

II-212 – TRATAMENTO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE PROCESSAMENTO TÊXTIL EM REATOR COM INÓCULO FÚNGICO E ESCOAMENTO CONTÍNUO

Carolina de Oliveira Marinho⁽¹⁾

Graduada em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará. Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental – PGTGA/IFCE.

Jane Kelly Vasconcelos de Sousa

Graduanda em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará.

Alyce Hélida Bastos de Sousa

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará-Campus Maracanaú. Graduada em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará. Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental – PGTGA/IFCE.

Kelly de Araújo Rodrigues

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão. Mestre em Saneamento Ambiental - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental pela UFC. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Professora doutora do Instituto Federal do Ceará - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental – IFCE/PGTGA.

Carlos Ronald Pessoa Wanderley

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará. Mestrado em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE.

Endereço⁽¹⁾: Av.Tabatinga, 2483 – Sapupara CEP: 61950-000 - Maranguape - CE Fone: (85) 3341.8129, e-mail: marinholcarolina@ymail.com

RESUMO

O setor têxtil tem uma posição de destaque na economia dos países mais desenvolvidos e também é a principal atividade de desenvolvimento de muitos dos chamados países emergentes. Porém, ao mesmo tempo em que a indústria têxtil contribui para o desenvolvimento dos países, também contribui com a degradação de mananciais, por gerar elevados volumes de resíduos líquidos que têm contaminantes, especialmente corantes sintéticos, que são de difícil tratamento e causam grande impacto ambiental. Neste intuito, o presente trabalho visou estudar a remoção do corante Índigo carmim, matéria orgânica, em termos de Demanda Química de Oxigênio (DQO) bruta e solúvel e o monitoramento do pH de uma água residuária sintética têxtil simulando um efluente oriundo de etapa de lavagem de tecidos no processamento têxtil por *Aspergillus niger* AN400 em meio aquoso, utilizando reator contínuo e de fluxo ascendente com um Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 12 horas. Foi avaliada a influencia da glicose na concentração de 1,0 g.L⁻¹. As maiores remoções de matéria orgânica bruta, solúvel e corante foram registradas na 8^a coleta com percentuais de 99,88%, 99,77% e 99,95%, respectivamente. O pH registrado nas coletas estiveram entre a faixa de 3,22 a 4,8, comprovando o metabolismo ideal para o fungo.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria têxtil, fungos, escoamento contínuo e remoção.

INTRODUÇÃO

A atividade industrial no decorrer dos anos tornou-se essencial para a sociedade. Embora sua importância seja indiscutível, a mesma pode causar sérios danos ao ambiente pelo descarte inadequado de rejeitos gasosos, líquidos e sólidos (FREIRE *et al.*, 2000). As indústrias têxteis têm contribuído para uma extensiva contaminação dos recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos devido aos consumos elevados de água e ao descarte de efluentes contendo compostos recalcitrantes ou poluentes orgânicos persistentes (ALMEIDA *et al.*, 2004).

O setor têxtil tem uma posição de destaque na economia dos países mais desenvolvidos e também é a principal atividade de desenvolvimento de muitos dos chamados países emergentes, consequentemente é um dos segmentos de maior tradição dentre os industriais. No Brasil, o mesmo destaca-se entre os 24 setores mais importantes da atividade industrial (KUNZ *et al.*, 2002).

Segundo a Associação Brasileira de Indústria Têxtil (ABIT), a nível mundial, em 2011, o Brasil foi o 5º maior produtor têxtil, o 4º maior produtor de confeccionados do mundo e ainda está entre os oito grandes mercados de fios, filamentos e tecidos (ABIT, 2011). Há cerca de trinta mil empresas formais no país que geram um faturamento de aproximadamente 67 bilhões de dólares (ABIT, 2012). Porém, ao mesmo tempo em que a indústria têxtil contribui para o desenvolvimento dos países, também contribui com a degradação de mananciais, por gerar resíduos contaminantes resultantes das etapas de beneficiamento dos tecidos (DELLMATRICE, 2005).

Os efluentes têxteis quando lançados nos corpos aquáticos receptores, mesmo em quantidades reduzidas, podem alterar a coloração natural dos rios já que provocam efeitos estéticos facilmente perceptíveis. Além disso, reduzem a eficiência de alguns processos fotossintéticos, prejudicam a degradabilidade dos processos biológicos e apresentam compostos recalcitrantes, como os corantes, que podem estar associados à toxicidade crônica e aguda (KUNZ *et al.*, 2002). De acordo com Silva Filho (1994), o resíduo aquoso pode conter até 50% dos produtos químicos utilizados no beneficiamento, o que faz com que o seu tratamento seja essencial.

Os corantes são comercializados comumente sob as formas natural e sintética. Há atualmente uma maior e diversificada demanda por corantes sintéticos. Tal fato é motivo de preocupação, pois essas substâncias são potencialmente tóxicas podendo provocar dermatites, alergias, rinites, alterações carcinogênicas e mutagênicas (OBÓN *et al.*, 2005).

