



**II-082 - IMPACTO DOS MEDIADORES REDOX NA
REMOÇÃO DE COR DE CORANTES AZO E ANTRAQUINÔNICO POR LODO
GRANULAR ANAERÓBIO SOB CONDIÇÕES MESOFÍLICAS E
TERMOFÍLICAS**

André Bezerra dos Santos⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Saneamento Ambiental, pela Universidade Federal do Ceará. Doutor em Ciências do Meio-ambiente pela Universidade de Wageningen, Holanda. Pesquisador DCR/CNPq pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Brasil.

Francisco Javier Cervantes

Doutor em Ciências do Meio-ambiente pela Universidade de Wageningen, Professor Adjunto do Departamento de Ciencias del Agua y del Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora, México.

Jules Bernardus van Lier

Doutor em Ciências do Meio-ambiente pela Universidade de Wageningen, Professor Adjunto do Sub-department of Environmental Technology, Wageningen University, The Netherlands.

Endereço⁽¹⁾: Rua João Araripe 120/101B. Fátima – Fortaleza - CE - CEP: 60410-750 - Brasil - Tel: (85) 32562912 e 99916052 - e-mail: andrebeds@deha.ufc.br e andsantos@hotmail.com

RESUMO

Investigou-se o efeito de diferentes mediadores redox na remoção de cor de corantes azo e antraquinônico pelo uso de lodo granular anaeróbico sob condições mesofílicas (30°C) e termofílicas (55°C). Comprovou-se em experimento em batelada que a adição de concentrações catalíticas de mediadores redox podem ter um efeito marcante nas taxas de descoloração do corante azo *Reactive Red 2* (RR2) (com aumento de até 6,1 vezes), mas o mesmo efeito não pode ser obtido com o corante antraquinônico *Reactive Blue 5* (RB5). Entretanto, com ambos os corantes, o simples aumento da temperatura de incubação para condições termofílicas fez acelerar consideravelmente os processos de descoloração, comparados com condições mesofílicas. Por exemplo, a constante de primeira ordem “k” da redução dos corantes RR2 e RB5, foi aumentada em 6,2 e 11 vezes, respectivamente, à 55°C quando comparado com 30°C. Esse efeito distinto da temperatura nas taxas de descoloração também foi comprovado em experimentos de fluxo contínuo, no qual as eficiências de remoção de cor do corante azo RR2 eram em torno de 95% e 56%, para as temperaturas de operação do reator à 55°C e 30°C, respectivamente, na ausência de qualquer mediador redox. Os resultados obtidos nessa investigação trazem boas perspectivas para o uso conjunto de reatores anaeróbios sob condições termofílicas e de mediadores redox no pré-tratamento das águas residuárias de indústrias têxteis, principalmente na observação que a fração colorida dessas indústrias é normalmente descartada a altas temperaturas.

PALAVRAS-CHAVE: Remoção de cor, Mediadores redox, Lodo granular, Mesofílico, Termofílico.

INTRODUÇÃO

A indústria têxtil representa um importante setor da economia brasileira e mundial, tendo experimentado considerável crescimento nos últimos anos. Como consequência, essa indústria tem aumentado a produção de águas residuárias, sendo um potencial contribuinte à degradação do meio-ambiente. Uma das principais características dos efluentes têxteis é que os mesmos são altamente coloridos, resultado principalmente dos corantes que são aplicados nas operações de tingimento. É estimado que 10⁹ kg de corantes são anualmente produzidos no mundo, dos quais 70% pertencem à classe dos corantes azo (–N=N–), seguido pelos antraquinônicos (contêm quinonas na sua estrutura) e ftalocianinos (contêm metais). O lançamento de efluentes contendo altas concentrações de corantes em corpos de água é indesejável não somente pela sua cor, a qual pode afetar a fotossíntese das algas, mas principalmente pelo fato de muitos desses corantes e seus produtos de degradação serem tóxicos e mutagênicos à vida (Weisburger, 2002).

A remoção de cor de corantes azo por bactérias aeróbias, a citar nos sistemas de lodos ativados, é normalmente baixa (10-30%), a qual é associada principalmente a adsorção do corante no lodo ativo. Isso se



dá em decorrência da preferência do receptor final de elétrons, oxigênio, comparada aos corantes azo, pelos elétrons gerados nos processos oxidativos (produção de ATP) (Stolz, 2001). Por outro lado sob condições anaeróbias, tais corantes são usualmente os únicos aceptores finais de elétrons, fazendo com que maiores eficiências de remoção de cor sejam alcançadas (60-80%). A redução de corantes sob condições anaeróbias é uma combinação de mecanismos *biológicos e químicos*. A contribuição biológica pode ser dividida em enzimas especializadas chamadas de azo-redutases, as quais estão presentes em bactérias que são capazes de crescer usando unicamente os corantes como fonte de carbono e energia. Entretanto, até a presente data não foi encontrada nenhuma evidência de azo-redutases em microrganismos estritamente anaeróbios; ou enzimas sem especificidade que catalisam a redução de uma gama de contaminantes, dentre os quais incluem os corantes azo (Stolz, 2001). Portanto, uma reação co-metabólica é provavelmente o principal mecanismo de redução do corante, nos quais os equivalentes reduzidos ou cofatores reduzidos como NADH, NAD(P)H, FMNH₂ e FADH₂ atuando como doadores de elétrons secundários, conduzem elétrons para quebrar a ligação azo (Gingell e Walker, 1971). A contribuição química para a redução do corante azo e subsequente remoção da cor sob condições anaeróbias pode envolver redutores biogênicos como sulfeto, cisteína, ascorbato e Fe⁺² (Yoo, 2002).

