupação no mundo atual com a liberação de resíduos industriais metálicos, pois podem causar danos em todo o ecossistema (ABBAS, 2003). A utilização de metais nas indústrias tem influenciado o incremento de rejeitos industriais altamente tóxicos, que maioria dos casos, são lançados nos ecossistemas sem nenhum tratamento antecipado. Por outro lado, uma vez no ambiente, sob a forma de um contaminante, alguns dos metais pesados podem se mostrar biodisponíveis e assim serem utilizados pelos microrganismos em seu processo fisiológicos (CARNEIRO e GARIGLIO, 2010).

O campo industrial compõe a principal e mais diversificada fonte de contaminação por metais pesados presentes em corpos hídricos. O intenso crescimento industrial representa uma das principais causas da contaminação hídrica. Em muitas situações propiciam lançamentos de muitos poluentes sem o devido tratamento em efluentes, contribuindo para que águas naturais se tornem residuárias, seja pela negligência, no processo de tratamento dos rejeitos procedente do seu despejo nos rios, por acidentes e/ou por descuidos cada vez mais frequentes (JARDIM, 1983).

A liberação do cromo no meio ambiente pode ser devido a vazamentos ou derramamentos na superfície, seguido da contaminando de corpos d'água no ambiente circundante. Além disso, a facilidade de lixiviação até as águas subterrâneas, por causa da solubilidade e mobilidade, são consequências inevitáveis do armazenamento inadequado ou eliminação imprópria em solos. (TANG, YIN e LO, 2011).

O cromo é um metal pesado, obtido através do minério da cromita (FeCr_2O_4), podendo ser encontrado em alguns estados de oxidação, sendo os estados mais importantes o Cr(II) (reduzidor), Cr(III) (mais estável) e o Cr(VI) (oxidante), onde esse estado de oxidação apresenta maior grau de toxicidade das suas espécies. A concentração média deste metal em água doce não po-

luída é de 0,1 a 0,5 mg L^{-1} e em oceanos de 0,0016 a 0,05 mg L^{-1} , porém efluentes industriais lançados no ambiente, que não possuem um tratamento antecipado, podem conter concentrações muito elevadas de cromo (CONCEIÇÃO, 2006).

Já foi considerado um metal de uso estratégico durante o séc. XX, usado em diversos processos industriais, como na indústria metal-mecânica (produção de aço inoxidável, ligas metálicas, chapeamento), indústria química (fabricação de pigmentos, tinturas, catalisadores, impregnação estrutural da madeira), indústria cerâmica (tijolos refratários, porcelanatos e fibrocerâmicos) e indústria couro-calçadista. (HAWLEY et al., 2004). Dentre todos, a indústria couro-derivados é a responsável pela maior parte das questões ambientais associadas ao cromo no Brasil.

Entre os compostos de cromo mais utilizados pelas indústrias estão o dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) e o óxido crômico (CrO_3). O cromo (VI) é a principal valência do metal contida em um grande número de processos industriais, como por exemplo, curtumes, produção de tintas, compostos para proteção de manufaturados de madeira ou couro, galvanoplastia, processos industriais que o usam como catalisador e refino de petróleo, que despejam excessivas quantidades de cromo no meio ambiente (CARLOS et al., 2007; MATHIAS, 2008).

Atualmente, os processos de descromagem (remoção do cromo residual do segmento), envolvem precipitação química, tratamento eletroquímico, filtração com membranas e materiais absorventes, acarretando em custos elevados, baixa eficácia e complexidade operacional. Além disso, estes métodos também produzem subprodutos indesejados, algumas vezes em quantidades maiores do que os que inicialmente se destinam a tratar. Essas técnicas comumente utilizadas para a remoção de metais tóxicos podem não ser eficientes, principalmente quando a concentração do metal é menor que 100 mg L^{-1} (VOLESKY, 1994).

Já foram estudadas muitas tecnologias de tratamento biológico de efluentes contaminados por cromo (VI), das quais, algumas se mostraram satisfatoriamente eficientes. No entanto, a maioria requer o conhecimento de condições específicas de bioprocessos, flexibilização e adaptação de estratégia de abordagem e a consideração que esses métodos não acompanham uma receita

única para um passo a passo de desenvolvimento (CENTER FOR ENVIRONMENTAL RESEARCH, USA, 2000).