Os métodos utilizados para a classificação dos corantes têxteis podem ser pelo tipo de fibra, como por exemplo, os corantes para nylon, algodão e poliéster (CATANHO *et al.*, 2006); pela forma de fixação à fibra com as seguintes classes: os reativos, os diretos, os azóicos, os aniônicos (ácidos e básicos), à cuba, ao enxofre, dispersos, pré-metalizados e branqueadores (GUARATINI *et al.*, 2000) e de acordo com sua estrutura química, como por exemplo, azo, antraquinona, indigoides e etc (HUNGER, 2003). Mais de 90% dos 4.000 corantes testados pela “Ecological and Toxicological Association of the Dyestuffs Manufacturing Industry” (ETAD) apresentaram altos valores de toxicidade. As maiores taxas de toxicidade foram obtidas para os corantes diazo, básicos e diretos (ROBINSON *et al.*, 2001).

A crescente preocupação com a conservação ambiental tem restringido o uso de corantes sintéticos, levando a legislações mais rígidas quanto ao descarte desses efluentes, incentivando o desenvolvimento de tecnologias eficazes para o seu tratamento antes do seu lançamento nos corpos d’água (PADMAVATHY *et al.*, 2003).

No Brasil, o controle de cor de efluentes líquidos é feito através de padrões de qualidade de corpos d’água que recebem estes despejos. Os padrões de qualidade da água para o lançamento de efluentes para corantes/cor estão dispostos na Resolução Federal CONAMA nº 357 de 17 de Março de 2005. O artigo 14º desta resolução estabelece que para rios de classe 1 o efluente deve estar ausente visivelmente de corantes artificiais. Já os rios de classe 2 e classe 3, os artigos 15º e 16º, respectivamente, estabelecem a ausência de corantes que não sejam removidos por processos de coagulação, sedimentação e filtração convencionais, possuindo cor limitante de 75 mg Pt/L. Em relação a águas salinas de classe 1 e classe 3, o artigo 18º e o artigo 20º, respectivamente, estabelecem a ausência de corantes artificiais visualmente.

A grande diversidade e complexidade desses efluentes, aliados a imposições das legislações ambientais no controle de liberação de corantes em ambientes aquáticos, provoca certa predileção pela utilização de processos que realmente possam degradar as espécies de interesse, em função dos inconvenientes citados. Possuindo normalmente os menores custos, os tratamentos biológicos têm sido empregados para eliminar corantes de efluentes têxteis e promover a redução da carga orgânica presente. Além disso, por serem ecologicamente corretos; produzirem menos lodo que os sistemas físicos e químicos, baixo custo de funcionamento, promoverem, possivelmente, a completa mineralização de corantes e a facilidade encontrada na implantação de sistemas que operem em grande escala, os processos biológicos granjeiam um lugar de destaque na descoloração de efluentes têxteis (VAN DER ZEE e CERVANTES, 2009).

O uso de fungos em reatores biológicos constitui-se em uma tecnologia alternativa e inovadora, a qual vem em crescente expansão, sendo utilizada com sucesso para a remoção de compostos recalcitrantes, como os corantes. O grande potencial de fungos na remoção de corantes têxteis pode ser explicada pelo fato destes micro-organismos identificá-los, consumindo-os naturalmente como nutrientes, desencadeando um processo de absorção, sendo o corante transformado em substâncias mais simples que são captadas por meio de seus filamentos (HANSEN, 2009). Além disso, os fungos apresentam uma importante estratégia nutricional, produção de enzimas extracelulares não específicas e fortemente oxidantes capazes de romper grande variedade de ligações moleculares heterogêneas de compostos considerados tóxicos. Esses micro-organismos sobrevivem e crescem sob condições limitantes, em meios com concentração elevada de compostos persistentes ao tratamento biológico e possuem capacidade de suportar possíveis choques de carga orgânica e grandes variações de oxigênio, de umidade e de pH (CHANDER e ARORA, 2007).

A proposta deste trabalho é estudar o uso de fungos como inóculo de reator de escoamento contínuo, visando o tratamento de uma água residuária sintética simulando a água de lavagem oriunda do processo de tingimento de jeans de uma indústria têxtil, avaliando a eficiência de remoção de corante, matéria orgânica bruta e solúvel pelo *Aspergillus Niger* AN400 com a adição da glicose como cossubstrato. Além disso, o monitoramento do pH durante os experimentos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Cultivo, produção e imobilização da espécie fúngica em meio suporte.

O cultivo e produção da espécie fúngica foi realizado de acordo com os procedimentos descritos em Sampaio (2005). Cultivou-se o *Aspergillus niger* AN400 em placas de Petri com meio de cultura Agar Sabouraud Dextrose, acrescido de 1 mL da solução de Vishniac por litro de meio de cultura e 0,05 g.L⁻¹ de cloranfenicol, antibiótico para minimizar a proliferação das bactérias. As placas foram mantidas a temperatura de mais ou menos 28°C por 7 dias.

