



## SELEÇÃO E CULTIVO DE LODO NITRIFICANTE EM ETAR

Jéssyca de Freitas Lima<sup>1</sup>, Dayane de Andrade Lima<sup>2</sup>, Danikelly Silva Damasceno<sup>3</sup>, Elivânia Vasconcelos Moraes dos Santos<sup>4</sup>, Heraldo Antunes Silva Filho<sup>5</sup>, Jarbas Rodrigues Chaves<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Tecnologia em Saneamento Ambiental – IFCE. e-mail: jessycafreitas@ifce.edu.br

<sup>2</sup>Graduando em Tecnologia em Saneamento Ambiental – IFCE. e-mail: dayaneandrade@ifce.edu.br

<sup>3</sup>Graduando em Tecnologia em Saneamento Ambiental – IFCE. e-mail: danikelly.dasmaceno204@gmail.com

<sup>4</sup>Professor do IFCE – Campus Limoeiro do Norte. e-mail: elivania@ifce.edu.br

<sup>5</sup>Professor do IFCE – Campus Limoeiro do Norte. e-mail: heraldo@ifce.edu.br

<sup>6</sup>Técnico de Laboratório do IFCE – Campus Limoeiro do Norte. e-mail: jarbasrodrigues@ifce.edu.br

**Resumo:** A água pode ser utilizada de diversas maneiras, e na totalidade dos seus usos, agregam-se impurezas de diversas naturezas, caracterizando a necessidade de tratamento dessa água para o posterior lançamento no ambiente ou uso imediato na forma de reuso. Dentre os possíveis tratamentos previstos, destacam-se os sistemas biológicos aeróbios, que apresenta um ótimo desempenho na remoção de sólidos em suspensão, matéria orgânica e nutrientes (nitrogênio e fósforo). Para remover o nitrogênio é necessário um sistema onde ocorra a nitrificação seguida da desnitrificação, onde as bactérias responsáveis por esse processo são as nitrificantes e as desnitrificantes, porém elas são muito difíceis de serem cultivadas e mantidas no sistema, principalmente em função da sua pequena taxa de duplicação ( $\mu_m$  entre 0,2 a 0,35  $d^{-1}$ ) e da sensibilidade a mudanças de pH. O objetivo dessa pesquisa é buscar o melhor procedimento para se cultivar bactérias nitrificantes, evitando erros no seu monitoramento. Nesse contexto, foram montados e operados quatro sistemas (C, R1, R2 e R3), onde um era o controle (C) alimentado com esgoto bruto, que serve como referência para os outros sistemas, caracterizando como será o crescimento da biomassa em condições normais. Outro se cultivava nitrificantes (R1), outro nitratantes (R2) e o último as nitrificantes por completo (nitrificantes+nitratantes) (R3). Com os resultados obtidos percebe-se que o sistema que obteve o melhor cultivo foi o que se cultivava nitrificantes (R1), pois em algum momento essas bactérias predominaram mais que as heterotróficas, e nos demais sistemas o crescimento satisfatório (acima do controle) não existiu em função da grande variação do pH do meio, que caía constantemente. Devido a mudança da matriz na alimentação, foi necessário adição de carbonato de sódio para elevar o pH e cal para dar alcalinidade nos sistemas e manter o pH alto. Constatou-se que, em geral, não se estabeleceu uma predominância das comunidades desejadas, ora devido a problemas operacionais (pouco grau de agitação dos sistemas, pouca capacidade de aeração dos sopradores adquiridos, etc), ora por problemas do processo estudado, que tende a produzir  $H^+$  em meio aquoso, reduzindo drasticamente o pH caso não se tenha uma alcalinidade suficiente para resistir a queda. Para que esse cultivo seja satisfatório é necessário um monitoramento constante do pH ( $< 7,0$  e  $> 8,5$ ) e alcalinidade, se possível online.

