

II-093 - DESEMPENHO DE UM REATOR AERÓBIO ANÓXICO OPERADO EM BATELADA SEQUENCIAL PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Mona Grimouth Bittar⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Goiás.

Endereço⁽¹⁾: Rua 9, Número 622 – Centro - Goiânia - Goiás - CEP: 74013-040 - Brasil - Tel: +55 (62) 9690-5158 - e-mail: monagbittar@gmail.com

RESUMO

No presente trabalho foi operado e monitorado um Reator Aeróbio Anóxico Sequencial por Batelada em escala piloto e buscando otimizar seu rendimento. O afluente tratado no reator foi a água residuária proveniente de uma indústria farmacêutica. Este sistema de tratamento foi instalado no laboratório de Tratamento de Efluente da Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA) na Universidade Federal de Goiás (UFG) de Goiânia. Inicialmente, inoculou-se o lodo aeróbio proveniente da estação de tratamento de efluentes (ETE) da indústria farmacêutica, sendo este aclimatado para o melhor funcionamento do sistema. Logo após se iniciou a operação do reator, que se dividiu em duas fases, testando diferentes ciclos para verificação da eficiência na remoção de demanda química de oxigênio (DQO), remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais e a conversão de nitrogênio amoniacal. Foram testados quatro ciclos com diferentes tempos de batelada, sendo adotado como ciclo ideal o com 9 horas de duração, com eficiências médias de remoção de DQO de 69,54% e de 91,02% de conversão de nitrogênio amoniacal.

PALAVRAS-CHAVE: Reator Sequencial por Batelada, Efluente Farmacêutico, Remoção de DQO, Conversão de Nitrogênio Amoniacal.

INTRODUÇÃO

O controle da poluição das águas está diretamente relacionado com a proteção da saúde pública, com a garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida (CONAMA, 2005). Os despejos de águas residuárias que ocorrem em desacordo com a legislação nos corpos hídricos podem gerar danos irreversíveis ao meio ambiente.

As águas residuária são, em sua maioria, esgotos domésticos, efluentes de indústrias, de hospitais e de campos agropecuários de atividades intensivas (COSTA; BARROS, 2005). Antes de serem lançados a rios, mares ou qualquer outro corpo receptor devem ser tratados para que atinjam um nível de poluição aceitável, de acordo com a legislação vigente para com o meio ambiente aquático.

A remoção de poluentes das águas residuárias ocorre a partir de processos físicos, químicos e biológicos empregados em sistemas de tratamentos. Os processos biológicos acontecem por meio de microrganismos como bactérias, algas e fungos, que a partir de suas atividades metabólicas decompõem a matéria orgânica e outros contaminantes presentes no efluente.

As indústrias farmacêuticas produzem quantidades altas de águas residuárias. Sendo que aproximadamente metade do que é gerado em todo o mundo é descartado sem passar por tratamento específico. Por conter uma grande variedade de substâncias químicas o processo de remoção destas não é simples (MELERO *et al.*, 2009).

Existem diversos métodos de tratamento de águas residuárias, os mais comumente utilizados são as lagoas de estabilização, os processos de disposição sobre o solo, os reatores anaeróbios e lodos ativados (VON SPERLING, 2005). Sendo que em sua maioria a remoção de poluentes ocorre por processos biológicos, a partir de microrganismos aeróbios e anaeróbios. Os efluentes farmacêuticos têm sido tratados usualmente por processos físico-químicos e biológicos aeróbios (SUMAN RAJ; ANJANEYULU, 2005).

Os empreendimentos estão em busca de sistemas de tratamento eficientes com baixo custo de instalação, operação e que atendam a legislação. Portanto, pesquisas e experimentos recentes de tratamentos biológicos têm focado na busca de sistemas compactos unindo mais de um tratamento, com o objetivo de se obter sistemas que possam ser implantados em pequenas áreas e que garantam efluentes de qualidade adequada aos padrões ambientais.

Os sistemas biológicos aeróbios de tratamento de efluentes são amplamente utilizados e reconhecidos pela eficiência em termos de remoção de matéria orgânica. Dependendo do sistema e da garantia de condições necessárias para que ocorram as reações bioquímicas, se tem também, alta eficiência na remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo (CAMPOS, 2002).

Uma dessas tecnologias é o Reator Sequencial por Batelada (RSB), também conhecido como Lodos Ativados por Batelada. O RSB é um sistema compacto biológico de tratamento de águas residuárias. Formado por um ou mais reatores, onde se realizam em uma mesma unidade, a oxidação da matéria orgânica, a remoção de nutrientes e a sedimentação dos sólidos, que ocorrem em meios aeróbios e anaeróbios (SOUSA; FORESTI, 2001).

Neste trabalho foi desenvolvido o estudo de um reator aeróbio - anóxico operado em bateladas sequenciais. A fim de encontrar um ciclo ideal para a remoção de matéria orgânica e conversão de nitrogênio amoniacal (N-Amoniacal) de água residuária proveniente da indústria farmacêutica. Verificando a eficiência do seu desempenho por meio de análises experimentais.

MATERIAIS E MÉTODOS

REATOR SEQUENCIAL POR BATELADA

O sistema foi composto por um reator, um agitador mecânico e um compressor de ar. No fundo do reator foi fixada uma mangueira de 45 cm de comprimento, provida de orifícios para a introdução de ar. Essa mangueira estava ligada ao compressor por meio de uma mangueira provida de filtro, válvula solenoide e manômetro. O sistema também contava com um agitador mecânico de eixo vertical que permitiu a mistura da biomassa e funcionava acionado por um motor elétrico.

Na Figura 1 é mostrado o reator constituído por um compartimento com base quadrada, construído em vidro, tendo lados iguais a 0,20 m e altura total igual a 0,55 m com volume total de 22 L e volume útil de 20 L. Em uma de suas laterais havia sete orifícios em que foram instaladas torneiras em distintos níveis, com uma distância entre si de aproximadamente cinco centímetros, por onde se retirou o efluente tratado e as amostras para as análises laboratoriais.



Figura 1 - Foto do reator.

O preenchimento com afluente e o descarte do efluente após as bateladas ocorreu de forma manual com o auxílio de recipientes de plásticos com capacidade volumétrica de 10 L, com duração aproximada de 15 min.

Para controlar a introdução de ar no reator foi instalada uma válvula solenoide, esta foi regulada por um timer analógico, programado de acordo com a duração da etapa de aeração de cada ciclo testado. O agitador mecânico também funcionou a partir da programação de timer analógico, assim que a introdução de ar cessava o agitador era ligado, sendo desligado após o período determinado, para assim se iniciar a etapa de sedimentação.

EFLUENTE INDUSTRIAL

O afluente utilizado no sistema foi proveniente de uma indústria farmacêutica, que não teve seu nome divulgado neste projeto por exigência de contrato. A água residuária da indústria farmacêutica foi gerada em todas as etapas produtivas, principalmente na pesagem e separação de insumos, manipulação e envase do produto, assim como da lavagem de equipamentos, frascos e instalações.

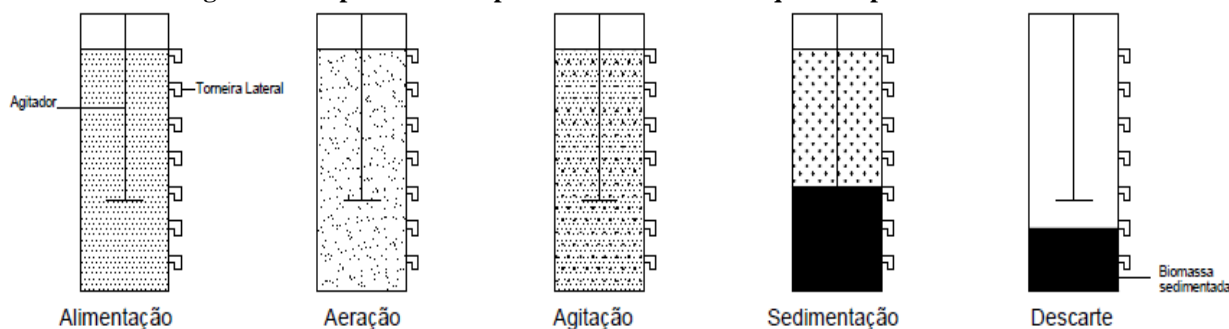
Foram coletados cerca de 140 litros a cada semana no ponto entre a grade fina e o medidor Parshall do sistema de tratamento da indústria, dessa forma evitou-se a presença de sólidos grosseiros no afluente. A amostra ficou armazenada dentro de uma geladeira para manter sua conservação, duas horas antes da alimentação do reator se retirava o afluente desta, para assim introduzi-lo no RSB em temperatura ambiente.

OPERAÇÃO DO SISTEMA

Inicialmente, foram introduzidos 2 litros de lodo ativado proveniente da ETE da indústria farmacêutica para aclimação da biomassa às novas condições ambientais, seguindo a metodologia publicada por Chernicharo et al (1999). A adaptação da cultura foi evidenciada pelo aumento da produção de células, na forma de lodo, e a diminuição da matéria orgânica e nitrogênio.

Cada ciclo de tratamento (batelada) compreendeu cinco etapas: alimentação, aeração, agitação, sedimentação e descarte. Durante este ciclo, o substrato orgânico foi biodegradado na presença de microrganismos aeróbios e facultativos, e ocorreu a sedimentação da biomassa (lodo) e por fim o descarte do sobrenadante. A Figura 4 mostra as seqüências do processo.

