

II-181 - DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS DE SISTEMA DE LODO ATIVADO EMPREGADO NO PÓS-TRATAMENTO DE REATORES UASB COM O USO DA RESPIROMETRIA

Jéssica Ysabelly Torres Alves⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestranda em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Fernanda Jucá de Medeiros Araújo

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Carolina Tavares Paula

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestranda em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Hélio Rodrigues dos Santos

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Endereço⁽¹⁾: Rua Mykonos, 46 – Rosa dos Ventos - Parnamirim - RN - CEP: 59141-330 - Brasil - Tel.: +55 (84) 99478-9252 - e-mail: jessica_ysabelly@hotmail.com

RESUMO

Os reatores anaeróbios modernos, com destaque para o UASB, em regiões de clima quente, possibilitam a remoção de grande parte do material orgânico (MO) do esgoto a baixo custo. Contudo, os efluentes desses reatores frequentemente necessitam de pós-tratamento para remoção complementar do MO, o que tem sido obtido com sucesso, p.ex., em sistemas de lodo ativado (LA). Neste caso, contudo, podem ocorrer mudanças na cinética de degradação, em comparação com os sistemas de LA clássicos, uma vez que o MO disponível no efluente do reator anaeróbio é geralmente menos assimilável pelas bactérias heterotróficas que o do esgoto bruto. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar os parâmetros cinéticos do lodo heterotrófico proveniente de um sistema de lodo ativado empregado no pós-tratamento de reatores UASB. Uma série de testes foi realizada para a determinação dos parâmetros cinéticos: Taxa de Consumo de Oxigênio Específica (TCO_{esp}), constante de utilização do substrato (K_{ms}) e constante específica máxima de crescimento (μ_m), utilizando a respirometria para estas determinações. Além disso, também foram calculadas as frações de material orgânico consumidas para o catabolismo e anabolismo. Os parâmetros mostraram-se diferentes dos especificados na literatura para a configuração da estação de tratamento de efluentes em estudo, sendo próximos aos valores encontrados para sistemas de lodo ativado não precedidas de unidade anaeróbia.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de lodo ativado, Bactérias heterotróficas, Constantes cinéticas, Respirometria.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de lodo ativado são amplamente utilizados, em nível mundial, para o tratamento de despejos domésticos e industriais, quando existe a necessidade de elevada qualidade no efluente tratado. Basicamente, são constituídos por um reator aeróbio (tanque de aeração) seguido de um decantador secundário. No tanque de aeração ocorre a degradação da matéria orgânica por bactérias aeróbias, podendo haver, em determinadas condições e com arranjo conveniente, a remoção da matéria nitrogenada e do fósforo. Nesta unidade, a biomassa microbiana utiliza substratos orgânicos para se desenvolver, permanecendo dispersa no reator.

A biomassa dos sistemas de lodo ativado é composta por bactérias heterotróficas (responsáveis pela oxidação da matéria orgânica) e bactérias autotróficas (responsáveis pela nitrificação). O metabolismo desses grupos de bactérias é avaliado através de constantes cinéticas, sendo imprescindível o conhecimento do valor numérico destas quando se deseja elaborar projetos racionais ou otimizar estações existentes de sistemas de lodo ativado, onde ocorra remoção de material orgânico e nitrogenado (VAN HAANDEL E MARAIS, 1999).

Dentre as técnicas utilizadas para avaliar a cinética das reações e verificar o comportamento metabólico das espécies de microrganismos presentes na biomassa, destaca-se a respirometria. Essa ferramenta proporciona velocidade na resposta dos dados e flexibilidade de aplicação na determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO), estabelecendo as taxas das reações.

A introdução de reator UASB antecedendo o sistema de lodos ativados, prática cada vez mais comum nos projetos mais recentes de estações de tratamento de esgoto, influencia a cinética de degradação da matéria orgânica. A diferença consiste no fato do efluente proveniente de sistemas anaeróbios ser menos assimilável quando comparado ao esgoto bruto, conseqüentemente havendo alterações nas constantes cinéticas empregadas no dimensionamento e no monitoramento do sistema. Dessa forma, este trabalho tem como principal objetivo avaliar os parâmetros que regem a cinética de utilização da matéria orgânica por biomassa heterotrófica de um sistema de lodo ativado precedido de reator UASB.

