

Remoção conjunta de nitrogênio e fósforo em um sistema de lodo ativado compartimentado (SLAC)

A preocupação em remover o nitrogênio e o fósforo presente no esgoto sanitário tem se intensificado nas últimas décadas, visto que há uma grande necessidade de se controlar o processo de eutrofização dos corpos d'água provocado pelo aporte desses nutrientes, cujos efeitos negativos são amplamente conhecidos. O processo biológico é em geral escolhido para o tratamento de esgotos, devido ao seu menor custo e sua simplicidade operacional, a exemplo disto, o processo de lodo ativado que possui uso bastante difundido. A operação sob o regime de bateladas sequenciais tem-se demonstrado bastante atrativa, principalmente por possibilitar a manutenção de condições anaeróbicas, anóxicas e aeróbicas, necessárias para a remoção de nitrogênio e fósforo, em um único reator. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento do processo SCLA (Sistema Cíclico de Lodo Ativado) aplicado à remoção de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo de esgoto sanitário. Em relação à remoção de matéria orgânica obteve-se alta eficiência, com remoção de 91% de DQO (Demanda Química de Oxigênio). Na remoção de nutrientes o sistema apresentou boa eficiência sendo aproximadamente 88% para o nitrogênio e 79,5% para o fósforo, esses valores foram muitos próximos dos encontrados na literatura.

Palavras-chave: Lodos Ativados; Remoção de Nitrogênio; Remoção de Fósforo; Anaeróbio; Anóxico-Aerado.

Combined removal of nitrogen and phosphorus in a sludge system activated compartmented (CASS)

The concern in removing nitrogen and phosphorus present in the sewage has intensified in recent decades, since there is a great need to control the process of eutrophication of water bodies caused by the intake of these nutrients, whose negative effects are widely known. The biological process is generally chosen for sewage treatment, due to its lower cost and operational simplicity of this example, the activated sludge process that has widespread use. The operation under the sequencing batch regime has been shown very attractive, especially for enabling maintenance of anaerobic conditions, anoxic and aerobic, necessary for the removal of nitrogen and phosphorus in a single reactor. Therefore, the aim of this study was to evaluate the behavior of SCLA process (Cyclic Activated Sludge System) applied to the removal of organic matter, nitrogen and phosphorus sewage. Regarding the removal of organic matter was obtained high efficiency, removing 91% of COD (Chemical Oxygen Demand). In nutrient removal system showed good efficiency is approximately 88% for nitrogen and 79.5% for phosphorus, these values were close to many found in the literature.

Keywords: Activated Sludge; Nitrogen Removal; Phosphorus Removal; Anaerobic; Anoxic-Aerated.

Topic: **Engenharia Sanitária**

Received: **11/10/2016**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: **23/01/2017**

Rodrigo de Freitas Bueno

Universidade Federal do ABC, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8406283487703732>
rodrigo.bueno@ufabc.edu.br

Fernanda Martins Santos

rodfrei@hotmail.com

Pamela Freitas de Assis

Centro Universitário Senac, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/5038050108357238>
rodfrei@hotmail.com

Fábio Campos

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/2726527111495815>
fcampos@usp.br



DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2017.002.0010

Referencing this:

BUENO, R. F.; SANTOS, F. M.; ASSIS, P. F.; CAMPOS, F.. Remoção conjunta de nitrogênio e fósforo em um sistema de lodo ativado compartimentado (SLAC). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.8, n.2, p.120-129, 2017. DOI: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.002.0010>

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a preocupação em remover o nitrogênio e o fósforo existente no esgoto sanitário vem aumentando, dada a necessidade de se controlar o processo de eutrofização dos corpos d'água provocado pelo aporte desses elementos nutrientes, cujos efeitos negativos são amplamente conhecidos. As novas legislações e políticas, tanto a nível estatal como comunitário, estão cada vez mais restritivas. Este efeito, junto com a redução de área disponível para essa gestão, está impulsionando o desenvolvimento de novos sistemas e tecnologias para o tratamento de esgotos. A remoção desses nutrientes pode ser realizada por meio de processos físico-químicos e biológicos. Devido ao seu menor custo e sua simplicidade operacional, o processo biológico é em geral escolhido para o tratamento de esgotos.