Figura 4 - Etapas do ciclo-operacional do Reator Sequencial por Batelada



A operação do reator foi dividida em duas fases, em cada uma foram testados dois ciclos após o lodo estar aclimatado. Cada ciclo foi composto pelas cinco etapas. A Tabela 1 mostra a duração de cada uma delas, e também total de período de tempo de cada batelada.

Tabela 1- Etapas e duração dos ciclos testados.

Etapas	Duração (h)			
	Fase 1		Fase 2	
	Ciclo 11	Ciclo 13	Ciclo 9	Ciclo 15
Enchimento	0,25	0,25	0,25	0,25
Aeração	4,00	5,00	3,00	6,00
Agitação	3,00	4,00	2,50	5,00
Sedimentação	3,50	3,50	3,00	3,50
Retirada	0,25	0,25	0,25	0,25
Total (h)	11,00	13,00	9,00	15,00

A Fase 1 ocorreu durante as primeiras três semanas de operação. Nela foram testados os ciclos de 11 horas que ocorria entre às 8:00 da manhã e às 18:45 da noite, e o ciclo de 13 horas operado entre às 18:45 e 8:00 horas. Já na Fase 2, realizada nas últimas três semanas da operação do RSB, foram testados os ciclos de 9 horas que ocorria entre às 9:00 da manhã e às 17:45 da noite, e o ciclo de 15 horas operado entre às 17:45 e 9:00 horas.

Para verificar eficiência da conversão de nitrogênio amoniacal e da remoção de matéria orgânica, foram realizados análises de amostras do último dia de cada semana de operação. As Tabelas 2 e 3 descrevem os horários em que se ocorreu cada etapa dos ciclos operados da Fase 1 e Fase 2.

Tabela 2 - Horários das etapas testadas nos ciclos da Fase 1.

Etapas	Horários	
	Ciclo 9	Ciclo de 15
Enchimento final	09:00	18:00
Aeração final	12:00	00:00
Agitação final	14:30	05:00
Sedimentação final	17:30	08:30
Retirada final	17:45	08:45

Tabela 3 - Horários das etapas testadas nos ciclos da Fase 2.

Etapas	Horários	
	Ciclo 11	Ciclo 13
Enchimento final	08:00	19:00
Aeração final	12:00	00:00
Agitação final	15:00	4:00
Sedimentação final	18:30	7:30
Retirada final	18:45	7:45

Assim, iniciaram-se as bateladas com diferentes tempos. Em busca de uma maior remoção de matéria orgânica e conversão de nitrogênio amoniacal. No menor tempo de ciclo possível. Após as análises laboratoriais de nitrogênio amoniacal, DQO, DBO, série de sólidos e pH no final de cada semana, era possível verificar a eficiência do reator. Assim à medida que os dois ciclos testados da Fase 1 se tornaram eficientes houve a mudança para os outros.

Foram adotados como ciclos ótimos os de menores tempos das etapas de aeração e agitação que permitiram a maior conversão de nitrogênio amoniacal e remoção de matéria orgânica. Obtendo-se então o ciclo ideal para o sistema no tratamento do efluente proveniente da indústria farmacêutica.

MONITORAMENTO

O sistema foi monitorado coletando amostras do afluente bruto e do líquido tratado, de modo a acompanhar a variação dos seguintes parâmetros: pH, DQO, DBO, série de sólidos e nitrogênio amoniacal. Os métodos de análises físico-químicas foram baseados nos procedimentos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/WWA/WEF, 1998). Os códigos referentes aos métodos utilizados são: 4500-NH₃ C para nitrogênio amoniacal, 5220 D para DQO, 5210 D para DBO, 4500-H⁺ B para o pH e 2540 B, C, D para a série de sólidos.

Também foram realizados dois perfis de monitoramento, um em cada fase do estudo, para verificar o comportamento do sistema durante um ciclo de tratamento. O monitoramento de cada perfil foi feito a partir da análise de amostras coletadas no final de cada uma das fases do ciclo com relação à DQO, pH, nitrogênio amoniacal. Antes da realização das análises as amostras eram centrifugadas para retirar a interferência causada pelos sólidos em suspensão presentes nas mesmas.

RESULTADOS

- **Fase 1**

As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados obtidos na Fase 1 do trabalho, com relação às análises de nitrogênio amoniacal.

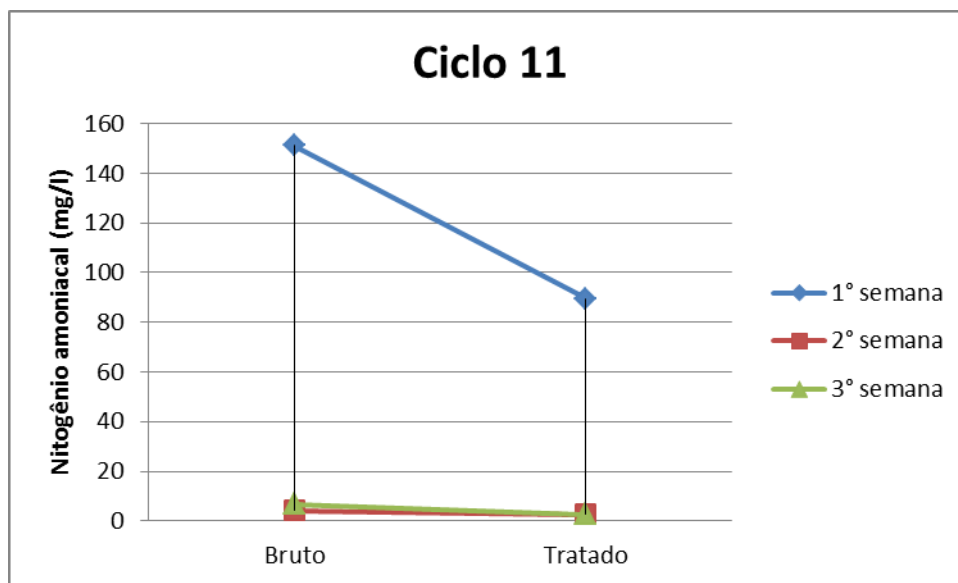


Figura 4 – Variação da concentração nitrogênio amoniacal no ciclo 11.

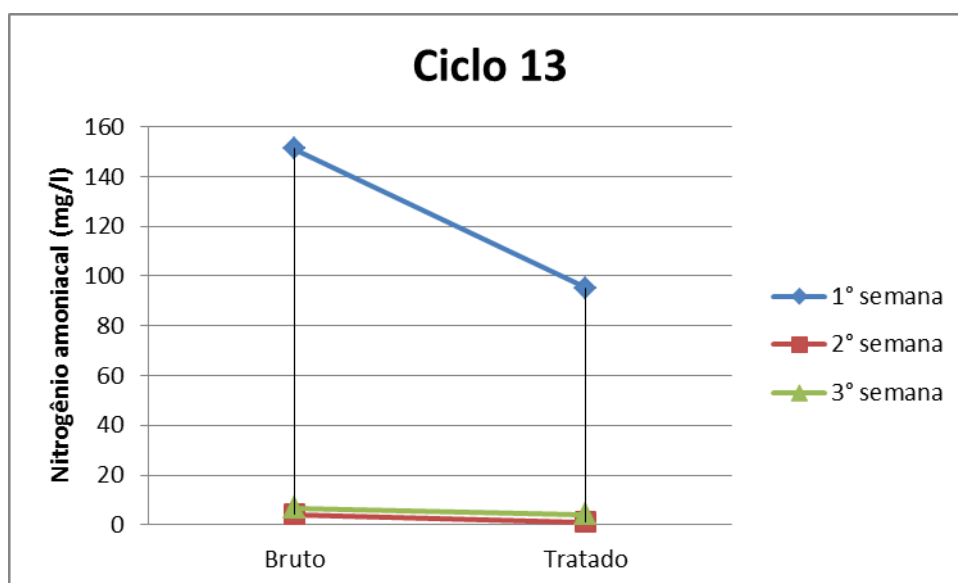


Figura 5 - Variação de nitrogênio amoniacal no ciclo 13.

Como observado nos Gráficos 1 e 2, há uma grande diferença na concentração de nitrogênio amoniacal no efluente bruto na 1ª semana. Tendo uma concentração de nitrogênio de $151,1 \text{ mg.L}^{-1}$, verificou-se uma remoção de $61,6 \text{ mg.L}^{-1}$ no ciclo 11 e de 56 mg.L^{-1} no ciclo 13, com eficiências de 30% e 40%, respectivamente. Na última semana desta fase, mesmo com baixa concentração de N-Amoniacal no efluente bruto, se verificou uma maior eficiência nos dois ciclos, com valores em entre 60% e 70%, respectivamente. Tal fato pode ser justificado por haver mais bactérias no RSB na 3ª semana, devido ao crescimento do lodo e também, pelo fato de o reator já estar adaptado aos ciclos de operação, além da correção do pH nesta semana com hidróxido de sódio, que pode ter influenciado no aumento da eficiência. A Tabela 4 contém os valores da eficiência de conversão de nitrogênio da Fase 1.

Tabela 4 - Eficiência da conversão de nitrogênio amoniacal na Fase 1.

	Eficiência da conversão nitrogênio amoniacal (%)	
	Ciclo 11	Ciclo 13
1° semana	40,74	37,04
2° semana	40	26
3° semana	62,92	63,33

Os resultados quanto à concentração de DQO do afluente bruto e do efluente tratado são apresentados nas Figuras 6 e 7.