MATERIAIS E MÉTODOS

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para a determinação das constantes cinéticas, isto é, caracterização do metabolismo de um lodo heterotrófico, coletaram-se amostras do licor misto em uma estação de tratamento de esgoto em escala plena operando com tratamento anaeróbio (reator UASB) seguido de lodo ativado projetado com idade do lodo “convencional”, e foram realizados testes respirométricos em laboratório. Com o respirômetro, equipamento capaz de automatizar todas as etapas do ensaio, as amostras foram submetidas a ciclos de aeração e não aeração com adições controladas de acetato de sódio, substrato orgânico sintético.

O consumo de oxigênio dissolvido pelas bactérias, induzido pela adição de substrato, foi medido a cada término do período de não aeração, obtendo-se a TCO. Para cada adição efetuada, foi obtido um gráfico (respirograma) através de uma série de valores de TCO, conhecendo-se o total consumo do acetato quando estes valores se encontraram constantes.

Realizaram-se duas coletas de amostras em dias diferentes, as quais foram submetidas, cada uma, a três adições de acetato de sódio, resultando em um gráfico com três pulsos. Com os resultados obtidos pelas seis adições de substrato, foram calculadas as médias para cada parâmetro objeto deste estudo, as considerando como valores comparativos.

TESTES RESPIROMÉTRICOS

Para a determinação da TCO utilizou-se o respirômetro Beluga, do tipo aberto e de forma semi-contínua. A aeração era controlada pelo *software* S4.3C, acionada quando um dos três parâmetros estipulados era atingido: valor mínimo de OD, desvio-padrão da TCO menor que 0,1 ou 5 minutos sem fornecimento de oxigênio. A aeração era interrompida quando o limite máximo de OD era alcançado ou quando o tempo máximo de aeração (5 minutos) era atingido. Ao final dos períodos sem aeração, o *software* determinava a TCO a partir da variação da concentração de OD com o tempo (VAN HAANDEL E CATUNDA, 2013).

Na Figura 1, exemplifica-se um dos respirogramas gerados nos testes durante uma batelada de lodo. A tela apresenta duas janelas: na janela superior vê-se o gráfico da concentração de OD ao longo do tempo e na janela inferior é apresentado o respirograma, ou seja, os valores da TCO em função do tempo.

Pode-se observar que inicialmente os valores de TCO variam até permanecerem constantes, caracterizando, neste ponto, o valor da TCO endógena, o qual indica a inexistência de material orgânico extracelular. Percebe-se também que, após a adição do acetato de sódio, a TCO atinge um valor máximo devido à respiração exógena. Em seguida, a TCO decai até o estabelecimento novamente da endogenia. Cada amostra foi estudada em tréplica, com o objetivo de se obter resultados mais confiáveis e característicos.

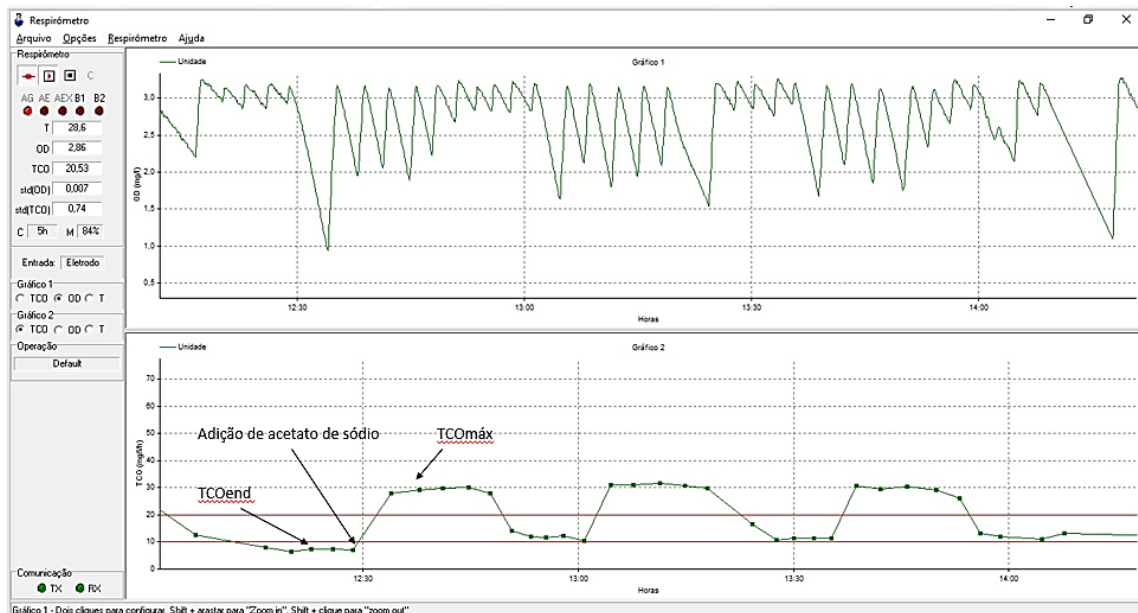


Figura 1: Respirograma para determinação do metabolismo das bactérias heterotróficas.