Foi recentemente descoberto que a aplicação conjunta do tratamento anaeróbio com mediadores redox podia aumentar a cinética de redução de corantes azo em até varias ordens de magnitude (Cervantes *et al.*, 2001; Dos Santos, 2005). Vitaminas como riboflavina (Vitamina B2) e outras substâncias como as quinonas presentes em húmus e carvão ativado, podem funcionar como mediadores redox. Entretanto, até o presente, nenhuma investigação atentou para o efeito dos mediadores redox com os corantes antraquinônicos, os quais são mais estáveis eletronicamente e, portanto, menos susceptíveis a receberem os elétrons da forma reduzida do mediador redox. Além do mais, um estudo comparativo da remoção de cor de corantes azo e antraquinônicos sob condições mesofílicas e termofílicas, tanto na presença como na ausência de mediadores redox, nunca foi conduzido antes.

O presente trabalho investigou a remoção de cor de dois importantes grupos de corantes empregados nas operações de tingimento de indústrias têxteis, pelo uso de um consórcio anaeróbio mesofílico e outro termofílico. Adicionalmente, estudou-se o impacto de mediadores redox nos processos de descoloração de ambos os corantes, azo e antraquinônico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Químicos. Selecionaram-se os corantes azo RR2 (*Reactive Red 2*) e o antraquinônico RB5 (*Reactive Blue 5*), como compostos modelos para esse estudo (Figura 1). Os corantes foram utilizados em sua forma analítica, sem adicional purificação. *Anthraquinone-2-sulfonate* (AQS), *Anthraquinone-2,6-disulfonate* (AQDS) e riboflavina (vitamina B2) foram selecionados como compostos modelos de mediadores redox (Figura 2), também usados na sua forma analítica.

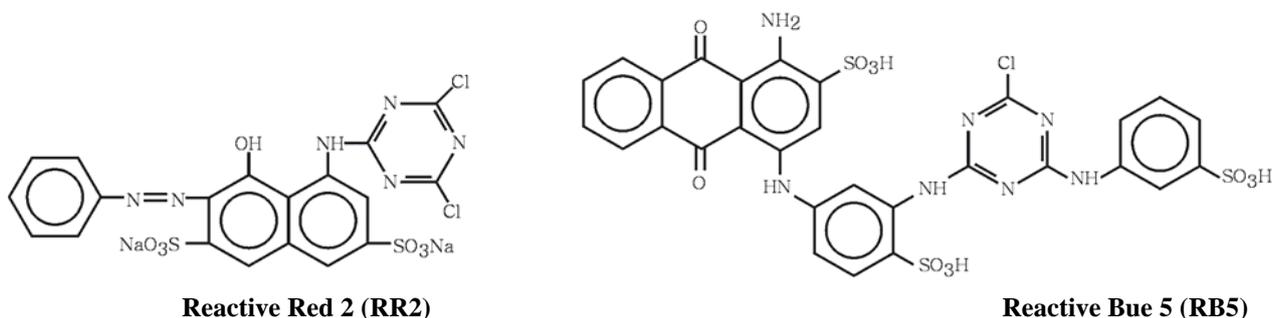


Figura 1 – Estruturas químicas dos corantes azo RR2 e antraquinônico RB5.

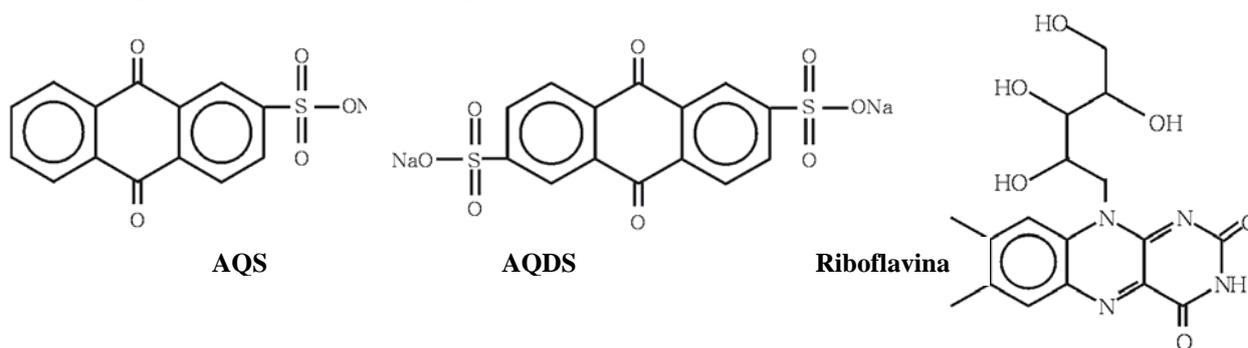


Figura 2 – Estruturas químicas dos mediadores redox AQS, AQDS e riboflavina (vitamina B2).

