



II-115 - APLICAÇÃO DA RESPIROMETRIA PARA AVALIAÇÃO CINÉTICA E DETERMINAÇÃO DA DOSAGEM ADEQUADA DE NUTRIENTES EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO TÊXTIL

Francisco Vieira Paiva ⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará. Doutor em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande.

Joice Maciel dos Santos ⁽²⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará, campus Limoeiro do Norte. Mestranda em Tecnologia e Gestão Ambiental no IFCE campus Fortaleza.

Victória Maura Silva Bermúdez ⁽³⁾

Tecnóloga em Processos Químicos pelo Instituto Federal do Ceará, campus Fortaleza. Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará, campus Fortaleza. Doutora em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal do Ceará.

Irlânia Fernandes de Figueiredo ⁽⁴⁾

Graduada em Saneamento Ambiental pelo Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC), Juazeiro do Norte – CE.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Nunes Valete, 674 - Meireles - Fortaleza - CE - CEP: 60125-070 - Brasil - Tel: (85) 999951960- e-mail: paivareator2017@gmail.com

RESUMO

Este estudo investigou a viabilidade do tratamento biológico de efluentes têxteis, com foco na dosagem ideal de nutrientes. A aplicação da técnica da respirometria permitiu avaliar a ocorrência de toxicidade do esgoto têxtil sobre a biomassa ativa. Os resultados indicaram toxicidade causada pelo efluente, com uma redução de aproximadamente 25% na atividade metabólica dos microrganismos. Através da respirometria, também foi possível verificar a demanda adicional de nutrientes. A adição de nutrientes melhorou o desempenho do sistema, aumentando a degradação do material orgânico. Uma proporção de 100:5,39:1,36 (DQO:N:P) foi eficaz, resultando em uma demanda adicional de 368,41 mgN/L e 92,85 mgP/L para um efluente com DQO de 6.825,0 mgDQO/L. Em síntese, este estudo destaca a importância do monitoramento e ajuste da dosagem de nutrientes em tratamentos de efluentes têxteis, utilizando respirometria para avaliar a toxicidade e entender a cinética dos processos biológicos.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento Biológico, Efluentes Têxteis, Respirometria, Toxicidade, Dosagem de Nutrientes.

INTRODUÇÃO

As atividades do setor industrial diariamente produzem efluentes líquidos que podem ser nocivos ao ambiente. A indústria têxtil é um exemplo do setor industrial que produz esse tipo de efluente, embora tenha um papel fundamental na economia mundial, consome um nível alto de água e conseqüentemente gera uma quantidade expressiva de águas residuais, estima-se que para tingir cada Kg de algodão consome-se 150L de água (HAI et al., 2006).

As águas residuárias provenientes do setor têxtil tem altos níveis de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), acidez, cloretos, sulfatos, cor, turbidez, e vários metais pesados, sendo assim se liberadas no ecossistema sem o tratamento adequado pode levar a eutrofização e perturbação na vida aquática (LANCIOTTI et al., 2004; PRIGIONE et al., 2008).

Os sistemas de tratamento aeróbio podem ser suscetíveis a perda de eficiência caso a composição do efluente apresente material tóxico, que venha a comprometer a microbiota, tenha mudança de temperatura, Oxigênio



Dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH) e caso a razão demanda bioquímica de oxigênio: nitrogênio: fósforo (DBO:N:P), não esteja equilibrada (KUNZ et al., 2002; CARRERA et al., 2004).

Conforme mencionado por Henze et al. (2008 apud BUENO et al., 2019), a proporção DQO:N:P recomendada para o tratamento biológico convencional aeróbio de esgoto sanitário deve ser aproximadamente de 100:5:1. No entanto, é necessário investigar essa relação em relação aos efluentes de indústrias têxteis, a fim de ajustar a dosagem de nutrientes conforme as condições reais da estação, evitando limitações do processo devido a esses compostos e promovendo a formação de um lodo ativo capaz de resistir a cargas tóxicas.