**Palavras-chave:** alcalinidade, nitrificação, nitrogênio, pH

### 1. INTRODUÇÃO

A água é um dos bens mais preciosos da natureza, e que o ser humano necessita todos os dias, a mesma é utilizada de varias formas, sempre gerando um efluente que precisa ser tratado. Um dos tratamentos de esgotos mais utilizados no Brasil e no mundo é o tratamento biológico, por ter uma alta qualidade do efluente tratado. Dentro dos tratamentos mais utilizados, está o sistema aeróbio, por ter um ótimo desempenho na remoção de sólidos em suspensão e material orgânico podendo ainda remover nutrientes. Entretanto, possui grandes custos de operação com elevado consumo de energia e muita produção de lodo (CHAGAS, 2006).

Uma das maiores preocupações no tratamento biológico é a remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo, sendo que esses nutrientes em certas concentrações promovem eutrofização em corpos d'água. Uma das soluções é utilizar um sistema, com os processos de nitrificação seguido de um tratamento terciário. A nitrificação pode ser conseguida em sistemas de lodo ativado, as principais bactérias responsáveis por esse processo são as oxidadoras de amônia, (predominância de

nitrosomonas) e as oxidadoras de nitrito (predominância de nitrobacter). A oxidação da amônia a nitrato é considerada a fase limitante da eliminação biológica de nitrogênio de efluentes, pois os microrganismos envolvidos nesse processo são autotróficos (utilizam fonte inorgânica de carbono) e possuem baixas taxas de crescimento (REGINATTO, 2007).

Esta pesquisa tem como finalidade investigar os melhores procedimentos que delineiam o cultivo de bactérias nitrificantes, para que futuramente essa biomassa sirva como inóculo para sistemas de tratamento de águas residuárias que tenham como objetivo a remoção de nitrogênio.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa se delineou em duas fases, sendo a primeira com a montagem e operação de um sistema em Batelada, para geração de lodo até sua estabilização em estado estacionário (SSV ~ 3g). A segunda fase da pesquisa consistiu em inocular o lodo gerado no RBS (Reator em Bateladas Sequenciadas) que possuía a mesma característica, em quatro sistemas para que fosse alimentado e controlado de maneiras distintas para selecionar e cultivar bactérias nitrificantes.

### 2.1 Primeira Fase

Foi montado um RBS com volume útil de 10L, composto por dois aeradores que injetavam 360 litros de ar por hora (nas duas saídas), cada um interligado a duas pedras porosas que promoviam a difusão de ar no sistema, como mostra a **Figura 1**, mantendo um oxigênio dissolvido final de 1,38 mg/L. A **Figura 2** apresenta as fases operacionais do sistema, compondo um ciclo de 8 horas (O ciclo de 16 horas é composto por as mesmas fases sendo que a fase de aeração/reação é de 15 hs e 30 min).



Figura 1: Reator em Bateladas Sequenciadas



Figura 2: Fases operacionais de cada ciclo

Sua partida foi realizada no dia 17 de outubro de 2011, tendo dois ciclos principais, sendo o primeiro de 8 horas (ciclo 1) e o segundo de 16 horas (ciclo 2) conforme o procedimento da **Figura 2**. Foram 186 dias de operação contendo, 67 ciclos de 8 hs, 67 ciclos de 16 hs e 52 ciclos de 24 hs (nos finais de semana). A divisão em dois ciclos foi necessária para uma melhor operação, já que o procedimento de alimentação era manual, sendo alimentado apenas com o esgoto bruto do IFCE – Campus Limoeiro do Norte. Sua alimentação era realizada da seguinte forma: ao se desligar os aeradores esperava-se de 15 a 20 minutos para a sedimentação do lodo, após ocorrer essa sedimentação, é retirado o sobrenadante e preenchido com esgoto bruto (é colocado sempre o volume retirado para que o sistema fique sempre com 10L), os dois ciclos seguiram o mesmo procedimento de alimentação (**Figura 2**). A **Tabela 1** apresenta as análises diárias de monitoramento que eram realizadas no sistema.