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA REALIZAÇÃO DOS TESTES RESPIROMÉTRICOS

O material utilizado para execução dos testes respirométricos era composto por (Figura 2):

- Respirometro Beluga com saída para computador, para aerador e entrada para o eletrodo de OD;
- Nebulizador (aerador) com 3 pedras porosas;
- Eletrodo de oxigênio;
- Recipiente de acrílico (reator);
- Agitador de paletas com motor elétrico para manter o lodo em suspensão;
- Computador, contendo o software S4.3c.

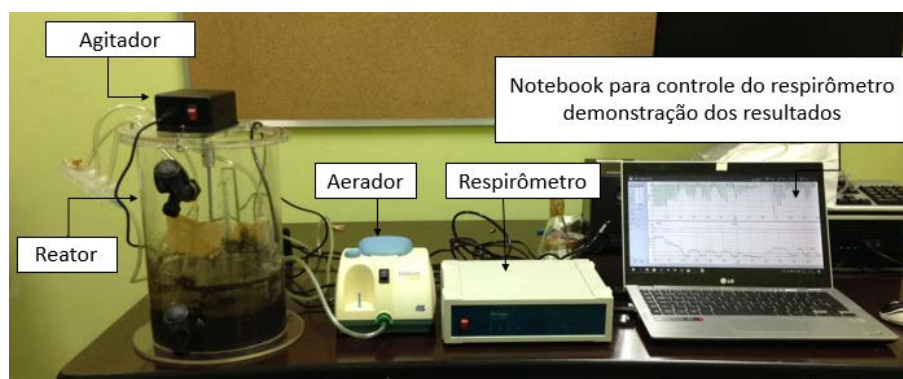


Figura 2: Equipamentos utilizados nos testes respirométricos.

PROCEDIMENTO PARA REALIZAÇÃO DOS TESTES

Os testes respirométricos foram realizados seguindo a metodologia a seguir:

- Ligava-se o respirometro e esperava-se aproximadamente 10 minutos para a calibração do eletrodo de oxigênio dentro de um recipiente com um pouco de água destilada, para que o ar ficasse saturado com água, obtendo-se o valor da concentração de saturação do oxigênio;
- Armazenavam-se 2 litros de licor misto proveniente do tanque de aeração dentro do reator de acrílico;

- c) Submetia-se a amostra à agitação com o eletrodo de OD submerso. Iniciavam-se os ciclos de aeração e não aeração controlada pelo respirômetro, para que todo o material extracelular fosse utilizado, e assim, determinar a TCO mínima, ou seja, a TCO endógena. Nesta fase, os critérios de parada/início da aeração eram somente o intervalo de OD (1,0 a 3,0 mg/L) e o tempo máximo de 5 minutos de aeração, predefinida pelo próprio *software*;
- d) Nesse momento, adicionava-se o acetato de sódio e outros critérios de interrupção da aeração eram estabelecidos: variação do desvio-padrão da TCO limitado a 0,1 e tempo máximo sem aeração de 5 minutos, parâmetros estabelecidos pelo operador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

TESTES RESPIROMÉTRICOS

Para a determinação da concentração ideal da solução de acetato de sódio a ser introduzida, compararam-se duas adições de 20,0 e 38,3 mg/L. Selecionou-se a concentração com melhor resposta metabólica, analisando o número de determinações da TCO máxima e o desvio-padrão.

Na Tabela 1 são apresentados os valores de TCO máxima calculados para as concentrações de DQO de 20,0 e 38,3 mg/L. Para cada concentração é apresentado o número de pontos de TCO obtidos a cada vez que se adicionava substrato, os valores médios, máximos, mínimos, desvio-padrão e coeficiente de variação.

Tabela 1: Dados do teste respirométricos com adição de acetato de sódio.

Concentração de DQO	Nº de pontos	Média TCO _{máx}	Máximo (mg/L/h)	Mínimo (mg/L/h)	DP	CV (%)
20,0	7	32,95	33,99	29,61	1,44	4,4
38,3	10	29,90	31,66	27,87	1,21	4,1

Analisando a Tabela 1, observa-se que adições de 20,0 mg/L de acetato de sódio resultam em respostas com maior variância e um número reduzido de determinações e, portanto, uma estimativa menos precisa da TCO. Conclui-se que, para as condições em que foram realizados os testes, a concentração de 38,3 mg/L é considerada ideal pela maior confiabilidade dos resultados, possibilitando a detecção de possíveis alterações bruscas da TCO pela sua maior frequência de obtenção da TCO.

