

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## A BIODEGRADAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS ASSOCIADA AO CULTIVO DE *Geobacillus* *stearothermophilus*: UMA ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTE

\* Ana Karine Portela Vasconcelos<sup>1</sup>  
Marisete Dantas de Aquino<sup>1</sup>  
Tailena Naiara Fabrício<sup>2</sup>  
Marylia Albuquerque Braga<sup>2</sup>  
Isabelly da Silva Lima<sup>2</sup>  
Rinaldo dos Santos Araújo<sup>2</sup>

BIODEGRADATION OF TEXTILE DYES ASSOCIATED WITH  
CULTIVATION OF *Geobacillus stearothermophilus*: AN  
ALTERNATIVE FOR BIOSURFACTANT PRODUCTION

Recibido el 10 de octubre de 2012; Aceptado el 25 de febrero de 2013

### Abstract

Nowadays environmental issues have a great appeal before society. Among these, wastewater from textile industries is a precursor of pollution for water bodies, by the degrading water quality, harming the biota and impairing more noble uses. Given this, the biological treatment is a viable alternative for biodegradation of aquatic pollutants. To this end this study aimed to analyze the degradation of textile dyes (methyl orange and methylene blue) associated with the cultivation of *Geobacillus stearothermophilus*, UCP 986, under thermophilic aerobic condition and in the absence of additional sources of carbon, as an alternative for biosurfactant production. During the cultivation, it was evaluated the variables color, pH, total protein, biomass, emulsification index and emulsification activity. Our results showed degradation after 24h cultivation, through the reduction of color, both for methyl orange (15 mg/L) and methylene blue (10 mg/L). This ratified the ability of *G. stearothermophilus* for treating colorful waste without impacting the environment, besides producing biomass for further treatments of recalcitrant molecules. The production of biosurfactant was satisfactory and promising, confirming its biotechnological potential in the recalcitrant degradation.

**Key Words:** methyl orange, methylene blue, biodegradation, biosurfactant, *Geobacillus stearothermophilus*

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Brasil

<sup>2</sup> Departamento da Área de Química e Meio Ambiente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

\*Autor correspondente: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 713, 1º andar, Bairro: Pici, Fortaleza, Ceará, CEP: 60451-970. Brasil. Email: [karine\\_portela@hotmail.com](mailto:karine_portela@hotmail.com)

## Resumo

Atualmente, as questões ambientais apresentam um grande apelo junto à sociedade. Dentre estas, as águas residuárias oriundas de indústrias têxteis são precursores de poluição nos corpos aquáticos, degradando a qualidade das águas, prejudicando a biota e os usos mais nobres. Nesse cenário, o tratamento biológico é uma alternativa viável de degradação de poluentes aquáticos. Assim, este trabalho objetiva estudar a biodegradação de corantes têxteis (alaranjado de metila e azul de metileno) associada ao cultivo de *Geobacillus stearothermophilus*, UCP 986, em condição aeróbia e termofílica e na ausência de fontes adicionais de carbono, como alternativa na produção de biossurfactante. Durante o cultivo foram avaliadas as variáveis de cor, pH, proteínas totais, biomassa, índice e atividade de emulsificação. Os resultados mostraram que houve degradação, após 24h de cultivo, através da redução de cor, tanto para o alaranjado de metila (15mg/L) quanto para o azul de metileno (10mg/L). Esse fato ratifica a capacidade do *G. stearothermophilus* em tratar resíduos coloridos sem causar impactos ao ambiente, além de produzir biomassa para posterior tratamento de moléculas recalcitrantes. A produção de biossurfactante foi considerada satisfatória e promissora, ratificando o seu potencial biotecnológico na degradação dos recalcitrantes.

**Palavras chaves:** alaranjado de metila, azul de metileno, biodegradação, biossurfactante, *Geobacillus stearothermophilus*

---

## Introdução

O aumento crescente da fiscalização pelos órgãos governamentais com relação ao descarte de efluentes e à poluição ambiental causada pelas indústrias, aliada à crescente preocupação com as questões ambientais, têm aumentado o interesse na pesquisa em tecnologias efetivas para remoção dos mais diversos tipos de contaminantes, principalmente dos recalcitrantes (Araujo, 2008).