Uma série de variáveis devem ser consideradas e analisadas amplamente, ao se escolher uma técnica de biorremediação para o tratamento de uma área contaminada. Entre os parâmetros incluem as propriedades geológicas do sítio (material, porosidade, mistura, profundidade, relevo), hidrogeológicos (profundidade do aquífero, velocidade da água subterrânea, condutividade elétrica) e químicos (substâncias químicas de interesse, nível de contaminação, influência entre as espécies em questão e o ambiente) (HASHIM et al., 2011)

A comprovação da biorremediação de áreas contaminadas com metais se dá através da avaliação dos processos de retenção física e da interação físico-química entre a pluma de contaminação e o solo. Tanto mais demorado é o processo quanto menos poroso é o solo. Por tanto, a capacidade de remediação fica dependente da chegada de oxigênios nas subsuperfície da pluma. Pesquisas comprovam que os metais são biologicamente atenuados no solo dependendo das condições do ambiente e dos tipos de constituintes do sistema solo/água, ocorrendo formação de óxidos, hidróxidos, carbonatos, cátions trocáveis e migração para a matéria orgânica do solo (TANG, YIN e LO, 2011). Neste mesmo sentido, Korf et al. (2008) confirmam que a retenção de metais, em especial o cromo, é maior em solos com constituição argilo-predominante.

O bioprocessos pode ser considerado como uma nova estratégia para o tratamento de locais impactados mediante o uso de microrganismos capazes de modificar ou decompor poluentes. As estratégias dos bioprocessos incluem a utilização de microrganismos autóctones, ou seja, da própria área a ser revitalizada, a adição de agentes estimulantes como: nutrientes, oxigênio e biosurfactantes (bioestimulação) e a inoculação de consórcios microbianos enriquecidos (bioaumento). O benefício desses processos é a mineralização do poluente, isto é, a transformação em gás carbônico, água e biomassa (BENTO, CAMARGO e OKEKE, 2003).

Os processos biotecnológicos que utilizam microrganismos e enzimas por eles liberadas, encontram-se neste novo contexto de procura por opções econômica e ambientalmente viáveis. Esta habilidade de biodegradação de compostos

pode ser utilizada para a redução de impactos das atividades antrópicas no meio ambiente. Uma prática muito antiga e utilizada é a uso de microrganismos em processos de separação natural de metais. As bactérias estão presentes em todos os ecossistemas e estão continuamente desenvolvendo atividades metabólicas, como a síntese de compostos e a sua biodegradação (NOURBAKHSI et al., 2002).

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a cinética de crescimento e capacidade de sobrevivência de *Acetobacter aceti* (ATCC 15973) e *Micrococcus luteus* (ATCC 9341) cultivados em meio contendo íon cromo hexavalente (Cr VI).

2 Material e Métodos

Todos os experimentos descritos neste trabalho foram conduzidos no Laboratório de Microbiologia e Bioquímica de Microrganismos do Centro de Estudo Ambientais do Unilasalle-Canoas/RS.

2.1 Planejamento experimental

A tabela 1 mostra a ordem e a composição das vias utilizadas no experimento do bioprocessos, para cada um dos microrganismos. Para condução dos experimentos em batelada, foram utilizados frascos *Erlenmeyers* de 250 mL, como recipiente de prova.

2.2 Preparação dos microrganismos

As bactérias utilizadas no experimento foram adquiridas da seção de coleção de cultura da Fundação André Tosello¹. São microrganismos que se enquadram no perfil da Coleção de Culturas Tropical (CCT), com padrão quali-metabólico conhecido, os quais estão depositados na coleção na forma restrita ou abertos.

As linhagens bacterianas utilizadas foram o *Acetobacter. aceti* CCT 2565 e o *Micrococcus luteus* ATCC 9341 (atualmente *Kocuria rhizophila* CCT 7444).