Experimentos em batelada e em fluxo contínuo

a) Inóculo e meio basal

Coletou-se o lodo granular anaeróbico em um reator mesofílico do tipo UASB (upflow anaerobic sludge blanket), o qual tratava águas residuárias de indústrias de papel (Eerbeek, The Netherlands). O lodo mesofílico foi aclimatado por 3 meses à 55°C em um reator de leito expandido (EGSB) com volume útil de 5.6 L. Ele foi operado sob um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 6 h e taxa de carga orgânica de 2.5 kg DQO (demanda química de oxigênio) m⁻³ d⁻¹. A DQO consistia de uma mistura de glicose e ácidos graxos voláteis (AGV) à uma razão de 1:3. A solução de AGV era neutralizada, a qual continha acetato, propionato e butirato à uma razão de 1:1:1 (também baseada em DQO).

Para os experimentos à 30°C, o mesmo lodo granular mesofílico foi aclimatado sob as mesmas condições hidráulicas e orgânicas descritas acima, até o alcance de condições de estabilidade operacional.

O meio basal consistia de (mg/L): NH₄Cl (280), K₂HPO₄ (250), MgSO₄·7H₂O (100) and CaCl₂·2H₂O (10) e 1 mL/L de elementos trácicos, o qual continha (mg/L): H₃BO₃ (50), FeCl₂·4H₂O (2000), ZnCl₂ (50), MnCl₂·4H₂O (500), CuCl₂·2H₂O (38), (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O (50), AlCl₃·6H₂O (90), CoCl₂·6H₂O (2000), NiCl₂·6H₂O (92), Na₂SeO₃·5H₂O (162), EDTA (1000) e HCl 36% (1). Resazurina não era incluída na solução de elementos trácicos devido às suas propriedades de mediador redox. O meio basal era tamponado com 5.0 e 6.2 g/L de bicarbonato de sódio, para as temperaturas de 30°C e 55°C, respectivamente, de forma a manter o pH próximo de 7.1.

b) Testes de atividade

Para os testes de atividade, 1.3 ± 0.1 g Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) /L do lodo previamente aclimatado era adicionado em garrafas em série com volume total de 117 mL, dos quais 50 mL continham meio basal. Selavam-se as garrafas com tampas em borracha do tipo butil, juntamente com prendedores em alumínio. Estabeleciam-se condições anaeróbicas nas garrafas através da exaustiva troca do meio gasoso por N₂/CO₂ (70%:30%) (Manifold Gas System, The Netherlands). Em seguida, 1.5 g DQO/L de doador de elétrons (mistura de glicose e AGV à uma razão de 1:3), corantes (variável) e mediadores redox (variável) eram adicionados às garrafas. Controles estéreis eram auto-clavados em duas etapas de 240 minutos à 122°C, com um período de 5 dias de incubação, logo após soluções estéreis de doador de elétrons, mediador redox e corantes eram adicionados. O pH de cada garrafa e a quantidade de SSV eram determinados ao final de cada experimento.

c) Efeito da temperatura e mediador redox na remoção de cor de corantes azo e antraquinônico

Estudou-se o efeito da temperatura e mediador redox AQS na remoção de cor dos corantes azo RR2 e antraquinônico RB5. Uma mistura de ácidos graxos voláteis (AGV) foi utilizada como doador de elétrons (1.5 g DQO/L), e uma concentração de AQS de 0,012 mM era testada. Controles sem adição de mediadores redox avaliaram o impacto dos últimos nas taxas de descoloração dos corantes. Garrafas com lodo autoclavado controlaram a adsorção do corante no lodo e remoção de cor abiótica devido a compostos redutivos. Garrafas sem adição de lodo controlaram a estabilidade do corante à 30°C e 55°C.



d) Experimento de fluxo contínuo para comprovar o aumento de eficiência de remoção de cor devido ao emprego de mediadores redox

Para comprovar o aumento da eficiência de remoção de cor devido ao emprego de mediadores redox, um curto experimento de fluxo contínuo foi conduzido à 30°C e 55°C. Utilizou-se um reator anaeróbio do tipo EGSB (Figura 3), com volume útil de 0.53 L, concentração da manta de lodo em 30 gSSV/L_{reator} e velocidade ascensional de 4 m/h. Ele era operado com um TDH de 10 h e uma taxa de carga orgânica de 5.0 kg DQO m⁻³ d⁻¹. A DQO consistia de uma mistura de glicose e AGV à uma razão de 1:3. Os reatores mesofílicos eram denominados R1 e R2, e os termofílicos R3 e R4. Os reatores R2 e R4 eram dosados com AQDS a uma concentração de 0.025 mM. O meio basal utilizado nesse experimento é o mesmo descrito para os experimentos em batelada. A taxa de carga utilizada do corante RR2 era 1.25 g RR₂ L⁻¹ d⁻¹.

