

## II-241 - AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DO ESGOTO PROVENIENTE DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO

**Amanda Gonçalves Moreira** <sup>(1)</sup>

Graduanda em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Limoeiro do Norte.

**Jarbas Rodrigues Chaves** <sup>(2)</sup>

Técnico e Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE. Mestrando em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Fortaleza- CE.

**Heraldo Antunes Silva Filho** <sup>(3)</sup>

Graduado em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (2006), Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, área de concentração em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Campina Grande (2009), Doutorado em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

**Elivânia Vasconcelos Moraes dos Santos** <sup>(4)</sup>

Graduada em Gestão Ambiental pelo CEFETCE (2006), Mestra em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG (2009), com área de concentração em Engenharia Sanitária. Doutora em Engenharia Ambiental pela UEPB, com linha de pesquisa em Tecnologias de Tratamento de Águas e Resíduos.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Rua Estevão Remígio, 1145 – Centro – Limoeiro do Norte – CE – CEP: 62930-000 - Brasil - Tel: (88) 3447-6400 - e-mail: [amandamoreyra01@gmail.com](mailto:amandamoreyra01@gmail.com).

### RESUMO

O processo de lodos ativados vem sendo amplamente utilizado no tratamento biológico de esgotos e a caracterização desses efluentes se faz de suma importância, uma vez que sua composição influenciará diretamente na eficiência do reator. O material orgânico presente nas águas residuárias pode ser classificado quanto a DQO biodegradável e não biodegradável, e dessa forma, solúvel e particulada para cada uma dessas frações. Partindo desse pressuposto, utilizou-se o método da respirometria, baseada na Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) que os microrganismos exercem para oxidar a matéria orgânica biodegradável presente nos efluentes. Desse modo, o presente estudo objetivou determinar as frações biodegradáveis e não biodegradáveis em termos de DQO do esgoto gerado em uma instituição de ensino, tendo como ferramenta a respirometria para a definição das frações rapidamente e lentamente biodegradáveis, com vistas a possibilitar o controle e identificação de distúrbios que possam comprometer o desempenho de um sistema de lodo ativado do tipo RBS (reator em batelada sequencial). Realizados em diferentes períodos, os testes possibilitaram avaliar que o tratamento biológico aplicado no efluente do IFCE, em escala laboratorial, é insuficiente para o alcance da eficiência estabelecida pela literatura para um sistema de lodo ativado, onde o esgoto bruto apresentou um percentual médio de 48,53% de material orgânico biodegradável, dos quais 30,74% correspondem a fração solúvel e os outros 17,79% particulado e, 51,47% de material não biodegradável, onde 29,38% é solúvel e 22,10% particulado. Dessa forma, mesmo operado nas condições ótimas, as características do efluente não permitem que o sistema em batelada sequencial (RBS) adeque as águas residuárias tratadas aos padrões de remoção de material orgânico estabelecidos pela literatura (93%-98%) para essa tecnologia, pois aproximadamente 29,38% de material orgânico não biodegradável solúvel compõe esse esgoto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodegradabilidade, efluentes, DQO, respirometria.

### INTRODUÇÃO

Os sistemas de lodos ativados é uma tecnologia comumente aplicada para o tratamento biológico de águas residuárias municipais e efluentes industriais. Neste processo, poluentes orgânicos e inorgânicos complexos são transformados em produtos finais estabilizados e a água tratada pode ser descarregada para o ambiente (CANALES *et al.*, 1994; LOW e CHASE, 1999; WEI *et al.*, 2003).

No dimensionamento de um sistema de tratamento de efluentes, é de suma importância conhecer as características do esgoto a ser tratado, a fim de possibilitar a seleção da tecnologia apropriada para o tratamento. Desse modo, caso adotado um tratamento biológico, sua eficiência é atribuída não apenas à configuração do reator e efetiva operacionalidade, uma vez que a composição do esgoto é determinante e os processos necessários para remover a matéria orgânica nele contida devem ser avaliados.