O meio utilizado para ressuspender às bactérias e possibilitar a disponibilidade das mesmas para posterior solução de contato com o metal

¹ Seção de Coleção de Cultura: Rua Latino Coelho, 1301 - Parque Taquaral - CEP 13087-010 - Campinas - SP

Tabela 1- Composição sequencial das vias utilizadas no bioprocesso

Via	Composição	Finalidade	Quantidade/Volume
1	Cromo + Bactéria	Quantificação	3 frascos <i>Erlenmeyers</i> de 250 mL
2	Cromo + Bactéria	Det. do Crescimento	1 frasco <i>Erlenmeyers</i> de 150 mL
3	Cromo (VI)	Branco	1 frasco <i>Erlenmeyers</i> de 150 mL
4	Bactéria	Det. do Crescimento	1 frasco <i>Erlenmeyers</i> de 150 mL
5	Bactéria	Branco	1 frasco <i>Erlenmeyers</i> de 150 mL

contaminante, foi o caldo Triptose (*Tryptose Broth*²), em um volume de 100 mL de água .

O pré-inóculo ficou em temperatura constante de 32° C e sob agitação, em incubadora orbital tipo *Shaker*, por intervalo de tempo de 24 horas, para atingir uma concentração aproximada de 10¹¹ UFC mL⁻¹ (unidades formadoras de colônia por mL) e posterior inoculação meio contendo íon cromo (VI).

2.3 Preparação da solução e meios contendo íon cromo

Para o experimento, foi utilizada uma massa de 850 mg de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇), posteriormente ajustada num balão volumétrico à 1 litro de água deionizada, para obter-se uma concentração desejada no experimento igual a 300 mg L⁻¹ de íon cromo (VI). Toda a quantidade de solução utilizada no experimento foi feita e estocada em refrigeração. A partir desta solução, acrescia-se o meio de cultura, nos volumes necessários conformes os tratamentos, após a esterilização em autoclave. O pH final do meio foi ajustado para a faixa ótima para ambos os microrganismos, que foi de pH 6,0.

2.4 Inoculação, incubação e acompanhamento da cinética de crescimento das linhagens bacterianas

Em frasco tipo *Erlenmeyers* de 250 mL, foram adicionados um volume de caldo Triptose de 200 mL, dissolvidos na solução de cromo (item 2,3), juntamente com 5 mL do pré-inóculo [10¹¹ UFC

mL⁻¹]. Nos frascos considerados brancos não foram adicionados os respectivos contaminantes. Foram feita triplicatas para todas as linhagens testadas.

As amostras foram cultivadas em incubadora tipo *Shake*, marca BioScience 300R, na temperatura de 32° C por um período de 7 dias, afim de se observar o crescimento bacteriano e para averiguar o índice de redução na concentração de cromo no meio.

O acompanhamento da cinética de crescimento bacteriano foi através da densidade óptica (D.O), com auxílio de um espectrofotômetro UV/Visível, marca GEHAKA 380G, num comprimento de onda de 600nm, em intervalos de tempo de 24 horas, por 96 horas.

2.5 Quantificação de cromo

A quantificação final dos íons cromo (VI) nas amostras do bioprocesso foi realizada por espectroscopia UV – com agente de complexação, pelo método colorimétrico da difenilcarbazida, conforme a metodologia estabelecida pelo *Standard Methods*, 21^a Ed, Método 3500 Cr B (APHA, 2005). Ante do processo analítico foi procedida a digestão nitro-perclórica da amostra. O líquido final a ser avaliado teve seu pH ajustado num valor <2,00, para então ser acrescido da difenilcarbazida. A solução permaneceu em repouso por 5 a 10 minutos, para estabilização da cor, em seguida foi realizada a leitura das amostras em espectrofotômetro em 540nm.