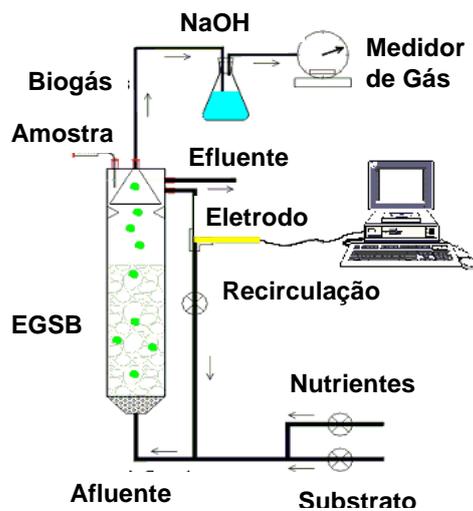


Figura 3 – Esquema do reator anaeróbio do tipo EGSB utilizado nos experimentos de fluxo contínuo.

Análises

A remoção de cor dos compostos modelos RR2 e RB5 foram determinadas fotometricamente (Spectronics 60, Milton-Roy Analytical Products Division, Belgium), cujas absorvâncias eram lidas à 539 nm e 602 nm, respectivamente, ou seja, no máximo comprimento de onda. Usou-se um coeficiente de extinção de 33.3 e 8.2 UA cm⁻¹ mM⁻¹, para os corantes RR2 e RB5, respectivamente, para a conversão dos valores de absorvância em valores de concentração. As amostras eram centrifugadas por 3 minutos à 10000 rpm antes de se efetuar a leitura. Para os testes em batelada, a produção de metano era monitorada pela injeção de um volume de 100 µL em um Cromatógrafo de gás modelo 438/S (Packard-Becker, Delft, The Netherlands), equipado com uma coluna em aço (2 m x 2 mm) contendo Porapak Q (80/100 mesh, Milipore Corp., Bedford, M.A.). As temperaturas da coluna, porta de injeção e detector de ionização de chamas eram 60°C, 200°C e 220°C, respectivamente, com nitrogênio sendo o transportador de gases (20 ml/min). Ácidos Graxos Voláteis, metanol e etanol, eram medidos em um Cromatógrafo de gás modelo Hewlett Packard 5890 (Palo Alto, USA), equipado com uma coluna em vidro (2 m x 2 mm) contendo Supelcoport (100-120 mesh), a qual era coberta com 10% Fluorad FC 431. As temperaturas da coluna, porta de injeção e detector de ionização de chamas eram 130°C, 200°C e 280°C, respectivamente. Sacrose, frutose, glicose, lactato e formiato eram medidos em um Cromatógrafo Líquido (HPLC) equipado com uma coluna do tipo Ion-300 e detector de índice refrativo de acordo com Dos Santos (2005). Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) eram analisados de acordo com o APHA *standard methods* (1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito dos mediadores redox e da temperatura na remoção de cor de corantes azo e antraquinônicos

Uma cinética de primeira-ordem com relação à concentração dos corantes RR2 e RB5 foi utilizada para calcular os valores da constante de primeira-ordem “k”, seguindo a equação 1 mostrada abaixo:

$$A_t = A_0 e^{-kt} \quad (1)$$

A_t é a absorvância no tempo “t”, A₀ é a absorvância no tempo t=0, “k” é a constante de primeira-ordem (dia⁻¹) e “t” é o tempo acumulado do experimento (dias). O tempo era plotado contra ln(A_t/A₀) e o valor de k era estimado pelo coeficiente angular da regressão linear.

A remoção de cor sob condições anaeróbias, ou descoloração redutiva, mostrou-se ser realmente uma reação co-metabólica, visto que nenhuma lag-fase foi verificada no uso de um lodo anaeróbio nunca exposto ao corante anteriormente. Comparando-se com o tratamento mesofílico, observou-se um efeito distinto do tratamento termofílico por lodo granular nas taxas de remoção de cor de ambos os corantes, azo e



antraquinônico. Na figura 4A pode-se concluir que houve um aumento de cerca de 6,2 vezes nos valores de “k” do corante azo RR2 pelo simples aumento da temperatura de incubação para condições termofílicas. Na Figura 4B é mostrado que a completa descoloração do corante antraquinônico RB5 só foi alcançada sob condições termofílicas (o valor de k foi aumentado em até 11 vezes), o que enfatiza a vantagem do uso de tratamento termofílico em efluentes têxteis, os quais são normalmente compostos de diferentes tipos de corantes. Nossos resultados sob condições mesofílicas estão de acordo com as observações de Carliell *et al.* (1994), os quais citam que comparado com os corantes azo, outros corantes como os antraquinônicos e os ftalocianinos são menos susceptível à redução e apresentam baixa capacidade de remoção de cor. Delée (1998) verificou em um reator UASB mesofílico em escala de bancada, que o corante antraquinônico *Disperse Blue 56* inibiu severamente o inóculo, chegando a causar o total colapso do processo de remoção de cor, o qual vinha se comportando muito bem na descoloração de outros tipos de corantes, incluindo os do tipo azo.

