

Utilização do Software WRc STOAT na simulação de sistema de Lodo Ativado como inovação de processo no tratamento de efluentes

Thiago Augusto de Moraes – UTFPR-CM - thiago_amorais@hotmail.com.com
Rafael Montanhini Soares de Oliveira – UTFPR-CM - rafaeluem@yahoo.com.br
Tanatiana Ferreira Guelbert – UTFPR-CM - guelbert@utfpr.edu.br

Resumo:

O crescimento populacional tem contribuído para uma maior carga de efluentes domésticos que são gerados todos os dias. Estes efluentes podem causar impactos significativos ao meio ambiente se não tratados e manejados de forma adequada. Há Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), no Brasil e no mundo, que utilizam sistemas de lodos ativados para tratar tais efluentes, porém, sem o devido monitoramento e controle, tais tratamentos podem não ser satisfatórios. Assim, esta pesquisa, de caráter aplicado e exploratório, objetivou avaliar a possibilidade de aplicação do programa WRc STOAT como uma ferramenta inovadora no monitoramento e planejamento de uma ETE com sistema de lodo ativado. Para tanto, foram necessários dados de uma ETE em funcionamento para calibrar o software e realizar a simulação para posterior comparação do resultado e avaliação deste. Os resultados referentes à remoção da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) foram satisfatórios muito próximos da realidade, principalmente após a estabilização do sistema de tratamento simulado. Contudo, a calibração do programa simulador deve ser minuciosa e outros parâmetros avaliados apresentaram resultados estatisticamente diferentes dos reais. Dessa forma, apresenta-se grande potencial de utilização das ferramentas computacionais para otimização das ETEs, sendo necessários testes mais aprofundados.

Palavras chave: WRc STOAT, Tratamento de Efluentes, Modelagem Dinâmica, Lodos Ativados.

Utilization of WRc STOAT software in the simulation of Activated Sludge System as an innovative process in wastewater treatment

Abstract

Population growth has contributed to a greater burden of domestic effluents that are generated every day. These effluents can cause significant impacts to the environment if not treated and handled properly. There are Sewage Treatment Plants in Brazil and worldwide that use activated sludge systems to treat such effluents, but without proper monitoring and control, such treatments may not be satisfactory. Thus, this applied and exploratory research aimed at evaluating the possibility of applying the WRc STOAT program as an innovative tool in the monitoring and planning of a Sewage Treatment Plant with activated sludge system. For that, data from a functioning plant were necessary to calibrate the software and perform the simulation for later comparison of the result and its evaluation. The results referring to the removal of BOD (Biochemical Oxygen Demand) were satisfactory and very close to reality, mainly after the stabilization of the simulated treatment system. However, the calibration of the simulator program must be thorough and other parameters evaluated have presented statistically different results from the real ones. Thus, there is a great potential of using computational tools to optimize treatment plants, requiring more in-depth testing.

Key-words: WRc STOAT, wastewater treatment, dynamic modelling, activated sludge

1. Introdução

O progresso tecnológico é importante para o desenvolvimento de uma população, pois por meio do aumento da produtividade e competitividade das empresas, eleva a qualidade de vida da região em geral. Para se atingir sucesso na inovação tecnológica, alguns fatores devem ser levados em conta, como um bom ambiente de trabalho no qual a criatividade é incentivada e parcerias com outras empresas e universidades (BARANANO, 2005).

Esse progresso está intrinsecamente ligado ao processo de geração de ideias, embora a inovação consista em colocar estas em uso. As ideias, em geral, podem apresentar elevados custos de concepção e, muitas vezes, não possuem exclusividade, de forma que estas devem ser registradas e patenteadas conforme as regulações necessárias para assegurar as vantagens de seu produto inovador (FONSECA, 2001).

A inovação possui diversas vertentes e, ao longo das últimas décadas, surge a necessidade de inovar nos métodos de preservação ambiental. A expansão urbana e as atividades industriais crescentes impactam negativamente sobre o meio ambiente, em particular, no processo de descarte de efluentes em corpos hídricos.

O esgoto sanitário é uma fonte poluidora do ambiente. Por conta disso, o seu tratamento antes da disposição final é essencial para garantir boas condições sanitárias e promover a saúde de uma população. Há estações de tratamento de esgoto (ETE) sanitário no Brasil e no mundo que tem como base o processo de reatores anaeróbios e lagoas. Porém, sem o devido controle e monitoramento, uma ETE pode não tratar os efluentes de maneira satisfatória (DEBIASE, 2012).

