



II-020 - AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS CONTÍNUO E SEMICONTÍNUO DE DETERMINAÇÃO DA TAXA DE CONSUMO DE OXIGÊNIO PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE LODO ATIVADO

Silvânia Lucas dos Santos ⁽¹⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Adrianus Van Haandel

Professor Ph.D. do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Endereço ⁽¹⁾: Rua João da Penha Azevedo, 176 - Catolé - Campina Grande - PB - CEP: 58.410-332 - Brasil - Tel: (083) 9164-3019 - e-mail: silvania_sls@hotmail.com

RESUMO

A respirometria é utilizada em sistemas aeróbios de tratamento de águas residuárias para determinar a Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) pela massa de lodo bacteriano. Com o objetivo de ampliar o uso desta ferramenta, foi estudada a viabilidade da aplicação do método contínuo em condições extremas de alimentação da carga orgânica. Foi feita a comparação entre os métodos semicontínuo e contínuo de determinação da TCO. Os resultados indicaram que não há diferença entre os métodos testados apresentando variação máxima de 10% entre as médias obtidas. Os resultados experimentais obtidos mostram boa precisão e acurácia nos dados obtidos pelos dois métodos, sendo então viável a aplicação de ambos os métodos. O método semicontínuo será aplicado mais em escala pequena com aeradores pequenos e o método contínuo em sistemas de lodo ativado em escala real com aeradores grandes que não podem ser ligados e desligados com frequência.

PALAVRAS-CHAVE: Respirometria, Taxa de Consumo de Oxigênio, Sistemas de tratamento aeróbio.

INTRODUÇÃO

Em sistemas de tratamento biológico de esgotos o material orgânico presente nas águas residuárias é removido a fim de se reduzir as substâncias que demandam oxigênio. Em sistemas de lodo ativado as bactérias heterotróficas e autotróficas são as principais responsáveis pela degradação da matéria orgânica. O processo de degradação aeróbio da matéria orgânica pode ser determinado através da medição da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) pelos microrganismos.

A respirometria é utilizada em sistemas de tratamento de águas residuárias para determinar a Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) pela massa de lodo bacteriano (SPANJERS, 1996; YOUNG, 2000; VANROLLEGHEM, 2002). O respirômetro é um instrumento que pode ser utilizado em sistemas aeróbios de tratamento de águas residuárias, mais especificamente nos sistemas de lodo ativado e suas variantes.

Em princípio há dois métodos experimentais que se aplicam à determinação da TCO em sistemas de tratamento aeróbio: o método contínuo baseia-se na aplicação de aeração continuamente ao sistema e o método semicontínuo por sua vez é baseado na interrupção da aeração entre valores de referências máxima e mínima pré-estabelecidos no software do respirômetro. O método semicontínuo é bastante prático e rápido para a obtenção de respostas da TCO, no entanto não pode ser aplicado em sistemas em escala real pela necessidade da interrupção da aeração e, a falta de agitação nos períodos sem aeração provoca a sedimentação do lodo, descaracterizando os dados de TCO obtidos (VAN HAANDEL e VAN DER LUBBE, 2012). O método contínuo se baseia na aplicação de aeração contínua no reator e na observação da concentração do oxigênio dissolvido (OD) em função do tempo. Pela aplicação de uma equação simples é possível estimar os dados da TCO a partir do perfil do OD com o tempo, se a capacidade de oxigenação for conhecida. Como a aeração é contínua e, conseqüentemente, há mistura contínua do conteúdo do reator torna-se viável seu uso em reatores grandes. A desvantagem do método contínuo é que o cálculo da TCO depende da capacidade de oxigenação

que, portanto, deve ser conhecida. Neste trabalho, os dois métodos de determinação da TCO são comparados para estabelecer qual dos dois é capaz de produzir medidas acuradas e precisas quando ocorrerem variações grandes e repentinas no valor da TCO.