Uma forma de verificar a toxicidade em efluentes é utilizando a técnica de respirometria, que consiste na medição da taxa de consumo de oxigênio (TCO) em reatores aerados. A partir da determinação da TCO é possível avaliar a biodegradabilidade, toxicidade, descrever o metabolismo bacteriano, a influência de fatores ambientais sobre este metabolismo e a cinética dos processos biológicos para os organismos autotróficos e heterotróficos (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999; DERKS, 2007).

Dessa forma, o principal deste estudo foi avaliar a dosagem adequada de nutrientes no esgoto têxtil afluente de um sistema de tratamento biológico, utilizando a técnica da respirometria. Além disso, essa ferramenta permite monitorar o desempenho do sistema de lodo ativado, diagnosticando os efeitos de toxicidade do esgoto afluente na biomassa bacteriana por meio de cálculos estequiométricos de utilização do substrato.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em uma amostra composta de 60% do efluente de uma indústria têxtil em plena operação e 40% de esgoto sanitário. O lodo biológico utilizado nos testes foi formulado em laboratório com base na pesquisa de Zhang et al. (2015). Para a realização dos testes foi utilizado o respirômetro Beluga do tipo aberto e aeração semicontínua, acoplado a um sensor OD e temperatura que determina a TCO, conforme descrito por Catunda et al. (1996). Os dados obtidos foram armazenados automaticamente em planilhas eletrônicas contendo os dados de TCO, temperatura e OD em função do tempo.

Para cada teste foi coletado 1L de licor misto, o qual era submetido a aeração intermitente, produzida por um aerador de bancada que insuflava bolhas de ar dentro do reator por meio de pedras porosas, colocadas na parte inferior do reator, de modo que sua posição e condição de aeração fossem constantes, conforme a Figura 1.

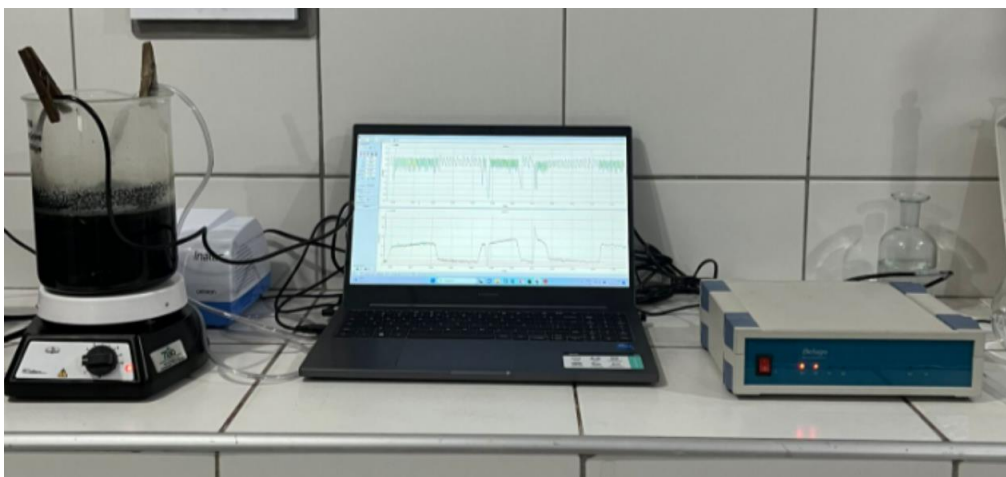


Figura 1: Ensaio de respirometria em escala de bancada

As constantes cinéticas adotadas para verificar a capacidade metabólica do lodo quando submetido a diferentes concentrações e substâncias estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Equações para constantes cinéticas das heterotróficas.