3 Resultados e Discussões

O *A. aceti* são bactérias que possuem como meio ideal de crescimento o caldo manitol ou

² Acumedia Manufacturers Inc. for NeoGen Corporation, Code N° 7367A. 620, Leshar Place, Lansing, MI, USA

ágar manitol. São gram-negativas e aeróbias. Mobilizam-se através de flagelos do tipo peritríquios (uniformemente distribuídos em volta de sua membrana celular) (EDBERG, 1992). São microrganismos benignos e ubíquos no ambiente, existente em nichos ecológicos alcoólicos, tais como flores, frutos, abelhas produtoras de mel, bem como na água, no solo e na matéria orgânica e ainda em consórcio simbiótico com microinvertebrados. Esta bactéria tem uma longa história de utilização na indústria fermenteira, para a produção de ácido acético a partir de álcool. Não existem relatos na literatura tratando do *A. acetii* como um agente patogênico aos seres humanos ou animais. Tão pouco é considerado um patógeno de plantas. Os riscos potenciais para a saúde humana ou para os ambientes associados à utilização desta bactéria em instalações de fermentação são baixos. Em seu metabolismo, o acetato e lactato, são oxidados a CO₂ e H₂O como produtos finais do microrganismo (EDBERG, 1992).

As bactérias do gênero *Micrococcus* se apresentam em forma de cocos, geralmente organizadas em tétrades não apresentam motilidade, são gram-positivas e aeróbias. Produzem pigmento amarelo insolúvel em água. Este microrganismo é encontrado na pele humana, na água, no solo e na matéria orgânica. A prolongada fase estacionária desde organismo origina células em estado dormente (espécie de hipobiose), permitindo que sobreviva por muito tempo em ambientes extremos (ZERAİK, 2009). *Micrococcus luteus* possui habilidades incomuns para tolerar e usar moléculas orgânicas tóxicas como fonte de carbono. Este microrganismo é conhecido pelo seu potencial na biorremediação e na sua importância para a biotecnologia. Possui duas propriedades essenciais para o tratamento de resíduos tóxicos, a capacidade de degradar poluentes orgânicos tóxicos e sua tolerância com metais (SANDRIN, et al., 2003).

A ideia do presente trabalho, além de avaliar a cinética de crescimento, também foi descobrir se, sob condições de laboratório, as linhagens bacterianas de *A. acetii* e do *M. luteus*, poderiam servir como biorredutores em sistemas de biorremediação nos locais, cujo, cromo estivesse dissolvido e/ou altamente concentrado. Embora não se tenha, neste trabalho, testado a adaptação em escala de forma mais ampla, verifica-se que através dos dados preliminares, essas linhagens

podem constituir um sistema de biofiltro ou ser um aditivo no bioaumento em sistemas de biorremediação "in situ".

Por ser um experimento em condições semi-naturais, mas com uma importância ambiental, ainda carece de novos estudos envolvendo adequações e combinações dos parâmetros físico-químicos para aumentar a eficiência da biorredução, além de conhecimento sobre a interação e interferência da biomassa com o íon metálico em estudo.

Foram realizadas cinco leituras de D.O., com a finalidade de determinar a cinética de crescimento dos microrganismos durante o intervalo de 96 horas e, assim, acompanhar o comportamento dos microrganismos na presença do contaminante íon cromo (VI).

As Figuras 1 e 2 apresentam os resultados do crescimento de *M. luteus* e *A. acetii* durante o tempo de incubação em relação a densidade óptica, em meio com e sem o íon cromo (branco).

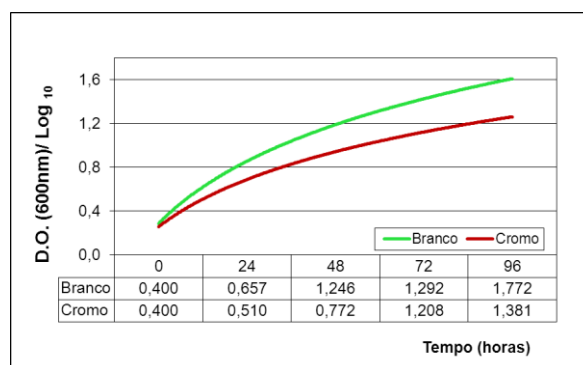


Figura 1 - Comparação das DOs em meio Triptose com e sem íon cromo (VI), em relação ao tempo de incubação da linhagem de *A. acetii*