Os corantes, em sua maioria, são agressivos ao meio ambiente, pois a poluição dos corpos de água com estes compostos provocam, além da poluição visual, alterações nos ciclos biológicos afetando a vida aquática, principalmente, nos processos de fotossíntese (Medeiros, 2011). Segundo Carreira (2006), os corantes são produtos químicos normalmente aplicados em solução, os quais se fixam de alguma forma em um substrato. As principais características desejáveis nos corantes são: serem estáveis à luz, apresentarem uma distribuição uniforme, propiciarem um alto grau de fixação e resistirem ao processo de lavagem. Os corantes têxteis apresentam dois componentes-chave: o grupo cromóforo, responsável pela cor, e o grupo funcional, que se liga às fibras do tecido. Existem centenas de corantes citados na literatura, e classificados por sua natureza química ou em termos de sua aplicação ao tipo de fibra. Estudos mostram que algumas classes de corantes, principalmente os corantes azo e básico (e seus subprodutos), podem ter caráter carcinogênico, mutagênico ou paralelamente formar complexos com outros produtos descartados no efluente (Kunz *et al.*, 2002).

A degradação dos azo corantes tem como reação inicial a clivagem redutiva do grupo azo. Contudo, sob condições anaeróbicas estas reações podem ser catalisadas por diversos sistemas biológicos, conduzindo ao acúmulo de amins aromáticas (Zimmermann *et al.*, 1982). Entretanto, estes corantes também podem ser reduzidos sob condições aeróbias (Hu, 1994; Nachiyar e Rajakumar, 2004). Segundo a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (2009), a decomposição do azul de metileno pode gerar óxido de enxofre e óxido nítrico; além de causar efeitos toxicológicos em organismos aquáticos e na qualidade da água. Esses subprodutos são tóxicos à biota aquática, diminuem a quantidade de oxigênio dissolvido, e modificam as propriedades e características dos cursos d' água (Oliveira, 2006). Por todas as características apresentadas, o azul de metileno torna-se um resíduo difícil de tratar e, sendo catiônico, tem alta reatividade.

Segundo Guaratini e Zanoni (2000) em geral, as tecnologias convencionais, como por exemplo, os processos físico-químicos (adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica e fotoquímica) mostram-se pouco eficientes no tratamento desses poluentes. Em razão desse fato, o estudo de novas propostas se torna de fundamental importância.

Dentre diversas alternativas de tratamento para efluentes industriais, o tratamento biológico de degradação, especificamente, o processo aeróbio vem se destacando por ser ambientalmente mais adequado, já que proporciona uma completa mineralização do poluente orgânico a baixo custo, apresentam elevada remoção de DQO e, remoção de corantes solúveis (Pandey *et al.*, 2007). Araujo (2008), as principais limitações do processo aeróbio são: a não remoção de corantes recalitrantes, o alto consumo de energia e, a geração de grande volume de lodo. Segundo Wiegant (1986) e Rintala (1992), resultados encontrados no tratamento termofílico demonstram vantagens como: taxas metabólicas mais altas e maior remoção de patógenos. E como desvantagens, em relação ao mesofílico: alto consumo de energia, maior instabilidade do processo e, em alguns casos, perda da biomassa no efluente.

De acordo com Colla e Costa (2003), o biossurfactante é uma molécula anfipática produzida por microrganismos e, possui, portanto, uma porção hidrofílica e outra hidrofóbica conferindo propriedade solubilizante. A maior vantagem dos biossurfactantes quando comparados aos surfactantes sintéticos reside na sua diversidade estrutural, baixa toxicidade, biodegradabilidade, maior taxa de redução de tensão superficial, solubilidade em água, estabilidade térmica, estabilidade quanto a valores extremos de pH, produção a partir de substratos renováveis e, a capacidade de modificação estrutural através da engenharia genética

ou técnicas bioquímicas. Apesar dessas propriedades, as mesmas ainda não são capazes de competir economicamente com os surfactantes químicos, principalmente devido ao seu alto custo.

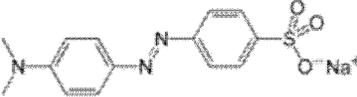
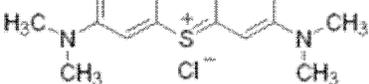
Em paralelo a essas propriedades, os biosurfactantes estão sendo estudados para a biorremediação de poluentes (Costa, Nitschike, Conteiro, 2008). Por isso, a escolha dos microrganismos é definitivamente importante para uma maior degradação nos processos biológicos, significando que a descoloração biológica é possível (Chang, Chien, Chen, 2001b). Na literatura a caracterização dos biosurfactantes é feita pelas técnicas de UV-VIS, espalhamento de luz e cromatografia (LC/MC). E como análises complementares de caráter qualitativo, utiliza-se a atividade de emulsificação (Cirigliano e Carman, 1984) e o índice de emulsificação que evidencia quantitativamente o biosurfactante produzido (Cooper e Goldenberg, 1987). Nesse cenário, propôs-se verificar a produção de biosurfactante associada à degradação de corantes têxteis durante o cultivo de *G. stearothermophilus* em condições de termofilia e sem fontes suplementares de carbono.