EQUAÇÕES CINÉTICAS	SÍMBOLO	UNIDADE DE MEDIDA
TCO/SSV	TCO _{exo. Esp.}	Mg/L/h
Área do trapézio/dosagem de DQO	F _{cat}	-
TCO _{end.} /(1,2*Bh)*24	X _a	mgX _a /L
(TCO _{exo} /F _{cat} *21)/X _a	K _{ms}	mgDQO/mgX _a /d ⁻¹
Y _{ae} *K _{ms}	μ _m	d ⁻¹

Legenda: TCO: taxa de consumo de oxigênio; SSV: sólidos suspensos voláteis; TCO_{end.}: taxa de consumo de oxigênio endógeno; TCO_{exo.}: taxa de consumo de oxigênio exógeno; F_{cat}: fração catabolizada; X_a: fração de lodo ativo; K_{ms}: constante específica de utilização do substrato; Y_{ae}: coeficiente de crescimento.

Para realizar um ensaio de toxicidade utilizando a técnica da respirometria faz-se necessário adicionar um substrato padrão. Segundo Filho (2015) o acetato de sódio é o melhor substrato para caracterização das propriedades biológicas de organismos heterotróficos em condição de máxima utilização. Após o ensaio, foram avaliados os dados do ensaio aplicando as equações cinéticas.

O estudo da dosagem de nutrientes foi estimado com base o mesmo modelo simplificado, aplicando as seguintes equações:

$$Ni = MEV * Fn * Sta * Nta$$

$$Pi = MEV * Fp * Sta * Pta$$

Onde:

Ni: Demanda adicional de nitrogênio; MEV: Massa de lodo de excesso por DQO aplicada; Fn: Fração de Nitrogênio em lodo volátil; Sta: Concentração de DQO afluente; Nta: Concentração de nitrogênio afluente; Pi: Demanda adicional de fósforo; Pta: Concentração de fósforo afluente Fp: Fração de Fósforo em lodo volátil.

RESULTADOS

ENSAIO DE TOXICIDADE

A análise do efeito tóxico do efluente têxtil foi feita a partir de testes respirométricos com a adição do substrato padrão de acetato de sódio para verificação da atividade metabólica dos microrganismos heterotróficos. Através dos dados dos testes foi possível identificar a taxa de crescimento específico, TCO exógena máxima específica, concentração de lodo ativo, fração de catabolismo e anabolismo e a constante de utilização do substrato.

Um dos indicativos de toxicidade de um efluente na biomassa é a redução da área do trapézio na segunda curva do substrato padrão. Dessa forma, foi possível detectar a presença de toxicidade do efluente têxtil na biomassa de um sistema de lodo ativado ao visualizar a mudança da área do trapézio do acetato após a adição do efluente em aproximadamente 25%. Esse efeito foi observado através do respirograma apresentado na Figura 2.

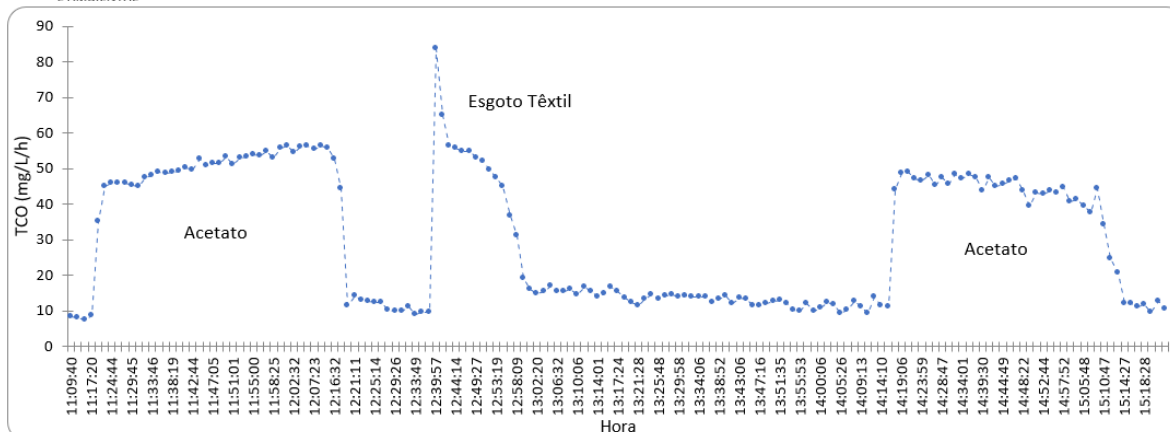


Figura 2: Respirograma do teste de toxicidade antes dosagem adicional de nutrientes

Para constatar a presença de toxicidade, faz-se necessário avaliar as constantes cinéticas de utilização de substrato. Neste estudo, a avaliação da cinética dos microrganismos envolvidos realizada através do modelo matemático simplificado de Van Haandel e Marais (1999). Este modelo permitiu determinar as constantes de utilização dos substratos pelo lodo ativo.