Por meio da Demanda Química de Oxigênio (DQO) é possível determinar a fração oxidada de substrato através da biomassa ativa. Os processos de tratamento de efluentes biológicos requerem uma caracterização detalhada da composição das águas residuárias, assim a divisão da matéria orgânica dá-se em várias frações em termos de DQO: biodegradável solúvel ( $S_s$ ), biodegradável particulada ( $X_s$ ), não biodegradável solúvel ( $S_i$ ) e não biodegradável particulada ( $X_i$ ) (GATTI *et al.*, 2010). O material biodegradável pode ser metabolizado pelos microrganismos do lodo ativado, enquanto o não biodegradável não é afetado pela ação bioquímica destes. Isso leva a concluir que o comportamento do material não biodegradável solúvel será diferente daquele do material não biodegradável particulado: o primeiro não será afetado pelo lodo no sistema e será descarregado juntamente com o efluente, podendo conter tóxicos que degradam o corpo hídrico. O segundo será floculado e acumular-se-á no sistema de lodo ativado até sua descarga junto com o lodo de excesso (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

A avaliação correta da DQO biodegradável em águas residuárias é de grande significado prático e teórico, não só porque este parâmetro é o principal componente diretamente relacionado com o crescimento microbiano em modelos atuais, mas também porque permite o cálculo da outra importante fração da DQO, ou seja, a DQO não biodegradável, que muitas vezes é o componente mais difícil de ser modelado em sistemas de lodo ativados (ÇOKGOR *et al.*, 1998).

A disponibilidade de material biodegradável e solúvel, juntamente com a configuração do reator, pode permitir que ocorra de forma eficiente a remoção simultânea de fósforo e nitrogênio em um mesmo sistema RBS (VON SPERLING, 2002). As dimensões das partículas  $S_s$  são de rápida assimilação pelas bactérias heterotróficas e, por isso, considerada como fonte de alimento ideal aos organismos acumuladores de polifosfato (PAO), bem como os desnitrificantes, por permitir metabolismo mais rápido. No que se refere ao material  $X_s$ , somente após sua adsorção pela superfície do lodo, inicia-se a ruptura das cadeias carbônicas de alto peso molecular, transformando-as em moléculas de cadeia curta por meio de uma população mista de microrganismos, que possibilitam a lise e posterior absorção dos monômeros (TEIXEIRA, CHERNICHARO e AQUINO, 2008). Para essa fração é esperado taxas de desnitrificação menores e nenhuma remoção de fósforo uma vez que apenas material solúvel e biodegradável é utilizado pelas bactérias poli-P (WENTZEL *et al.*, 1990; VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

Quase todos os métodos propostos para a determinação da matéria orgânica biodegradável confiaram em análises do comportamento de lodos ativados via respirometria. A análise respirométrica é baseada na dinâmica de degradação da matéria orgânica realizado por bactérias em um bioteste, em que a variável geralmente medida é o consumo de oxigênio em função do tempo. A qualidade da informação cinética contida nesse método é governada pela razão da concentração inicial de substrato pela concentração de biomassa inicial ( $F_0/X_0$ : mgDQO/mgSSV) (EKAMA *et al.*, 1986; BOURSIER *et al.*, 2005).

Desse modo, o presente estudo objetiva determinar a biodegradabilidade do efluente gerado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia- IFCE, *Campus* Limoeiro do Norte, em termos de DQO, tendo como ferramenta a respirometria para a definição das frações rapidamente e lentamente biodegradáveis, com vistas a possibilitar o controle e identificação de distúrbios que possam comprometer o desempenho de um sistema de lodo ativado do tipo RBS.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Montagem e operação de um sistema RBS

A pesquisa foi realizada no Centro Experimental de Tratamento de Esgoto – CETE do IFCE, *Campus* Limoeiro do Norte. Para avaliar a biodegradabilidade do esgoto gerado no IFCE foi necessária a construção e operação de um reator em batelada sequencial (RBS) que tratava as águas residuárias provenientes de banheiros, cozinha e laboratórios e gerava lodo adaptado e estável para os testes respirométricos. Nesse

sistema foi feito acompanhamento do desempenho através dos parâmetros físico-químicos pH, alcalinidade, amônia, nitrito, nitrato, DQO, fósforo, ortofosfato, fósforo, ortofosfato e sólidos suspensos e frações, de acordo com APHA (2012).

### Testes respirométricos

Os testes de biodegradabilidade foram realizados no Laboratório de Controle Ambiental do IFCE- *Campus* Limoeiro do Norte via respirometria.

A TCO obtida pelo método semicontínuo foi determinada conforme Catunda *et al.* (1996). Para os testes de respirometria utilizou-se o respirômetro Beluga S32c, do tipo aberto e com aeração de forma semicontínua.

Os dados de TCO, OD e temperatura foram registrados automaticamente e arquivados em planilhas do Excel, no qual a TCO e a concentração de OD podiam ser vistas graficamente na tela do computador.