Neste cenário há necessidade de um controle maior dos sistemas de reatores para melhor entendê-los e para manter a qualidade do efluente, atendendo aos padrões previstos em legislação, promovendo a operação e construção de estações mais eficientes. A partir dessa necessidade iniciaram-se os estudos de inovação de processos como modelagem dinâmica destes sistemas de tratamento de esgotos.

A modelação dinâmica apresenta benefícios ambientais e econômicos, haja vista que esse processo pode ser utilizado para estudar as possibilidades de tratamento e os resultados obtidos em diferentes situações por meio de um programa computacional, conferindo assim, benefícios econômicos e ambientais às ETES (NELSON; SIDHU, 2009).

Portanto, este artigo objetivou avaliar a modelagem de uma ETE utilizando o programa WRc STOAT visando inovação e evolução nos processos de monitoramento das ETES servindo de apoio a tomadas de decisão futuras.

2. Referencial Teórico

2.1 Inovação de processos

De acordo com o Manual de Oslo (1997), a inovação de processos é definida como a ação de colocar em prática um método novo de produção/distribuição ou melhorias significantes nos processos, sendo incluídas nestas mudanças: técnicas, equipamentos e/ou programas computacionais. Estes processos são o conjunto de atividades desenvolvidas nas operações internas de uma organização e, nesta esfera, a inovação pressupõe o reprojetado de seus processos objetivando maior qualidade e/ou eficiência em um produto ou serviço (BACHMAN; DESTEFANI, 2008).

As inovações de processo abrangem métodos novos ou melhorados para a execução de serviços, como é o caso deste artigo. Estas mudanças podem ser nos equipamentos ou nos softwares utilizados, ou ainda a implementação de um software em um processo, sendo estes orientados para a melhoria da eficiência e/ou qualidade de uma atividade que é desenvolvida (MANUAL DE OSLO, 1997).

Conforme argumentado por Balzani (2008), as organizações desenvolvem processos para todas as atividades. O autor destaca a importância de se diferenciar dos concorrentes valendo-se da inovação, pois assim ganha-se mais flexibilidade, qualidade e diminui o tempo de produção, de forma a acarretar em otimização de seu sistema. No caso de ETEs, os maiores beneficiados são a sociedade em geral e o meio ambiente ao resultado de um tratamento de efluentes mais satisfatório e menos dispendioso.

Para se obter uma inovação mais eficiente em seus processos, as organizações devem priorizar aqueles que representam maior importância frente ao resultado final do produto ou serviço. Para todas as atividades produtivas, são desenvolvidos processos e focar em inovar todos pode ser custoso e não impactar significativamente no resultado. Assim, deve-se dar ênfase nas atividades produtivas que mais agregam valor (BALZANI, 2008).

2.2 Tratamentos de esgoto e Sistemas Convencionais de Lodos Ativados

Segundo Jordão e Pessoa (2005), os sistemas de tratamento de esgoto encaminham os efluentes para corpos d'água receptores, os quais não devem sofrer alterações nos parâmetros de qualidade fixados para aquela região de lançamento. Esse tratamento é realizado através de sistemas diferenciados, que podem ser classificados, nos seguintes níveis: preliminar, primário, secundário e terciário.

Utilizado mundialmente em tratamento de esgotos domésticos e industriais, o sistema de lodos ativados é um tratamento secundário que trabalha com uma elevada quantidade de efluente e reduzidas áreas, incluindo um maior índice de mecanização no tratamento, quando comparado com os demais sistemas (SPERLING, 1997).

De acordo com Piveli (2007) o processo de lodo ativado é um tratamento aeróbio, com retenção de biomassa através da recirculação do lodo e com crescimento em suspensão da massa líquida. Os sólidos presentes no tratamento são mantidos em suspensão por meio da aeração do sistema, onde a formação de flocos nos tanques de aeração é o resultado da interação entre microrganismos e matéria orgânica.

A etapa biológica do sistema é composta por tanque de aeração, decantador secundário e recirculação do lodo. No tanque de aeração ocorrem as reações bioquímicas de remoção de matéria orgânica, enquanto no decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa). Os sólidos no fundo deste decantador são recirculados para o tanque de aeração, aumentando a concentração de biomassa, o que eleva a eficiência do sistema (SPERLING, 1997).