Depois do período de incubação das placas, os esporos de *Aspergillus niger* AN400 foram removidos com 4 mL de solução de Tween 80 e transferidos para tubos de ensaio. Para contagem dos esporos preparou-se uma solução utilizando 50µL de suspensão, previamente agitada, acrescida de 950µL de Tween 80 que resultou em diluição de 1: 20. Em seguida foram transferidos, para uma câmara de Newbauer, 20µL da solução preparada, onde se procedeu a contagem dos esporos em microscópio óptico. Para o calculo do número de esporos foi utilizada a equação abaixo:

$$\text{Esporos. mL}^{-1} = \text{esporos contados} \times \text{diluição} \times 2,5 \times 10^5$$

A espécie *Aspergillus niger* AN400 foi imobilizada em espuma de poliuretano (60 g) cortada em cubos de 1 cm de aresta – previamente esterilizada por 20 min a 121°C –, com uso de frascos de 3 L, contendo 5 g.L⁻¹ de glicose e 4 L de meio de crescimento, constituído por (g.L⁻¹): Sulfato de amônio (0,5); Nitrato de sódio (0,25); Sulfato de magnésio (0,25); Fosfato de Potássio dibásico anidro (0,2); Cloreto de cálcio (0,01); Sulfato de cobre (0,08); Ácido molibídico (0,05); Sulfato de manganês (0,05); Sulfato férrico (0,05); Sulfato de zinco (0,04). Foi ainda adicionado ao meio solução de Vishniac (1 mL.L⁻¹) e 0,5 g.L⁻¹ de clorofenicol.

Em seguida, foi inoculado 2×10^6 esporos.mL⁻¹ da suspensão de esporos dentro do reator de escoamento contínuo que já continha as espumas de poliuretano (60 g) esterilizadas, e meio de crescimento, sendo o procedimento realizado próximo ao bico de Bunsen, para minimizar contaminação.

Inicialmente, o reator permaneceu sob aeração durante 24 horas, sendo alimentado com o referido meio de crescimento, durante 10 dias, até a formação do biofilme na superfície do material suporte, em regime de batelada. Após esse período, o reator foi operado em regime de escoamento contínuo.

Água de lavagem

A água residuária sintética utilizada nesta pesquisa foi simulada de acordo com um efluente oriundo de etapa de lavagem de tecidos no processamento têxtil. Na caracterização deste efluente foi quantificado o valor médio

de concentração de corante em torno de 100 mg. L⁻¹. A preparação do efluente sintético foi realizada com água de torneira adicionada de glicose com concentração de 1 g.L⁻¹, solução Vishiniac com concentração de 1mL.L⁻¹ e nutrientes nas concentrações apresentadas na Tabela 1 e 2.

Tabela 1 - Macronutrientes adicionados para composição da água resíduária.

CONSTITUINTE	CONCENTRAÇÃO G.L ⁻¹
(NH4) ₂ SO ₄	0,5
NaNO ₃	0,25
KH ₂ PO ₄	0,20
MgSO ₄	0,25
CaCl ₂ .2H ₂ O	0,01
CuSO ₄ .7H ₂ O	0,08
H ₂ MoO ₄	0,05
MnSO ₄ .5H ₂ O	0,05
Fe ₂ (SO ₄) ₃	0,05
ZnSO ₄	0,04

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2006).

Tabela 2 - Composição da solução de Vishiniac adicionada na água resíduária.

COMPOSTO	CONCENTRAÇÃO mg.L ⁻¹
H ₃ BO ₃	50
FeCl ₂ . 4H ₂ O	2000
ZnCl ₂	50
MnCl ₂ . 4H ₂ O	500
CuCl ₂ . 2H ₂ O	38
AlCl ₃ H ₂ O	90
CoCl ₂ 6H ₂ O	2000

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2006).

A água residual apresenta em sua composição o corante Índigo Carmim (Figura 1), que tem como principal aplicação industrial o tingimento de roupas (*blue jeans*) e outros produtos derivados do *denim* (BOLZON, 2007). O corante Índigo Carmim é fundamentalmente insolúvel em água, porém durante o processo de tintura a solubilização desses corantes é corrigida por ação redutora com o hidrossulfito de sódio e o produto obtido recebe o nome de “leuco”, forma reduzida solúvel em água (SONG *et al.*, 2010). A concentração de Hidrossulfito de sódio adicionada na água resíduária têxtil sintética foi de 0,02 g.L⁻¹.

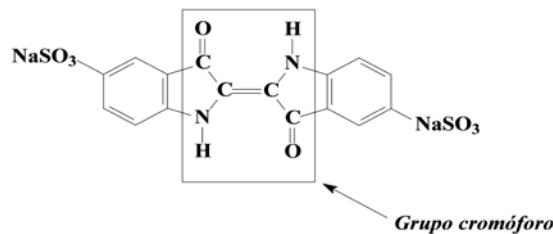


Figura 1: Estrutura molecular do corante têxtil Índigo Carmim. Fonte: Quintero e Cardona (2009); Ammar *et al.*, (2006).