## Materiais e métodos

### Corantes

Para a utilização das soluções corantes no experimento foram preparadas inicialmente, soluções estoques, as quais foram adicionadas ao meio de cultura, em volume final de 150 mL, para obtenção das concentrações finais conforme mostrado na tabela 1. Essas soluções de corantes foram previamente filtradas com esterilidade, em filtro de 0,45 µm. As principais características dos corantes estudados são apresentadas na tabela 1.

**Tabela 1.** Relação entre os corantes e suas principais características

Corantes	Alaranjado de metila	Azul de metileno
Color Index (CI)	Acid Orange 52 (13025)	Basic Blue 9 (52015)
Grau de Pureza (%)	99	97
Formula Molecular	$C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$	$C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot XH_2O$
Estrutura Molecular		
Fabricante	Sigma Aldrich	Vetec Quimica Fina
Concentrações Estoques (mg/L)	450 e 900	300 e 600
Concentrações Finais (mg/L)	15 e 30	10 e 20

### Microrganismo

O microrganismo utilizado foi o *Geobacillus stearothermophilus* UCP 986, Gram-Positivo, termofílico isolado de ambientes impactados por petróleo. A bactéria foi repicada para o meio líquido BHI e incubada por 24h a 37°C. Uma segunda repicagem foi feita e preservada em meio sólido inclinado Agar Nutrient (AN), da fabricante BIOLIFE, a 4°C. A preparação do inóculo ocorreu através do cultivo de microrganismos em frascos erlenmeyeres de capacidade 250 mL com 50 mL do meio Luria Bertani (LB) e incubado a 50°C por 24h sob agitação em shaker a 150 rpm. Em seguida foi realizada a leitura espectrofotométrica da densidade óptica a 660 nm ( $DO_{660nm} = 1,212$ ).

### Ensaio de degradação

O experimento foi realizado, em duplicata, utilizando frascos erlenmeyeres de 250 mL, nas concentrações de corante já citadas, além da alíquota controle (150 mL de meio LB + e 1 mL de inóculo). O cultivo foi realizado por um período de 48h, sob agitação orbital (150 rpm) a temperatura de 50°C. Alíquotas foram retiradas nos tempos de 12h, 24h, 36h e 48h, e em seguida as mesmas foram submetidas à centrifugação de 3500rpm por 20 min, para separação das células do líquido metabólico, e posterior realização das análises de cor, pH, proteínas totais, biomassa, atividade e índice de emulsificação.

A degradação dos corantes foi acompanhada por espectroscopia de UV-VIS de absorção molecular, quantificando a diminuição da intensidade da banda de absorção máxima ( $\lambda_{max}$ ) do corante ( $\lambda_{azul} = 668nm$  e  $\lambda_{alaranjado} = 503nm$ ), em um espectrofotômetro Evolution 60 S (Thermo Scientific), faixa de leitura 190 a 1000 nm.

### Parâmetros avaliados

As análises realizadas utilizaram as técnicas descritas na tabela 2.

**Tabela 2.** Relação dos parâmetros, técnicas e unidades utilizadas.

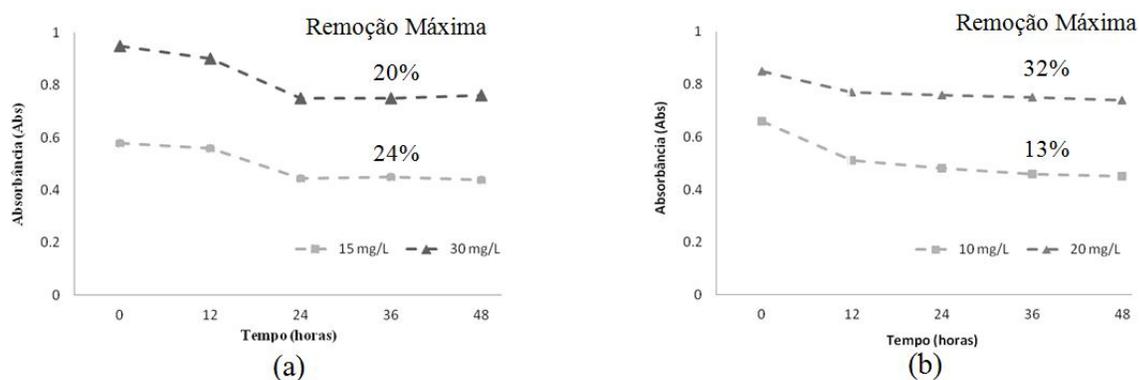
Parâmetros	Técnica utilizada	Unidade
Cor	Standard Methods, Espectrometria.	Abs
pH	Direto, Potenciométrico	-
Proteínas totais	Kit de proteínas totais, LABTEST®	g/dL
Biomassa	Standard Methods, Gravimetria.	g
Índice de emulsificação	Cooper e Goldenberg, 1987	%
Atividade de emulsificação	Cirigliano e Carman, 1984	UAE