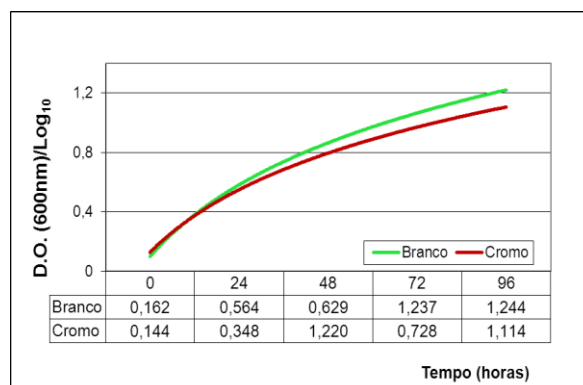


Figura 2 - Comparação das DOs em meio Triptose com e sem íon cromo, em relação ao tempo de incubação da linhagem de *M. luteus*

O comportamento cinético das linhagens de *A. acetii* e *M. luteus* não mostrou inibições signifi-

cativas quando submetidos ao crescimento em meio contendo íon cromo (VI), talvez a pequena diferença observada, entre as vias com e sem o íon cromo, já fosse esperado devido à alta interação iônica do meio. A capacidade de redução (tabela 1) destas linhagens foram, em média, de 36 e 38%, respectivamente para *M. luteus* e *A. acetii*, em meio contendo íon cromo e em condições controladas de temperatura e pH. Nota-se a grande adaptação a esses dois fatores ambientais, o que os tornam fortes candidatos para futuros testes de biorremediação. Ambas as linhagem apresentaram, continuamente, elevação da DO em todos os tempos de avaliação e mantendo-se até seu término, às 96 horas.

A Tabela 2 demonstra os valores resultantes na redução de íon cromo (VI) no final do bioprocessamento por ambas as bactérias.

Tabela 2 -Valores de redução e desvio padrão de íon cromo pelos microrganismos utilizados no bioprocessamento

Microrganismos	Concentração Final* de Cr (mg L ⁻¹)	Porcentual de Redução
<i>M. luteus</i>	191,498 ±11,45	36,167
<i>A. acetii</i>	184,171 ±6,09	38,610

*Concentração inicial foi 300 mg L⁻¹

Estudo de redução de cromo diretamente pela via bacteriana envolvendo as linhagens utilizadas neste experimento ainda são escassos. Entretanto, Bueno et al. (2008) estudaram a remoção de Pb, Cr e Cu através de *Rhodococcus opacus* e observaram que os melhores resultados ocorreram com pH 5,0 e 6,0 para o chumbo e cobre, com uma eficácia de captação pela biomassa de 95% e 52% das respectivas espécies metálicas.

Em isolamentos bacterianos feitos por Conceição et al. (2007), a partir de solos com histórico de contaminação anterior por cromo, foram observados uma grande quantidade de linhagens com capacidade de resistência e de redução do Cr(VI). Também, foi verificada que esta atividade foi levemente inibida pela presença da maioria dos íons; porém, quando o Mg e Mn a inibição foi ainda maior. O processo inibitório, talvez, se deve a competitividade dos íons com canais de porina da membrana bacteriana, ao contrário do Cu que é um metal de transição, que compõe o

grupo prostético de muitas enzimas redutase. São propostas algumas formas de atuação deste metal segundo Abe (2001), como proteção durante o transporte de elétrons, e, em alguns casos, transporte de elétrons entre subunidades da proteína.

Nas células eucarióticas a redução de cromo ocorre principalmente por ação de redutores não-enzimáticos como o ácido ascórbico. Já nas células procarióticas, como normalmente não produzem este ácido, a glutatona está imbuído como principal redutor não-enzimático (STANDEVEN e WETTERHAHN, 1992). Porém, esta redução é ínfima se comparada à redução enzimática realizada por organismos resistentes. A enzima redutora de cromo é de grande importância para os organismos que a produzem, pois realiza a rápida redução do Cr(VI) a Cr(III), sendo este rapidamente eliminado para o meio externo, antes de interagir com as macromoléculas, como DNA e proteínas, o que poderia acarretar danos à célula, por tanto a permanência do íons livres estariam apenas ligado a parede celular.