Dentre os processos biológicos, o processo de lodo ativado possui uso bastante difundido para o tratamento dos esgotos de comunidades de diversos portes, tanto sob fluxo contínuo como em bateladas sequenciais (SBR–Sequential Batch Reactor) (VAN HAANDEL, 2007). A operação sob o regime de bateladas sequenciais tem-se demonstrado bastante atrativa, principalmente por possibilitar a manutenção de condições anaeróbias, anóxicas e aeróbias, necessárias para a remoção de nitrogênio e fósforo, em um único reator, essas condições são realizadas em fases distintas durante a batelada (WENTZEL, 1990). Esse arranjo é compacto e reduz os custos do sistema de tratamento. Recentemente, foi desenvolvido um reator de bateladas sequenciais, com operação das condições anaeróbias, anóxicas e aeróbias sem a necessidade de mudança das fases durante a batelada. Esse processo é conhecido como sistema cíclico de lodo ativado (SCLA) (GORONSY, *et. al.*, 1993; LI YING *et. al.* 2011).

Recorre-se como principal recurso o fato do reator ser compartimentado, contendo uma zona bio-seletora (anaeróbia), uma zona anóxica e uma zona aeróbia dentro de um único reator. Como resultado, tem-se observado um lodo biológico com ótimas propriedades de tratamento. A presença da zona aeróbia e anóxica garantem a nitrificação e desnitrificação no sistema, ou seja, a oxidação do nitrogênio a nitrato e sua redução a nitrogênio gás. Outro aspecto bastante atraente é a possibilidade de se favorecer o crescimento de organismos acumuladores de fósforo na zona bio-seletora, tornando possível a remoção mais eficiente deste importante constituinte do esgoto. Em síntese é possível realizar um tratamento com excelentes propriedades técnicas, em sistemas mais compactos e econômicos em comparação com as diversas opções disponíveis (GORONSY *et. al.*, 1995). Porém, além de ser uma alternativa muito recente, as principais informações são provenientes de pesquisas em países de clima temperado, de forma que se entende ser oportuno o reconhecimento das condições necessárias de operação e suas propriedades relativas à remoção de matéria orgânica e nutriente em países tropicais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição geral do experimento

O sistema piloto (SCLA) foi instalado no Laboratório de Química do Centro Universitário SENAC e foi desenvolvido em duas etapas principais. A primeira etapa consistiu na montagem e pré-operação do sistema

piloto com a introdução do lodo biológico para aclimação do processo (Etapa I). Na segunda etapa (Etapa II) foi conduzida a avaliação da remoção de matéria orgânica e dos nutrientes. Apresentam-se em seguida, as principais características das duas etapas operacionais desenvolvidas e, posteriormente, o controle laboratorial implementado em ambas.

Características do esgoto sanitário

O esgoto que alimenta o sistema foi proveniente do próprio campus universitário (sanitários e restaurantes). Destes locais, era bombeado para a entrada do tratamento preliminar, composto por uma grade mecanizada (step-scream) e uma caixa de areia, de onde foi conduzido para o sistema piloto. A Tabela 1 mostra as principais características do esgoto sanitário.

Tabela 1: Características do esgoto sanitário do Centro Universitário.

Variáveis	Esgoto Sanitário
TDQO (mg/L)	1211±287
SDQO* (mg/L)	538±59
TDBO (mg/L)	745±142
SDBO* (mg/L)	314±28
SST (mg/L)	307±153
NH ₄ -N (mgN/L)	52±10
PO ₄ -P (mgP/L)	14,5±2,7
NTK (mgN/L)	67±12
ALCALINIDADE (mgCaCO ₃ /L)	347±23
NO _x -N (mgN/L)	<0,5
N (amostras)	10

* Amostra solúvel, filtrada em papel de filtro de 0,45µm

Sistema cíclico de lodo ativado - SCLA

O sistema foi construído em acrílico, com dimensões de 0,81 m de altura, 0,52 m de largura e 0,52 m de comprimento, com volume total de 200 litros, dos quais 150 litros são considerados úteis com 0,6 m de altura, 0,5 m de largura e 0,5 m de comprimento. O dimensionamento adotado foi baseado na literatura de Goronszy (1995), que apresenta a relação das câmaras internas na ordem de 1: 2: 27 (zona 1, zona 2 e zona 3), respectivamente.

O esgoto sanitário foi introduzido na zona 1 do reator por meio de uma bomba dosadora marca Prominet, a qual permitia o controle da vazão de alimentação do estudo. Em seguida o esgoto era encaminhado por gravidade para a zona 2, onde foi instalado um misturador com a finalidade de garantir uma boa mistura do lodo biológico. A aeração na zona 3 foi feita por meio de pedras porosas localizadas no fundo do reator ligadas a um compressor garantindo a concentração de oxigênio dissolvido (OD) na faixa de 1,0-2,0 mgO₂/L que foi monitorado por meio de um medidor portátil de Oxigênio Dissolvido. O retorno de lodo da zona 3 para zona 1 foi feito por meio de uma bomba dosadora marca Prominet. O descarte do lodo em excesso e do esgoto tratado era feito automático por meio de uma válvula solenoide, controlado por um CLP. A troca volumétrica foi de 50% do volume da zona 3. A Figura 1 mostra o arranjo experimental do SCLA.