Neste trabalho foi usado um respirômetro que, juntamente com um software especificamente desenvolvido, permite a determinação automatizada da TCO que o lodo tem para manter a respiração endógena e para metabolizar os substratos que se encontram no afluente, os quais são basicamente material orgânico e amônia. A função do software é armazenar em planilhas, na memória do computador, tanto a concentração de oxigênio dissolvido (OD) como a TCO, em função do tempo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os reatores para a geração de lodo foram construídos em acrílico com 22 cm de diâmetro e 50 cm de altura de forma cilíndrica com volume útil de 14 litros, sendo duas unidades com as mesmas características (Figura 1). Esse sistema foi projetado com a finalidade de produzir lodo aeróbio a partir do esgoto sanitário. O esgoto afluente era proveniente da rede coletora de esgotos da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA). O reator foi programado para operar em regime de bateladas sequenciais (RBS) com alimentação diária. O lodo utilizado para realização dos testes foi proveniente de um sistema de lodo ativado, em escala de laboratório, alimentado diariamente com esgoto doméstico sob o regime de bateladas, e operando com idade de lodo de 5 dias, tempo insuficiente para a nitrificação.

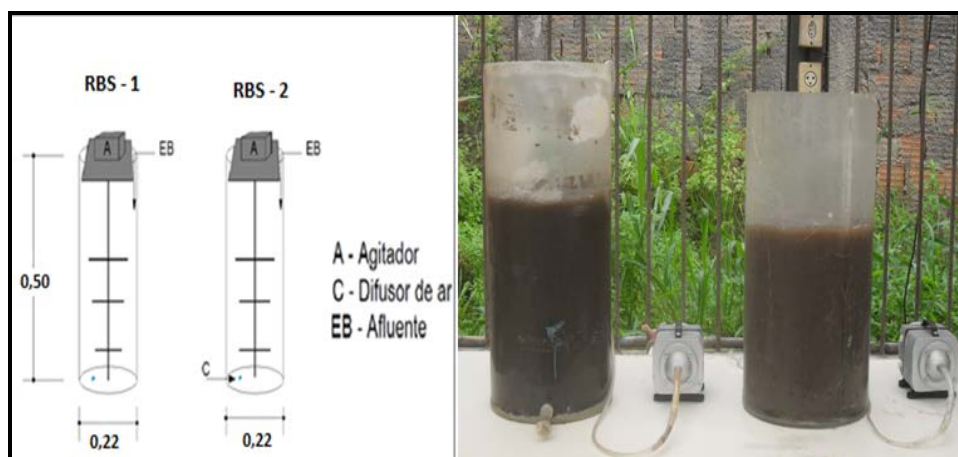


Figura 1: Configuração dos reatores RBS utilizados para a produção de lodo

Já se dispõe de um respirômetro e software que permitem o cálculo da TCO pelo método semicontínuo e pelo método contínuo. Realizou-se uma série de investigação em escala de laboratório onde se aplica vários graus de severidade de variações da carga orgânica aplicada, tendo-se como consequência variações da TCO de intensidade variada. Estes valores da TCO serão determinados pelo respirômetro tanto pelo método contínuo como pelo método semicontínuo. Os perfis da TCO em função do tempo assim obtidos pelos dois métodos serão comparados, podendo-se então decidir se os métodos descrevem adequadamente a variação da TCO com o tempo.

O aparelho de medição de OD utilizado foi o respirômetro Beluga modelo S3.2C versão software S4.0C, o qual transmite os dados de leituras de Oxigênio Dissolvido (OD) ($\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e a TCO ($\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) para um microcomputador, onde são registrados automaticamente em planilhas eletrônicas.

Todos os testes respirométricos foram realizados no mesmo dia e com a mesma amostra de licor misto, proveniente do descarte de lodo dos reatores; diariamente era coletado um litro de amostra para a realização dos ensaios laboratoriais. A TCO pelos métodos semicontínuo e contínuo foram determinados conforme descrito a seguir, utilizando o respirômetro Beluga modelo S3.2C e versão software Resp S4.0C. Uma sequência de bateladas de um substrato solúvel (acetato de sódio) era adicionada e a TCO era determinada em função do tempo.