As leituras de absorbância foram realizadas no comprimento de onda de 675 nm, correspondente à máxima absorção da molécula corante, no cromóforo =C=C=. As medidas foram realizadas por espectroscopia de absorção molecular, utilizando-se um espectrofotômetro UV-Vis Shimadzu 1601 PC.

Cossubstrato

Foi utilizado como cossubstrato a glicose, sendo sua concentração de 1 g.L^{-1} para verificação da influência da mesma sobre a remoção de corante e matéria orgânica bruta e solúvel presente no efluente sintético.

Operação e monitoramento do reator biológico com fungos

O reator aeróbio de leito fixo com fluxo ascendente (Figura 2) foi confeccionado em acrílico, com um volume útil de 4L e diâmetro interno de 90 mm e 80 cm de altura. A unidade possui dispositivos de entrada e saída da água residuária que será tratada e ainda dois dispositivos para entrada de ar, um na parte inferior e outro na parte superior do reator cujo fornecimento será realizado por mini-compressor de ar, com potência de 220 KW e vazão de aproximadamente $4,1 \text{ L.min}^{-1}$.

O reator foi operado durante 48 dias com TDH de 12 horas, onde eram realizadas coletas na entrada e saída do sistema.

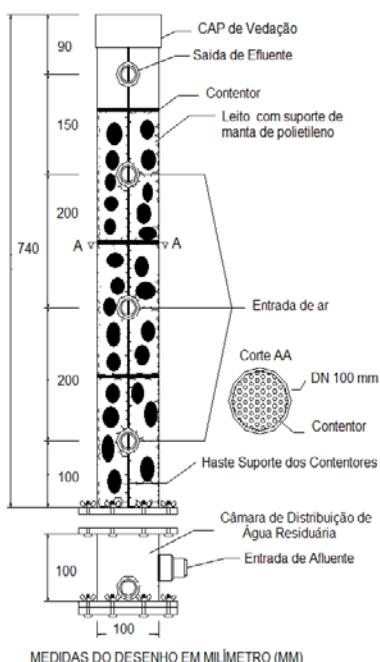


Figura 2: Reator aeróbio e de leito fixo e escoamento ascendente

Variáveis Analisadas

No monitoramento do reator com fungos serão realizadas análises de: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DQO) bruta e solúvel, corante e pH. Todas as análises serão executadas de acordo com os métodos descritos no APHA (2005).

Contagem de micro-organismos na água residuária

A contagem de micro-organismos foi feito com procedimento de diluição em série e plaqueamento em placas de Petri contendo meios seletivos: meio Martin – usado para a contagem de colônias de fungos – e meio Nutriente-ágar – para contagem do número de colônias de bactérias.

O meio de Martin é composto de (g.L^{-1}): K_2HPO_4 (1); peptona (5); KH_2PO_4 (0,5); $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,5); dextrose (10); extrato de levedura (0,5); rosa bengala (0,033); Agar (18). Além disso, foi adicionado $3\mu\text{g mL}^{-1}$ de estreptomicina, antibiótico usado para evitar contaminação do meio por bactérias. O meio Nutriente – Agar possui (g.L^{-1}): bactoagar (15); extrato de carne (2); peptona (5); NaCl (8).

A amostra da água resíduária (10 mL) foi misturada em 90 mL de solução salina (0,89%) em tubos que foram agitados em vórtex por 10 min para posterior retirada de alíquota de 1 mL, a qual foram transferidas para 9 mL de solução salina e, desta forma, o mesmo procedimento foi realizado sucessivamente até obter-se concentrações de 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} . Em seguida, as diluições em série obtidas foram plaqueadas nos meios seletivos de Martin e Nutriente – Ágar, com ajuda de alça de drigalski.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água resíduária sintética que alimentou o reator biológico com fungos (RBF) tinha as características apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Características da água resíduária sintética que foi utilizada na alimentação do reator biológico com fungos

VARIÁVEL	CONCENTRAÇÃO MÉDIA [mg.L ⁻¹] / DESVIO PADRÃO
Corante	108,85 ± 3,98
DQO Total	1177,83 ± 152,15
DQO Solúvel	777,18 ± 116,73
pH	4,7 ± 0,08

Em relação à eficiência do tratamento, os valores de remoção de corante e matéria orgânica, em termos de DQO bruta e solúvel alcançadas pelo RBF estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Remoção de corante e DQO bruta e centrifugada alcançada pelo RBF durante os experimentos

COLETAS	EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO		
	CORANTE	DQO BRUTA	DQO SOLÚVEL
1	94,83%	83,09%	79%
2	92%	34,47%	99,65%
3	85,82%	65,4%	99,60%
4	99,94%	34,87%	51,71%
5	95,23%	57,62%	69,91%
6	99,70%	89,36%	85,30%
7	99,93%	99,66%	99,63%
8	99,95%	99,88%	99,77%
9	97,8%	60,73%	69,42%

Observando-se a figura 3, é perceptível o decréscimo da concentração de corante ao final do processo biológico. A remoção média de corante foi de 96,13% e as máximas foram obtidas na 4^a, 6^a, 7^a e 8^a coleta quando foram registrados percentuais de 99,94%, 99,7%, 99,93% e 99,95%, respectivamente, restando no efluente uma concentração de corante em torno de 0,1 mg/L.