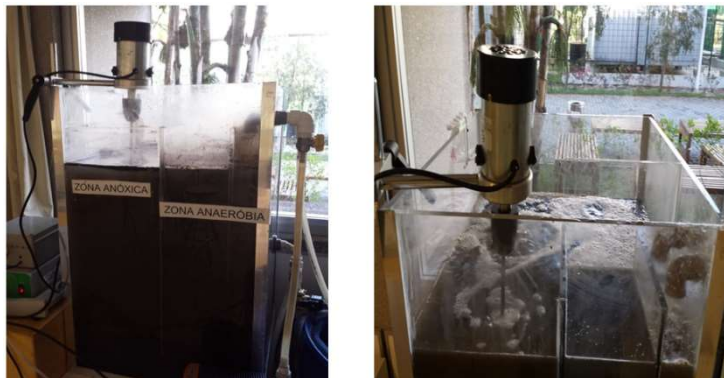


Figura 1: Sistema cíclico de lodo ativado

Controle e operação do sistema (Etapa II)

O reator foi operado em bateladas sequenciais compostos pelas fases de alimentação, reação, sedimentação e descarte. Na Figura 2 apresenta-se resumidamente as fases que compõe cada batelada.

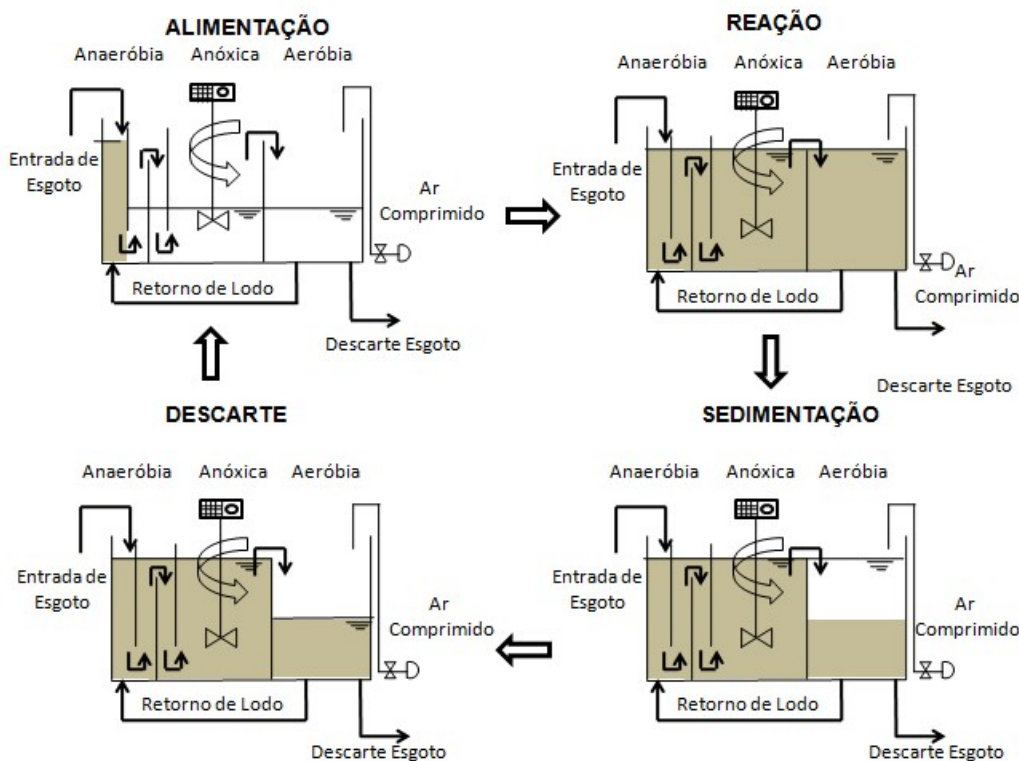


Figura 2: Fases que compõe o ciclo operacional

A Tabela 22, mostra as condições e as principais estratégias de operação adotadas no desenvolvimento desse estudo. Esses valores são recomendados na literatura para sistemas de lodo ativado em bateladas (VON SPERLING, 1997).

Tabela 2: Condições de operação do SCLA (Etapa II)

Parâmetros	Ciclo de 4 Horas
Vazão de alimentação (Litros/dia)	135
Vazão de retorno de lodo (Litros)	50
Dias de operação	100
Idade do lodo (dias)	18 - 20
Troca volumétrica (%)	50
Oxigênio Dissolvido (mgO ₂ /L)	1,0-2,0
Relação Alimento/Microrganismo (A/M) (Kg DBO/Kg SSV.d)	0,10
Concentração de sólidos no reator (mg SSV/L)	2000-3000

Alimentação (min)	60
Reação (min)	60
Sedimentação (min)	60
Descarte (min)	60
Quantidade de Ciclos por dia	6

O reator foi mantido em temperatura ambiente e o pH do lodo foi controlado na faixa de 6,8 a 7,5, garantindo o desenvolvimento estável do processo biológico. Nesta etapa foi conduzida a avaliação efetiva da remoção da matéria orgânica e nutrientes.