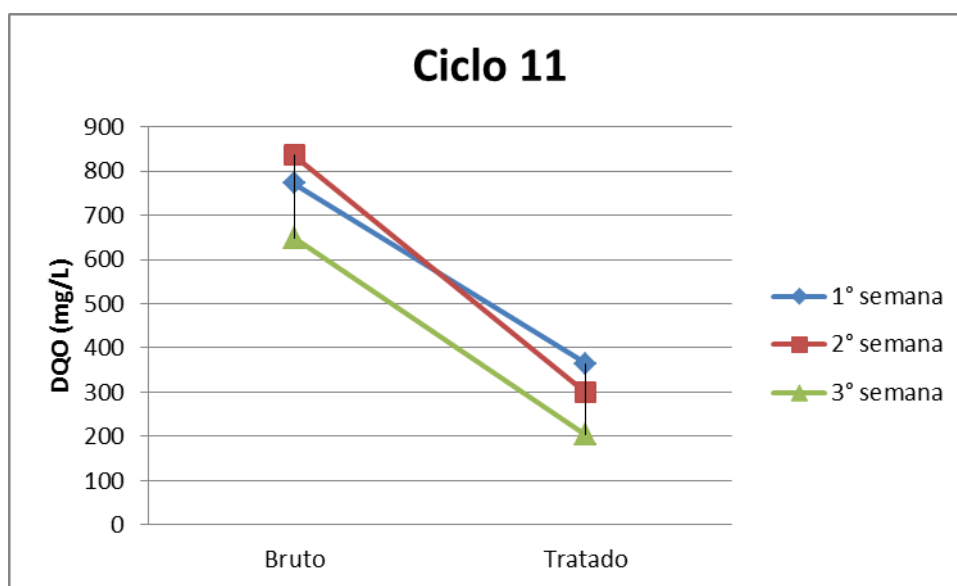


Figura 6 – Variação de concentração de DQO ciclo 11.

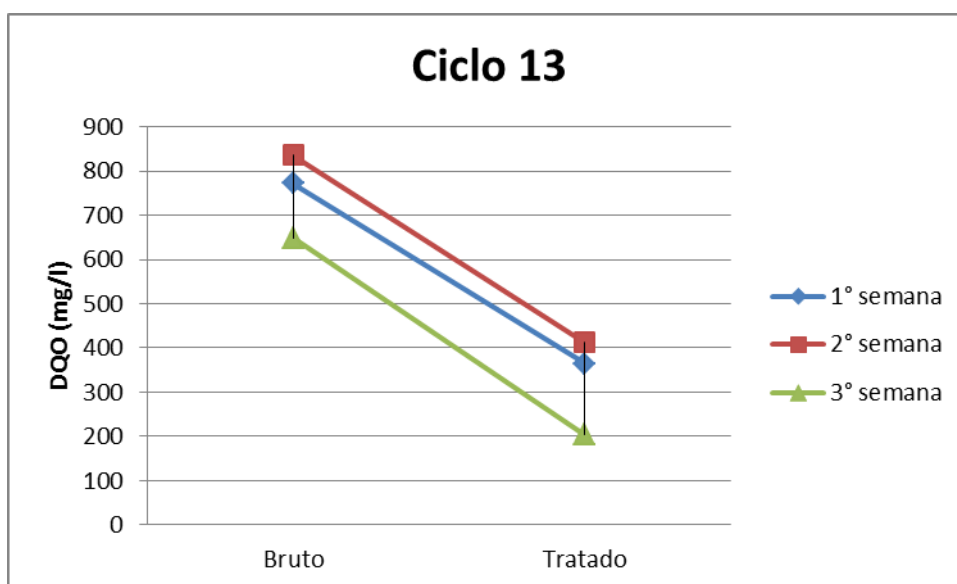


Figura 7 – Variação de DQO 13.

A partir das Figuras 6 e 7 foi possível verificar que houve remoção de DQO durante todas as semanas, porém tendo uma maior remoção na terceira semana de operação de ambos os ciclos. Que pode ser justificado pelos mesmos motivos que influenciaram na conversão de nitrogênio amoniacal, crescimento do lodo, adaptação do RSB e correção do pH. As retas que representam a variação da DQO entre o afluente e o efluente obedecem a um mesmo padrão nos ciclos testados. Com percentuais de remoção que variam entre 50 e 70%, a Tabela 9 apresenta os resultados da eficiência de remoção de DQO.

Tabela 5- Eficiência da remoção de DQO na Fase 1

	Eficiência da remoção de DQO (%)	
	Ciclo 11	Ciclo 13
1° semana	52,7	52,81
2° semana	64,22	50,61
3° semana	71,67	68,72

Os dois ciclos se comportaram de maneira similar, porém em relação a eficiência destes, tanto na conversão de nitrogênio amoniacal quanto na remoção de DQO, o ciclo 11 foi o que apresentou valores mais altos. Em relação a conversão de nitrogênio amoniacal esperava-se que o ciclo 13 fosse mais eficiente, já que este possui maior tempo de aeração. No entanto, como visto na Tabela 5, as 4 horas de aeração do ciclo 11, foram suficientes para se obter uma boa eficiência.

A Figura 8 mostra as concentrações de DBO nos ciclos 11 e 13. É possível verificar eficiência na remoção de DBO nos dois ciclos, que tiveram resultados próximos.

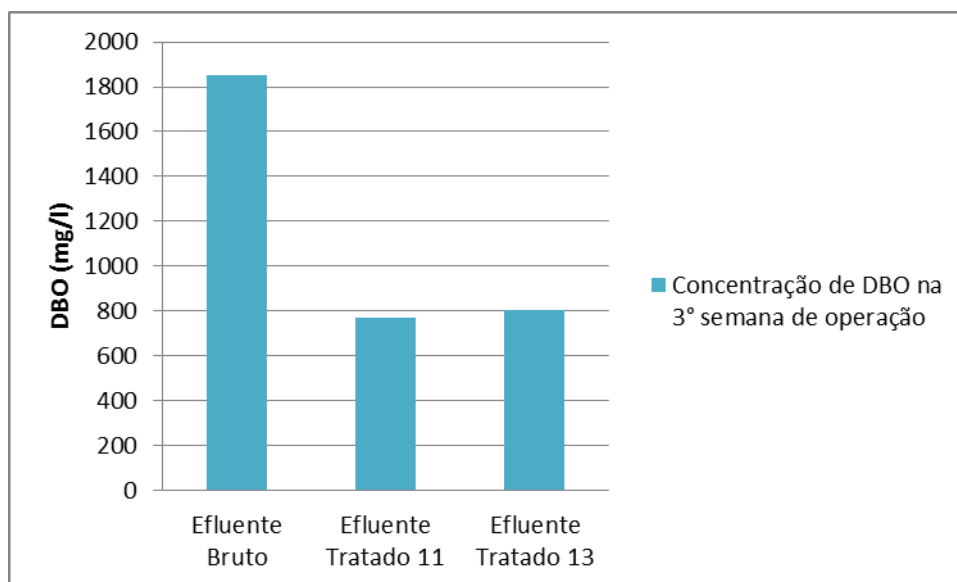


Figura 8 – Variação da concentração de DBO na Fase 1

A remoção de sólidos durante o tratamento da Fase 1 se evidencia nos Gráficos 9 e 10. A redução dos sólidos totais e fixos foram satisfatórias, já a concentração de sólidos totais voláteis nos efluentes tratados não foi tão diferente do encontrado no efluente bruto. Quanto aos sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis também ocorreu remoção, sendo que o ciclo 11 foi o mais eficiente. Havia baixa concentração de sólidos suspensos fixos, apresentado um valor negativo ao fim do tratamento do ciclo 11.

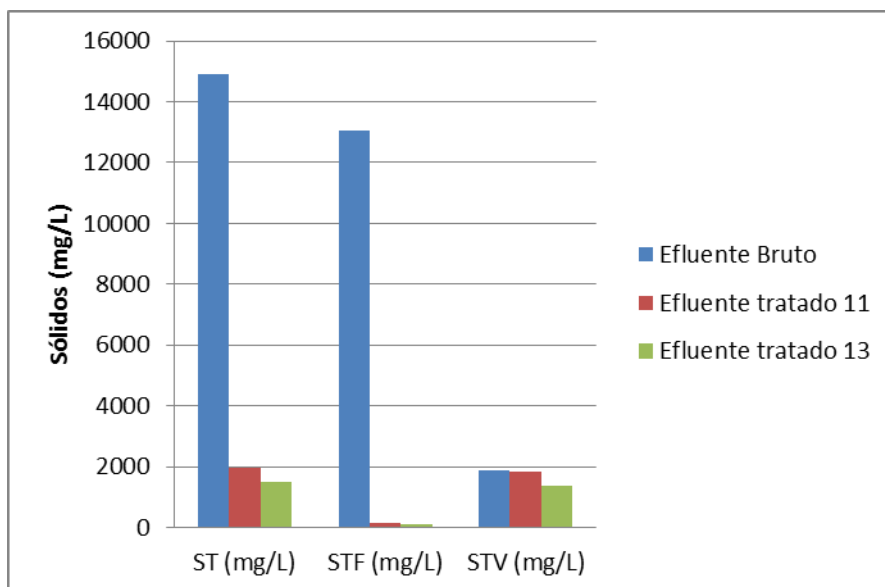


Figura 9 - Variação da concentração de sólidos totais na 3ª semana de operação.