O procedimento básico para os ensaios respirométricos consistiu em:

- Adicionar em um frasco 1 L de licor misto do sistema RBS;
- Deixava-se o licor misto sob agitação e emergia-se o eletrodo de OD, ligado ao respirômetro, dando início aos ciclos de aeração e não aeração sem adição de substrato, (tendo como referências a concentração máxima de OD de 3,0 mg/L e mínima de 1,0 mg/L) afim de que todo material extracelular ainda presente fosse consumido, mantendo uma TCO mínima (TCOend) e constante, caracterizando a fase de respiração endógena.
- Quando estabelecida a respiração endógena desligava-se o aerador e agitador, permitindo a sedimentação do lodo até o sobrenadante se tornar límpido. Passado alguns minutos, retirava-se o sobrenadante através de um sifão e media-se esse volume em uma proveta. O mesmo volume retirado era adicionado de efluente bruto juntamente com 10 ml de solução N-alil til-ureia 10 mg.L<sup>-1</sup> e novamente ligava-se o agitador e aerador. Imediatamente após a adição do esgoto bruto e solução inibidora para bactérias autotróficas observava-se o aumento da taxa de consumo de oxigênio (TCO<sub>máx</sub>) e a diminuição da concentração de OD devido a respiração exógena, conforme figura 1.

### Frações biodegradáveis das águas residuárias

As frações biodegradáveis do esgoto foram determinadas diretamente do respirograma e dos dados armazenados da TCO. No respirograma, expresso na Figura 1, na fase I a queda vertiginosa da TCO indica o consumo da fração solúvel e biodegradável (S<sub>s</sub>) do esgoto. Na fase II, após o consumo da fração anterior, percebe-se no gráfico a hidrólise e o consumo do material orgânico particulado (X<sub>s</sub>). A fase III indica a ausência do material orgânico externo. Sabendo que na oxidação de 1g de DQO 1g de oxigênio é utilizado, é possível quantificar o metabolismo oxidativo através do teste respirométrico. A área compreendida entre a curva e a linha da TCO endógena corresponde à massa total do oxigênio consumido durante o teste.

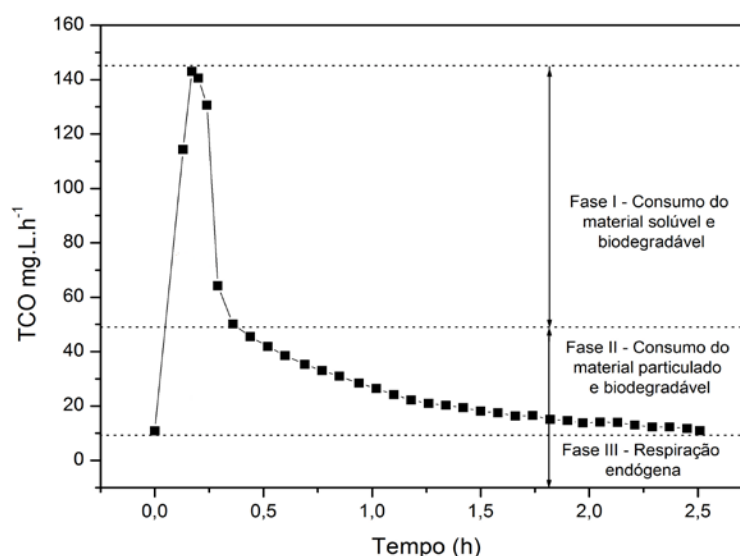


Figura 1: Respirograma gerado no teste após a adição do esgoto bruto.

### Frações não biodegradáveis do esgoto

As estimativas e cálculos referentes às frações de material orgânico não biodegradável solúvel ( $S_I$ ) e particulado ( $X_I$ ) tomarão como base o modelo simplificado para sistemas e lodo ativado descrito em van Haandel e Marais (1999).

**Tabela 1: Fórmulas utilizadas e fatores conhecidos - valores da literatura referentes ao modelo simplificado de lodos ativados, segundo van Haandel e Marais, (1999).**

Fórmulas	Valor
$X_v = [(1 - F_{us} - F_{up})(1 + f_{ba}R_s)YR_s / (1 + b_hR_s) + F_{up}R_s/f_{cv}]S_{ta}/R_h$	variável
$f_{us} = \text{DQO do efluente} / \text{DQO do afluente}$	variável
$R_s = MX_t / ME_t$	<b>CALCULAR</b>
$R_h = V_r / Q_a$	<b>CALCULAR</b>
$f_{ua} = f_{us} + f_{up}$	variável
$f_{ba} = 1 - f_{ua}$	variável
$f_{bsa} = f_{ba} * 1/3$	variável
$f_{bpa} = f_{ba} - f_{bsa}$	variável
$Y$	0,45mgSVS.mg <sup>-1</sup> DQO
$F$	0,2
$f_{cv}$	1,50mgDQO.mg <sup>-1</sup> SVS
$b_h$	0,24*1,04 <sup>(t-20)</sup>
$T$	variável