MÉTODO SEMICONTÍNUO

A TCO pelo método semicontínuo foi determinada com a utilização do respirômetro para obtenção de dados automatizados da TCO. Um aerador era ligado ao respirômetro, que controlava a aeração através do software S4.0C que acompanha o equipamento. O respirômetro ativava o aerador quando atingia uma concentração de OD inferior estabelecida, desativando-o quando era atingida uma concentração superior também estabelecida, sendo estabelecidos ciclos de períodos com aeração e sem aeração. No fim dos períodos sem aeração o software calculava os valores da TCO como a razão da diminuição da concentração de OD observada e o tempo necessário para provocar essa diminuição, como expressa a Equação (1).

$$TCO = (OD_{m\acute{a}x} - OD_{m\acute{i}n})/\Delta t \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

TCO = Taxa de consumo de oxigênio ($mg.L.h^{-1}$)

$OD_{m\acute{a}x}$ = Oxigênio dissolvido de referência superior ($mg.L^{-1}$)

$OD_{m\acute{i}n}$ = Oxigênio dissolvido de referência inferior ($mg.L^{-1}$)

Δt = Intervalo de tempo entre $OD_{m\acute{a}x}$ e o $OD_{m\acute{i}n}$

No caso de aplicação do método contínuo, havendo, portanto aeração contínua, a variação da concentração de OD na fase líquida é expressa como:

$$dOD/dt = K_{la}(OD_s - OD_l) - TCO \quad \text{equação (2)}$$

Sendo:

K_{la} = Constante de transferência de oxigênio (h^{-1})

OD_s = Concentração de oxigênio de saturação ($mg.L^{-1}$)

OD_l = Concentração de Oxigênio no licor misto ($mg.L^{-1}$)

A determinação da TCO de forma contínua é possível somente quando se tem um equipamento que registre os valores da concentração do oxigênio dissolvido no líquido (OD_l) em função do tempo. Neste caso a Equação (2) pode ser reescrita como:

$$TCO = K_{la}(OD_s - OD_l) - \Delta OD/\Delta t \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

ΔOD = variação de OD durante o intervalo de tempo Δt .

Para a aplicação da Equação (3) é necessário que se conheça o valor da constante de transferência de oxigênio do sistema de aeração, mas em princípio este valor não é conhecido. Se a TCO não varia consideravelmente no intervalo de integração, a equação diferencial (2) pode ser usada para determinar o valor de K_{la} . A equação (2) pode ser resolvida para TCO constante como mostra a Equação 4:

$$OD_l = (OD_s - TCO/K_{la}) * (1 - \exp(-K_{la}t)) - OD_0 \exp(-K_{la}t) \quad \text{equação (4)}$$

Sendo:

OD_0 = concentração inicial de O_2 ($mg.L^{-1}$)

Usando a equação (4) são geradas curvas de OD em função do tempo para diferentes valores das constantes K_{la} e OD_s que, em princípio, são desconhecidos. Ao comparar as curvas teóricas com os valores experimentais de OD em função do tempo são selecionados aqueles valores que dão a melhor correlação entre a curva teórica e os valores experimentais. Alternativamente, pode ser usado o *Solver* do programa Excel para simular a melhor correlação entre as curva teórica e experimental de OD_l , sendo obtidos assim os valores de OD_s e K_{la} . De posse do valor de K_{la} por este procedimento, a Equação (3) é utilizada para calcular a TCO pelo método contínuo.

RESULTADOS

Para estabelecer o limite da aplicabilidade dos métodos contínuo e semicontínuo de determinação da TCO para variação de bruscas cargas orgânicas aplicadas, foi realizada uma série de testes respirométricos, a fim de obter dados de TCO por ambos os métodos e compará-los posteriormente. Na Figura 2 são apresentados gráficos da TCO em função do tempo, produzidos pelo software do respirômetro para o método semicontínuo.