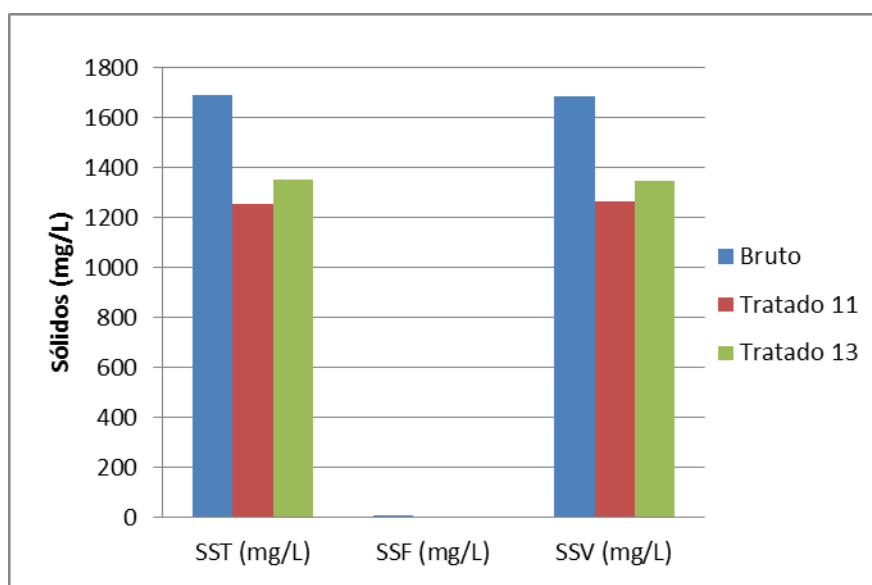


Figura 10 - Variação da concentração de sólidos suspensos na 3ª semana de operação.

A Tabela 6 contém os resultados dos sólidos totais e suspensos encontrados na última semana de tratamento da Fase 1.

Tabela 6 - Resultados de sólidos da 3ª semana de operação.

	ST (mg/l)	STF (mg/l)	STV (mg/l)	SST (mg/l)	SSF (mg/l)	SSV (mg/l)
Efluente Bruto	14907	13045	1862	1691	6	1685
Efluente tratado 11	1970	130	1840	1253	4	1266
Efluente tratado 13	1486	99	1387	1352	2	1350

- **Fase 2**

Esta fase foi realizada nas últimas três semanas da operação do RSB. Os Gráficos 11 e 12 mostram as concentrações de nitrogênio amoniacal e DQO em mg/L, no afluente bruto e no efluente tratado dos ciclo 9 e 15.

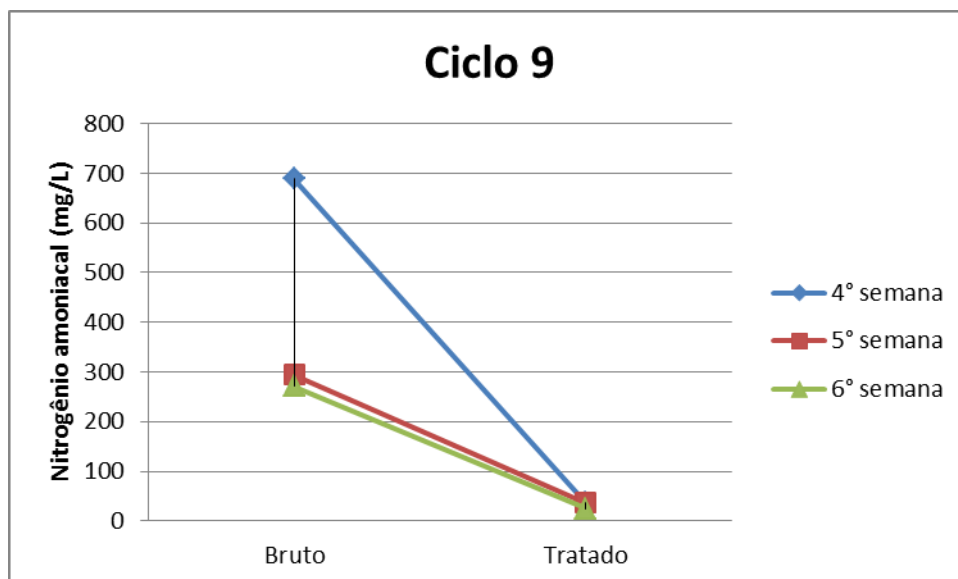


Figura 11 – Variação da concentração de nitrogênio amoniacal no ciclo 9.

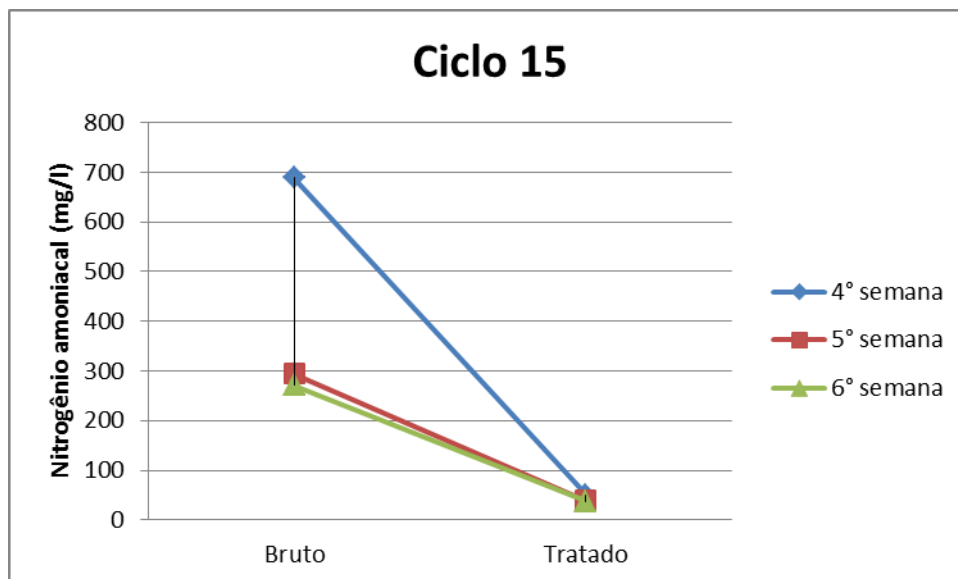


Figura 12 – Variação da concentração de nitrogênio amoniacal no ciclo 15.

Na Fase 2, logo na primeira semana em que se foram realizados os ciclos 9 e 15 se verificou uma alta conversão de nitrogênio amoniacal. Com valores em torno de 60% e 80% de eficiência, como evidenciado pela Tabela 7. Em relação as três semana testada esta foi a mais eficiente, mas também a concentração de N-Amoniacal no efluente bruto era maior que nas outras.

Tabela 7 - Eficiência da conversão de nitrogênio amoniacal na Fase 2.

	Eficiência da conversão nitrogênio amoniacal (%)	
	Ciclo 9	Ciclo 15
1° semana	94,71	92,68
2° semana	87,62	86,67
3° semana	90,72	86,19

Os resultados quanto a DQO do efluente bruto e do efluente tratado são apresentados nas Figuras 13 e 14.



Figura 13 - Remoção de DQO ciclo 9.

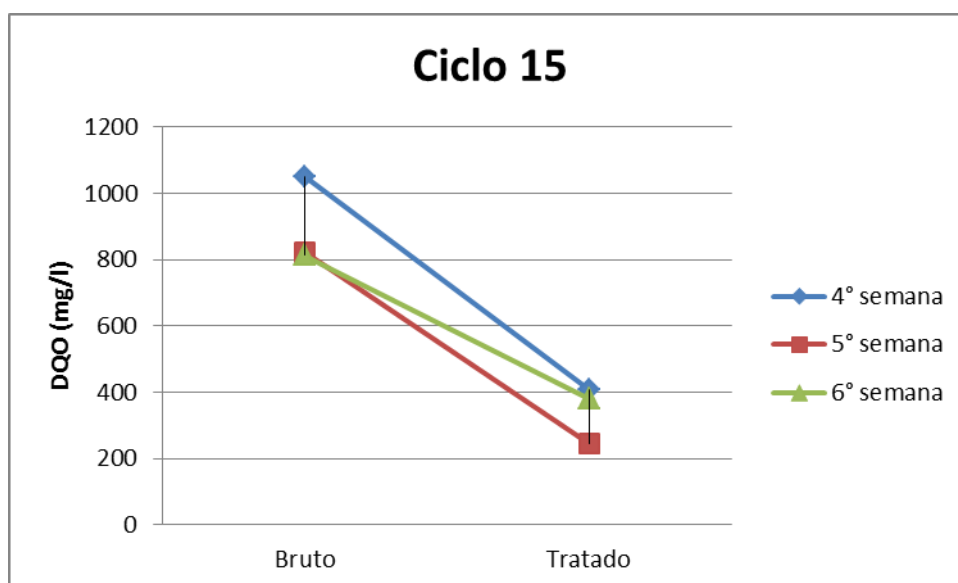


Figura 14 - Remoção de DQO ciclo 15.

Na última semana de operação do reator o agitador mecânico parou de funcionar e teve que ser substituído por uma bomba de aquário. No entanto esta não possuía a mesma potência do agitador, não conseguindo misturar o efluente como estava acontecendo anteriormente. Nos Gráficos 13 e 14, são apresentadas as eficiências na remoção de DQO na 6ª semana foi a mais baixa desta fase, o que pode ser explicado pela troca equipamento

de agitação. A eficiência na conversão de nitrogênio não foi afetada, já que tal conversão ocorre pelo processo de nitrificação que depende apenas da etapa de aeração. As eficiências de cada semana estão se encontram na Tabela 8.

Tabela 8 - Eficiência da remoção de DQO na Fase 2.