Tabela 1: Parâmetros analisados diariamente nos sistemas

Variáveis	Métodos Analíticos	Referência
Temperatura média, máx e min, (°C)	Infravermelho	2550 A. / APHA et al. (2005)
pH (-)	Potenciométrico	4500-H <sup>+</sup> / APHA et al. (2005)
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Oximétrico	4500-O A. / APHA et al. (2005)

Além dessas análises diárias, foram realizados testes respirométricos para caracterizar a TCO (Taxa de consumo de oxigênio das bactérias, em mgO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>). Para cada teste respirométrico, era necessária a determinação de sólidos para quantificar a biomassa dentro do sistema, e assim

possibilitar a determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio Específica (relativa a cada grama de lodo). A **Tabela 2** apresenta as análises de sólidos que foram realizadas.

Tabela 2: Parâmetros analisados juntamente com os testes respirométricos

Variáveis	Métodos Analíticos	Referência
*SST (mg/L)	Gravimétrico	2540 D. / APHA et al. (2005)
**SSV (mg/L)	Gravimétrico	2540 F / APHA et al. (2005)
***SSF (mg/L)	Gravimétrico	2540 E. / APHA et al. (2005)

\*Sólidos Suspensos Totais    \*\*Sólidos Suspensos Voláteis    \*\*\*Sólidos Suspensos Fixos

Após doze conjuntos de testes e análises de sólidos suspensos e 186 ciclos, realizou-se a segunda etapa da pesquisa.

## 2.2 Segunda Fase

Após estabilização do lodo (percebida via concentração de SSV, TCO e desempenho na remoção de amônia e DQO), foram montados quatro sistemas RBS, o lodo que foi gerado na fase 1 foi dividido para os quatro sistemas sendo cada um, composto por um balde de 5L juntamente com um aerador interligado a uma pedra porosa que promove a aeração contínua do sistema, que tem como volume útil 3L, denominados de Controle, R1, R2 e R3 como mostra a **Figura 2**.

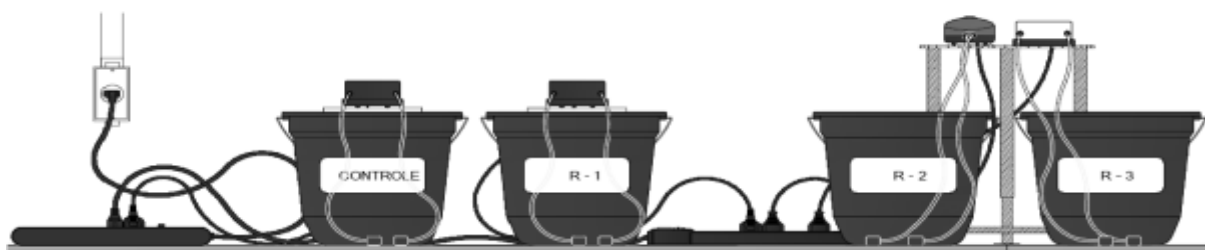


Figura 2: Reatores em Bateladas Sequenciadas - Controle / R1 / R2 / R3

Cada sistema agora possui uma característica diferente, o sistema denominado de Controle, é o único que possui a mesma característica (Fase 1), continua a ser alimentado apenas por esgoto bruto, ele serve como referência para os outros sistemas, pra identificar se o cultivo das bactérias nitrificantes irá existir, e se as heterotróficas estão presentes ou eliminadas. A **Tabela 3** mostra a nova composição do esgoto sintético usado na alimentação dos sistemas. O sistema controle é alimentado com esgoto bruto para caracterizar as bactérias em condições normais. No sistema R1 a proposta é se cultivar bactérias nitrificantes por isso é adicionado Cloreto de Amônia; o R2 adiciona-se nitrito de sódio para selecionar as nitrificantes e no R3 a proposta é cultivar as nitrificantes por completo.