2.3 Modelagem Dinâmica de Sistemas de Lodos Ativados

A modelagem computacional surgiu como um instrumento de planejamento e avaliação na década de 1970 para sistemas de drenagem urbanos. A partir de então, a simulação dinâmica passou a ser desenvolvida para outros fins, como para processos de tratamento de esgotos que ocorrem em uma estação, possibilidade que até então, era inexplorada.

Tendo isso em vista, em 1982, a *International Association Water Quality* (IAWQ) promoveu estudos referentes à modelação matemática de sistemas biológicos de tratamento de efluentes,

com o objetivo de estabelecer um modelo matemático simples, mas capaz de apresentar uma simulação realista do sistema de lodos ativados (LA MOTTA *et. al*, 2007). Dessa forma, foi apresentado em 1987 o *Activated Sludge Model N.1* (ASM1), descrito como uma grande inovação na época e ainda hoje considerado como tal.

Essa modelagem dinâmica tem por objetivo a análise de desempenho de processo das ETEs, tais como a descrição de possíveis problemas e o controle das operações. Ela também pode ser utilizada no dimensionamento de uma estação, utilizando expressões empíricas ou semi-empíricas e métodos tradicionais (FERREIRA, 2006).

Quando o modelo surgiu, o processo biológico de degradação da matéria orgânica já era utilizado em algumas ETEs, mas não totalmente compreendido. Portanto, o modelo foi sendo aperfeiçoado ao longo do tempo e até mesmo resultando na criação de novos modelos como o ASM2 e ASM3, embora o primeiro seja mais comumente utilizado no mundo, constituindo um padrão internacional (NELSON;SIDHU, 2009). O modelo ASM1 não considera remoção biológica de fósforo e é utilizado como base para a elaboração de modelos mais complexos.

Assim, os modelos ASM tem sido incluídos nos programas comerciais de simulação de tratamento de efluentes, sendo cada vez mais utilizados. Alguns dos que se destacam são: AQUASIM, ASSIM, BioWin, STOAT, SIMBA e outros. Este artigo utiliza o STOAT (*Sewage Treatment Optimization and Analysis over Time*), desenvolvido pela companhia WRc (*Water Research Center*), que é um software aceito na comunidade acadêmica por seus resultados e disponível de forma gratuita.

Com o STOAT é possível simular o tratamento de efluentes utilizando diversos processos, incluindo o de lodos ativados. Ainda, o programa pode ser aplicado para efetuar análises de sensibilidade e rotinas de calibração e otimização, além de possibilidades de dimensionamento de estações inteiras (POMBO, 2010). Tais práticas possibilitam aumentar a eficiência dos processos e reduzir custos de operação, ocasionando uma inovação na forma de como o processo de tratamento de efluentes é conduzido no Brasil.

3. Metodologia

O presente estudo possui natureza aplicada e abordagem quantitativa. A pesquisa aplicada tem por objetivo solucionar problemas específicos por meio de conhecimentos produzidos e possíveis de aplicações práticas. Já o caráter quantitativo traduz em números as informações obtidas, de modo a classificá-las e também analisá-las, utilizando, geralmente, técnicas de estatística (SILVA; MENEZES, 2005).

Adicionalmente, esta pesquisa se enquadra como exploratória conforme os objetivos a serem alcançados e também como Experimental, do ponto de vista dos procedimentos técnicos. De acordo com Gil (1991), as pesquisas exploratórias possuem como objetivo estudar e familiarizar-se com um problema e construir hipóteses para um resultado e melhor compreensão sobre o mesmo. Em geral, inclui-se pesquisas bibliográficas e estudos de caso. Já a classificação de pesquisa experimental se dá porque esta seleciona o foco do estudo, no caso a simulação do tratamento de efluentes, e observa-se os efeitos das variáveis no experimento, como foi feito utilizando o software.

Para o desenvolvimento deste estudo foram necessários dados de monitoramento de um sistema de tratamento de efluentes por meio de lodos ativados para estudo de caso visando a remoção da DBO total e um computador com o software WRc STOAT 5.0 instalado.

O programa WRc STOAT pode ser obtido gratuitamente no site <<http://www.wrcplc.co.uk/ps-stoat>> por meio de um cadastro e liberação para download e instalação. Já os dados de

monitoramento do sistema de lodos ativados foram utilizados a partir da dissertação intitulada “Análise Comparativa entre o Processo de Lodo Ativado e o Reator de Biofilme de Leito Móvel na Remoção de Nitrogênio de Esgoto Sanitário”, com autoria de Fábio Yugo Fujii, publicada em 2011 pela Universidade de São Paulo.