O percentual mínimo de remoção foi obtido na 3^a coleta (85,82%), sendo a concentração de corante no efluente final de 20 mg/L. Segundo Wang e Hu (2008), o processo de biossorção se dá de forma lenta, envolvendo mecanismos de transporte passivo e ativo, começando com a difusão do componente à superfície da célula microbiana, sendo este processo irreversível (remoção ativa). Porém a rápida remoção pode estar associada ao processo de adsorção (remoção passiva) do corante a parede do micélio, o qual geralmente é reversível. O processo de dessorção do corante contido nas paredes das células fúngicas, o que acontece com intensidade em células mortas, quando não há o processo de assimilação do corante, pode ter contribuído para a menor remoção de corante alcançada na 3^a coleta (85,82%).

Outra hipótese para explicar essa baixa remoção (85,82%) é a possível liberação de corante adsorvido ou armazenado nos vacúolos dos fungos como material de reserva (RODRIGUES, 2006). Os vacúolos fúngicos são estruturas localizadas no centro das hifas, equivalentes ao sistema endossomal/lisossomal das células

animais e que funcionam como compartimento para armazenar moléculas, frequentemente compostos contendo fósforo e nitrogênio, posteriormente utilizados pela célula, participando também do transporte de alimento (COLE *et al.*, 1998).

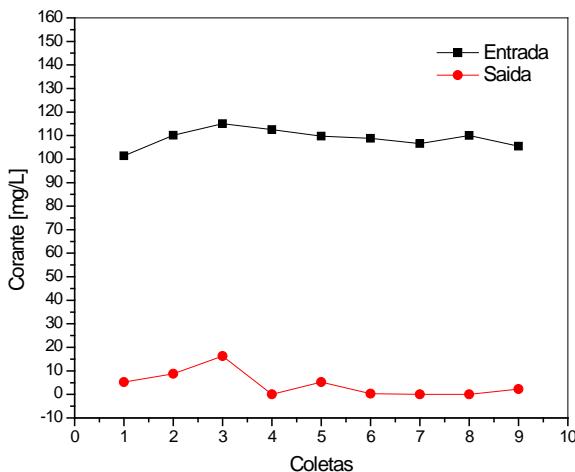


Figura 3: Variação da remoção de corante no RBF

No tocante a remoção de matéria orgânica total apresentada na figura 4 e tabela 4, a remoção média foi de 67,71%, os percentuais máximos obtidos foram na 7^a e 8^a coletas com remoções de 99,66% e 99,88%, respectivamente, e os percentuais mínimos foram registrados na 2^a e 4^a coleta com 34,47% e 34,87%, respectivamente.

No geral, os percentuais obtidos de remoção de DQO bruta foram inferiores aos registrados para a remoção de corante. Segundo Casas *et al.*, (2009) esse fato é um indicativo que, possivelmente, houve formação de subprodutos que não foram assimilados pelos fungos ao degradarem o grupo cromóforo do corante. É importante salientar também que como se tratam de dados de matéria orgânica bruta, a provável morte ou cisalhamento da biomassa causada pelo fluxo do efluente no reator pode ter contribuído para essas menores eficiências.

A determinação de DQO solúvel é importante quando se deseja saber se compostos orgânicos dissolvidos estão sendo removidos pelo sistema de tratamento (KATO *et al.*, 1997). Em relação à mesma (Figura 5), as melhores porcentagens de remoção alcançadas nessa pesquisa foram nas coletas 2, 3, 7 e 8, todas com remoções acima de 99,5%. As remoções mínimas foram notadas na 4^a e 5^a coleta com porcentagens de 51,71% e 69,91%, respectivamente.

Percebeu-se que em praticamente todas as coletas, com exceção da 1^a e 6^a, os valores de DQO solúvel foram maiores ou muito semelhantes aos da DQO bruta. Este fenômeno, supostamente estar relacionado aos subprodutos decorrentes da quebra das ligações químicas do corante (ALI *et al.*, 2008) e/ou dos metabólitos oriundos da degradação da glicose pelo fungo, como o ácido glutâmico (ZNAD, MARKOS e BALES, 2004), ácido crítico (KIM *et al.*, 2006). Ou ainda poderiam ter relação com as substâncias excretadas pelos fungos oriundas do seu metabolismo, já que, segundo Ikeda, Park e Okuda (2006), a fonte de carbono, ao ser utilizada pelos fungos na síntese de biomassa, produzem energia e metabólitos que podem ser acumulados no interior da célula ou excretados.