## Resultados e discussão

### Biodegradação de Cor

Na degradação de cor, percebe-se que, nas primeiras 12h de cultivo, não há alteração da cor, evidenciando um período de adaptação do microrganismo. A partir desse tempo de cultivo os diferentes corantes foram, provavelmente, utilizados pelo microrganismo como fonte de energia e fonte de carbono. Este fato é corroborado pelos valores de proteínas totais que foram reduzidos, do meio, após este tempo.

Observa-se ainda, que as maiores remoções de cor, em condições aeróbias, promovidas pelo *G. stearothermophilus*, UCP 986, ocorreram com 15mg/L e 10mg/L, respectivamente, para o alaranjado de metila e o azul de metileno, conforme o Figura 1a e 1b.



**Figura 1.** Perfil de remoção de corante, por *G. stearothermophilus*, após 48 horas de cultivo aeróbio na presença de corante alaranjado de metila (a) e do corante azul de metileno (b)

Utilizando o corante alaranjado de metila, verifica-se que a partir de 24h ocorre à estabilização da cor e uma boa produção de biomassa colorida. Esse fato ratifica o estudo de Evangelista-Barreto (2006) que usando o *G.stearothermophilus* também removeu satisfatoriamente o corante alaranjado II nas primeiras 24h de cultivo na presença de glicose e com agitação moderada, o que proporcionou também boa produção de biomassa, esta ainda mostrou-se colorida, contrastando com os controles indicando bioadsorção, fato que se repetiu no presente ensaio.

Observa-se maior redução de cor no cultivo de menor concentração para os corantes testados, implicando em um percentual de remoção de cor de 24% e 32% para, respectivamente, o alaranjado de metila e o azul de metileno, proporcionando pequena capacidade de degradação. Esse fato ratifica Suzuki *et al.* (2001) que em suas pesquisas apontam o alaranjado de metila com lenta biodegradação. Ainda segundo esse autor, outros fatores que interferem diretamente no potencial de biodegradação dos corantes, como por exemplo, a temperatura, a disponibilidade de oxigênio e, a salinidade.

Na concentração de 20mg/L, do azul de metileno, a descoloração apresentou caráter inibitório. Esses dados ratificam os resultados obtidos por Ong *et al.* (2006) que utilizaram o mesmo corante, em condições anaeróbias, em concentrações altas (entre 100 a 1350 mg/L) e obtiveram efeitos negativos na eficiência de remoção de cor. Outro fato importante observado é que a biomassa separada por centrifugação, ao longo do cultivo apresentava-se parcialmente colorida, indicando que parte do corante foi concomitantemente adsorvida na parede celular do microrganismo, atestando as observações de Aksu (2004).

Diante dos dados experimentais obtidos, inferi-se que o processo de adsorção foi bem mais significativo quando comparado com o processo de remoção de cor por ação biológica. Portanto, sugeri-se a combinação de processos, físico e biológico, a fim de garantir a eficiência da remoção. Fato que é ratificado por Kunz *et al.* (2002) quando afirma que a tendência é o estabelecimento de metodologias que combinam os processos biológicos com outras alternativas físicas ou físico-químicas, tais como floculação, adsorção ou oxidação eletroquímica.