	Eficiência remoção de DQO %	
	Ciclo 9	Ciclo 15
4° semana	80,36	61,31
5° semana	73,64	70,4
6° semana	54,62	53,3

Os valores das concentrações do efluente bruto e do efluente tratado quanto a DQO não sofreram grandes variações, diferente do nitrogênio amoniacal. Foi na 4° semana em que se houve maior eficiência para ambos os ciclos, com eficiências em torno de 70%. Tanto para conversão de amônia quanto para remoção de DQO, o ciclo 9 foi o mais eficiente. Porém a eficiência do ciclo 15 não é tão diferente quando comparado com o ciclo 9.

O Gráfico 15 ilustra a remoção de DBO dos ciclos da Fase 2.

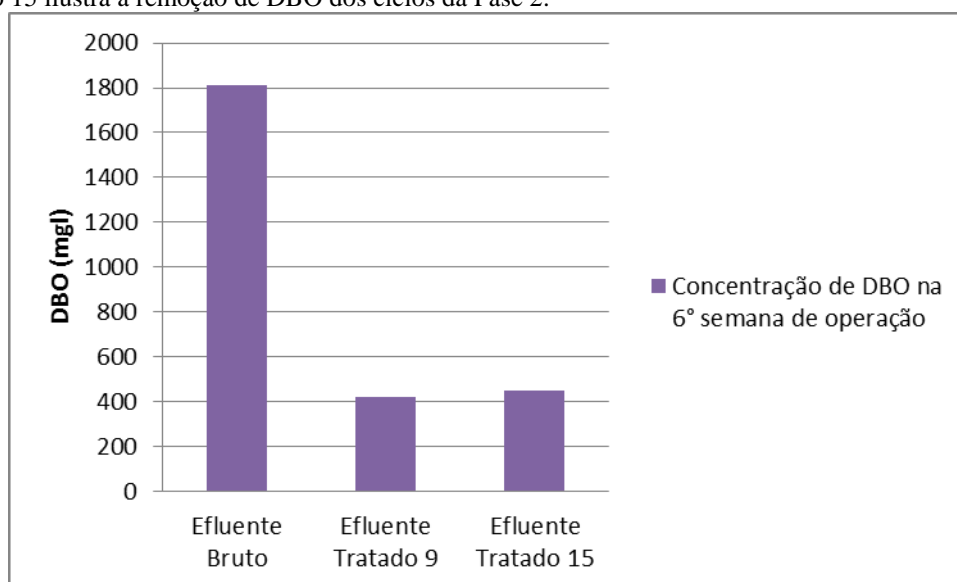


Figura 15 – Variação da concentração de DBO na Fase 2.

Assim como na Fase 1 só foi possível a obtenção de resultados de uma semana de operação, na 6° semana operada. Assim como nos outros parâmetros analisados, esta fase se mostrou mais eficiente em relação a Fase 1. Os dois ciclos tiveram comportamento similares, sendo que o ciclo 9 removeu 1391 mg/l de DBO e o ciclo 15 removeu 1367 mg/l de DBO.

Os Gráficos 16 e 17 mostram a remoção de sólidos no final da Fase 2, resultados obtidos da última semana de operação do RSB.

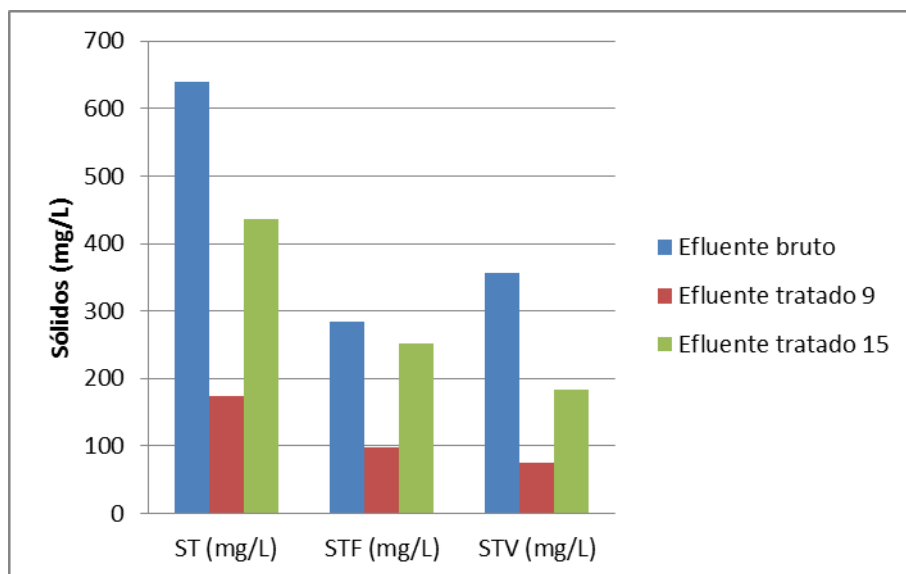


Figura 16 – Variação da concentração de sólidos totais na 6ª semana de operação.

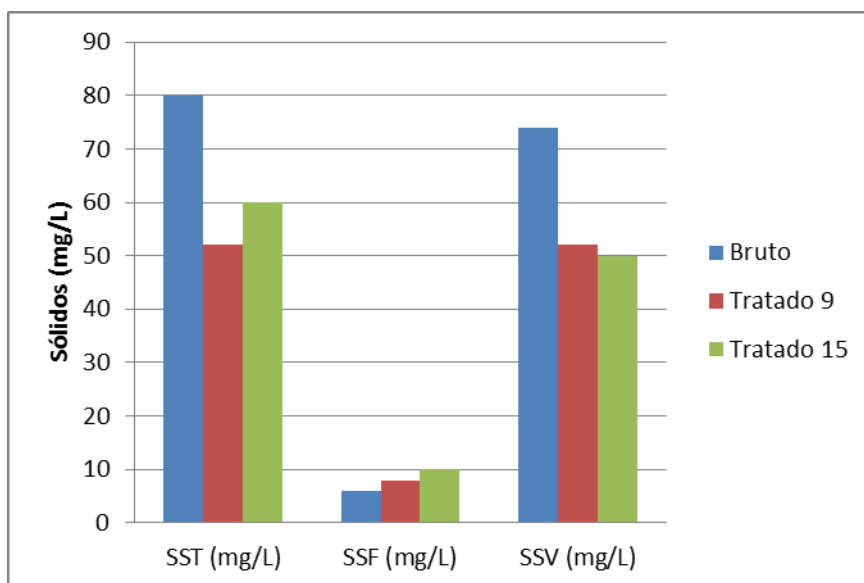


Figura 17 – Variação da concentração de sólidos suspensos na 6ª semana de operação.

Analisando as Figuras 16 e 17, nota-se que houve remoção de sólidos no efluente tratado do ciclo 9 do que efluente tratado do ciclo 15. Já quanto aos sólidos totais voláteis, o reator apresentou alta remoção para o efluente tratado durante o ciclo 9. Em relação aos resultados dos sólidos suspensos fixos, o efluente bruto apresentou concentração maior que os efluentes tratados. A Tabela 9 apresenta os resultados dos sólidos totais e suspensos.

Tabela 9 - Resultados de sólidos da 6ª semana de operação.

	ST (mg/l)	STF (mg/l)	STV (mg/l)	SST (mg/l)	SSF (mg/l)
Efluente bruto	640	284	356	80	6
Efluente tratado 9	174	98	76	52	8
Efluente tratado 15	436	252	184	60	10

A comparação entre as duas fases em relação a conversão de nitrogênio amoniacal e remoção de DQO, estão representadas pelos Gráficos 18 e 19.

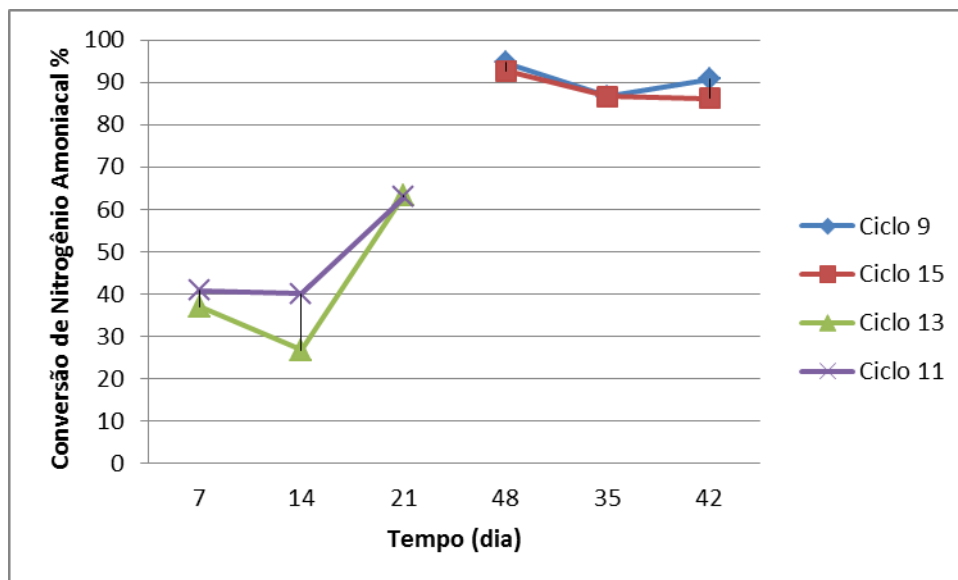


Figura 18 - Comparação das eficiências de conversão de nitrogênio amoniacal entre os ciclos.