Onde:

$X_v$  = concentração de lodo volátil

$f_{us}$  = fração não biodegradável dissolvida da DQO afluente

$f_{up}$  = fração não biodegradável e particulada da DQO afluente

$f$  = fração de lodo ativo decaído que se torna resíduo endógeno

$b_h$  = constante de decaimento de lodo ativo

$t$  = média da temperatura do teste respirométrico

$R_s$  = idade do lodo

$Y$  = coeficiente de rendimento

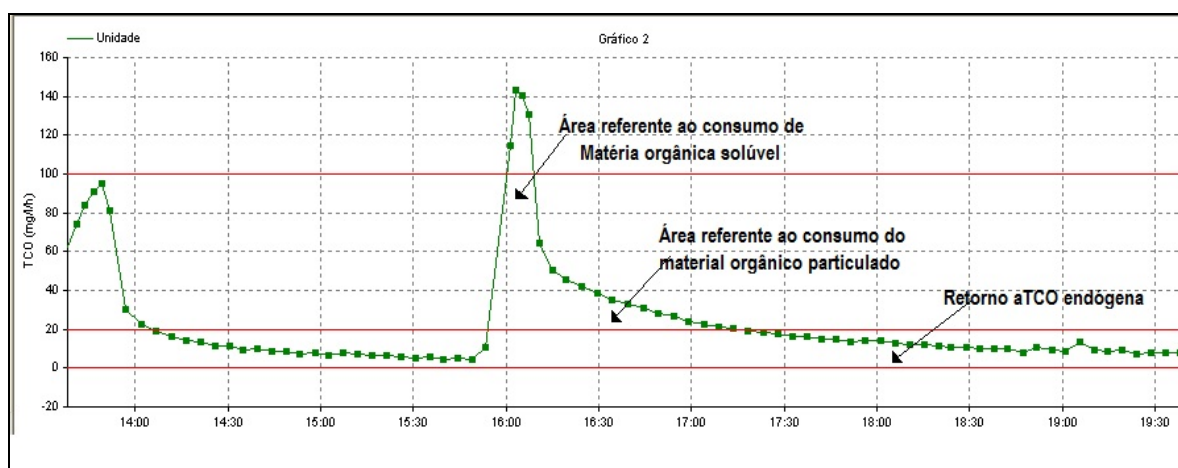
$f_{cv}$  = razão DQO/SVS em lodo orgânico

$S_{ta}$  = DQO afluente (mgDQO.L<sup>-1</sup>).

## RESULTADOS

### TESTE 1

No teste 1, foi adicionado esgoto sanitário correspondente ao volume retirado que na mistura forneceu uma concentração de 246,15 mg.L<sup>-1</sup> de DQO. O teste respirométrico indicou as frações biodegradáveis da matéria orgânica presentes no esgoto, com boa indicação de atividade biológica no lodo, verificada através da elevada TCO obtida no teste após a adição do esgoto bruto, conforme se observa na figura 2.



**Figura 2: Respirograma gerado na avaliação da DQO biodegradável do esgoto bruto do IFCE – Teste 1.**

Em um sistema de lodo ativado, a ocorrência da desnitrificação está relacionada à presença de um substrato oxidável e de uma concentração adequada de nitrato, no qual as bactérias atuantes requerem o uso da matéria orgânica solúvel comoceptor final de elétrons e a taxa e eficiência dessa reação variam de acordo com as cargas de cada uma dessas frações (VAN RIJN *et al.*, 2006). Desse modo, o sistema RBS estudado apresentou bons índices de desnitrificação, chegando a um percentual médio de 90,1 %, quando o teste respirométrico forneceu uma fração biodegradável de DQO de 64,83%, sendo 30,28% solúvel e 34,94% particulada.

Na determinação da fração não biodegradável foram obtidos 35,17% desse componente no efluente, correspondendo a 23,57% de fração solúvel e o restante 11,61% particulado. A fração solúvel é inerte no reator e nenhum processo ocorre para sua oxidação, podendo apresentar índices de toxicidade que venham a comprometer o corpo receptor. Já a fração particulada, apesar de não consumida pelas bactérias, sofre um processo físico de floculação, facilitando seu descarte juntamente com o lodo de excesso. Para a determinação da fração  $X_I$ , foi considerado 1167 mg.  $L^{-1}$  de SSV.