Os resultados dos testes mostraram que houve uma redução das constantes de utilização do acetato de sódio na dosagem após a carga têxtil. Esse comportamento pode ser melhor observado na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados das constantes de utilização do efluente têxtil antes da dosagem de nutrientes

	ACETATO	ESGOTO BRUTO	ACETATO	UNIDADE DE MEDIDA
TCO _{exo}	47,72	74,25	37,95	mg/L/h
F _{cat}	0,34	0,06	0,27	-
X _a	518,96	559,24	662,92	mgXa/L
K _{ms}	6,57	49,14	5,14	mgDQO/mgXa/d
Y _{ae}	0,45	0,45	0,45	mgXa/mgDQO
μ _{máx}	2,96	22,11	2,32	d ⁻¹

Legenda: TCO_{exo}: taxa de consumo de oxigênio exógeno; F_{cat}: fração catabolizada; X_a: fração de lodo ativo; K_{ms}: constante específica de utilização do substrato; Y_{ae}: coeficiente de crescimento; μ_{máx}: constante de crescimento específico máximo.

A TCO exógena corresponde à taxa de consumo de oxigênio requerida para oxidar a matéria orgânica presente no substrato, seja ela solúvel ou particulada. A Fração catabolizada refere-se àquele material orgânico que sofre hidrólise, ou seja, a transformação de substâncias complexas em substâncias mais simples. De acordo com Santos (2009), esse processo de catabolismo envolve a conversão de polímeros em monômeros. No caso do efluente têxtil em análise, a fração de catabolismo foi notavelmente baixa (6%), diferindo daquelas comumente observadas em esgotos sanitários, registrando 34%, conforme definido por Van Haandel e Marais (1999). Isso implica que a maior parte da matéria orgânica no esgoto têxtil não é significativamente quebrada para ser posteriormente assimilada pelos microrganismos envolvidos, sendo, em vez disso, incorporada ao lodo.

DOSAGEM DE NUTRIENTES

Considerando que o esgoto composto continha 7 mgN-NH₄⁺/L e 1 mgP/L. A demanda adicional real sugerida foi de 100:5,39:1,36. Essa demanda se relaciona a uma demanda de 368,41 mgN/L e 92,85 mgP/L para DQO de 6.825,0 mgDQO/L. Para isso, considerou que uma F_p de 2,5% e F_n de 10%, valores teóricos descritos por Van Haandel e Marais (1999). A massa de lodo de excesso por unidade de DQO aplicada (mEv) utilizada para os cálculos foi de 0,55 mgSSV/mgDQO.

Essa proporção DQO:N:P encontrada é maior do que a geralmente aplicada em estações de tratamento de esgoto. No entanto, é importante observar que essa relação é convencionalmente usada para esgotos sanitários, o que não reflete as características específicas do esgoto em estudo.

A fim de verificar se a demanda adicional proposta foi efetivamente atendida na produção de lodo, conduziram-se testes semelhantes e aplicou-se a mesma modelagem cinética para descrever o desempenho do sistema de lodo ativado ao tratar o esgoto têxtil com a dosagem de nutrientes recomendada. O respirograma apresentado na Figura 3 corresponde ao ensaio realizado com o esgoto têxtil fortificado com nitrogênio e fósforo.