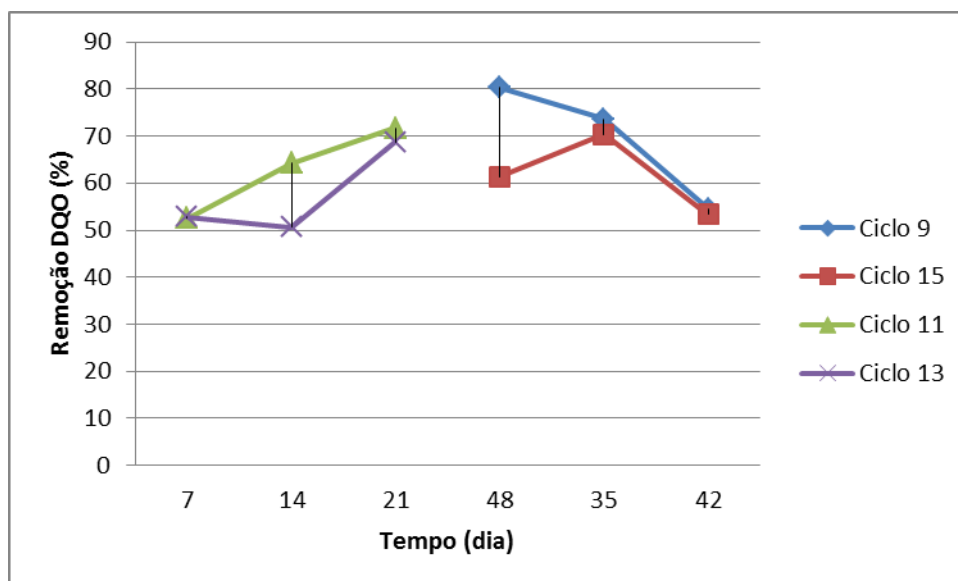


Figura 19 - Comparação das eficiências de remoção de DQO entre os ciclos.

Observando os Gráficos 18 e 19 fica claro que a maiores eficiências para os dois parâmetros em questão aconteceram na Fase 2. Quando havia maior volume de lodo, por consequência maior quantidade de microrganismos presentes no reator. A Fase 2 iniciou apenas depois que a Fase 1 quando a eficiência desta aumentou. Dentre todos os ciclos os mais eficientes foram os ciclos 9 e 15, respectivamente o menor e o maior ciclo operado. O que indica que o RSB possui um bom desempenho mesmo com uma grande variações de durações das etapas de aeração e agitação, sendo que, o ciclo 15 apresenta o dobro de duração nas duas etapas, quando comparado ao ciclo 9. A Tabela 10 apresenta os valores médios de conversão de nitrogênio amoniacal e remoção de DQO para os quatros ciclos testados.

Tabela 10 - Eficiências médias de remoção de DQO e conversão de nitrogênio amoniacal.

		Eficiência média de remoção de DQO (%)	Eficiência média de remoção de nitrogênio amoniacal (%)
Fase 2	Ciclo 9	69,54	91,02
	Ciclo 11	62,87	47,89
Fase 1	Ciclo 13	57,38	42,35
	Ciclo 15	61,67	88,51

A Tabela 12 mostra as eficiências encontradas em relação a remoção de DBO. Como dito anteriormente, foram feitas análises de DBO nas últimas semanas de cada fase. Portanto, não foi possível calcular a média de eficiência, já que só há um resultado por ciclo. Porém, os valores encontrados são os esperados, pois os ciclos da Fase 2 foram os mais eficientes. Sendo o ciclo 9 mais eficiente, alcançando um resultado de 76,68%.

Tabela 11 - Eficiência de remoção de DBO.

		Eficiência de remoção de DBO (%)
Fase 2	Ciclo 9	76,68
	Ciclo 11	58,42
Fase 1	Ciclo 13	56,48
	Ciclo 15	75,36

A Figura 20 mostra o crescimento do lodo ao decorrer da operação do RSB, uma parte desse aumento se deve também à presença de SST afluente bruto. A cada semana que se passava o volume de lodo aumentava, o que caracterizou um aumento de microrganismos dentro do reator, influenciando diretamente o desempenho do sistema. Já que a partir resultados de remoção de DQO e conversão de nitrogênio amoniacal, acusaram melhores eficiências nas últimas semanas.

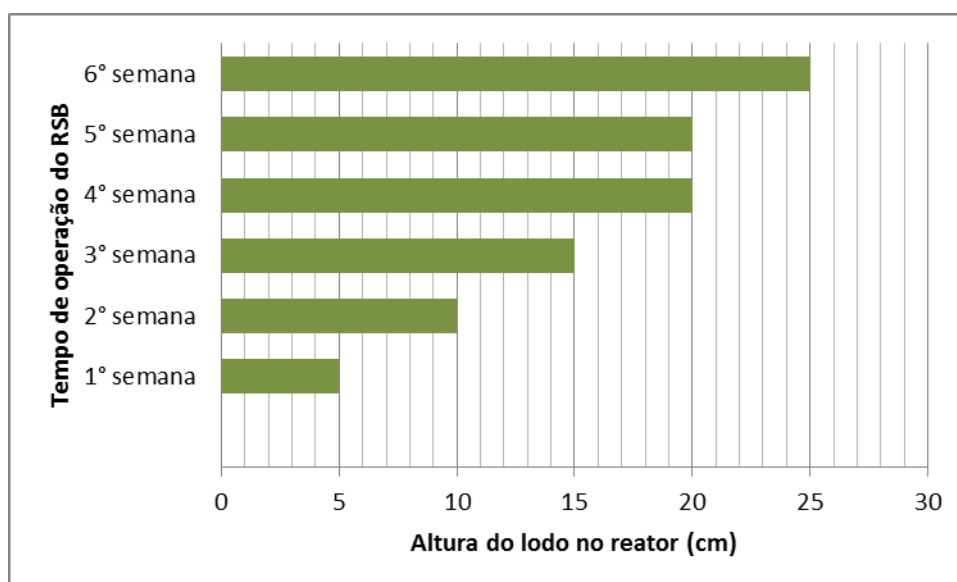


Figura 20 - Aumento da altura do lodo no RSB durante sua operação.

Von Sperling (2005) recomenda para sistemas de lodos ativados por batelada uma concentração entre 1500 mg/L e 3500 mg/L de SSV. Portanto, a partir dos resultados mostrados na Tabela 12, observa-se que no início da operação não havia uma alta concentração de SSV. Coincidindo com a mal desempenho do RSB nas primeiras semanas de operação. No final da operação a concentração de SSV aumentou de forma considerável, influenciando de forma positiva no desempenho do reator.

Tabela 12 - Concentração de sólidos suspensos voláteis no lodo.

SSV (mg/l)	
Lodo 1ª semana	Lodo 6ª semana
820	1883,33

PERFIS DE MONITORAMENTO

A fim de se obter o comportamento do sistema durante a realização dos ciclos, foram realizados dois perfis, analisando amostras no fim de cada etapa do ciclo testado. Realizou-se análises com relação aos seguintes parâmetros: pH, DQO e nitrogênio amoniacal. Foram produzidos um perfil de cada Fase do estudo, sendo eles dos ciclos de 9 e 11 horas de duração. Estes ocorriam durante o dia, assim foi possível fazer a coleta de amostras ao fim de cada etapa do ciclo.

- pH

A Figura 21 expõe o valores de ph ao longo dos perfis do ciclo 11 e 9.

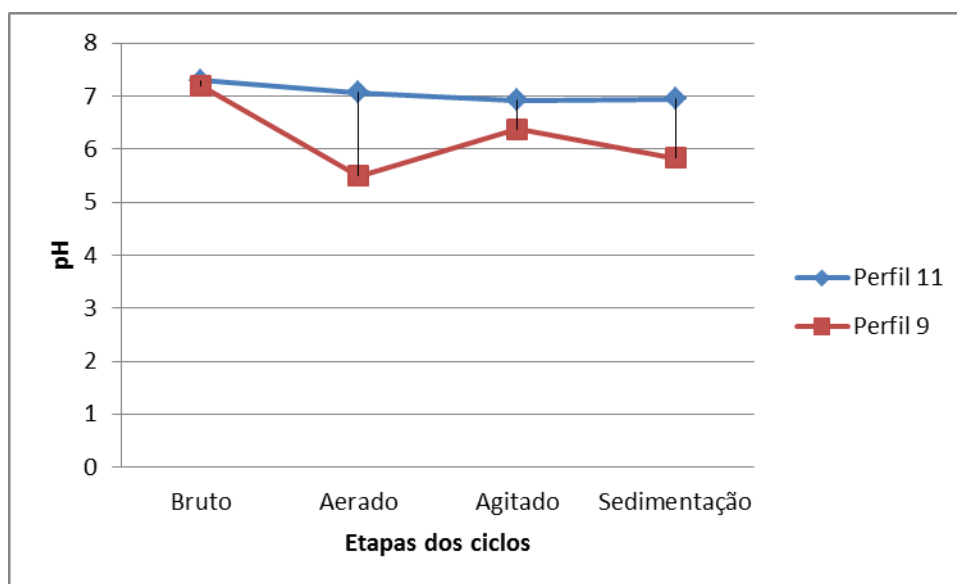


Figura 21 - Valores de ph ao longo dos perfis 11 e 9.

Os valores de pH obtidos durante os dois perfis estão descritos na Figura 21. Os dois ciclos iniciaram com valores de pH que estão dentro da faixa considerada ótima para as bactérias em relação a degradação da matéria orgânica e para o processador de nitrificação. No entanto durante a operação, os valores de pH decaíram, isto pode ter ocorrido devido ao processo de nitrificação. Como mostrado no Gráfico 18 no ciclo 9, tal decaimento acontece no final da etapa de aeração, na qual ocorre a nitrificação.