Em trabalhos revisados por Fossati e Bizani (2013) a biorremediação pode ser afetada por variáveis físicas e químicas como: pH, força iônica, concentração de biomassa e da presença de diferentes metais pesados em solução. Também concluíram que a capacidade de absorção de determinados metais, por parte da biomassa, pode ser reduzida pela presença de outras espécies metálicas no sistema, isso demonstra a interferência dos diferentes tipos de metais no processo. No mesmo trabalho utilizando as mesmas linhagens presente experimento, observaram uma biossorção seletiva, quando todos os íons metálicos foram misturados numa única solução. A sorção do cromo foi diminuída quando chumbo estava presente na mistura. A remoção de cromo chegou a 72% (10,6 mg/g) quando a solução continha apenas cromo. Quando os testes foram realizados com uma mistura de metais (com exceção do chumbo) 46% do cromo foi removido. A presença do chumbo fez com que a remoção do cromo diminuísse para 7%, possivelmente por efeito competitivo.

Analisando as informações desses autores, pode-se ressaltar que a redução seletiva do metal aqui estudado, de 36,1 e 38,6 %, respectivamente pelas linhagens de *M. luteus* e *A. acetii*, pode ser um técnica promissora quando aplicada em so-

luções líquidas ou em efluentes contendo unicamente o cromo dissolvido.

Portanto a biorremediação está limitada a compostos que são assimiláveis e por sua vez biodegradáveis. Nem todos os compostos são susceptíveis à degradação rápida e completa. Os processos biológicos são muitas vezes altamente específicos e, muitas vezes, leva mais tempo do que outros tipos de tratamento. No entanto, ainda se faz necessário um estudo mais aprofundado, principalmente no desenvolvimento de tecnologia limpas e de baixo custo que possam ser aplicadas em escala industrial.

4 Conclusões

O uso de microrganismos com capacidade para a degradação de compostos agressores ao meio ambiente é uma maneira eficaz e de baixo custo econômico para a resolução e diminuição dos problemas que estão evoluindo nos dias de hoje, com o aumento da produção em alta escala industrial e do manejo de novas técnicas de produção.

Este trabalho comprovou que os microrganismos dependendo do ambiente, e dos fatores que são submetidos reagem de forma específica em relação à substância presentes. Fatores ambientais como disponibilidade de água e oxigênio, temperatura e de nutrientes inorgânicos influenciaram na sobrevivência e a atividade dos microrganismos.

Em ambiente cuja água possui dissolvido elementos, que por sua vez possam ser nocivos ao microrganismo, haverá uma limitação no crescimento ou até comprometimento da sua manutenção. Isso implicaria num gasto maior de energia, pois o microrganismo alteraria o seu metabolismo enzimático como contrapartida para a neutralização. Neste sentido, obrigaria o microrganismo a utilizar outro componente disponível no meio e por via degradativa, para gerar energia. No presente trabalho pode-se observar que a redução do cromo se faz necessária à medida que se esgotam os nutrientes orgânicos do meio, ambas a linhagens testadas, o utilizam como elemento integrante do metabolismo bacteriano.

Pela natureza das linhagens de *A. acetii* e *M. luteus* utilizadas no experimento e da sua eficácia na remoção do cromo, acredita-se que este íon tenha sido incorporado pelas bactérias em sua membrana bacteriana, e consequentemente bio-

cumulado-o nas estruturas da parede celular, o que o tornaria biodisponível para um possível processo de mineralização. Desta forma, esses microrganismos apresentam potencial para outros estudos, com vista à aplicação em processos de biorremediação.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Unilasalle-Canoas/RS e as agências de fomento CNPq e Fapergs.