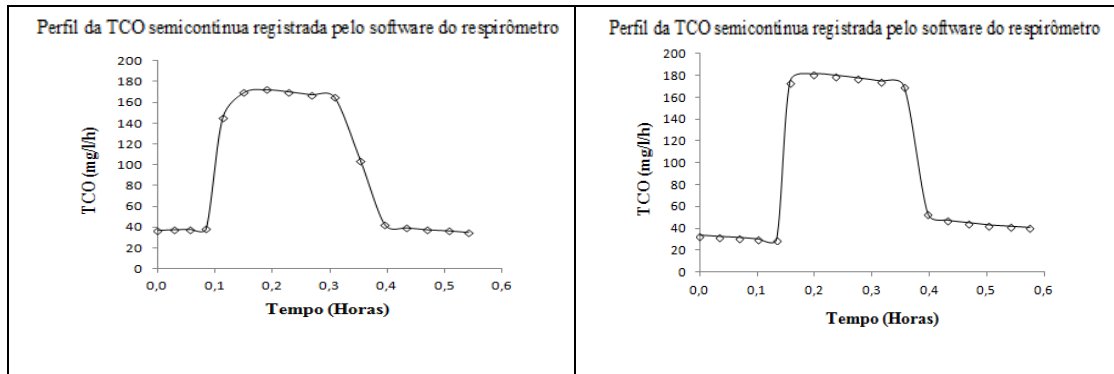


Figura 2: Gráficos da TCO semicontínua registrada pelo software do respirômetro Beluga

Na Figura 3 são mostrados os gráficos da TCO em função do tempo calculados com a Equação 3 (TCO contínua). Para a obtenção dos valores teóricos da TCO foram utilizadas (na Equação 3) os seguintes parâmetros: K_{la} de $0,89 \text{ min}^{-1}$, OD_s de $7,9 \text{ mg/L}$, e intervalo de tempo $\Delta OD_l/\Delta t$ de 1 min.

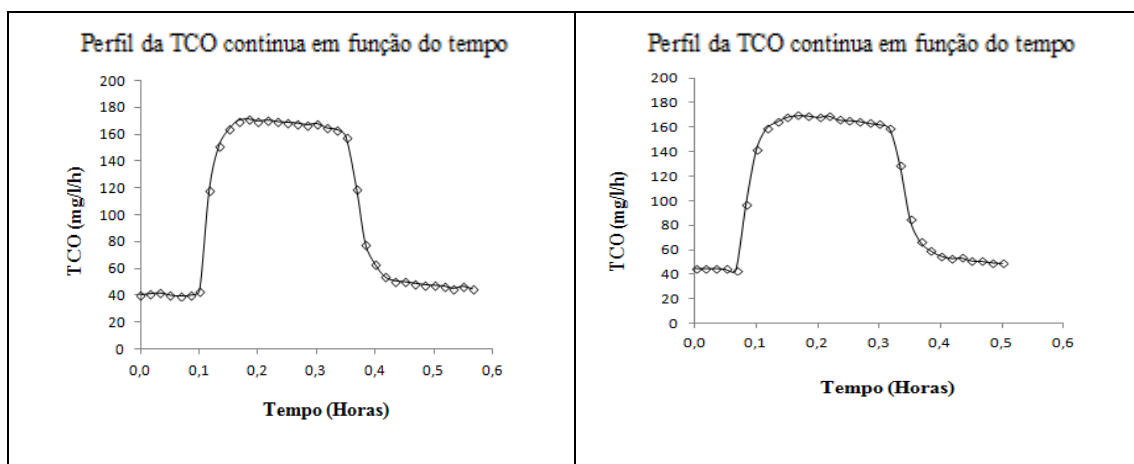


Figura 3: Gráficos da TCO contínua calculados com base na teoria (equação 3).