- DQO

A variação da concentração da DQO e os percentuais de remoção do perfil do ciclo 11 estão representados no Figura 22. O valor observado de DQO no afluente bruto foi em torno de 771,1 mg/L, caindo após a no final da etapa de aeração para 295,67 mg/L, que representa uma eficiência no tratamento de 61,69% de DQO. No final da etapa de agitação a concentração de DQO aumenta para 384,405, portanto nesta etapa houve uma ineficiência. Após o final da sedimentação a concentração diminui para 365 mg/l, se tornado eficiente novamente. Então, nota-se que a etapa de aeração é a mais eficiente na remoção de DQO, a eficiência final do ciclo é de 52,70 %, menor que a do final da aeração.

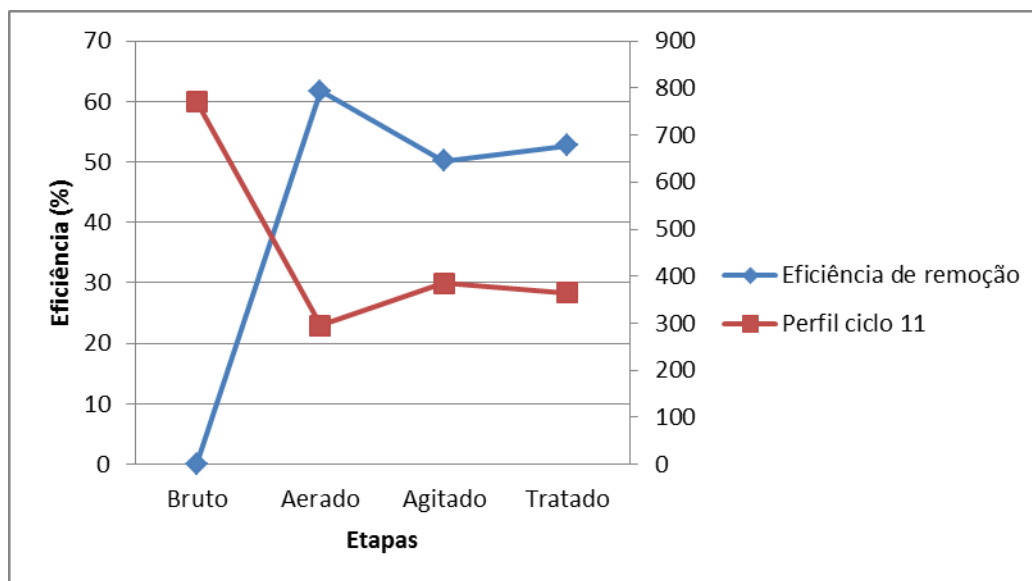


Figura 22 - Análise da remoção e eficiência da matéria orgânica do perfil do ciclo 11.

O perfil do ciclo 9 se comportou de forma diferente ao perfil do ciclo 11, neste a eficiência aumentou ao final de cada etapa, como era o esperado. Como pode ser visto no Gráfico 23 a curva azul que representa a eficiência de remoção de DQO e aumenta de forma progressiva. Sendo que no final da etapa de aeração houve uma eficiência de 40,12%, no final da agitação esta aumentou para 60,08% e no final da sedimentação, que corresponde ao final do ciclo, se verificou eficiência de 80,36%.

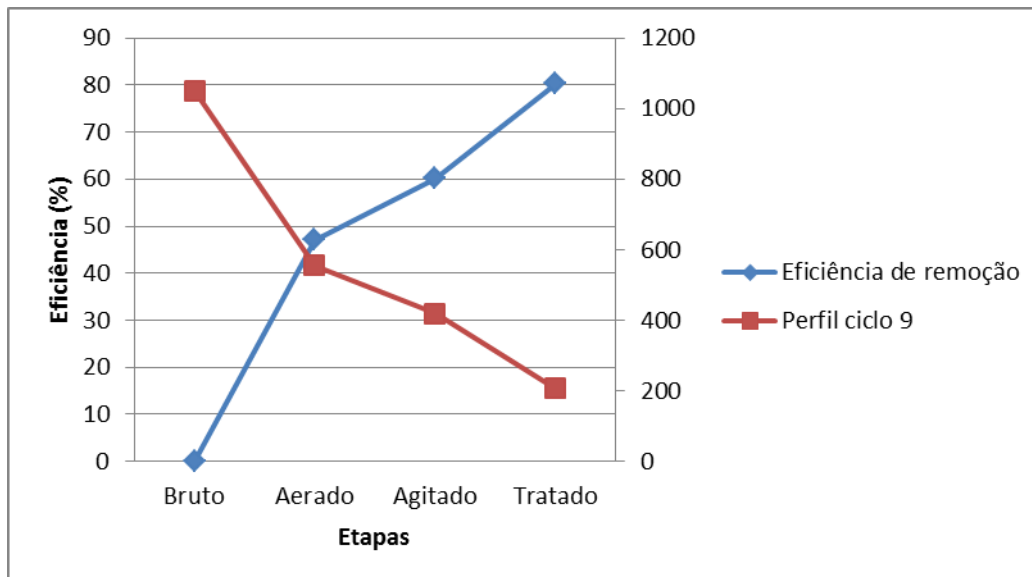


Figura 23 - Análise da remoção e eficiência da matéria orgânica do perfil do ciclo 9.

- *Nitrogênio amoniacal*

Analisando o comportamento do nitrogênio amoniacal nos perfis, observa-se que a conversão deste parâmetro ocorre apenas na etapa de aeração, como já previsto, pois é nesta etapa devido à introdução de oxigênio no sistema, que o ocorre o processo de nitrificação. Portanto, as curvas de eficiência e decaimento do nitrogênio amoniacal nos dois perfis se mostram similares.

As Figuras 24 e 25 ilustram a concentração ao longo do ciclo 11 e 9 de nitrogênio amoniacal convertido e sua eficiência. No perfil 11, há uma conversão de 40,74 % ao final da etapa de aeração, tal valor se mantém até o

fim do ciclo. Já no ciclo 9, se tem uma conversão de 94,71 % após a etapa de aeração, que também se mantem até o fim da batelada. É nítido que o ciclo 9 possui maior eficiência, o qual foi operado na 6ª semana de funcionamento do RSB. Continha uma alta concentração de de nitrogênio amoniacal no afluente de 688,8 mg/l. Já o perfil do ciclo 11 foi produzido na 1ª semana de operação, quando a quantidade de lodo dentro do reator era pequena e a sua concentração de nitrogênio amoniacal era de 151,20 mg/l no afluente.

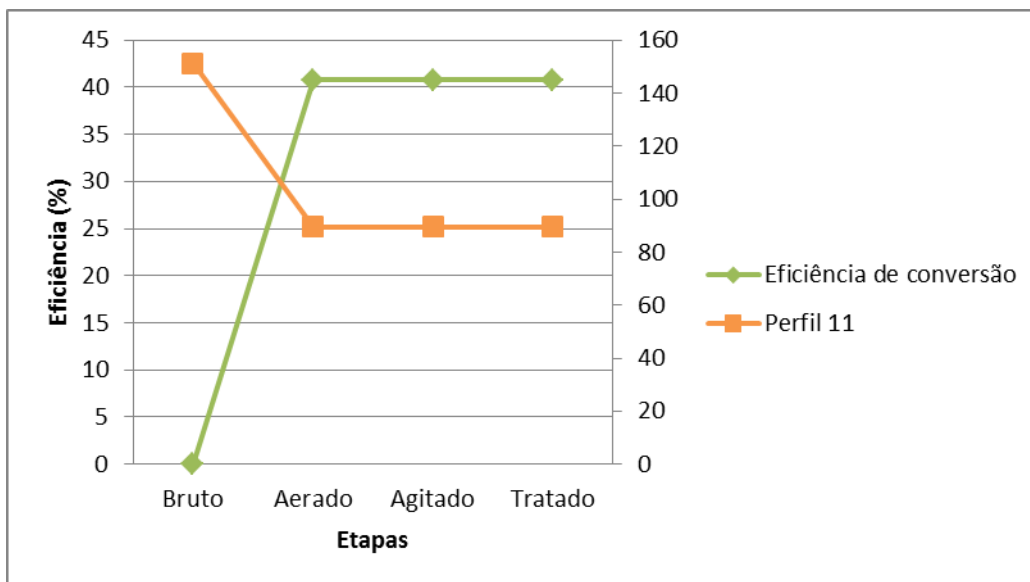


Figura 24 - Análise da conversão e eficiência de nitrogênio amoniacal do perfil do ciclo 11.