Análises laboratoriais

Os métodos analíticos utilizados foram descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21th Edition (APHA, 1995). Durante ambas as fases, foram realizadas diariamente as inspeções de rotina, o ajuste de vazões, o descarte de lodo em excesso e a limpeza de sensores e demais equipamentos. Foi exercido o controle laboratorial analítico proposto na Tabela 3.

Tabela 3: Controle analítico realizado nas etapas experimentais I e II

Variáveis	Etapa	Afluente	Lodo	Efluente	Standard Methods
Temperatura	I e II	-	2 x Semana	-	2550
REDOX (Oxirredução)	I e II	-	2 x Semana	-	2580
pH	I e II	2 x Semana	2 x Semana	2 x Semana	4500-H+
OD	I e II	-	2 x Semana	-	4500-O
DQO total	I e II	2 x Semana	-	2 x Semana	5220
SSV	I e II	2 x Semana	2 x Semana	2 x Semana	2540
N-NH ₃ ⁻	I e II	2 x Semana	2 x Semana	2 x Semana	4500-N-NH ₃ ⁻
N-NO ₂ ⁻	I e II	-	-	2 x Semana	4500-NO ₂ ⁻
N-NO ₃ ⁻	I e II	-	-	2 x Semana	4500-NO ₃ ⁻
P-PO ₄ total	I e II	2 x Semana	2 x Semana	2 x Semana	4500-PO ₄
Alcalinidade	I e II	2 x Semana	-	2 x Semana	2320-B

RESULTADOS

Fase de Aclimação

Para start up do SCLA, o reator foi preenchido com lodo biológico de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) operada sob o processo de lodo ativado, tratando esgoto sanitário. O uso do inóculo possibilitou uma rápida estabilização do processo que teve duração de 30 dias, após esse período os resultados de DQO e NKT (Nitrogênio Kjeldahl Total) apresentaram remoção superiores a 85%, o que foi considerado o término da etapa de aclimação. A concentração do lodo no tanque de aeração foi mantida em 2.500 mg/L, com idade do lodo entre 16 a 20 dias, a relação alimento/microrganismos (A/M) resultante foi de 0,10 Kg DBO/Kg SSV.d.

Investigação experimental

Durante o período do estudo o pH no tanque de aeração se manteve estável com valores médios de 6,8 ± 0,8. Em algumas bateladas observou-se um pH entorno de 6,0 o que gerou um lodo biológico ligeiramente ácido. No entanto, esse valor não teve efeito negativo no desenvolvimento dos processos. A

temperatura média no lodo foi de $26,0 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$. Foi analisado o potencial de oxirredução (ORP) nas zonas 1, 2 e 3 durante as bateladas. Os valores de ORP podem variar de acordo com as condições operacionais e configuração do reator. Normalmente, em um ambiente anaeróbico os valores na faixa de -800 a -500 mV indicam a ocorrência de metanogênese. A formação de AOV era esperada na zona 1, tendo em vista o desenvolvimento do processo de fermentação realizado pelos organismos heterotróficos facultativos sobre a DQO rapidamente biodegradável do afluente. Os valores médios de ORP na zona 1 foram de $-150 \pm 53\text{mV}$, dentro da faixa recomendada para remoção biológica de fósforo (VAN HAANDEL, 1999). Os valores médios na zona 2 foram de $+45 \pm 15\text{ mV}$ muito próximos aos descritos na literatura (VON SPERLING, 1997; BUENO, 2011). Para ambientes aeróbios, as faixas encontradas podem variar de 0 a +200 mV, na zona 3 os valores foram de $+92 \pm 30\text{ mV}$, esse valor ficou dentro da faixa recomendada para ambientes anóxicos, no entanto o residual de OD foi de $1,3 \pm 0,6\text{ mg O}_2/\text{L}$ o que garantiu uma boa mistura do lodo biológico e o desenvolvimento dos processos bioquímicos sem prejuízos aos organismos aeróbios estritos.

Remoção de Material Orgânico

Na Etapa II, compondo-se a vazão média (135 L/d) com a DQO do esgoto afluente de 722 mg/L, tem-se a carga de DQO afluente ao SCLA no período de 0,10 kg/d. Em decorrência da carga orgânica afluente e do controle exercido sobre a idade do lodo, resultaram as concentrações de sólidos em suspensão totais e voláteis nas zonas 1, 2 e 3. A Tabela 44 mostra as concentrações médias de SSV obtidas durante o experimento nas zonas 1, 2 e 3, assim como no afluente e efluente.