**Tabela 2: Fracionamento da matéria orgânica – DQO afluyente (Sta) = 246,15 mg. $L^{-1}$ .**

DQO	Fração Biodegradável	$S_s$	$X_s$	Fração Não Biodegradável	$S_I$	$X_I$
(mg. $L^{-1}$ )	159,6	74,54	85,06	86,55	58,02	28,58
(%)	64,83	30,28	34,94	35,17	23,57	11,61

## TESTE 2

Para o teste 2 foi adicionado uma DQO com concentração de 244,09 mg. $L^{-1}$  em uma concentração de sólidos voláteis de 1167 mg. $L^{-1}$  no licor misto. A partir dos dados obtidos, observou-se a predominância de material não biodegradável, indicando a pouca viabilidade no tratamento biológico desse efluente.

Nesse teste, foram obtidos 37,73% de matéria orgânica biodegradável, sendo 20,44% solúvel e 17,25% particulada e, 62,27% não biodegradável, representada por 37,12% de material dissolvido e 25,20% particulado. O maior percentual das frações não biodegradáveis pode ser atribuído a diversos fatores, dentre os quais se incluem o volume do efluente gerado, a vazão diária, variação sazonal e composição do efluente que apesar de se assemelhar ao sanitário apresenta características de esgoto industrial. Desse modo, essa alta fração também pode estar relacionada ao descarte de reagentes químicos e efluentes gerados nos laboratórios do instituto.



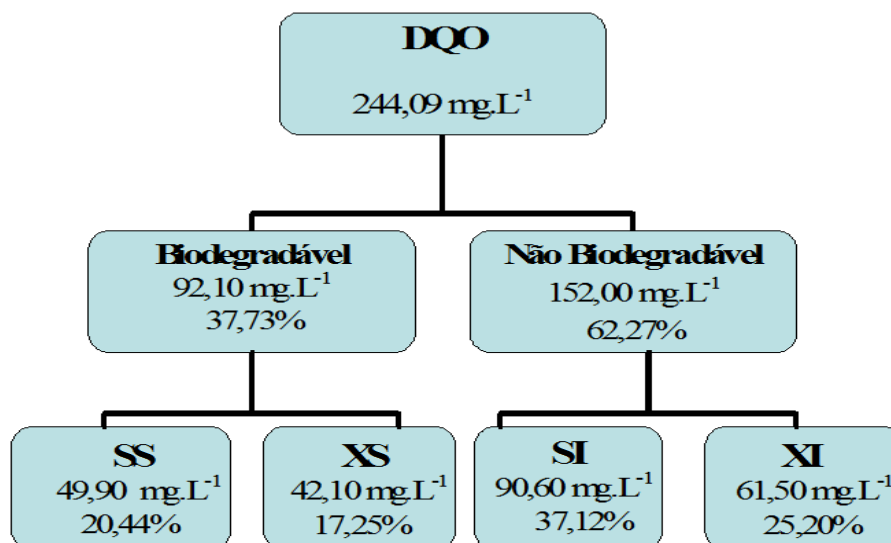


Figura 3: Fluxograma do fracionamento da matéria orgânica.

No período do 2º teste, espera-se uma baixa eficiência do reator no tratamento biológico do efluente. As frações não biodegradáveis assumiram valores elevados, interferindo diretamente nos processos biológicos para remoção de nutrientes e material orgânico. Conforme Von Sperling, (2005), em um sistema de lodo ativado espera-se uma eficiência de remoção de DQO de até 93%, porém, mesmo o reator sendo operado nas condições ótimas nesse período, essa taxa de eficiência não seria atingida, pois 37,12% da matéria orgânica não pode ser biologicamente convertida em biomassa ativa ou removido fisicamente formando o lodo inerte.

### TESTE 3

No teste 3 foi adicionado um efluente com concentração de DQO de 194,09 mg.L<sup>-1</sup> e SSV no licor misto de 896 mg.L<sup>-1</sup>. Assim como no teste anterior, observou-se a predominância de material orgânico não biodegradável, mas dessa vez em maior percentual na forma particulada, sendo facilmente removido devido a ação floculante do lodo e posteriormente descartado como lodo de excesso. A tabela 3, expressa o fracionamento da matéria orgânica do efluente utilizado no teste.

Tabela 3: Fracionamento da matéria orgânica – Sta = 194,09 mg.L<sup>-1</sup>.