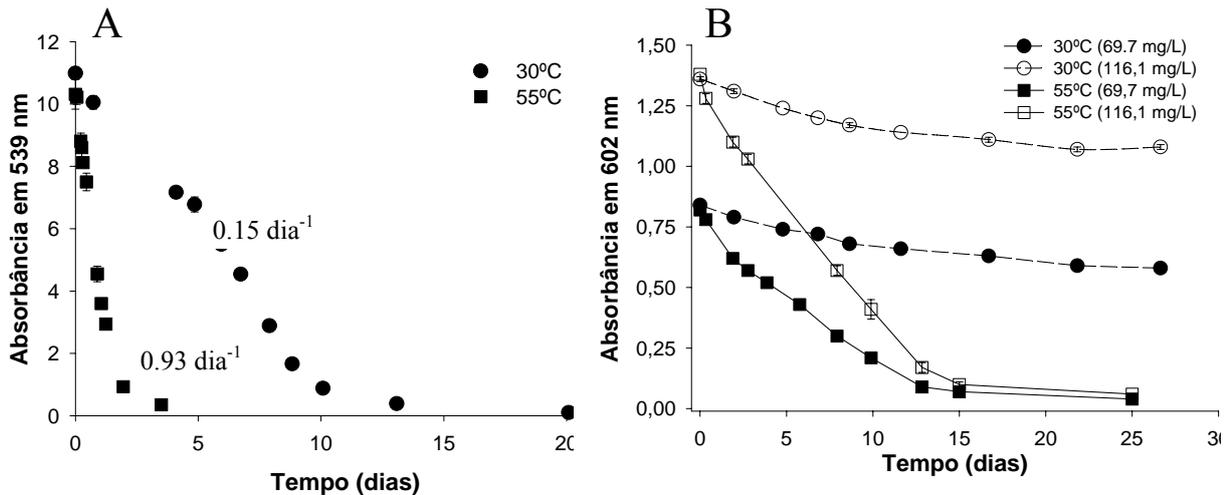


Figura 4 – Efeito da temperatura na remoção de cor de corantes azo RR2 (A) e antraquinônico RB5 (B) por lodo granular sob condições anaeróbias.

Verificou-se também um efeito marcante de concentrações catalíticas de mediadores redox nas taxas de descoloração do corante azo RR2 à 55°C (Figura 6A). A remoção de cor sob condições anaeróbias na presença dessas substâncias se dá em duas fases: a primeira fase consiste na redução enzimática do mediador redox através dos elétrons ou equivalentes reduzidos gerados nos processos oxidativos; e a segunda fase consiste na transferência química desses elétrons para os corantes azo, com a conseqüente regeneração dos mediadores redox. A Figura 5 ilustra a redução do corante na presença de um mediador redox.

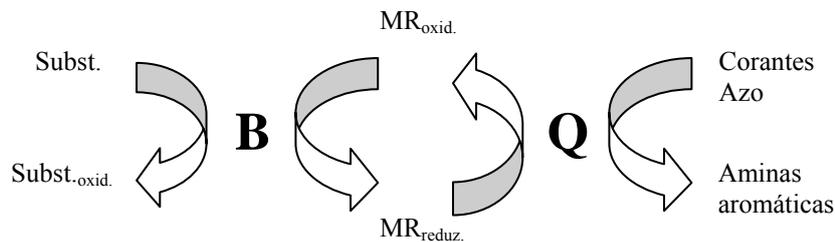


Figura 5 – Reação co-metabólica da redução anaeróbia de corantes azo por bactéria, na presença de mediadores redox. As letras B e Q correspondem às reações biológicas e químicas, respectivamente.

Por exemplo, as taxas de descoloração do corante azo RR2 foram aumentadas em 6,1 e 2,7 vezes, devido à presença dos mediadores redox riboflavina e AQS, respectivamente, quando comparados com os controles livres desses compostos (Figura 6A). O valor do potencial redox padrão (E_0') é uma boa indicação da capacidade de um composto funcionar como mediador redox. Entretanto, aparentemente outros fatores são também de importância já que riboflavina e AQS possuem próximos valores de E_0' (–208 mV e –225 mV, respectivamente) (Sober *et al.*, 1970). Logo, outros fatores como as interações eletroquímicas entre os corantes e os mediadores redox também influenciam nas distintas taxas de descoloração verificadas (Figura 6A).



Como postulado, os mediadores redox não foram efetivos como catalisadores da remoção de cor do corante antraquinônico RB5 (Figura 6B), muito provavelmente devido à inabilidade em transferir os elétrons da sua forma reduzida para o corante. Sob condições mesofílicas pôde-se constatar o mesmo valor de “k” nos experimentos que continham AQS e os livres desse mediador redox. Já sob condições termofílicas, houve um aumento de cerca de 1,8 vez devido à presença de AQS (Figura 6B). No entanto, para maiores concentrações do corante RB5, observou-se um insignificante impacto do AQS nas taxas de descoloração em ambas as temperaturas de 30°C e 55°C (resultados não apresentados). Assim, no caso de esgotos têxteis, os quais são normalmente compostos de uma mistura de corantes, os mediadores redox serão efetivos principalmente com os corantes azo, já que os corantes antraquinônicos se mostraram eletronicamente estáveis.