Tabela 3: Configuração de Alimentação dos Sistemas

Sistemas	Esgoto Bruto	Matriz (Água)	Forma de Alimentação		Solução Nutritiva
			NH <sub>4</sub> Cl (60 mg/L)	NaNO <sub>2</sub> (30 mg/L)	
Controle	X				
R - 1		x	x		x
R - 2		x		X	x
R - 3		x	x	X	x

O procedimento de alimentação dos sistemas ainda segue a **Figura 2**, sendo que agora o sistema R1, R2 e R3 são preenchidos com água. Os substratos são adicionados de acordo com a **Tabela 3**.

A solução nutritiva (0,31g de MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0,09g de CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O, 0,06g de MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O, 0,05g de ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0,01g de CaCl<sub>2</sub>, 0,05g de FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O e 0,2g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) é uma solução que contém

alguns dos elementos essenciais para o desenvolvimento das bactérias, contendo algumas substâncias traços ausentes na matriz.

Após a diferenciação do lodo, foi abordada uma nova forma de se monitorar, sendo que o monitoramento diário continuou o mesmo e as mesmas análises da fase 1 continuam a serem realizadas. Os testes respirométricos foram realizados semanalmente e junto com eles as análises que estão expressas na **Tabela 4**.

Tabela 4: Parâmetros analisados juntamente com os testes respirométricos

Variáveis	Métodos Analíticos	Referência
Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Kapp	2320 A. / BUCHAUER (1998)
SST (mg/L)	Gravimétrico	2540 D. / APHA et al. (2005)
SSV (mg/L)	Gravimétrico	? APHA et al.(2005)
SSF (mg/L)	Gravimétrico	2540 E. / APHA et al. (2005)

### 2.3 Testes Respirométricos

O teste respirométrico foi utilizado para identificar o crescimento, o cultivo e a quantidade de bactérias por grama de lodo de cada sistema das bactérias nitrificantes, através dos cálculos da TCO (Taxa de Consumo de Oxigênio).

Foi utilizado o respirômetro Beluga modelo S32c, desenvolvido no Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG – Universidade Federal de Campina Grande (Catunda et al.,1996). Na determinação da TCO, o respirômetro realiza a medição direta da concentração de oxigênio dissolvido, além da temperatura quando usando um eletrodo do tipo YSI5718 ou equivalente. O respirômetro estabelecia ciclos com aeração e sem aeração. Quando o oxigênio do meio chegava a 1mg/L, o respirômetro ativava o aerador, chegando a 3mg/L ele era desativado automaticamente.



Figura 3: Os componentes do respirômetro e um respirograma.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa foi dividida em duas fases, sendo que a primeira consistiu em operar um sistema alimentado com esgoto bruto para geração de lodo, e a segunda a inoculação desse lodo em quatro sistemas para cultivo das nitrificantes, seus resultados foram analisados e estão expostos abaixo.

### 3.1 Primeira fase

A **Figura 4** mostra uma média das análises diárias de pH, no qual os valores mais constantes aproximam-se de 8,0 sendo que os desejados são de 7,0 a 7,5, ao mesmo tempo a mínima e a máxima preocupa, pois com valores abaixo de 6,5 e acima de 8,5 já são inibitórios as bactérias. A alcalinidade média do sistema nessa fase era de 546,00 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. O oxigênio dissolvido (**Figura 5**) nos sistemas varia de acordo com o tipo de aerador e com o consumo de oxigênio das bactérias, a faixa aceitável de OD é de 1 a 3mg/L, com os valores apresentados nos primeiros testes percebe-se que a introdução de oxigênio estava adequada para o sistema, só que com o crescimento da biomassa, a quantidade de oxigênio no meio não era mais suficiente, ocorrendo o decaimento do OD, como mostra os pontos 7, 8, 9 e 10, por falta de disponibilidade de aeradores a situação não foi resolvida.