DETERMINAÇÃO DAS FRAÇÕES OXIDADAS E SINTETIZADAS

A integração das curvas obtidas nos respirogramas resultou no valor da quantidade de oxigênio consumido pela biomassa, a qual é equivalente à massa de DQO utilizada na respiração exógena. Dividindo-se este valor pela quantidade de material orgânico adicionado, tem-se a fração oxidada. A Tabela 2 apresenta a média de f_{cat} (fração da matéria orgânica catabolizada) e f_{ana} (fração da matéria orgânica anabolizada) das adições.

Tabela 2: Dados do teste respirométricos com adição de acetato de sódio.

f_{cat}	$f_{ana} = 1 - Y \cdot f_{cat}$
0,16	0,84

A fração de material oxidado admitiu valores muito abaixo dos encontrados na literatura (0,40 a 0,70), comportando-se de maneira inversa ao esperado para o sistema de UASB seguido de lodo ativado. Porto (2007) em seus estudos chegou ao valor médio de 0,28 para fração oxidada, considerando adição de acetato de sódio em sistema UASB + LA, valor inferior ao estabelecidos na teoria de lodo ativado desenvolvida por Marais (1976) e seus colaboradores, que é de 0,33 para afluente de esgoto não digerido. Essa constatação indica que o fator de síntese celular Y é variável, dependendo da natureza do substrato e do lodo.

Através da metodologia especificada anteriormente, obteve-se os valores apresentados na Tabela 3 para as constantes cinéticas.

Tabela 3: Constantes e valores estequiométricos calculados.

Parâmetros	Unidade	Resultados	UASB + LA	LA
Nº de testes (adições)	und	6	-	-
TCO _{méd,exó}	mgO ₂ /L/h	17,16	-	-
TCO _{esp}	mgO ₂ /h/gX _v	6,55	5,95 ⁹	15,0-35,0 ⁸
TCO _{exó,máx} /TCO _{end}	-	1,73	-	-
X _a	mgSSV/L	629,54	-	-
K _{ms}	mgDQO/mgX _a /d	4,19	-	20,0 ⁵
Y		0,57	0,2-0,4 ⁷	0,35-0,52 ⁶
μ _m	d ⁻¹	2,36	0,39 ⁴	1,50-5,00 ¹ 3,72 ² 2,40-7,20 ³
K _{ss}	mgDQO/L	1,63	0,64 ⁴	1,0-5,0 ¹ 5,0 ⁵

Legenda: TCO méd,exó: taxa média de consumo de oxigênio para respiração exógena; TCO_{esp}: taxa de consumo de oxigênio específica; TCO_{exó,máx}/TCO_{end}: TCO exógena máxima pela TCO endógena; X_a: concentração de lodo ativo; K_{ms}: constante de utilização do substrato pelo lodo ativo; Y: coeficiente de produção celular; μ_m: constante de crescimento máximo; K_{ss}: constante de meia saturação. ¹Metcalf e Eddy (1991); ²Lawrence e McCarty (1970); ³Horan (1990); ⁴Barros (2014); ⁵Dold et al. (1980); ⁶Van Haandel e Marais (1999); ⁷Von Sperling (2012); ⁸Marais e Ekama (1976); ⁹Porto (2007).

O valor de TCO_{exo} normalmente é expresso na forma de TCO_{esp}, quando determinada a proporção da taxa de consumo de oxigênio por grama de lodo ativo (X_a), apresentado na Tabela 3.

O valor de μ_m se aproxima dos valores encontrados na literatura. Metcalf e Eddy (1991) *apud* Von Sperling (2012) indicam um valor de taxa de crescimento de bactérias variando entre 1,5 e 5,0 para uma temperatura média de 20°C, sem sistema anaeróbio à montante; Lawrence e McCarty (1970) *apud* Barros (2014) e mencionam 3,7 e Horan (1990) *apud* Barros (2014) 2,4 a 7,2. Tal parâmetro é um indicador de anormalidade na capacidade metabólica do lodo, ou seja, valores fora desses intervalos indicam a presença de substâncias inibidoras à atividade das bactérias.