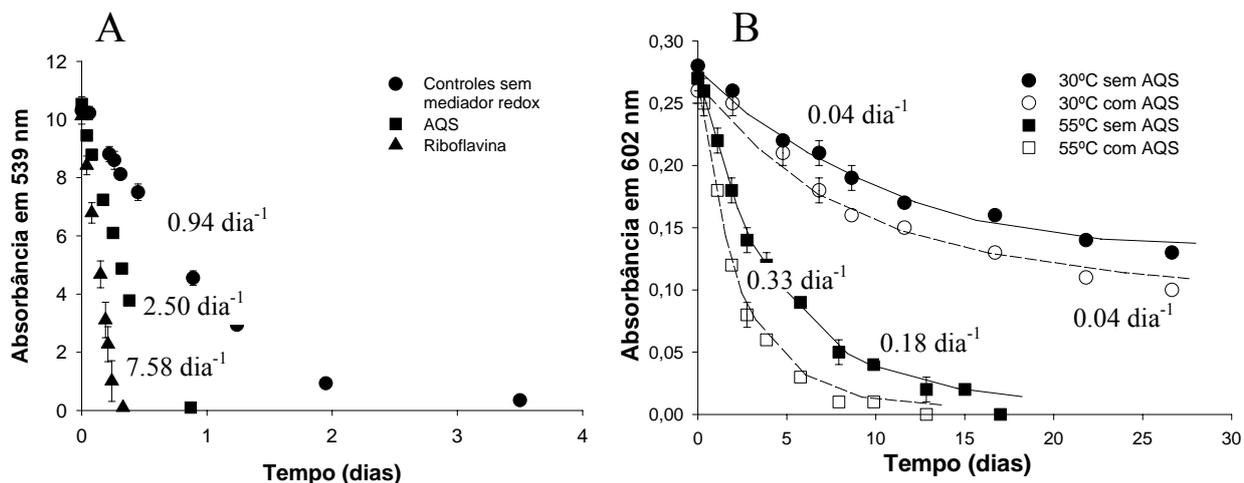


Figura 6 – Efeito dos mediadores redox AQS e riboflavina nas taxas de descoloração do corante azo RR2 a 55°C (A); e da temperatura e AQS na remoção de cor do corante antraquinônico RB5 (B) por lodo granular sob condições anaeróbias. Utilizou-se uma concentração de 0,012mM dos mediadores redox riboflavina e AQS.

Experimento de fluxo contínuo para comprovar o aumento de eficiência de remoção de cor devido ao emprego de mediadores redox

Operaram-se inicialmente os reatores mesofílicos e termofílicos por um período de 35 dias, sem qualquer contato com o corante RR2 e o mediador redox AQDS (Figura 7). Após a obtenção de condições estáveis de operação, com eficiências de remoção de DQO em torno de 85%, os compostos RR2 e AQDS foram introduzidos no sistema. Pode-se comprovar através do experimento de fluxo contínuo que a remoção de cor foi quase que imediata em todos os reatores, o que indicou um processo co-metabólico. Observou-se também uma adsorção inicial do corante à manta de lodo, mas que certamente não foi a principal razão da remoção inicial de cor nos reatores. Pode-se verificar também a excelente performance dos reatores termofílicos R3 e R4, comparados com os reatores mesofílicos R1 e R2 (Figura 7). Além do mais, pode-se observar que o impacto do mediador redox AQDS era significativamente reduzido à 55°C, ao passo que um visível efeito era observado nos reatores mesofílicos (Figura 7). Obteve-se um valor médio de eficiência de remoção de cor em torno de 95% para os reatores termofílicos R3 e R4, e um valor médio de 56% e 88% para os reatores mesofílicos R1 (sem AQDS) e R2 (com AQDS), respectivamente. O efeito evidente do mediador redox AQDS à 30°C está em acordo com as observações de Cervantes *et al.* (2001), durante a remoção do corante azo *Acid Orange 7* em um reator UASB. Quando AQDS não era suplementado, os valores de eficiência eram cerca de 86%, aumentando-se para aproximadamente 99%, quando uma concentração de 30µM de AQDS era introduzida no sistema. Dos Santos *et al.* (2003) também verificaram uma alta estabilidade e altos valores de eficiência de remoção de cor na utilização de tratamento termofílico, o que está de acordo com as observações da presente investigação.

Todos os reatores apresentaram capacidade similar de remoção de DQO (> 90%), em termos dos doadores de elétrons glicose e AGV, em que somente baixíssimas concentrações de AGV foram detectadas no efluente. Os produtos da oxidação da glicose piruvato, formiato, lactato e álcoois nunca se mostraram presentes no efluente. Assim sendo, a taxa de formação de elétrons era similar entre os reatores. Logo, o melhor



desempenho dos reatores termofílicos era atribuído à melhor capacidade de transferência de elétrons dos mesmos, com o subsequente aumento das taxas de remoção de cor.