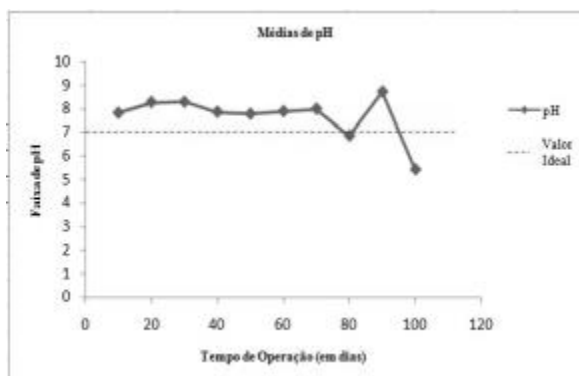


Figura 4: Valores de pH

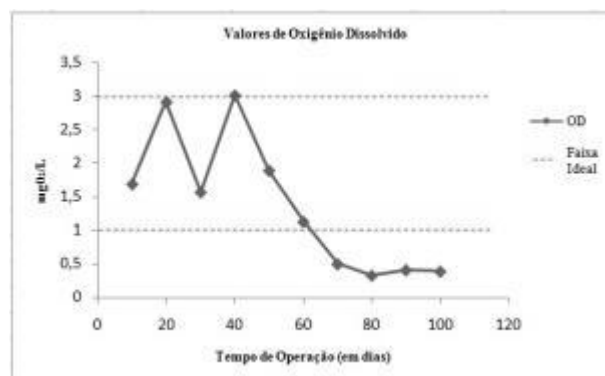


Figura 5: Valores de OD

### 3.2 Segunda Etapa

Na segunda etapa com a adição dos substratos para a seleção do lodo, foram realizados testes respirométricos dos quatro sistemas acompanhado de análises para distinguir o cultivo das nitrificantes. A **Figura 6** apresenta os valores de pH em média, máxima e mínima de 30 análises para cada sistema, perfazendo 85 dias de operação na segunda fase, com 85 ciclos.

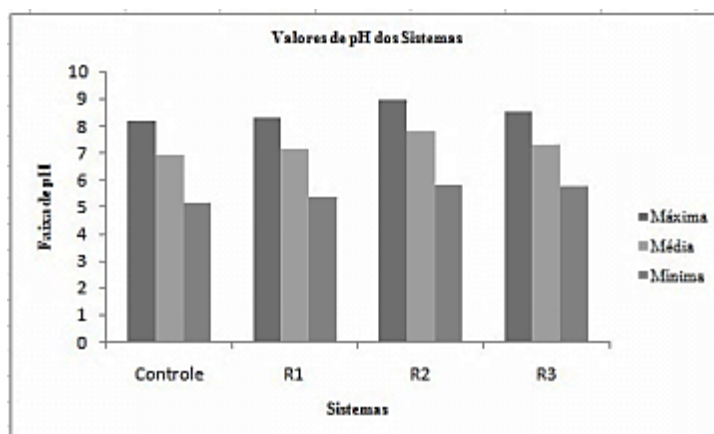


Figura 6: Valores de pH de cada sistema

Ao se analisar os valores obtidos de pH, percebe-se que a média não atinge o valor esperado (7,0), sendo que o valor mínimo já chega a ser tóxico para as bactérias, inibindo assim o seu crescimento, principalmente das nitrificantes, pois na reação do consumo do oxigênio as bactérias liberam  $H^+$ , fazendo com que o pH caia.

Todos os sistemas operados tiveram problemas com o pH baixo. O sistema que não apresentava significativas variações era o R2, pois nele era adicionado o nitrito de sódio, que em sua reação não libera  $H^+$ . Para os outros sistemas foram elaborados diferentes tipo de processo para aumentar e manter o pH em um valor neutro. Isso só foi possível após a adição de uma solução de cal virgem, sendo gotejada durante todo o dia. No sistema denominado Controle, além dessa solução tampão que apenas mantém o pH, era adicionado 10 a 15 mL de Carbonato de sódio 5 vezes mais concentrado.