Tabela 4: Resultados das concentrações de sólidos em suspensão voláteis

VARIÁVEIS	SSV (mg/L)				
	Afluente	Anaeróbio (Zona 1)	Anóxico (Zona 2)	Aeróbio (Zona 3)	Efluente
MÉDIA	498	3016	1136	2647	44
MÍNIMO	180	2340	653	1899	18
MÁXIMO	1020	3620	1621	3520	110
CV	0,60	0,12	0,26	0,18	0,59
DESVIO PADRÃO	296,9	347,7	292,2	483,5	25,5
n	13	13	13	13	13

Durante os 60 dias de estudo as concentrações de SSV no efluente foram sempre baixas, ou seja, teve pouca perda de sólidos no sistema, o que não afetou a qualidade do efluente final. A figura 4 mostra a série temporal das concentrações de SSV durante o estudo.

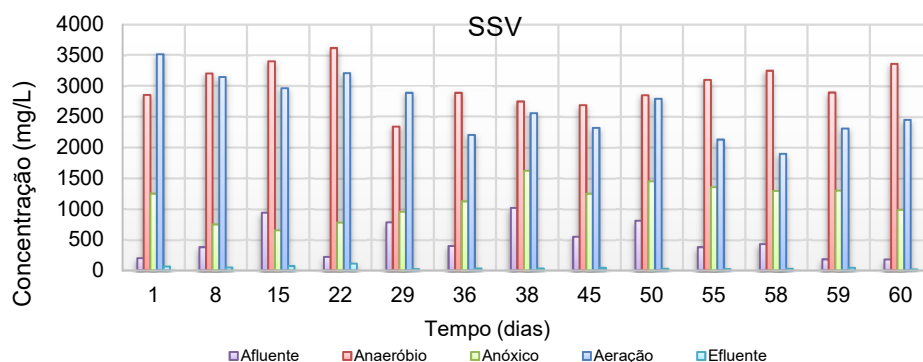
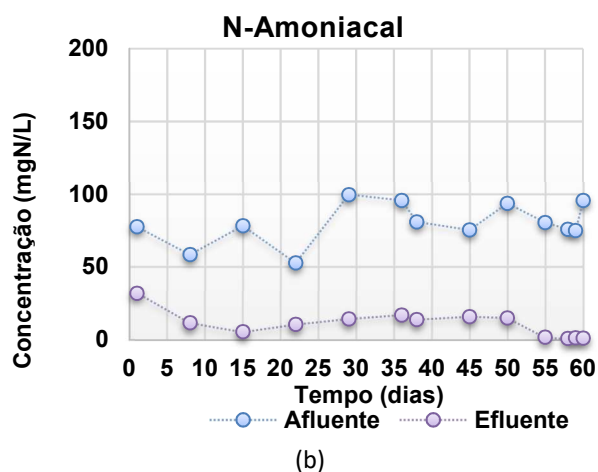
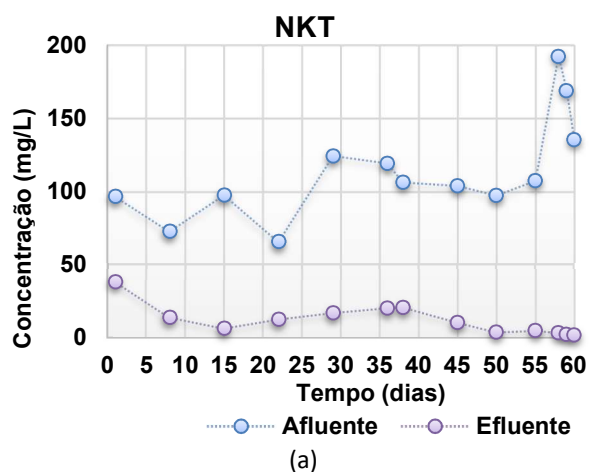