Referências

- APHA/AWWA/WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21^a ed. Washington: American Public Health Association. 1082 p. 2005.
- ABBAS, M. Z. M.; A biorremediação como ferramenta para a minimização de problemas ambientais. Dissertação (mestrado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2003. 110 p.
- BENTO FM, CAMARGO FAO, OKEKE B. Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. Brazilian Journal of Microbiology v. 34, p. 65-68, 2003.
- BUENO, B.Y.M.; TOREM, M.L.; MOLINA, F.; MESQUITA, L.M.S. Biosorption of lead(II), chromium(III) and copper(II) by *R. opacus*: Equilibrium and Kinetic studies. Minerals Engineering. v. 21, n. 1, p. 65-75, 2008.
- CARLOS, M. C.; LEMOS, J. L. S.; RIZZO, A. Remediação de rejeitos industriais empregando microrganismos. XV Jornada de Iniciação Científica CETEM, 2007. Rio de Janeiro, Brasil: CETEM, 2007
- CARNEIRO, D. de A.; GARIGLIO, L. P. A biorremediação como ferramenta para a descontaminação de ambientes terrestres e aquáticos. Revista Tecer. v. 3, n. 4, 2010.
- CENTER FOR ENVIRONMENTAL RESEARCH, I. In Situ Treatment of Soil and Groundwater Contaminated with Chromium: Technical Resource Guide. U.S.A. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. National Risk Management Research Laboratory. Center for Environmental Research Information. Washington, USA. 2000.

- CONCEIÇÃO, D. P. Isolamento de bactéria resistente a cromo hexavalente e purificação parcial da enzima redutora de cromo do *Bacillus* sp. ES29. Dissertação (mestrado). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006. 115p.
- CONCEIÇÃO, D. P et al. Redução de cromo hexavalente por bactérias isoladas de solos contaminados com cromo. *Cienc. Rural*, v.37, n.6, p. 1661-1667. 2007.
- EDBERG, S. Human health assessment: *Acetobacter aceti*. Unpublished, U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C, 1992.
- FOSSATI, J.; BIZANI, D. Estudo do bioprocesso utilizando bactérias aeróbias no tratamento da drenagem ácida da mineração de carvão. Dissertação (mestrado). Canoas: Centro Universitário La Salle. 2013. 120p.
- HASHIM, M. A. et al. Remediation technologies for heavy metal contaminated groundwater. *Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 10, p. 2355-2388, 2011.
- HAWLEY, E. L, DEEB, R. A, KAVANAUGH, M.C, JACOBS, J.A; Treatment technologies for chromium (VI) In: Guertin J, Jacobs JA, Avakian CP, editors. Chromium(VI) handbook. Boca Raton: CRC Press; 2004. p. 273–308.
- JARDIM, W. F. Metais pesados, um dano irreparável. *Revista Brasileira de Tecnologia*. v.14, n.2, 1983.
- KORF, E.D.; MELO, E. F.; THOMÉ, A.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; Retenção de metais em solo da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de sólidos urbanos em Passo Fundo-RS. *Revista Ciências Ambientais*. v.2, n.2, p. 43-60, 2008.
- MATHIAS, C. J. Estudo da função da proteína Alr1 de *Saccharomyces cerevisiae* na desintoxicação de metais.. Dissertação (mestrado). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008
- NOURBAKSH, M. N.; KILIÇARSLANA, A. S.; İHANC, S.; OZDAGB, H. Biosorption of Cr⁶⁺, Pb²⁺ and Cu²⁺ íons in industrial waste water on *Bacillus* sp. *Chemical Engineering Journal*. v. 85, n.(2-3), p. 351-355, 2002.
- SANDRIN, T.R.; MAIER, R.M. Impact of metals on the biodegradation of organic pollutants. *Environ. Health. Persp.* n. 111, p. 1093-1101, 2003.
- STANDEVEN, A.M.; WETTERHAHN, K.E. Ascorbate is the principal reductant of chromium (VI) in rat lung ultrafiltrates and cytosols, and mediates chromium–DNA binding in vitro. *Carcinogenesis*, Amsterdam, v.13, n.8, p.1319-1324, 1992.
- TANG, S. C. N.; YIN, K.; LO, I. Column study of Cr (VI) removal by cationic hydrogel for in-situ remediation of contaminated groundwater and soil. *Journal of Contaminant Hydrology*. v. 125, n. 1, p. 39-46, 2011.
- VOLESKY, B. Advances in biosorption of metals: selection of biomass types. *FEMS Microbiology Reviews*. v.14, p. 291- 302, 1994.
- ZERAIK, A. E. Biosurfactantes como agentes inibidores da adesão de patógenos em superfícies de poliestireno. Dissertação (mestrado). São Paulo: Universidade de São Paulo. 2009.