Outro parâmetro de grande importância é o Oxigênio dissolvido, ele é apresentado na **Tabela 5**.

Tabela 5: Valores de OD de cada sistema

(mg/L)	Controle	R1	R2	R3
Média	4,17	6,93	7,69	7,21

Os valores médios de OD são extremamente elevados devido à aeração, pois em diversas tentativas de colocar uma quantidade menor de oxigênio o lodo não ficava suspenso, e logo

sedimentava. Por isso tivemos que optar por colocar uma aeração que o lodo não sedimentasse (já que não tinha disponibilidade de um agitador mecânico), mesmo que o OD estivesse acima na faixa adequada, que é de 1 a 3 mg/L. VAN HAANDEL & MARAIS (1999)

Com a mudança na alimentação consequentemente teve-se mudança nas características e com isso alguns sistemas começaram a ser interferidos pelo pH, sendo que o mesmo baixava constantemente. Era adicionado de 10 a 15mL de Carbonato de Sódio para a elevação do pH, notou-se que o pH subia mais não conseguia se manter, com os resultados das análises de alcalinidade (**Tabela 6**) realizados juntamente com os testes respirométricos, percebeu-se que alguns sistemas praticamente não tinham alcalinidade. Sendo que as análises eram realizadas ao fim de cada ciclo.

Tabela 6: Resultados de Alcalinidade dos Sistemas

(mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Controle	R – 1	R – 2	R – 3
Média	16,15	29,88	143,68	82,25

Observando-se os valores de alcalinidade, entende-se porque o pH do Controle, R1 e R3 está constantemente tendo quedas, pois uma alcalinidade ideal para segurar o pH é 200 a 400 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. O R2 é o que contem mais alcalinidade e é por isso que não possui variações no pH.

Foi necessário estudar um auxílio para manter o pH, a solução foi colocar um alcalinizante constante no sistema. Foi preparada uma solução de cal de 1g/L que era gotejada nos 3 sistemas que o pH era baixo (Controle, R1 e R3) por mangueiras interligadas ao um balde, como mostra a **Figura 7**.



Figura 7: Sistemas com a nova configuração

O controle do pH e da alcalinidade é indispensável para uma boa operação de sistemas, principalmente quando se quer cultivar bactérias nitrificantes que são bastante sensíveis a pH fora da faixa aceitável, levando em consideração que elas levam de 15 a 20 dias para crescerem após morrem por condições de desfavoráveis de pH. VAN HAANDEL & MARAIS (1999)

A **Tabela 7** apresenta as médias das análises de sólidos suspensos voláteis de cada sistema.

Tabela 7: Média dos sólidos Suspensos Voláteis

(mg/L)	Controle	R – 1	R – 2	R – 3
Média	3623,43	1313,00	1592,57	1080,29

Os valores médios dos sistemas R1, R2 e R3 mostram que a quantidade de bactérias em cada sistema é baixa, levando em consideração que quanto menos bactérias existirem no sistema mais as nitrificantes estarão vulneráveis as variações de pH prejudicando assim o cultivo das mesmas. No Controle a quantidade é apreciável, já que é adicionado esgoto bruto como alimentação; mesmo que o pH caia e as bactérias morram, como o esgoto bruto traz novas bactérias a biomassa logo se repõe.