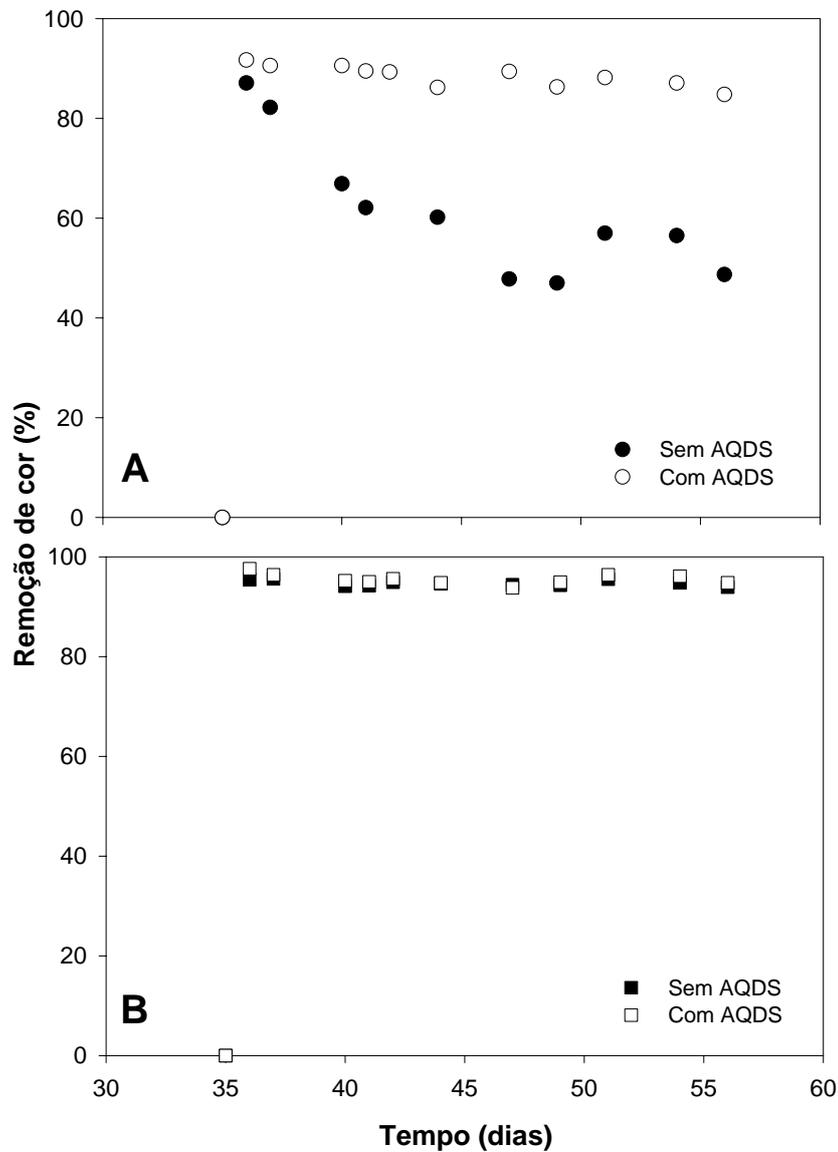


Figura 7 – Desempenho dos reatores mesofílicos R1 e R2 (A), e reatores termofílicos R3 e R4 (B), em termos de eficiência de remoção de cor. Os reatores R2 e R4 foram dosados com 0.025 mM do mediador redox AQDS.

A descoloração reductiva é composta de uma parte biológica, ou seja, os equivalentes reduzidos são biologicamente gerados; e de uma parte química, em que os elétrons gerados são transferidos para o corante em uma reação puramente química. Uma reação química normalmente segue a equação de *Arrhenius*, a qual indica que um aumento na temperatura irá aumentar a frequência de colisão dos reagentes, neste caso, corantes e equivalentes reduzidos, assim melhorando a cinética da reação. Portanto, o uso de tratamento termofílico seria vantajoso para essa parte química da reação. Ainda não é possível dar uma completa explanação para a melhor performance do tratamento termofílico comparado com o tratamento mesofílico, nessa complicada bioquímica da redução de corantes. Entretanto, é provavelmente uma combinação de fatores químicos e biológicos. Por exemplo, na presença de lodo granular anaeróbico, hidrogênio se mostrou o melhor doador de elétrons para sustentar a redução do corante comparado com outros doadores de elétrons como glicose, acetato metanol e formiato (Dos Santos, 2005). Considerando o aumento da importância do H₂ em



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

altas temperaturas na conversão anaeróbia de compostos carbonáceos (Van Lier *et al.*, 1993), o tratamento termofílico parece ser mais vantajoso. Além do mais, os microrganismos termofílicos são caracterizados pelas altas taxas metabólicas e taxas de modificação do lodo (sludge turn-over rates), os quais são cerca de 2-3 vezes maiores do que os mesofílicos homólogos. Portanto, é esperado que a produção natural de mediadores redox, os quais são associados com a degradação da matéria orgânica, seja superior sob condições termofílicas. Newman & Kolter (2000) encontraram que, durante a incubação com o microrganismo *Shewanella putrefaciens* na presença de lactato, um composto parecido com a menaquinona era naturalmente produzido no meio de cultura, o qual possibilitava a transferência de elétrons para uma variedade de aceptores finais de elétrons. Além dessa possibilidade não podemos descartar que, compostos redutivos e com propriedades mediadoras, previamente inabilitados de atravessar a membrana, poderiam ativamente atuar na descoloração reductiva dos corantes devido à lise celular. Durante a degradação aeróbia do composto *naphthalene-2-sulfonate* (2NS) à 30°C por *Sphingomonas xenophaga* tipo BN6, mediadores redox eram naturalmente produzidos, os quais aumentaram a eficiência do organismo em reduzir o corante azo *Amaranth* anaerobiamente (Stolz, 2001; Keck *et al.*, 2002). Dos Santos *et al.* (2004) provaram que a redução do corante azo RR2 pelo redutor sulfeto na ausência de qualquer biomassa, seguiu a equação de *Arrhenius*, o que comprovou o efeito da temperatura na contribuição química (abiótica) da redução do corante.