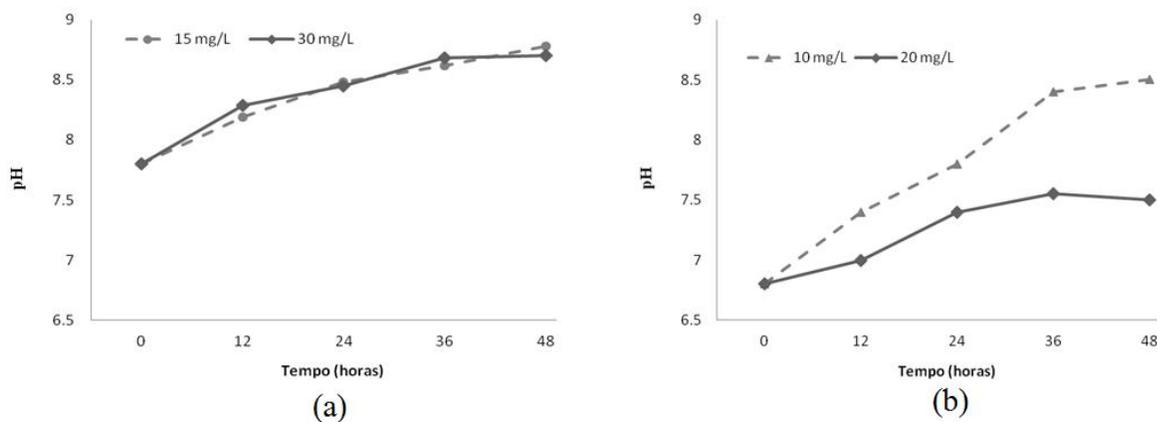
A variação de pH do corante de alaranjado de metila, indica leve tendência ao meio alcalino (pH 8,5), conforme a Figura 2a. Esse fato aponta que há degradação do corante, independente das concentrações testadas, nas condições aeróbias e ausência de fonte adicional de carbono, devido à formação de aminas pela clivagem da ligação azo, que alcaliniza o meio. Esse comportamento é relatado por Rieger *et al.* (2002) que descreve a clivagem da ligação azo com a introdução de um doador de elétrons, substituindo a dupla ligação com nitrogênio por hidrogênio e, formando aminas aromáticas e, produzindo, em seguida, nitrato, gás carbônico e polímeros.

A alcalinização do meio também pode ser alcançada, pela decomposição da molécula do azo corante, com liberação de hidroxila (OH<sup>-</sup>), e produção mínima de proteína, (Barbosa, Gondim e Paz, 2007). Segundo Adikane, Dange, Selvakumari (2006), a variação do pH está ligada a produção de proteína e a utilização da fonte de carbono, quanto menos assimilável, menor a descoloração e maior o pH.

Verifica-se, ainda, que a alcalinização do meio pouco favorece a redução de cor, mesmo não sendo dadas as condições de anaerobiose que Evangelista-Barreto (2006) aponta como mais eficiente pelo fato de o oxigênio inibir a enzima redutora, embora alguns microrganismos após período de adaptação sejam sim, capazes de degradar corante azo, sendo, portanto em fator positivo de se avaliar, já que os tratamentos de águas residuárias aeróbios são comuns e eficientes de um modo geral.

Çinar *et al.* (2008) relatam ensaios com o corante Remazol Brilhante Violeta 5R utilizando as duas vias metabólicas seguidas, anaeróbia e aeróbia, obtendo insignificante remoção do corante na fase aeróbia em relação à anaeróbia, esse fato pode ter ocorrido pelo rápido consumo da glicose nos primeiros momentos da anaerobiose e conseqüentemente maior remoção, inviabilizando a remoção na aerobiose. Os resultados obtidos com o alaranjado de metila foram significativos, pois mesmo na ausência de fonte de energia adicional removeu, cerca de 24% de cor, na concentração de 15mg/L do corante.

Ao longo do cultivo com o azul de metileno, os resultados de pH, mostram-se acima da faixa de neutralidade (Figura 2b) indicando presença de subprodutos do metabolismo com características alcalinas, o que é explicado também pelo fato do próprio corante apresentar propriedade alcalina (Ong *et al.*, 2007). A menor variação de pH se refere a maior concentração inicial do azul de metileno (20 mg/L), o que sugere adaptação mais lenta do microrganismo ao corante e baixa descoloração.



**Figura 2.** Variações de pH durante cultivo com *G. stearotherophilus*, em condições aeróbias, na presença de alaranjado de metila (a) e corante azul de metileno (b)

A partir do líquido metabólico centrifugado, delineou-se o perfil de proteínas totais e da biomassa produzida a partir dos corantes pesquisados. Os valores obtidos são dispostos na tabela 3.

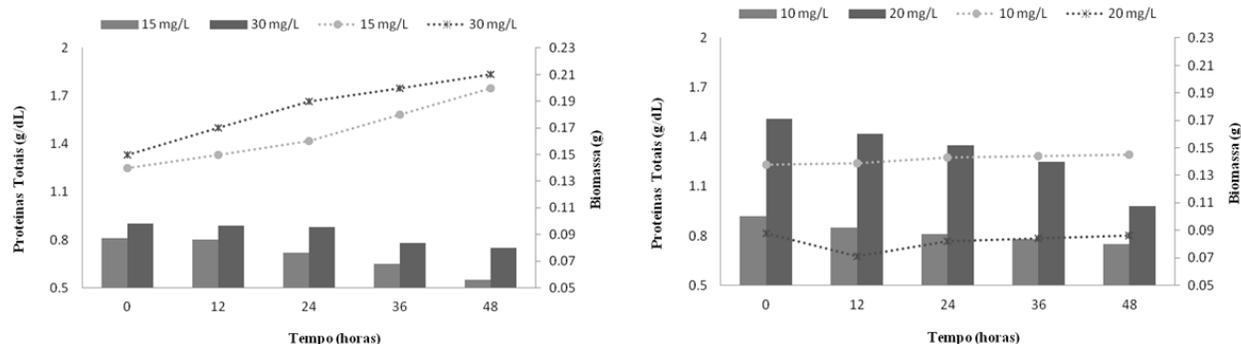
**Tabela 3.** Valores de proteínas e biomassa produzidas com o Alaranjado de Metila e Azul de Metileno