Ao se relacionar os valores da TCO exógena com os sólidos suspensos voláteis, obtiveram-se os gráficos da TCO exógena específica de cada reator. A TCO exógena específica representa a quantidade de bactérias específicas por 1g de lodo para cada sistema. A **Figura 8** apresenta os valores da TCO exógena específica do Reator Controle:

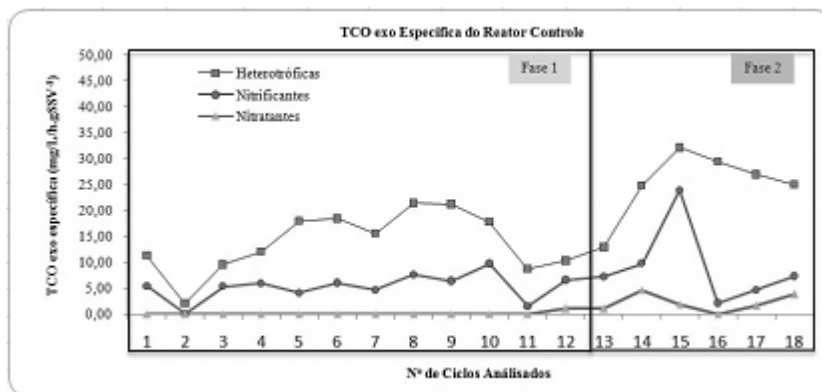


Figura 8: TCO exógena específica do Reator Controle

Ao se analisar a **Figura 8**, percebe-se que as bactérias predominantes são as heterotróficas, pois são elas que prevalecem no esgoto bruto e mesmo não sendo resistentes ao pH baixo, elas possuem um rápido crescimento (4 a 6 vezes maior que as nitrificantes, conforme relata Silva Filho, 2009). A **Figura 9** apresenta os valores da TCO exógena específica do R1.

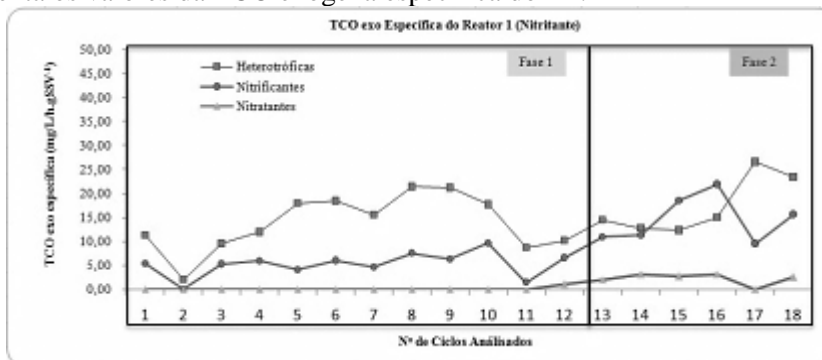


Figura 9: TCO exógena específica do Reator 1

Na **Figura 9**, observa-se que na Fase 1 as bactérias que prevalecem são as heterotróficas e uma pequena parcela das nitrificantes se desenvolvem. Na fase 2 com adição de um substrato que beneficia o crescimento das nitrificantes, as mesmas apresentam uma ligeira subida, inclusive predominando em alguns pontos no sistema (14, 15 e 16). Mas devido a quedas de pH e por falta de alcalinidade, a tendência de crescimento não se manteve, e uma parcela das bactérias nitrificantes que são extremamente sensíveis ao pH acabaram morrendo. Nota-se que as mesmas voltam a crescer lentamente, devido a adição da cal que eleva a alcalinidade. A **Figura 10** mostra os valores da TCO exógena específica do R2.

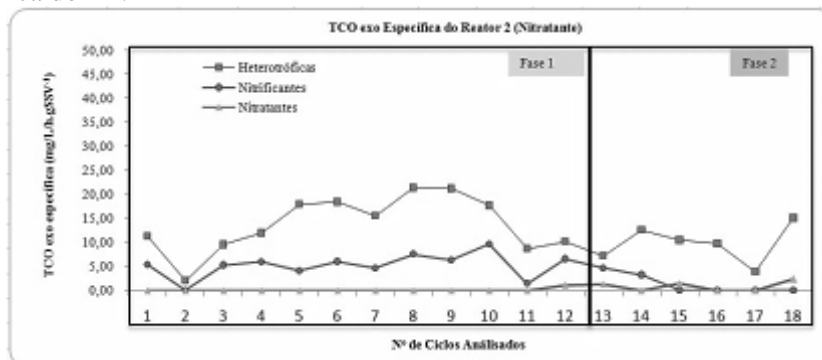


Figura 10: TCO exógena específica do Reator 2

Podemos notar pela **Figura 10**, que neste sistema não houve cultivo de bactérias nitratantes. Na fase 1 as características de todos os sistemas são as mesmas, sempre predominam as bactérias