Esta dissertação se mostrou adequada por apresentar os dados necessários para serem utilizados no software e ser desenvolvida em uma estação real de lodos ativados para fins de comparação com os resultados obtidos pela simulação no programa computacional.

3.1 Ajustes preliminares e elaboração do sistema de tratamento

O esquema de tratamento utilizado foi conforme o utilizado na dissertação de Fujii com lodo ativado convencional, na sua fase 1, sendo composto de efluente doméstico, tanque de lodo ativado com aeração, decantador secundário e recirculação de lodo do decantador para o tanque de aeração, de forma que a interface do programa se mostrou conforme a figura 1.

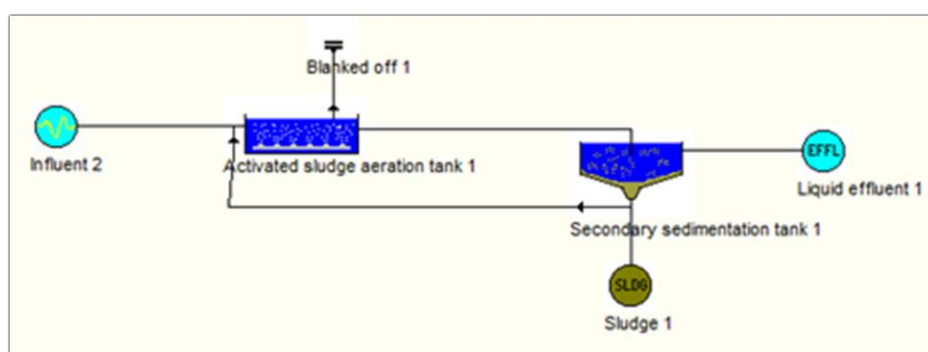


Figura 1: Interface do WRc STOAT de acordo com o sistema de tratamento escolhido

Embora o sistema de tratamento estudado por Fujii possua um decantador primário, este não foi utilizado no presente estudo pois o efluente líquido caracterizado era afluente diretamente ao tratamento biológico (tanque de lodos ativados).

3.2 Parametrização do efluente inicial do sistema

O sistema de lodos ativados convencionais proposto por Fujii em sua dissertação foi reproduzido virtualmente no programa computacional. Os parâmetros utilizados para a caracterização do efluente inicial foram utilizados da fase 1 do autor de acordo com a Tabela 1.

TABELA DE CALIBRAÇÃO	
Parâmetros	Valores
Vazão	0,068 m ³ /h
Temperatura	18 °C
pH	7,5
DBO	217,1 mg/L
DQO	474,5 mg/L
Sólidos voláteis	105 mg/L
Sólidos não voláteis	15 mg/L
Amônia	61,3 mg/L
Oxigênio Dissolvido	2,5 mg/L

Tabela 1 - Dados de calibração do efluente inicial

Os demais parâmetros foram mantidos como padrão do WRc STOAT.

3.3 Dimensionamento e parametrização do tanque de lodo ativado

O tanque de lodo ativado com aeração foi composto de dois estágios: uma câmara anóxica e um tanque aerado, de forma que o modelo escolhido para a simulação foi o ASAL1A, que é focado na remoção da DBO total e leva em consideração a redução tanto de fósforo quanto de nitrogênio do efluente final. O volume total deste tanque foi de 0,74 m³, com um reciclo do estágio 2 (aerado) para o estágio 1 (anóxico), sem o descarte de lodo.

A seguir, calibrou-se as condições iniciais do tanque de aeração de acordo com as características do efluente utilizando o valor de oxigênio dissolvido e fosfato igual a zero no estágio anaeróbico. Tal fato pode ser melhor visualizado na Figura 2:

Initial data

		Stage1	Stage2
1	Soluble BOD (mg/l):	217.10	217.10
2	Ammonia (mg/l):	61.30	61.30
3	Nitrate (mg/l):	0.00	0.00
4	Soluble phosphate (mg/l):	0.00	5.00
5	Dissolved oxygen (mg/l):	0.00	2.50
6	MLSS (mg/l):	3000.00	3000.00
7	Viable autotrophs (mg/l):	1.00	1.00
8	Non-viable autotrophs (mg/l):	0.00	0.00
9	Viable heterotrophs (mg/l):	100.00	100.00
10	Non-viable heterotrophs (mg/l):	0.00	0.00
11	Particulate BOD (mg/l):	0.00	0.00
12	Biomass P (mg/l):	0.00	0.00

OK Cancel Reset Help

Figura 2: Dados iniciais de funcionamento no tanque de lodo ativado.