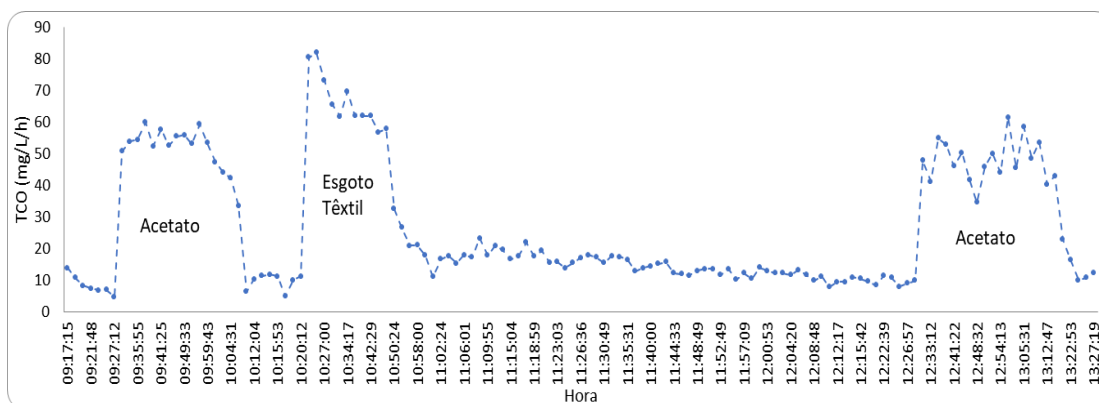


Figura 3: Respirograma do teste de toxicidade após a dosagem adicional de nutrientes

Visualmente, após a dosagem de nutrientes é possível verificar a recuperação da área do trapézio quando é dosado o segundo pulso do substrato padrão. Além disso, o tratamento dos dados demonstrou uma maior atividade metabólica.

Tabela 3: Resultados das constantes de utilização do efluente têxtil após a dosagem de nutrientes

	ACETATO	ESGOTO BRUTO	ACETATO	UNIDADE DE MEDIDA
TCO_{exo}	55,33	70,92	61,55	mg/L/h
F_{cat}	0,34	0,13	0,35	-
X_a	280,90	661,39	583,86	mgXa/L
K_{ms}	14,09	20,05	7,23	mgDQO/mgXa/d
Y_{ae}	0,45	0,45	0,45	mgXa/mgDQO
$\mu_{máx}$	6,34	9,02	3,25	d ⁻¹

ANÁLISE DOS RESULTADOS

ENSAIO DE TOXICIDADE

A TCO exógena corresponde à taxa de consumo de oxigênio requerida para oxidar a matéria orgânica presente no substrato, seja ela solúvel ou particulada. A Fração catabolizada refere-se àquele material orgânico que sofre hidrólise, ou seja, a transformação de substâncias complexas em substâncias mais simples. De acordo com Santos (2009), esse processo de catabolismo envolve a conversão de polímeros em monômeros. No caso do efluente têxtil em análise, a fração de catabolismo foi notavelmente baixa (6%), diferindo daquelas comumente observadas em esgotos sanitários, registrando 34%, conforme definido por Van Haandel e Marais (1999). Isso implica que quando a proporção de DQO:N:P é inadequada, a maior parte da matéria orgânica do esgoto têxtil não é significativamente quebrada para ser posteriormente assimilada pelos microrganismos envolvidos, sendo, em vez disso, incorporada ao lodo.



A fração catabolizada do esgoto têxtil acrescentado de nitrogênio e fósforo aumentou para 13%. O que ainda apresenta um valor relativamente baixo, quando comparado com as respostas encontradas para esgotos sanitários. Contudo, além de se tratar um efluente industrial, essa capacidade pode aumentar, uma vez que os microrganismos envolvidos demanda tempo para se acostumarem com a mudanças das condições ambientais.

O crescimento máximo ($\mu_{\text{máx}}$) diminuiu em mais de 40%, quando se compara ao ensaio antes da dosagem. Antes da adição dos nutrientes, o μ_{m} foi de 22,11 dias e após a dosagem, foi encontrado um valor de 9,02 dias. Isso indica uma taxa de renovação celular mais rápida, resultando no aumento do lodo ativo no sistema de tratamento.