	Fração Biodegradável	S <sub>s</sub>	X <sub>s</sub>	Fração Não Biodegradável	S <sub>i</sub>	X <sub>i</sub>
(mg.L <sup>-1</sup> )	69,70	56,50	13,10	124,40	54,1	70,3
(%)	35,89	29,14	6,75	64,11	27,89	36,22

### TESTE 4

Para o teste 4, o efluente do IFCE apresentou uma concentração de DQO de 258,86 mg.L<sup>-1</sup>. A fração mais significativa apresentou-se na forma de matéria orgânica inerte solúvel com 48,23%. No tratamento biológico, essa fração manteve suas propriedades inalteradas e os microrganismos presentes no lodo não foram capazes de oxidá-la.

No teste, foram obtidos 127,0 mg.L<sup>-1</sup> (49,05%) de material biodegradável, onde 106,3 mg.L<sup>-1</sup> (41,05%) corresponderam a fração S<sub>s</sub> e 20,70 mg.L<sup>-1</sup> (8,0%) a X<sub>s</sub> e ainda 131,9 mg.L<sup>-1</sup> (50,95%) de DQO não biodegradável, compondo 124,86 mg.L<sup>-1</sup> (48,23%) de material S<sub>i</sub> e 7,0 mg.L<sup>-1</sup> (2,72%) de X<sub>i</sub>. A figura 4 ilustra o respirograma gerado, evidenciando os momentos onde há o consumo de material S<sub>s</sub> e X<sub>s</sub>.

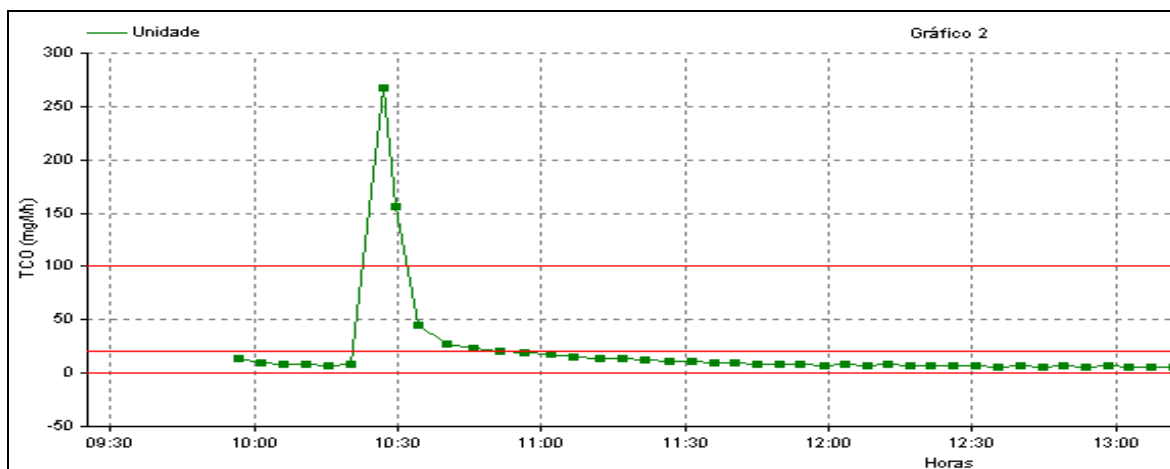


Figura 4: Respirograma gerado na avaliação da DQO biodegradável do esgoto bruto do IFCE – Teste 4.

## TESTES 5

Com uma redução na contribuição de efluentes, foram realizados dois testes no período de férias do IFCE, objetivando verificar as alterações nas características do esgoto gerado na instituição. Com base nisso, no teste 5 foi obtido uma DQO afluente de  $150,89 \text{ mg.L}^{-1}$  e uma concentração de SSV no licor misto de  $1242 \text{ mg.L}^{-1}$ , no qual verificou-se uma variação em relação a concentração afluente de DQO quando comparado com os testes anteriores que aconteceram durante o período letivo.

Nesse bioensaio, foram obtidos 68,54% de material biodegradável, sendo 40,67%  $S_s$  e 27,87%  $X_s$  e, 31,46% não biodegradável, onde 18,16% corresponderam a fração  $S_i$  e 13,30% a fração  $X_i$  (ver figuras 5 e 6). Nesse, a fração biodegradável apresentou maior representatividade, inferindo que nesse período o sistema atingiria uma remoção de material orgânico bastante significativa de aproximadamente 81,84%. Com a baixa geração de efluente, esperava-se que esse apresentasse propriedades na sua maioria de difícil degradação, entretanto considera-se ainda que a interrupção nas atividades e despejos químicos dos laboratórios favoreceu a predominância da fração biodegradável.