Tempo cultivo (h)	Alaranjado de Metila				Azul de Metileno			
	15mg/L		30mg/L		10mg/L		20mg/L	
	Proteínas (g/dL)	Biomassa (g)	Proteínas (g/dL)	Biomassa (g)	Proteínas (g/dL)	Biomassa (g)	Proteínas (g/dL)	Biomassa (g)
0	0.81	0.14	0.90	0.15	0.92	0.138	1.51	0.088
12	0.80	0.15	0.89	0.17	0.85	0.139	1.42	0.071
24	0.72	0.16	0.88	0.19	0.81	0.142	1.35	0.082
36	0.65	0.18	0.78	0.20	0.78	0.143	1.25	0.084
48	0.55	0.21	0.75	0.21	0.75	0.145	0.98	0.086

De modo geral, os resultados apontam para o decaimento de nutrientes ao longo do cultivo, sugerindo a sua utilização pelo microrganismo para desenvolvimento, crescimento e manutenção celular.

Os ensaios com o alaranjado de metila apontam que a presença do corante contribui para obtenção de maior quantidade de biomassa, em ambas as concentrações testadas. Este comportamento indica que o microrganismo adapta-se as condições adversas do corante, de forma que a toxicidade do composto não é capaz de inibir a produção de proteínas (Figura 3a).

Com o azul de metileno, perfil descrito na Figura 3b, as maiores concentrações de proteínas ocorrem para a concentração de 20mg/L do corante. Observa-se, que a maior quantidade de biomassa ocorre para os ensaios com 10mg/L, conforme Figura 3b, do azul de metileno. Enquanto que a concentração de 20mg/L sugere certa toxicidade ao corante, inibindo o desenvolvimento, quando comparado às condições padrões. Segundo Liu e Sun (2008), quando bactérias são expostas a corantes antimicrobiais, estes são primeiramente adsorvidos sobre os sítios aniônicos da membrana, substituindo os cátions divalentes, e posteriormente danificando a parede celular.



**Figura 3.** Perfil de Proteínas Totais e Biomassa durante cultivo de *G. stearothermophilus* na presença de alaranjado de metila (a) e azul de metileno (b)

### Produção de Biossurfactante

A partir do biossurfactante produzido no líquido metabólico são realizados o Índice e Atividade de Emulsificação. Os resultados obtidos são dispostos na tabela 4.

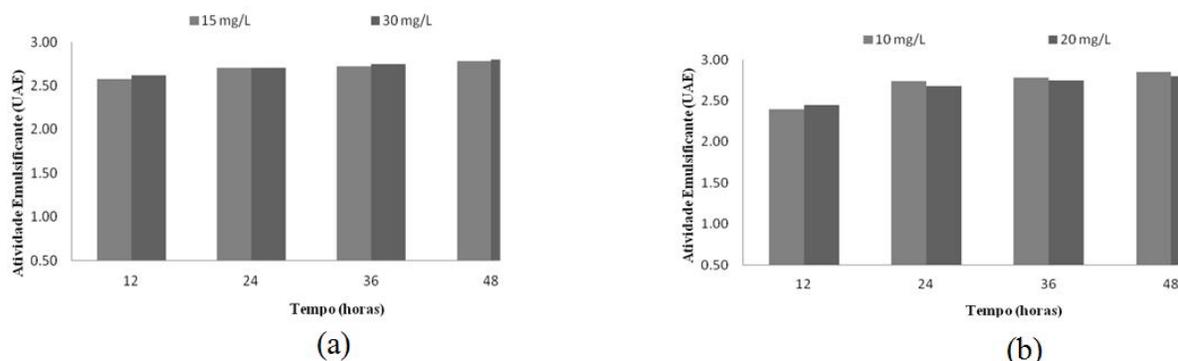
**Tabela 4.** Perfil do Índice de Emulsificação e da Atividade de Emulsificação, no cultivo de *G. stearothermophilus*, na presença de alaranjado de metila e azul de metileno