DEMANDA ADICIONAL DE NUTRIENTES

A adição controlada de nutrientes é essencial no tratamento biológico de esgotos têxteis, devido à baixa concentração natural desses elementos. A relação adequada entre matéria orgânica e nutrientes cria condições ideais para otimizar a eficiência da tecnologia aplicada. Com base nos dados cinéticos, para uma vazão de 50 m³/h ou 1200 m³/d, a necessidade adicional é de 442,09 kg.d⁻¹ de nitrogênio e 111,42 kg.d⁻¹ de fósforo.

CONCLUSÃO

Utilizando a técnica da respirometria, foi possível analisar a cinética e a estequiometria relacionadas aos processos de degradação do material orgânico no sistema de lodos ativados tratando esgoto têxtil. Este estudo revelou a eficiência da tecnologia na avaliação dos efeitos de toxicidade e na determinação das constantes cinéticas de utilização dos substratos.

Com base nos dados cinéticos, a dosagem de nutrientes necessária para manter o funcionamento pleno do sistema, melhorando a sua eficiência, é de 100:5,39:1,36. Resultando uma demanda de 368,41 mgN/L e 92,85 mgP/L para o esgoto têxtil de DQO de 6.825,0 mgDQO/L.

A adição de nutrientes favoreceu o desempenho dos microrganismos envolvidos no processo de degradação do material orgânico para obtenção de energia.

É importante ressaltar que os dados obtidos durante este estudo não substituem a necessidade de monitoramento diário. Portanto, é crucial acompanhar diariamente o desempenho do sistema de lodos ativados, pois ter um controle preciso sobre as condições ideais de operação ajudará a evitar problemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BUENO, R. F.; CAMPOS, F.; RIVERA, M. M.; LENIS, C.; PIVELI, R. P. Remoção simultânea de material orgânico, nitrogênio e fósforo em um reator em bateladas sequenciais com biofilme de leite móvel operado pelo processo anaeróbio anóxico-óxico. Eng. Sanitária Ambiental. v.24 n.4. 2019. p747-760.
2. CATUNDA, S.Y.C.; DEEP, G.S.; VAN HAANDEL, A.C.; FREIRE, R.C.S. (1996) Fast on-line measurement of the respiration rate in activated sludge systems. In: IEEE Instrumentation and measurement technology conference. Bruxelas, Bélgica, Junho 4-6, 1996.
3. DERKS, Y. M.; Uso da respirometria para avaliar a influência de fatores operacionais e ambientais sobre a cinética de nitrificação. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 100 p. 2007.41522019125711.
4. HAI, F. I.; YAMAMOTO, K., FUKUSHI, K.; Development of a submerged membrane fungi reactor for textile wastewater. Desalination, 192, pág. 315-322, 2006.
5. KUNZ, A.; ZAMORA, P. P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N.; Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. Química Nova. V. 25, n° 1, 2002. ISSN 1678-7064.
6. LANCIOTTI, E.; GALLI, S.; LIMBERTI, A.; GIVANNELLI, L.; Ecotoxicological evaluation of wastewater treatment plant effluent discharges: a case study in Parto (Tuscany, Italy). Annali Di Igiene, 16(4): 549–558, 2004.
7. SILVA FILHO, H. A., Barros, A. R. M., Santos, E. V. M. D., Sousa, J. T. D., & Haandel, A. C. V. (2015). Seleção de substratos padrões para ensaios respirométricos aeróbios com biomassa de sistemas de lodo ativado. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 20, 141-150.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



8. SANTOS, E. V. M.; Desnitrificação em sistema de lodo ativado. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 114 p. 2009.
9. VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. R.; O Comportamento do sistema de lodo ativado: Teoria e aplicações para operação e projetos. Ed Epgraf Campina Grande PB (1999).
10. ZHANG, W.; LIU, W.; ZHANG, J.; ZHAO, H.; ZHANG, Y.; QUAN, X.; JIN, Y.; Characterisation of acute toxicity, genotoxicity and oxidative stress posed by textile effluent on zebrafish. Journal of environmental sciences, v. 24, pág. 2019-2027, 2012.