heterotróficas (maior taxa de duplicação,  $\mu_m$  entre 2 a 3,4  $d^{-1}$ ). A partir da fase 2, é adicionado um substrato para dar condições favoráveis as nitratantes, o nitrito de sódio. As análises de nitrito revelam que o sistema tinha 0,34 mg/L, sendo que um valor menor que 60mg/L já inibe essas bactérias, por isso não houve cultivo das bactérias nitratantes. A **Figura 11** apresenta os valores da TCO exógena específica do R3.

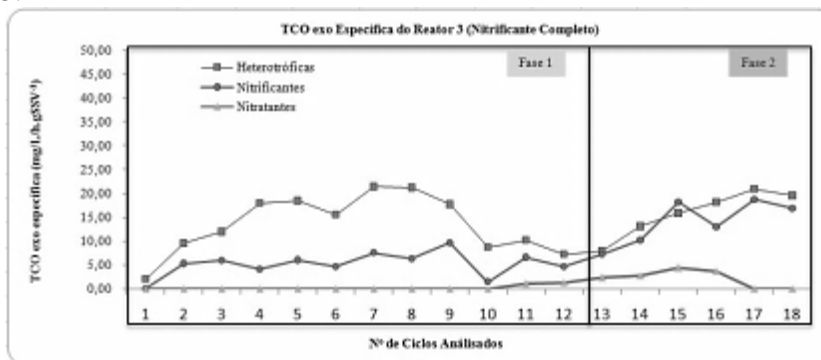


Figura 11: TCO exógena específica do Reator 3

Analisando-se a **Figura 11**, observa-se que houve cultivo. A fase 2 impõem condições para as nitrificantes e nitratantes, mas as que prevaleceram mais foram as nitrificantes, e mesmo assim sua parcela não chega a ser maior do que a das heterotróficas. As nitratantes surgiram mais não se mantiveram no sistema, supõe-se que foi devido o pH que tinha muitas variações.

#### 4. CONCLUSÕES

Através dos resultados conclui-se:

- Com a diferenciação do lodo, o sistema que obteve o melhor cultivo foi o R1, pois em algum momento as nitrificantes predominaram mais que as heterotróficas, porém devido a quedas constantes de pH, o cultivo não se manteve. Segue como sugestão o procedimento de controle rígido do pH, se possível online;
- O R3 também obteve cultivo das nitrificantes mais elas não prevalecem mais que as heterotróficas, que era a proposta da pesquisa. Não obtivemos melhores resultados devido a diversas variações de pH onde se experimentou-se formas em que isso não ocorresse, e descobriu-se que a adição de cal para dar alcalinidade ao sistema é a melhor solução;
- É possível cultivar bactérias nitrificantes, só que com um delicadíssimo monitoramento principalmente com o pH e alcalinidade. Quem sabe também, mudando a matriz, não sendo apenas água.

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço ao PIBIC/IFCE pela concessão da bolsa de pesquisa, ao Laboratório de Controle Ambiental (LCA) e ao IFCE – Campus Limoeiro do Norte pelo ambiente de pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- CHAGAS, A. F. **Influencia da taxa de recirculação de lodo no processo de nitrificação em sistema FBAS precedido de reator UASB**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- SILVA FILHO, H. A. **Nitrificação em Sistemas de Lodo Ativado**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- SOUZA, A. R. (2005). **Caracterização do lodo autotrófico de sistemas de lodo ativado gerado a partir de diferentes substratos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.