Comparando com os dados da TCO registrados pelo software do respirômetro para o método semicontínuo (gráficos da Figura 2) com os dados calculados com a teoria apresentados na Figura 3, observa-se que o perfil da TCO nas duas situações é o mesmo, no entanto a marcação dos pontos da TCO pelo método contínuo é mais frequente (um ponto por minuto). Para o metabolismo de 120 mgDQO/L (acetato de sódio) que, neste teste, levou em média 15 minutos (considerando a TCO máxima), tem-se 15 pontos marcados para o método contínuo enquanto no semicontínuo tem-se apenas 6 pontos registrados. A maior frequência de marcação de dados da TCO pelo método contínuo aumenta a possibilidade de detecção de variações repentinas.

Nas Tabelas 1 e 2 podem ser observados os valores médios obtidos nas determinações da TCO semicontínua e contínua, respectivamente. Os dados encontram-se distribuídos em quatro séries, cada uma delas referente a bateladas de adição do substrato, sendo mostrado para cada um o número de dados de TCO quando havia respiração exógena máxima, registrado pelo software e seus respectivos parâmetros estatísticos.

Tabela 1: Valores médios da TCO máxima (mg/L/h) obtida pelo método semicontínuo

	Nº de Pontos	Média TCO _{máx}	Máximo (mg/L/h)	Mínimo (mg/L/h)	DP	CV(%)
	6	165	172,4	145,1	10,0	6,0
	6	176	180,9	169,7	4,1	2,3
	6	179	184,4	170,8	4,8	2,6
	6	187	195,2	178,9	6,1	3,2
Média Global	6	176,8	183,2	166,1	9,1	5,2

Tabela 2: Valores médios da TCO máxima (mg/L/h) obtida pelo método contínuo

	Nº de Pontos	Média TCO _{máx}	Máximo (mg/L/h)	Mínimo (mg/L/h)	DP	CV (%)
	15	160	171,1	118,3	13,2	8,2
	15	161	169,5	129,1	11,3	7
	14	164,8	175,7	113,5	10,2	6,1
	15	176,3	190,8	131,8	16,8	9
Média Global	15	165,5	176,8	123,2	7,5	4,5

Em termos percentuais a variação entre as médias dos dados da TCO obtidos por ambos os métodos foi inferior a 10% que é considerada uma baixa variação uma vez que são utilizados microrganismos. A massa microbiana sofre constantes modificações dentro do sistema de tratamento, de modo que o seu crescimento e decaimento provocado pelo metabolismo, causam pequenas e aceitáveis oscilações nos valores de TCO registrados pelo software do respirômetro ou calculados.

CONCLUSÕES

Foi verificado que os métodos semicontínuo e contínuo são aplicáveis quando o sistema recebe variações abruptas da carga orgânica aplicada. Os resultados ainda revelaram que a obtenção de dados da TCO pelo método contínuo é mais frequente, por isso a detecção de possíveis alterações no comportamento da TCO pode ser identificada mais rapidamente por este método.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CATUNDA, S. Y. C.; DEEP, G. S.; VAN HAANDEL, A. C.; FREIRE, R. C. S. Método de medição contínua da taxa de respiração em sistemas de lodo ativado. In: XI Congresso Brasileiro de Automática, 1996, São Paulo. Anais. São Paulo, 1996. p. 269-274.
- SPANJERS, H.; VANROLLEGHEM, P.; OLSSOM, G.; DOLD, P. Respirometry in Control of the activated sludge Process. Water Science and Technology, v. 34, n. 3-4. p. 117-126, 1996.
- VAN HAANDEL, A. C.; VAN DER LUBBE, J. Handbook biological waste water treatment: design and optimization of activated sludge systems. 2. ed. Londres – UK: IWA Publishing of Alliance House, 2012. p. 816.
- VANROLLEGHEM, P. A. Principles of respirometry in activated sludge wastewater treatment. Department of Applied Mathematics Biometrics and Process Control – BIOMATH; Belgium, p.19, October 2002.
- YOUNG, J. C. Using Oxygen Uptake Rate to Fingerprint Activated Sludge Processes. In: III International Symposium on Advanced Environmental Monitoring Sponsored by the Kwangju Institute of Science and Technology, 2000, Korea, October/november 31-2.