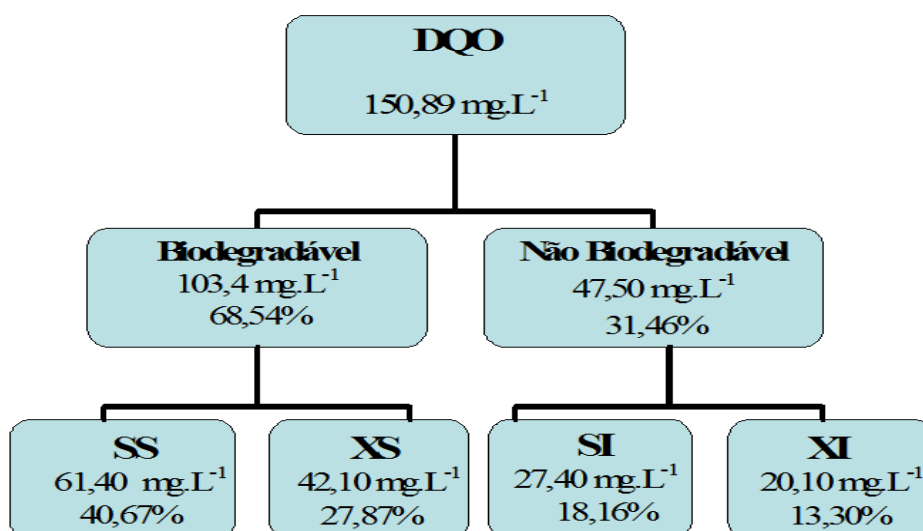


Figura 5 - Fluxograma do fracionamento da matéria orgânica – Teste 5.

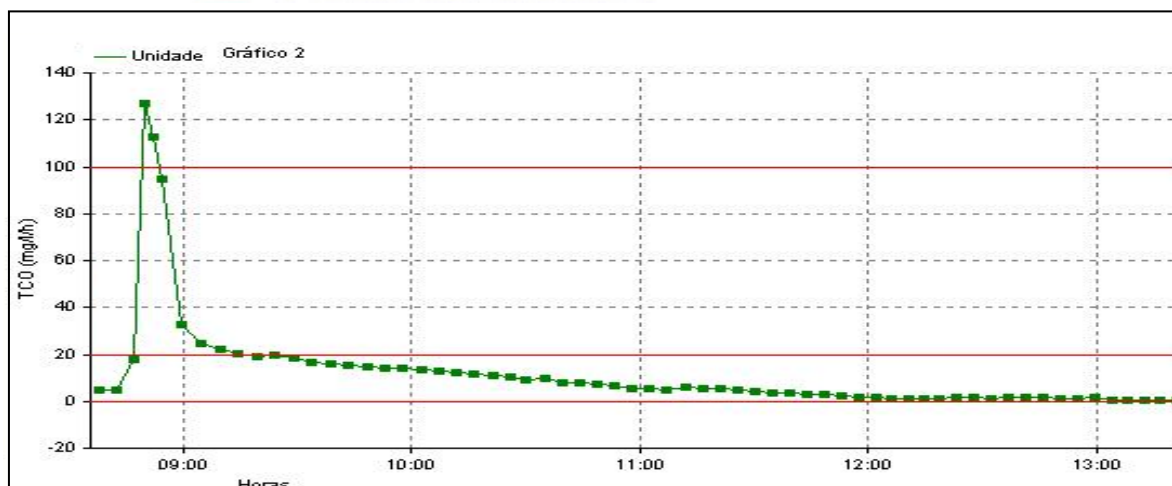


Figura 6: Respirograma gerado na avaliação da DQO biodegradável do esgoto bruto gerado no IFCE – Teste 5.

## TESTE 6

No teste 6, decorridos aproximados 15 dias do início das férias discentes, o esgoto apresentou uma DQO afluente de 195,51  $\text{mg.L}^{-1}$  e 1023  $\text{mg.L}^{-1}$  de SSV no licor misto. Os dados do fracionamento da DQO encontram-se expostos na Tabela 4. Contrariamente ao teste anterior, verifica-se uma maior parcela das frações não biodegradáveis com 43,52% de  $X_I$ , que pode facilmente ser removida por meio do descarte do lodo de excesso, exigindo dessa forma um tratamento deste ao final do processo.