Tempo de cultivo (h)	Alaranjado de Metila				Azul de Metileno			
	15mg/L		30mg/L		10mg/L		20mg/L	
	%IE	UAE	%IE	UAE	%IE	UAE	%IE	UAE
12	25.6	2.58	31.1	2.62	7.4	2.40	2.8	2.45
24	17.9	2.70	20.7	2.70	30.5	2.74	27.9	2.68
36	29.5	2.72	21.6	2.75	33.0	2.78	28.1	2.75
48	19.2	2.78	33.8	2.80	33.4	2.85	30.4	2.80

UAE = unidade de atividade emulsificante; %IE = Índice de atividade emulsificante

O melhor resultado da análise quantitativa (índice de emulsificação) de biossurfactante é com 36 h de cultivo para 15mg/L (29.5%) e 48h de cultivo para 30mg/L (33.8%) de alaranjado de metila. Enquanto para o corante azul de metileno, o melhor resultado é com 48 h de cultivo, com 10mg/L (33.4%) e 20mg/L (30.4%).

A atividade de emulsificação (análise qualitativa) apresenta melhor resultado com 48h de cultivo, acima de 2.8 UAE, para todas as concentrações testadas.



**Figura 4.** Perfil de Atividade de Emulsificação no cultivo de *G. stearotherophilus* na presença de corante alaranjado de metila (a) e azul de metileno (b)

Os percentuais, obtidos, na variação da Atividade Emulsificante são apresentados na tabela 5.

**Tabela 5.** Variação em percentual para Atividade de Emulsificação com de alaranjado de metila e azul de metileno, no cultivo de *G. stearotherophilus*

Tempo (h)	Alaranjado de Metila		Azul de Metileno	
	15mg/L	30mg/L	10mg/L	20mg/L
	%	%	%	%
0	0	0	0	0
12	90.5	91.9	84.2	86
24	94.7	94.7	96.1	94
36	95.4	96.5	97.5	96.5
48	97.5	98.2	100	98.2

Somente a partir de 12h de cultivo observa-se atividade emulsificante, de modo representativo em ambos os corantes. O alaranjado de metila, especificamente, independente das concentrações testadas, atinge seu maior valor após 24h de cultivo. Enquanto que o azul de metileno conseguiu melhor resultado na concentração de 10mg/L, a partir de 36h de cultivo.

### Conclusões

Diante das informações apresentadas, pode-se inferir que:

- Houve moderada degradação dos corantes pelo *G. stearotherophilus*, em condições aeróbias e termofílica, evidenciadas pelos resultados de cor e proteínas, em especial para as menores concentrações do alaranjado de metila e azul de metileno (15 e 10mg/L, respectivamente), indicado o efeito dos inibidores.

- A maior eficiência no processo de remoção de cor ocorreu com a concentração de 15mg/L de alaranjado de metila, em torno de 24%, e na concentração de 10mg/L de azul de metileno com aproximadamente 32%, indicando baixa eficiência do tratamento.
- O microrganismo *G. stearothermophilus* (UCP 986) produziu quantidades significativa de biossurfactante, o que se evidenciou pelos valores consideráveis de atividade emulsificante, ratificando o seu potencial biotecnológico na degradação recalcitrante com promissora produção de biossurfactante. Os maiores percentuais foram para 15mg/L de alaranjado de metila (90,5%) e 10mg/L de azul de metileno (100%).