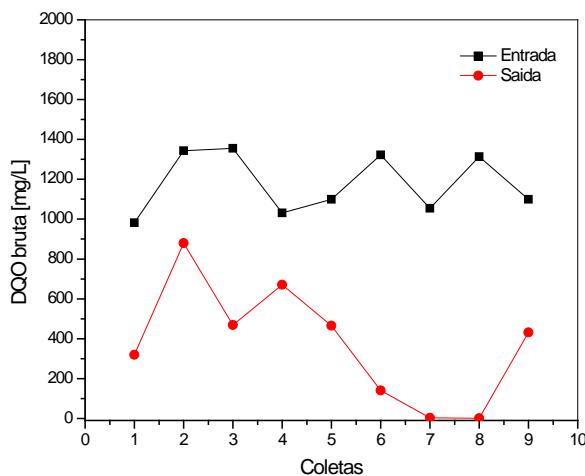


Figura 4: Variação da remoção de DQO bruta no RBF

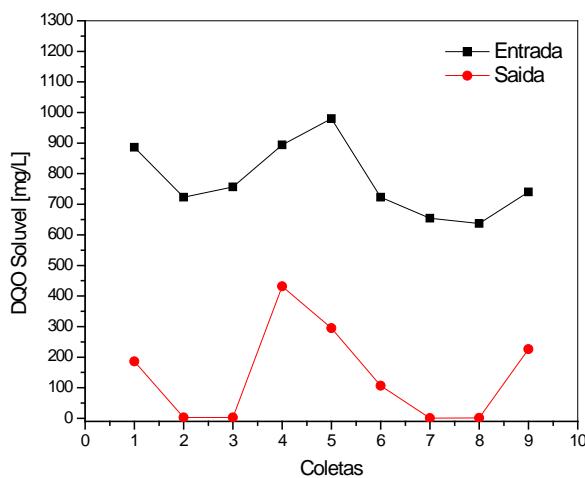


Figura 5: Variação da remoção de DQO Solúvel no RBF

Khelifi *et al.*, (2008) utilizaram uma combinação de dois reatores aeróbios de escoamento contínuo, um tanque agitado com biomassa dispersa e o outro com biomassa imobilizada, que foram inoculados com consórcios microbianos aclimatados obtidos de uma Estação de Tratamento de Efluente, para tratar efluente têxtil contendo o corante Índigo carmim. Os efeitos do TDH (24h, 48h, 72h e 96h) sobre as eficiências de tratamento em termos de DQO e eficiências de remoção de cor foram averiguados. Os combinados dos dois reatores apresentaram alta eliminação de DQO total, solúvel e de eficiência na remoção de cor de 97,5%, 95,8% e 97,3%, respectivamente, obtidas com um TDH de 96h.

Portanto, observamos que as porcentagens de remoção de matéria orgânica bruta, solúvel e corante obtidos por Khelifi *et al.*, (2008) foram ligeiramente inferiores aos encontrados nessa pesquisa (99,88%, 99,77% e 99,95%, respectivamente) empregado um TDH menor de 12h para eliminar as mesmas variáveis. A adição do cossubstrato, glicose (1g.L^{-1}), possivelmente pode ter refletido em melhores eficiências de DQO e corante encontradas nessa pesquisa, já que, a adição de cossubstratos, como a glicose, em reatores com fungos tem proporcionado resultados promissores na remoção de corantes, além de poderem contribuir também para maiores eficiências de remoção de compostos intermediários formados durante o processo de descoloração, assim podendo melhorar a assimilação dos poluentes pelos fungos e diminuir a toxicidade do meio (KHELIFI

et al., 2009). Além disso, contribui para a diminuição da fase *lag*, período de adaptação ao meio devendo ser fonte de carbono e de energia de fácil assimilação e de reatividade elevada (SINGH, 2006).

A escolha da espécie *Aspergillus niger* AN400, empregada com inoculo nesta pesquisa, possivelmente, favoreceu a obtenção de maiores remoções visto que o grande potencial de degradação de compostos persistente em efluentes, como fenóis (SANTOS *et al.*, 2004) e corantes têxteis (ALI *et al.*, 2008; KHELIFI *et al.*, 2009) é bem relatada na literatura. Isso porque a espécie *Aspergillus niger*, em função das condições do meio, é capaz de produzir mais de 19 enzimas diferentes, tais como celulases, peroxidases, lactases, lacases e amilases que agem para a ruptura das ligações do grupo cromóforo (YANG *et al.*, 2009).

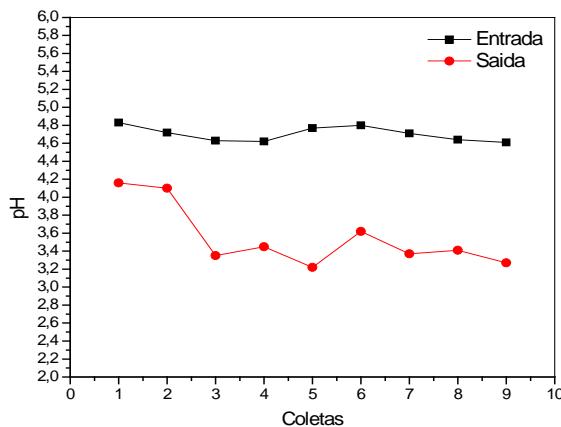


Figura 6: Variação do pH no RBF

Os fungos toleram ampla faixa de pH (2 a 9), contudo para a maioria das espécies, o pH ótimo situa-se em torno de 5,6 (TRABULSI e ALTERTHUM, 2004).