Figura 41: Série temporal das concentrações de SSV durante o estudo

Considerando-se a carga de DQO de 0,10 kg/d, o volume útil total de 150 litros e a concentração média de SSV de 2.647 mg/L, a relação A/M resultante é de 0,25 kgDQO/KgSSV.d, o que corresponde uma relação A/M de 0,12 kgDBO/kgSSV.d para esgoto sanitário. Esse valor está dentro da faixa apresentada na literatura para processos de lodo ativado com aeração prolongada que varia de 0,05 a 0,15 kgDBO/kgSSV.d (VON SEPERLING, 1997). A concentração média de DQO no afluente foi de 722 ± 188 mg/L e no efluente de 66 ± 29 mg/L resultando em uma boa eficiência que foi de $91 \pm 3,0\%$. Já nos estudos de Goronszy (1995), o SCLA apresentou eficiência de 96,7%. Enquanto na pesquisa apresentada por Hemkemeier et. al (2005), a eficiência de remoção para sistemas RBS foi de 80,7%. Quando se analisam os resultados, nota-se que foi possível manter concentrações muito baixas de DQO no efluente (<117 mg/L) durante todo o período do estudo, independente da variação da carga orgânica do afluente. Esses resultados, junto com a baixa perda de sólidos no efluente, evidenciam a boa capacidade de remoção de material orgânico pelo SCLA sendo um sistema compatível aos sistemas clássicos de tratamento biológico.

Remoção de Material Nitrogenado

A nitrificação ocorreu de modo eficiente, porém, não de forma completa. Obteve-se a concentração média de 10,5 mgN-NH₃/L no efluente final. O valor médio obtido nesse estudo requer diluição para lançamento em águas de classe 2 da Resolução 357/2005 do CONAMA. No entanto, ao analisarmos as características do esgoto afluente, nota-se um afluente atípico com altas concentrações de nitrogênio, com média de 114,5mgN/L e máximo de 192,6mgN/L em termos de NKT e de 79,8±14mgN/L e 99,5 mgN/L em termos de N-amoniaco. Apesar dessa alta carga de nitrogênio o processo de nitrificação se mostrou estável e, quando se observa os resultados da série temporal da **Erro! Fonte de referência não encontrada**.5, nota-se que a partir do 35º dia a nitrificação passou a ser mais eficiente, resultando valores inferiores a 0,5mgN/L em termos de N-amoniaco. Com uma eficiência de 86,52% na oxidação do nitrogênio. Goronszy (1993) cita como valores de eficiência de remoção de N-amoniaco 98,6 %, enquanto Ying (2011), obteve o valor aproximado de 88%, ambos para SCLA, sendo assim o sistema ainda precisa de ajustes para obtenção de uma melhor eficiência. Já para os valores de NKT, em um sistema do tipo RBS, NETO et. al (2011), apresentou uma eficiência de remoção de 69±6,5%, enquanto na pesquisa apresentada obteve-se um valor superior (88,2%).



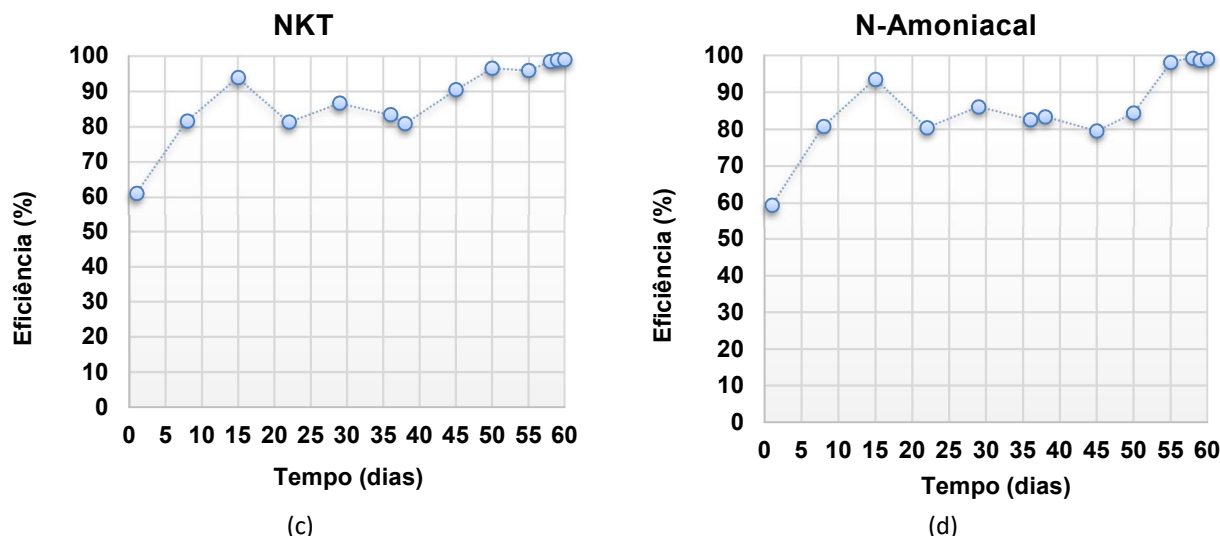


Figura 5: Série temporal (a/b) e eficiências (c/d) para concentrações de NKT e N-Amoniacal durante o estudo.