Tabela 4: Fracionamento da matéria orgânica –  $S_{ta} = 195,51\text{mg.L}^{-1}$ .

	Fração Biodegradável	$S_s$	$X_s$	Fração Não Biodegradável	$S_I$	$X_I$
( $\text{mg.L}^{-1}$ )	68,7	44,7	24,0	126,8	41,7	85,1
(%)	35,15	22,88	12,26	64,85	21,33	43,52

## CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos pode-se inferir que a avaliação da biodegradabilidade das águas residuárias se faz necessária e indispensável para a escolha da tecnologia de tratamento, permitindo um estudo detalhado dos processos biológicos ocorridos, assim como a eficiência esperada na remoção de matéria orgânica e nutrientes quando optado por sistema biológico de tratamento de efluentes por lodo ativado.

A efetivação dos testes no período letivo e de férias discentes não demonstraram variações significativas, exceto os testes 1 e 5 que diferentemente dos demais mostraram-se mais favoráveis para um tratamento biológico, no qual percebe-se uma maior fração biodegradável. Com um percentual médio de 30,74% de material biodegradável solúvel, os processos de desnitrificação e biodesfosfatação no RBS podem ser comprometidos, uma vez que a biomassa ativa utiliza esses compostos orgânicos de fácil assimilação como fonte de energia na remoção de nutrientes.

A concentração das frações biodegradáveis e não biodegradáveis que compõem o esgoto variam conforme a origem do efluente e, como observado o efluente do IFCE é constituído de uma elevada fração de material inerte e solúvel decorrente das atividades desenvolvidas na instituição. Para um sistema do tipo RBS, em que se espera uma eficiência entre 93% e 98% na remoção de DQO como estabelecido por Van Haandel e Marais (1999), a maioria dos testes indicou que mesmo operado nas condições ótimas, as características do efluente



não permitem que esse reator adeque o efluente nesse percentual de remoção estabelecido pela literatura, pois 29,38% de material orgânico não biodegradável solúvel compõe esse esgoto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA Standard Methods for the examination of wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 22<sup>a</sup> ed. Washington. 2012. 1368p.
2. CANALES, A.; PAREILLEUX, A.; LUC ROLS, J.; GOMA, G.; HUYARD, A. Decreased sludge production strategy for domestic wastewater treatment. *Water Science and Technology* 30 (8), 97-106, 1994.
3. CATUNDA, S. Y. C., DEEP, G. S., VAN HAANDEL, A. C., FREIRE, R. C. S. Fast on-line measurement of the respiration rate in activated sludge systems. *IEEE Instrumentation and measurement technology conference Bruxelas, Bélgica, Junho*. p.4-6, 1996.
4. EKAMA, G. A.; DOLD, P. L.; MARAIS, G. v. R. Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems. *Was. Sci. Technol.* 18 (6), 91-114, 1986.
5. GATTI, M. N.; GARCÍA-USACH, F.; SECO, A.; FERRER, J. Wastewater COD characterization: analysis of respirometric and physical-chemical methods for determining biodegradable organicmatter fractions *Impactos Ambientais de Óleos Lubrificantes. J Chem Technol Biotechnol* 85: 536–544, 2010.
6. ÇOKGOR, E. U.. SOZEN, S.; ORHON, D.; HENZE, M. Respirometric analysis of activated sludge behaviour-I. Assessment of the readily biodegradable substrate. *Water Research*, vol. 32, 461-475, 1998.
7. TEIXEIRA, A. R.; CHERNICHARO, C. A. L.; AQUINO, S. F. Influence of particle size reduction on the hydrolisis rate of domestic raw sewage. *Engenharia Santária e Ambiental*. v.13, n.4, p.405-415, 2008.
8. VAN HAANDEL, A. C., MARAIS, G. v. R. (1999). *O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operações*. Campina Grande: epgraf, 472 p.
9. VAN RIJN, J.; TAY, Y.; SCHREIER, H. J. “Desnitrification in recirculating systems: Theory and applications”. *Aquacultural Ergineering*, v. 34, pp. 364-376.
10. VON SPERLING, M. *Princípio de tratamento biológico de águas Residuárias. Lagoa de estabilização*. 2<sup>a</sup> ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. v.3,196p. 2002.
11. VON SPERLING, M. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Vol. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005.
12. WENTZEL, M. C., EKAMA, G. A., DOLD P. L., MARAIS, G.v.R. Biological excess phosphorus removal - Steady state process design, *Water SA*, v.16, 29-48 p., 1990.