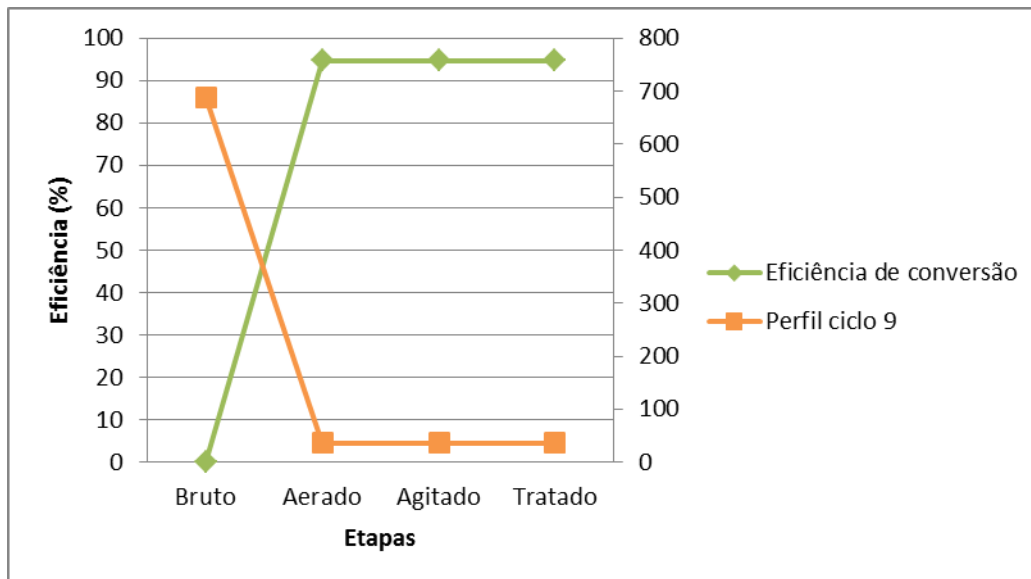


Figura 25 - Análise da conversão e eficiência de nitrogênio amoniacal do perfil do ciclo 9.

CICLO IDEAL

Analisando os resultados apresentados anteriormente, verificou-se que tanto nas fases testadas quanto nos perfis, em termos de remoção de DQO e conversão de nitrogênio amoniacal, há uma maior eficiência no ciclo de 9 horas de duração. Além de ser o menor dentre os ciclos testados. Assim, o ciclo ideal determinado para o sistema foi o que teve 3 horas de aeração, 2,5 horas de agitação e 3 horas de sedimentação, o ciclo 9. A Figura 26 ilustra a duração de cada etapa dos ciclos testados.

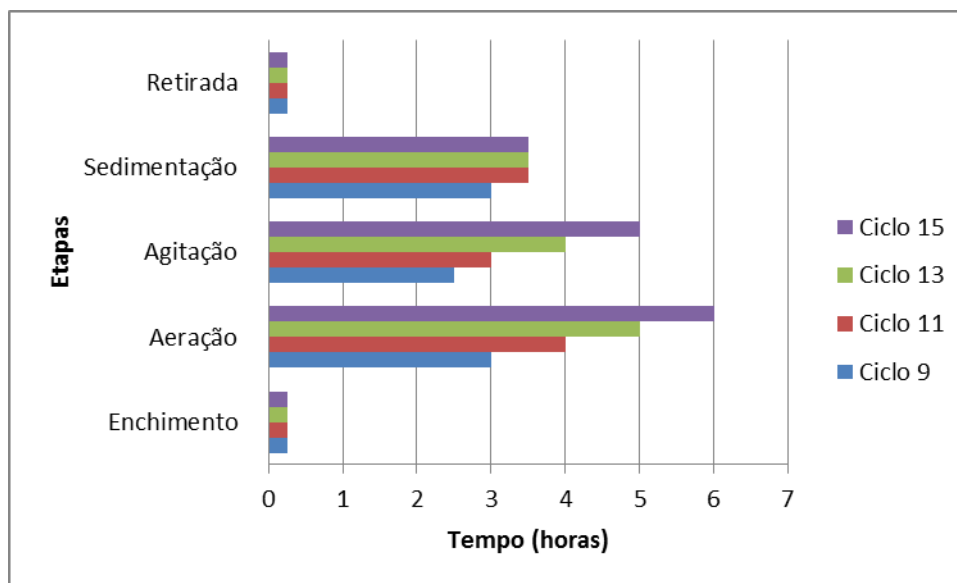


Figura 26 - Duração das etapas dos ciclos testados.

Observando a Figura 26 as etapas de enchimento e retirada são iguais para todos os ciclos, o tempo de sedimentação só se difere para o ciclo de 9 horas com 3,0 horas de duração, enquanto os outros possuem 3,5 horas de intervalo de tempo. Já nas etapas de aeração e agitação há diferença de tempo entre os ciclos, com variação entre 3 e 6 horas para aeração e de 2,5 e a 5 horas para agitação. Sendo que, nessas etapas ocorrem a reações de degradação da matéria orgânica e o processo de nitrificação, por isto a variação destas.

Desta forma, nota-se que o ciclo ideal possui o menor tempo de aeração e agitação em relação aos outros testados. Moura e Garcia (2008), obteve resultados próximos no tratamento de efluente de indústria de refrigerantes, encontraram como ciclo ideal o 10 horas de duração. Constituído por uma batelada de 4 horas de aeração, 3 horas de agitação e 3 horas de sedimentação. Temps (2000) em sua pesquisa também no tratamento de efluente de indústria de refrigerantes por RSB, constatou-se que com 3 horas de aeração o sistema já se tornava eficiente na remoção de DQO, mesmo duração da etapa de aeração ciclo ideal adotado neste estudo.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos durante a realização do estudo, pode-se concluir que o reator sequencial por batelada mostrou-se eficiente na conversão de nitrogênio amoniacal e remoção de matéria orgânica, conseguindo tratar a água residuária da indústria farmacêutica, mesmo seu efluente bruto tendo características variáveis. Além disso, sua manutenção e operação durante a pesquisa foram bastante simplificadas, não apresentando grandes problemas.

Na primeira fase do estudo, foram testados os ciclos de 11 e 13 horas de duração, tendo uma média eficiência em torno de 40% e 60% na remoção de matéria orgânica e conversão de nitrogênio amoniacal respectivamente. Tal porcentagem não é tão satisfatória como a encontrada na Fase 2 do estudo, que pode ter sido influenciada pela adaptação incompleta do lodo.

Com o passar das bateladas o lodo cresceu, e a eficiência da Fase 1 se tornou maior. Assim iniciou-se a Fase 2 do estudo que compreendeu a operação dos ciclos de 9 e 15 horas de duração. Nesta fase encontrou-se altos valores de eficiências, como uma média em torno de 60% na remoção de DQO e de 90% de conversão de nitrogênio. Nesta fase o lodo cresceu e chegou a compor metade do volume útil do reator, tornando o mais eficiente. Nesta fase houve-se correção do pH em todas as semanas de operação, o que pode também ter influenciado na eficiência do tratamento.

Portanto, foi na Fase 2 que se encontrou o ciclo ideal. Sendo este composto por uma batelada de 15 minutos de enchimento, 3 horas de aeração, 2,5 horas de agitação, 3 horas de sedimentação e 15 minutos de retirada do efluente, com um total de 9 horas de duração. Atingindo as maiores médias de eficiências entre os ciclos testados, com 91,02% na conversão de nitrogênio amoniacal e 69,54 % na remoção de DQO. Por isto, se adotou o ciclo 9 como o ideal. Porém o ciclo 15, que também fez parte da Fase 2 do estudo mostrou-se eficiente. Acredita-se que então que a Fase 2 foi a mais eficiente, devido ao volume de lodo presente no reator.

Os perfis realizados demonstraram uma baixa variação no pH durante a Fase 1 e uma maior variação na Fase 2. A maior eficiência na remoção de matéria orgânica foi encontrada após o final da etapa de aeração. A conversão de nitrogênio amoniacal ocorreu, também no final da etapa de aeração, o que já era previsto devido ao processo de nitrificação ocorrer quando se há oxigênio disponível.

Para trabalhos futuros, propõe-se um monitoramento da temperatura durante as bateladas. Realização de análise bacteriológica do lodo antes de inocular, depois de inoculado e após algumas bateladas, para identificar os organismos presentes. Sugere-se, também, que sejam feitas análises de nitrato com o intuito verificar o comportamento do RSB quanto ao processo de desnitrificação. Por fim, propõe-se a automatização das etapas de enchimento e retirada, para então de operar cada ciclo continuamente, não precisando alterná-los e assim garantido que não haja interferência dos resultados de cada um.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAMPOS, A. L. O. **Comportamento de Dois Reatores em Batelada Sequenciais Aeróbios com Diferentes Idades do Lodo em Excesso após Desintegração com Ultra-Som**. 2002. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
2. CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias –Volume 5: Reatores anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. Belo Horizonte, p. 245, 1997.
3. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n° 430**, de Maio de 2011. 8 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 19 ago. 2015.
4. COSTA D. M. A.; BARROS JÚNIOR A. C. **Avaliação da necessidade do reúso de águas residuais**. Holos, Ano 21, Setembro, 2005. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/74/80>>. Acesso em: 25 ago. 2015.
5. GARCIA C. P.; MOURA R. B. **Otimização do rendimento de um reator sequencial por batelada para o tratamento de efluentes de indústria de refrigerantes**. Trabalho de Conclusão (Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2008
6. MELERO, J.A. *et al.* Heterogeneous catalytic wet peroxide oxidation systems for the treatment of an industrial pharmaceutical wastewater. **Water Research**. doi: 10.1016/j.watres.2009.04.012, 2009.
7. SOUSA, J.T. de; FORESTI, E. **Avaliação de reator sequencial em batelada (RSB) no pós-tratamento de efluente de reator UASB**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 9-16, 2001.
8. SUMAN RAJ, D. S., ANJANEYULU, Y. Evaluation of biokinetic parameters for pharmaceutical wastewaters using aerobic oxidation integrated with chemical treatment. **Process Biochemistry**, 2005. 40 (1), 165–175 p.
9. TEMPS, C. A. W.; PAWLOWSKY, U. **Lodo Ativado Sequencial para Tratamento de Despejos de Indústrias de Refrigerantes**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre – RS, 2000.
10. VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG; 2005.