A Tabela 515, mostra os resultados das concentrações de nitrato no afluente e efluente durante o período de estudo. Esses resultados denotam a expressiva eficiência do processo de desnitrificação, resultando em concentrações de nitrato no efluente final sempre abaixo de 10,0 mgN/L. Esses valores mostram o benefício da zona 2 (anóxica) no sistema, tornando-o competitivo em relação aos sistemas clássicos de remoção de nitrogênio.

Tabela 51: Resultados das concentrações de nitrato.

VARIÁVEIS	Nitrato	
	Afluente (mgN/L)	Efluente (mgN/L)
MÉDIA	0,3	0,6
MÍNIMO	0,1	0,1
MÁXIMO	0,8	3,2
CV	0,8	1,4
DESVIO PADRÃO	0,2	0,9
n	13	13

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados da estatística descritiva básica aplicada aos dados de alcalinidade total do afluente e do efluente no sistema SCLA.

Tabela 6: Resultados das concentrações de Alcalinidade.

VARIÁVEIS	Alcalinidade	
	Afluente (mgCaCO ₃ /L)	Efluente (mg CaCO ₃ /L)
MÉDIA	231	115
MÍNIMO	158	70
MÁXIMO	285	165
CV	0,19	0,25
DESVIO PADRÃO	43,2	28,4
n	13	13

Adotando-se a nomenclatura apresentada por Van Haandel e Marais (1999) e fazendo-se um balanço de massa das formas nitrogenadas, têm-se os seguintes valores de nitrogênio nitrificado e consumo correspondente de alcalinidade: para cada mg de nitrogênio nitrificado, são consumidas 7,14 mg de alcalinidade e para cada mg de N-Nitrato desnitrificado ocorre a reposição de 3,57 mg de alcalinidade,

Portanto, de acordo com os resultados da série nitrogenada, deveria ter ocorrido um consumo líquido de alcalinidade de 249 mgCaCO₃/L, enquanto que os resultados de alcalinidade indicaram o consumo líquido de 116 mgCaCO₃/L, ocorrendo, portanto 49,0% de recuperação. Essa recuperação confirma mais uma vez a ocorrência do processo de nitrificação e da desnitrificação no sistema.

Remoção de Fósforo

A concentração de fósforo total no afluente foi de $5,1 \pm 1,2$ mgP/L e no efluente de $0,9 \pm 0,5$ mgP/L, esses valores mostram uma boa remoção desse composto com eficiência média de 79,5%, como mostra a Figura 6 da série temporal, valores superiores aos encontrados em sistemas de lodos ativados convencionais, que são de aproximadamente 25 a 30% (VON SPERLING, 1997; ALEM SOBRINHO e KATO, 1999). Já na pesquisa de NETO et. al (2011), que apresenta um sistema RBS, a remoção de fósforo é de $44 \pm 31\%$. Enquanto para Goronszy (1993), o resultado obtido foi de 91,4% em um SCLA. No entanto, a piloto pode apresentar um maior potencial de remoção de fósforo com aumento do tempo de operação e com um regime estabilizado.

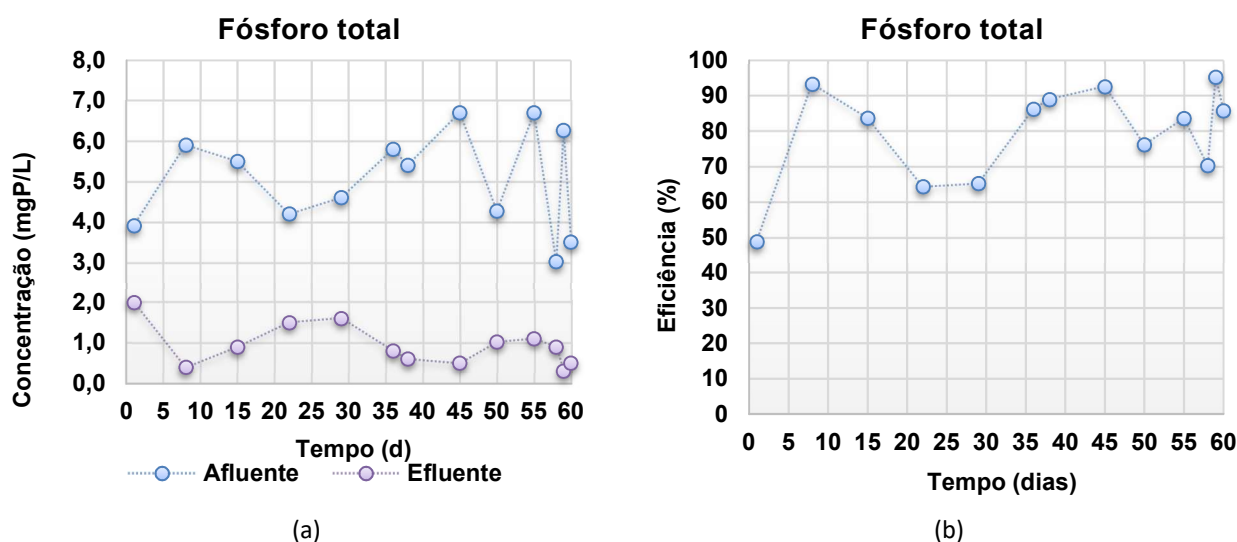


Figura 6: Série temporal (a) e eficiências (b) das concentrações de Fósforo Total obtidos durante o estudo.