CONCLUSÃO

Comprovou-se que tratamento termofílico por lodo granular sob condições anaeróbias apresenta uma cinética de remoção de cor superior à do tratamento mesofílico na remoção de cor de dois corantes comumente empregados em indústrias têxteis.

O impacto de mediadores redox foi marcante com o corante azo, mas desprezível com o corante antraquinônico. Neste caso o efeito da temperatura foi bastante significativo, cuja completa descoloração somente foi possível à 55°C.

Portanto, a aplicação conjunta de tratamento termofílico e mediadores redox parece ser uma alternativa viável como pré-tratamento não somente na remoção de cor de esgotos têxteis, mas também outros de esgotos industriais altamente coloridos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARLIELL, C. M., BARCLAY, S. J., NAIDOO, N., BUCKLEY, C. A., MULHOLLAND, D. A. e SENIOR, E. Anaerobic decolorisation of reactive dyes in conventional sewage treatment processes. *Water SA*, v.20, n.4, p.341-344. 1994.
2. CERVANTES, F. J., VAN DER ZEE, F. P., LETTINGA, G. e FIELD, J. A. Enhanced decolourisation of Acid Orange 7 in a continuous UASB reactor with quinones as redox mediators. *Water Science and Technology*, v.44, n.4, p.123-128. 2001.
3. DELEE, W., O'NEILL, C., HAWKES, F. R. e PINHEIRO, H. M. Anaerobic treatment of textile effluents: a review. *Journal of chemical technology and biotechnology*, v.73, n.4, p.323-335. 1998.
4. DOS SANTOS, A. B. Reductive decolourisation of dyes by thermophilic anaerobic granular sludge. (Ph.D. Thesis). Agrotechnology and Food Sciences, Sub-department of Environmental Technology, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 2005. 176 p.
5. DOS SANTOS, A. B., BISSCHOPS, I. A. E., CERVANTES, F. J. e VAN LIER, J. B. Effect of different redox mediators during thermophilic azo dye reduction by anaerobic granular sludge and comparative study between mesophilic (30°C) and thermophilic (55°C) treatments for decolourisation of textile wastewaters. *Chemosphere*, v.55, p.1149-1157. 2004.
6. DOS SANTOS, A. B., CERVANTES, F. J., YAYA-BEAS, R. E. e VAN LIER, J. B. Effect of redox mediator, AQDS, on the decolourisation of a reactive azo dye containing triazine group in a thermophilic anaerobic EGSB reactor. *Enzyme and Microbial Technology*, v.33, n.7, p.942-951. 2003.
7. GINGELL, R. e WALKER, R. Mechanism of azo reduction by *Streptococcus faecalis* II. The role of soluble flavins. *Xenobiotica*, v.1, n.3, p.231-239. 1971.
8. KECK, A., RAU, J., REEMTSMA, T., MATTES, R., STOLZ, A. e KLEIN, J. Identification of quinoide redox mediators that are formed during the degradation of naphthalene-2-sulfonate by *Sphingomonas xenophaga* BN6. *Applied and Environmental Microbiology*, v.68, n.9, p.4341-4349. 2002.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

9. NEWTON, D. e KOLTER, R. A role for excreted quinones in extracellular electron transfer. *Nature* v.405, p.94-97.
10. SOBER, H. A., HARTE, R. A. e SOBER, E. K. *Handbook of biochemistry: selected data for molecular biology*. Cleveland, Ohio, USA: The Chemical Rubber Co. 1970
11. STOLZ, A. Basic and applied aspects in the microbial degradation of azo dyes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v.56, p.69-80. 2001.
12. VAN LIER, J. B., HULSBEEK, J., STAMS, A. J. M. e LETTINGA, G. Temperature susceptibility of thermophilic methanogenic sludge: Implications for reactor start-up and operation. *Bioresource Technology*, v.43, n.3, 1993, p.227-235. 1993.
13. WEISBURGER, J. H. Comments on the history and importance of aromatic and heterocyclic amines in public health. *Mutation Research*, v.(506-507), p.9-20. 2002.
14. YOO, E. S. Kinetics of chemical decolorization of the azo dye C.I. Reactive Orange 96 by sulfide. *Chemosphere*, v.47, n.9, 6, p.925-931. 2002.
15. Delee *et al.*, 1998
Carliell *et al.*, 1994
Dos Santos *et al.*, 2003