Porto (2007) avaliou as constantes de crescimento no tratamento de esgoto bruto e esgoto digerido (por um reator UASB) em sistemas de lodo ativado, encontrando divergências nos valores das mesmas. Segundo a autora, o valor de μ_m do lodo que recebia esgoto bruto era significativamente diferente do valor do lodo que recebia esgoto digerido, mostrando que um processo de pré-tratamento anaeróbio pode modificar o metabolismo das bactérias heterotróficas no sistema de lodo ativado.

De acordo com Metcalf e Eddy (2003) *apud* Von Sperling (2012), os valores típicos de K_{ss} estão na faixa de 1 a 5 mgDQO/L e Dold *et al.* (1980) *apud* Van Haandel (2006) 5 mgDQO/L. Dessa forma, a concentração de 38,3 mg/L utilizada nos testes não foi um fator limitante para a determinação do metabolismo das bactérias heterotróficas. Os valores baixos da constante de meia saturação (K_{ss} sempre menor que 10mg/L), mostram que o metabolismo do material orgânico solúvel tenderá a ocorrer a toda velocidade, podendo-se esperar, sob condições de operação normais, que a remoção de material orgânico solúvel seja completa.

Os valores de Y calculados mostram um valor médio de 0,57, estando acima dos valores dentro da faixa indicada, de 0,45 a 0,50, por Van Haandel & Marais (1999), e 0,2 a 0,4 por Von Sperling (2012).

CONCLUSÕES

- As frações utilizadas no metabolismo para o catabolismo e para o anabolismo apresentam valores bastante distintos dos geralmente encontrados na literatura, indicando uma maior porcentagem (84%) para a reprodução de células da biomassa. Além disso, de acordo com o valor calculado, o sistema em estudo se comporta de forma aproximada dos sistemas de lodo ativado sem a utilização de reator UASB, que possuem produção celular da ordem de 67%.

- A capacidade metabólica do lodo heterotrófico pode ser medida pela constante K_{ms} com média de 4,19 mg de DQO por mg de lodo por dia. Este valor é indicativo da qualidade do lodo, sendo caracterizado como um lodo de baixa a média capacidade metabólica para substrato solúvel e biodegradável.
- O valor encontrado para a relação da TCO exógena máxima e a TCO endógena ($TCO_{exo,máx}/TCO_{end}$) indica um lodo de baixa capacidade metabólica.
- A importância do controle de estações de tratamento existentes e a concepção adequada de novas estações fomenta a necessidade de estudos que visem à determinação de parâmetros cinéticos, sobretudo do coeficiente de produção celular, em diferentes configurações de sistemas de lodo ativado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARROS, A. R. M. Avaliação dos parâmetros cinéticos de biomassa gerada em sistemas de lodo ativado. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.
2. DERKS, Y. M. Uso da respirometria para avaliar a influência de fatores operacionais e ambientais sobre a cinética de nitrificação. 2014. 103 f. Dissertação de mestrado-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.
3. METCALF e EDDY. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw Hill, 4.ed. New York: McGraw-Hill Book, 2003.
4. PORTO, A. L. Uso da respirometria para caracterização da atividade metabólica de bactérias heterotróficas. 2007. 80 f. Dissertação de mestrado-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.
5. SANTOS, S.L. Estudo comparativo dos métodos contínuo e semi-contínuo de determinação da taxa de consumo de oxigênio. 2013. 113 f. Dissertação de mestrado-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.
6. SILVA FILHO, H. A. et al. Seleção de substratos padrões para ensaios respirométricos aeróbios com biomassa de sistemas de lodo ativado. Artigo Técnico – Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2015, vol.20, n.1, pp.141-150. ISSN 1413-4152.
7. VAN HAANDEL, A. C. e MARAIS, G. O comportamento do sistema de lodo ativado: Teoria e aplicações para projetos e operações. Campina Grande: Epgraf, 1999.
8. VAN HAANDEL, A. C.; MONROY, O.; CELIS, B.; RUSTRIAN, E. e CERVANTES, F.J. Principles of process design for industrial wastewater treatment systems. In: CERVANTES, F.J.; PAVLOSTATHIS, S.G. e VAN HAANDEL, A. C. (editors). Advanced biological treatment processes for industrial wastewaters. London: IWA Publishing, 2006.
9. VAN HAANDEL, A. C. e CATUNDA, Y. C. Respirometria aplicada ao sistema de lodo ativado: Teoria e aplicações. Campina Grande: Epgraf, 2013.
10. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Lodos ativados. Vol.4. 2ª ed. Belo Horizonte (MG), DESA/UFMG, 2002.
11. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Princípios básicos do tratamento de esgotos. Vol. 2. Belo Horizonte (MG), DESA/UFMG, 1996.