### Referências bibliográficas

- Adikane H.V.; Dange M.N.; Selvakumari K. (2006) Optimization of anaerobically digested distillery molasses spent wash decolorization using soil as inoculum in the absence of additional carbon and nitrogen source. *Bioresource Technology*, **97**, 2131 –2135.
- Aksu, Z. (2004) Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. *Process Biochemistry*, **40**, 997–1026.
- Araujo, F. V. da F. (2008). **Estudo do processo Fenton Heterogêneo utilizando hematita (FeO) como catalisador na descoloração de soluções de corante reativo**, Tese (Doutorado em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, Brasil.
- Azul de Metileno. Merck Chemicals. Disponível em: <[http://www.merckchemicals.com/brazil/azul-de-metileno-c-i-52015/MDA\\_CHEM\\_159270/p\\_ghGb.s1L\\_mIAAAEWs.EfVhTI](http://www.merckchemicals.com/brazil/azul-de-metileno-c-i-52015/MDA_CHEM_159270/p_ghGb.s1L_mIAAAEWs.EfVhTI)>. Acesso em: 28 janeiro de 2013.
- Barbosa, A. P. A.; Gondim A. L. do N.; Paz, M. C. de F. (2007). Remoção do corante preto pirazol por *Pseudomonas aeruginosa*. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica (CONNEPI), João Pessoa, Paraíba, Brasil.
- Carreira, M. F. (2006) **Sistemas de Tratamento de Efluentes Têxteis – uma análise comparativa das tecnologias usadas no Brasil e na península Ibérica**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Santa Catarina, Brasil.
- Chang, J.-S.; Chien, C.; Chen, S.-Y (2001b). Decolorization of azo dyes with immobilized *Pseudomonas luteola*. *Process Biochemical*, **36**, 757-763.
- Cirigliano, M. C.; Carman, G. M. (1984) Isolation of a bioemulsifier from *Candida lipolytica*. *Applied and Environmental Microbiology*, **48**, 747-750.
- Çinar, Ö.; Yasar, S.; Kertmen, M; Demiröz, K; Yigit, N. Ö.; Kitis, M. (2008), Effect of cycle time on biodegradation of azo dye in sequencing bath reactor. *Process Safety and Environment Protection*, **86**, 455-460.
- Colla, L. M.; Costa, J. A. V. (2003) Obtenção e aplicação de biossurfactantes. *Vetor*, **13**, 85-103.
- Cooper, D. G.; Goldenberg, B. G. (1987) Surface-active agents from two Bacillus species. *Applied and Environmental Microbiology*, **53**, 2, 224-229.
- Costa, S. G. V. A. O.; Nitschike, M.; Conteiro, J. (2008) Produção de biotensoativos a partir de resíduos de óleos e gorduras. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, **28**, 1, 34-38.
- Evangelista-Barreto, N. S. (2006). **Descoloração do azo corante alaranjado II por Geobacillus stearothermophilus, Pseudomonas aeruginosa e P. fluorescens isolados e em cultura mista**. Tese (Doutorado em Ciências biológicas). Universidade Federal de Pernambuco. Recife-Pernambuco, Brasil.
- Guaratini, C. I.; Zanoni, M. V. B. (2000) Corantes têxteis. *Química Nova* **23**, 1, 71-82.
- Hu, T. L. (1994) Decolourization of reactive azo dyes by transformation with *Pseudomonas luteola*. *Bioresour Technol Journal*, Essex, **49**, 47-51,

- Kunz, A.; Peralta-Zamora, P.; Moraes, S. G.; Durán, N. (2002). Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. *Química Nova*, **25**, 1, 78-82.
- Liu, J.; Sun, G (2008). The biocidal properties of anthraquinoid dyes. *Dyes and Pigments* **81**, 231-234.
- Medeiros, A. G. de (2011). **Avaliação dos tratamentos convencional e por oxidação química na degradação de corantes em efluentes têxteis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos), Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), Joinville, Santa Catarina, Brasil.
- Nachiyar, C.V.; Rajakumar, G.S. (2004). Mechanism of Navitan Fast Blue S5R degradation by *Pseudomonas aeruginosa*. *Chemosphere*, **57**, 165-169.
- Oliveira, J. L. (2006). **Fotodegradação de Corantes Têxteis e Aplicação da Quitosana como Tratamento Terciário destes Efluentes**. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil.
- Ong, S.; Toorisaka, E.; Hirata, M.; Hano, T. (2006) Treatment of methylene blue-containing wastewater using microorganisms supported on granular activated carbon under packed column operation. *Environ Chem Letters*, **5**, 95-99.
- Pandey, A.; Singh, P.; Iyengar, L (2007), Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **59**, 73-84.
- Paz, M. C. F. (2005) **Identificação e caracterização de *Bacillus licheniformis* e *Geobacillus stearothermophilus*: Produção de biossurfactante e degradação de dibenzotiofeno (DBT) – por uma nova amostra de *Geobacillus stearothermophilus* UCP 986**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil.
- Rieger, P.-G.; Meier, H.-M.; Gerle, M.; Vogt, U.; Groth, T.; Knackmuss, H.-J (2002). Xenobiotics in the environment: present and future strategies to obviate the problem of biological persistence. *Journal of Biotechnology*, Germany, **94**, 101-123.
- Rintala, J. A. (1992). **Thermophilic and mesophilic anaerobic treatment of pulp and paper industry wastewaters**. Tese de Doutorado. Tampere University of Technology, Tampere, Finland.
- Soares, J. L. (1998) **Remoção de corantes têxteis por adsorção em carvão mineral com alto teor de cinzas**. Dissertação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – Santa Catarina, Brasil.
- Wiegant, W. M. (1986). Thermophilic anaerobic digestion of waste and wastewater treatment. Tese de Doutorado. Department of Environment Technology, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.
- Zimmernn, T.; Kulla, H.G.; Leisinger, T. (1982). Properties of purified orange II azoreductase, the enzyme initiating azo dye degradation by *Pseudomonas* KF46. *Journal Biochemical*, **129**, 197-203.