No reator em estudo o pH da água residuária sintética que alimentava o reator variou entre 4,61 a 4,83. No efluente verificou-se uma diminuição nos valores de pH variando entre 4,1 e 3,22, como é apresentado na figura 6, continuando em uma ótima faixa de crescimento.

Provavelmente, os valores mais baixos de pH registrados na presente pesquisa é devido à conversão da glicose, que foi adicionada como cossubstrato, à ácidos orgânicos para facilitar a rápida biossorção do corante à biomassa fúngica (KIM *et al.*, 2006).

Rodrigues *et al.*, (2007), também observaram diminuição do pH do meio, o qual chegou a assumir valores próximos de 2 quando a glicose estava à disposição dos fungos, o que também foi atribuído a maior produção de ácidos oriundos da degradação do substrato, no caso, fenol. Assim, segundo aqueles autores, os valores baixos de pH refletiam a atividade metabólica dos fungos.

A microscopia revelou a presença de esporos dispersos no meio. Os esporos são estruturas de disseminação e preservação dos fungos e estariam em estado de latência até que pudessem dispor de condições favoráveis ao seu desenvolvimento (CARLILE e WATKINSON, 1996). Foram encontrados ainda bactérias, porém aparentemente, em menor proporção em relação aos fungos, indicando sua participação efetiva na remoção do corante Índigo carmim do meio sintético utilizado nesta pesquisa.

CONCLUSÃO

Observou-se que o tratamento biológico utilizando o *Aspergilus Niger* apresentou-se eficiente na degradação do corante Índigo carmin e matéria orgânica.

A maior parte das remoções de matéria orgânica esteve acima de 60% com exceção das coletas 2, 4 e 5 que ficaram entre 34,47 e 57,62%. Ratificando a capacidade do fungo em utilizar o corante estudado como fonte de carbono. Além disso, o pH registrado nas coletas estiveram entre a faixa de 3,22 a 4,8, comprovando o metabolismo ideal para o fungo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. (Disponível em: http://www.abit.org.br/revista_digital/ed64/, Acesso em: Março de 2013).
2. ALI, N.; IKRAMULLAH; LUTFULLAH, G.; HAMED, S. Descolorization of Acid Red 151 by *Aspergillus niger* SA1 under different physicochemical conditions. World Journal of Microbiology and Biotechnology, v. 24, n. 7, 1099-1105, 2008.
3. ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A. Tratamento de Efluentes Industriais por Processos Oxidativos na Presença de Ozônio. Química Nova, v. 27, n. 5, p. 818-824, 2004.
4. AMMAR, S.; BDELHEDI, R.; FLOX, C.; ARIAS, C.; BRILLAS, E. Electrochemical degradation of the dye indigo carmine at boron-doped diamond anode for wastewaters remediation. Pubget, v. 4, n. 4, p. 229-233, 2006.
5. APHA. Standard Methods for examination of Water and Wastewater American Walter Work Association, Walter Enviroment Federation, 20º edição, 2005.
6. BOLZON, L. B. $N_2B_2O_5$ como fotocatalizador para a degradação de índigo carmina. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade de Brasília, Brasília, 72p, 2007.
7. CARLILE, M. J.; WATKINSON, S. C. The fungi. São Diego: Academic Press – Harcourt Brace & Company, 1996.
8. CASAS, N.; PARELLA, T.; VICENT, T.; CAMINAL, G.; SARRA, M. Metabolites from the biodegradation of triphenylmethane dyes by *Trametes versicolor* or *laccase*. Chemosphere, v. 75, n. 10, p. 1344-1349, 2009.
9. CATANHO, M., MALPASS, G. R. P., MOTHEO, A. J. Avaliação dos Tratamentos Eletroquímico e Fotoeletroquímico na Degradação de Corantes Têxteis. Química Nova, 29, p. 983-989, 2006.
10. CHANDER, M.; ARORA, D. S. Evaluation of some white-rot fungi for their potential to decolourise industrial dyes. Dyes and Pigments. v. 72, p. 192-198, 2007.
11. COLE, L.; ORLOVICH, D. A.; ASHFORD, A. E. Structure, function and motility of vacuoles in filamentous fungi. Fungal Genetics and Biology, v. 24, p. 84 – 100, 1998.
12. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de Março de 2005.
13. DELLAMATRICE, P. M. Biodegradação e toxicidade de corantes têxteis e efluentes da Estação de Tratamento de Águas Residuárias de Americana, São Paulo. Tese (Doutorado em Ecologia de Agrossistemas). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 137p. 2005.
14. FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. Química Nova, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 504-511, 2000.
15. GUARATINI, C. C. I; ZANONI, M. V. B.; Quim. Nova, v.23, p. 71-75, 2000.
16. HANSEN, L.; LOPES, W.; RUSCHEL, C. K. Biorremediação - utilização do fungo *Aspergillus niger* no tratamento de efluentes. 24ª Mostra Internacional de Ciência e Tecnologia. 2009.
17. HUNGER, K. Industrial Dyes. Chemistry, Properties, Applications. Weinheim: Wiley – VCH, 2003.
18. IKEDA, Y.; PARK, E. Y.; OKUDA, N. Bioconversion of waste office to gluconic acid in a turbine blade reactor by the filamentous fungus *Aspergillus niger*. Bioresource Technology, v. 97, n. 8, p. 1030 – 1035, 2006.
19. KATO, M.T.; FIELD, J. A.; LETTINGA, G. The anaerobic treatment of low strength wastewater in UASB and EGSB reactors. Water Science and Technology, v. 36, n. 6-7, p. 375-382, 1997.
20. KHELIFI, E., AYED, L., BOUALLAGUI, H., TOUHAMI, Y., HAMDI, M. Effect of nitrogen and carbon sources on Indigo and Congo red decolorization by *Aspergillus alliaceus* strain 121C, Journal of Hazardous Materials, v. 163, n. 2–3, 30 , p. 1056 - 1062, 2009.
21. KHELIFI, E.; GANNOUN, H.; TOUHAMI, Y.; BOUALLAGUI, H.; HAMDI, M. Aerobic decolorization of the indigo dye-containing textile wastewater using continuous combined bioreactors. Journal of Hazardous Materials, v. 152, p. 683–689, 2008.