Assim, é observado que a remoção de fósforo apesar de eficiente e apresentar uma redução quando comparada a concentração afluente e efluente, ainda necessita de um maior período de análises e ajustes operacionais para atender às legislações.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos durante a investigação experimental, ficou evidente o benefício do SCLA como tratamento de efluentes domésticos apresentando boa remoção de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo. A remoção de matéria orgânica na piloto SCLA apresentou eficiência satisfatória, permanecendo acima de 91% durante o período estudado, onde o valor médio encontrado foi de 66 mg/L para DQO. Em relação à remoção de nitrogênio o SCLA apresentou boa eficiência, se comparada à sistemas RBS. Para NKT obteve-se uma eficiência de 88,2% no SCLA, enquanto em RBS os valores são de aproximadamente 69%. Já

para remoção de N-amoniaco, a eficiência da piloto em estudo foi inferior aos valores encontrados em sistemas do mesmo tipo, sendo estes 86,52% e 88%, respectivamente. Para remoção de fósforo o SCLA resultou um efluente com baixas concentrações de fósforo, tendo um valor médio de 0,9 mg/L e eficiência de remoção de 79,5%, sendo esta inferior aos valores encontrados na literatura. Porém quando compara ao RBS tem-se uma melhor eficiência. No entanto, apesar da baixa concentração de fósforo no efluente, em determinados corpos d'água esse valor pode se tornar restritivo, não atingindo os valores estipulados no CONAMA 357/2005 que variam entre 0,02 a 0,1 mgP/L. A remoção de nitrogênio e fósforo apesar de eficientes, ainda necessitam de um maior período de análises e ajustes operacionais para atenderem às legislações. Sendo assim, o SCLA mostrou ser uma alternativa promissora em termos de remoção de nitrogênio e fósforo, podendo alcançar concentrações relativamente baixas. Para estudos futuros recomenda-se avaliar o sistema em diferentes TDHs, e taxas de aplicação orgânica e hidráulica, diversificar a idade do lodo e investigar as rotas biológicas nas zonas, afim de se avaliar onde ocorre a remoção de nitrogênio e fósforo.

REFERÊNCIAS

- ALEM SOBRINHO P.; KATO, M. T.. Análise Crítico do uso do processo anaeróbio para o tratamento de esgotos sanitários. In: CAMPOS, J. R.. **Tratamento de Esgotos Sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.301-20.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357/2005**. Brasília: CONAMA, 2005.
- BUENO, R. F.; SUBTIL, E. L.; RODRIGUES, A. M.; MOURAO, R. F.; CAMPOS, F.. Caracterização de flocos de lodo ativado por meio de análise de imagem: padronização e validação do método. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27. **Anais**. Goiânia: 2013.
- GORONSZY, M. C.; SLATER, N.; KONICKI, D.. The cyclic activated sludge system for resort area wastewater treatment. **Wat. Sci. Tech.**, v.32, n.9-10, p.105-114, 1995.
- HEMKEMEIER, M.; VERGUTZ, A.; SEIBERT, R.. II-109 – Pós-tratamento de efluente de embalagens metálicas utilizando reator de batelada sequencial (RBS) para remoção da demanda química de oxigênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. **Anais**. Joinville: ABES, 2005.
- NETO, L. G. L.; COSTA, R. H. R.. Tratamento de esgoto sanitário em reator híbrido em bateladas sequenciais: eficiência e estabilidade na remoção de matéria orgânica e nutrientes (N, P). **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.16, n.4, p.411-420, 2011.
- VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G.V.R.. **O comportamento do sistema de lodos ativados: teoria e aplicações para operação e projetos**. Campina Grande: Epgraf, 1999.
- VAN HAANDEL, A. C.; VAN DER LUBRE, J.. **Handbook biological waste water treatment: design and optimization of activated sludge systems**. Leidschedam: Quist Publishing, 2007.
- VON SPERLING, M.. **Lodos ativados: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, 1997.
- 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, n.1, 1990.
- YING, I., AI-JUN, G.; JING, Z.. Study of Treating High Ammonia-N Domestic Wastewater with CASS Process. **Procedia Environmental Sciences**, v.11, p.858-863, 2011.