22. KIM, J. M.; BARRINGTON, S.; SHEPPARD, J.; LEE, B. Nutrient optimization for the production of citric acid by *Aspergillus niger* NRRL 567 grown on peat moss enriched with glucose. *Process Biochemistry*, v. 41, n. 6, p. 1253-1260, 2006.
23. KUNZ, A; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova*, v. 25, p. 78-82, 2002.
24. OBÓN, J. M.; CASTELLAR, M. R.; CASCALES, J. A.; FERNANDES-LOPEZ, J. A. Assessment of the TEAC method for determining the antioxidant capacity of synthetic red food colorants. *Food Research International*, v. 38, p. 843-845, 2005.
25. PADMAVATHY, S.; SADHYA, S.; SWAMINATHAN, K.; SUBRAHMANYAM, Y.V.; CHAKRABARTI,T.; KAUL, S. N. Aerobic Decolorization of Reactive Azo Dyes in Presence of Various Cosubstrates, *Chem. Biochem. Eng. Q.*, v. 17, n. 2, p.147-151, 2003.
26. QUINTERO, L.; CARDONA, S. Tecnologías para la decoloración de tintes índigo e índigo carmín, *Dyna*, n. 162, p. 371 – 386, 2009.
27. ROBINSON, T. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, v. 77, n. 3, p. 247-255, 2001.
28. RODRIGUES, K. A.; SAMPAIO, G. M. M. S.; ZAIAT, M.; SANTAELLA, S. T. Influência da glicose no consumo de fenol por *Aspergillus Niger* AN400 de meio sintético em reatores em batelada. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 2, p. 222 – 228, 2007.
29. RODRIGUES, K. A. Uso de reatores biológicos com fungos para remoção de fenol de água residuária sintética. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, área de concentração em hidráulica e Saneamento) - Escola de engenharia de são Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.
30. SAMPAIO, G. M. M. S. Remoção de metil parathion e atrazina com reatores com fungos. 2005. 115f. Tese (Doutorado em Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade da universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
31. SANTOS, V.L.; LINARDI, V.R. Biodegradation of phenol by a filamentous fungi isolated from industrial effluents - identification and degradation potential. *Process. Biochem*, v.39, nº. 8, p. 1001– 1006, 2004.
32. SILVA FILHO, M. N. Produtos Químicos Utilizados na Indústria Têxtil e a Gestão Ecológica. *Química Têxtil*. São Paulo: ABQTC, v. 39, p. 11-20, 1994.
33. SING, H. Mycoremediation: Fungal Bioremediation. Canada: Wiley, 617p, 2006.
34. SONG, Y.; LI, J. Degradation of C.I. Direct Black 168 from aqueous solution by fly ash/H₂O₂ combining ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, v.16, p. 440-444, 2009.
35. TRABULSI, L. R.; ALTERTHUM, F. Microbiologia. 4 ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004.
36. VAN DER ZEE, F.P.; CERVANTES, F. J. Impact and application of electron shuttles on the redox (bio) transformation of contaminants: a review. *Biotechnol Adv.* v. 27, p. 256–77, 2009.
37. WANG, B. E.; HU, Y. Y. Bioaccumulation versus adsorption of reactive dyes by immobilized growing *Aspergillus fumigatus* beads. *Journal of Hazardous Materials*, v. 157, n. 1, p. 1-7, 2008.
38. YANG, Q.; LI, C.; LI, H.; LI, Y.; YU, N. Degradation of synthetic reactive azo dyes and treatment of textile wastewater by a fungi consortium reactor. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 63, n. 3, p. 280-288, 2009.
- 39.ZNAD, H.; MARKOS, J.; BALES, V. Production of gluconic acid from glucose by *Aspergillus niger*: growth and non- growth conditions. *Process Biochemistry*, v. 39, n. 11, p. 1341-1345, 2004.