3.4 Dimensionamento e parametrização do decantador secundário

Em relação ao decantador secundário, foram utilizadas, como informações iniciais de funcionamento, a média dos valores de DBO, oxigênio dissolvido e amônia do efluente inicial. O programa recomenda a utilização de oito estágios nessa etapa, portanto, os parâmetros devem ser calibrados em consideração a estes estágios, como mostra a figura 3.

Initial data

		Stage1	Stage2	Stage3	Stage4	Stage5	Stage6	Stage7	Stage8
1	Soluble BOD (mg/l):	217.00	217.00	217.00	217.00	217.00	217.00	217.00	217.00
2	Ammonia (mg/l):	61.30	61.30	61.30	61.30	61.30	61.30	61.30	61.30
3	Nitrate (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Soluble phosphate (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Dissolved oxygen (mg/l):	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
6	Particulate BOD (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Particulate phosphate (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Mixed liquor suspended solids (mg/l):	0.00	0.00	0.00	300.00	300.00	300.00	300.00	6000.00
9	Non-settleable (volatile) solids (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Viable heterotrophs (mg/l):	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00	2000.00
11	Non-viable heterotrophs (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Viable autotrophs (mg/l):	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	10.00	10.00	200.00
13	Non-viable autotrophs (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

OK Cancel Reset Help

Figura 3: Dados iniciais de funcionamento no decantador secundário.

Finalmente, foram determinadas as condições de operação do decantador secundário. Apenas a operação inicial foi determinada, com vazão de reciclo de lodo ativado (RAS) de 0,03 m³. E Vazão de retirada de lodo de 0,01 m³/h, que é o valor mínimo possível. O restante das

informações são padrões do *software* e como não há mudanças de operação ou fases, os outros campos (Change) não foram preenchidos.

Após a parametrização do sistema de tratamento, foi possível realizar a simulação do processo e obter os resultados do monitoramento do efluente final a cada uma hora, de modo que foram obtidas 120 amostras (referentes a cinco dias). A primeira amostra, da hora zero, foi descartada haja vista que todos os resultados eram iguais a zero (condições iniciais zero) e em seguida, os dados foram tratados com o auxílio do *software* Bioestat 5.0 e Microsoft Excel.

4. Resultados e Discussão

4.1 Resultados da Simulação

Seguindo a metodologia descrita, foi possível obter o seguinte resultado final apresentado na tabela 2, para uma simulação de 5 dias completos de tratamento de efluentes domésticos.

TABELA ESTATÍSTICA DESCRITIVA							
	Vazão (m ³ /h)	SS totais (mg/l)	DBO total (mg/l)	DQO total (mg/l)	Amônia (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Fósforo total (mg/l)
Mínimo	0.02	0.08	12.85	12.85	49.6	0	0
Máximo	0.09	2.77	217.01	217.01	66.39	11.74	6.57
Amplitude Total	0.07	2.69	204.16	204.16	16.79	11.74	6.57
Média	0.0577	1.92	59.34	59.34	57.263	5.7213	4.9992
Variância	0.0006	0.27	4259.84	4259.84	20.79	10.72	3.24
Desvio Padrão	0.0244	0.518	65.27	65.27	4.56	3.27	1.80
Erro Padrão	0.0022	0.048	5.988	5.988	0.42	0.30	0.17

Tabela 2 - Estatística descritiva dos principais parâmetros do efluente final tratado

Os sólidos suspensos totais médios foram iguais a 1,92 mg/L, enquanto os valores mínimos de nitrato e fósforo total se devem ao monitoramento na primeira hora do sistema em funcionamento, os quais ainda eram iguais a zero. A partir de então, estes oscilam de 2 mg/L a 11,74 mg/L e 6,57 mg/L, respectivamente. A amônia presente no efluente final possui uma média de aproximadamente 57 mg/L, enquanto a DBO total e a DQO total foram de aproximadamente 59 mg/L. O fato de a DQO ser igual a DBO é devido ao modelo utilizado ASAL1A no sistema de lodo ativado, o qual é utilizado apenas para a remoção da DBO, foco deste estudo. Para a remoção da DQO, deve ser utilizado outro modelo de tratamento, também disponível no STOAT.

Os resultados de monitoramento da DBO total aparentemente apresentam uma estabilização de remoção do efluente final a partir das primeiras 36 horas do processo, conforme demonstrado na Figura 4.

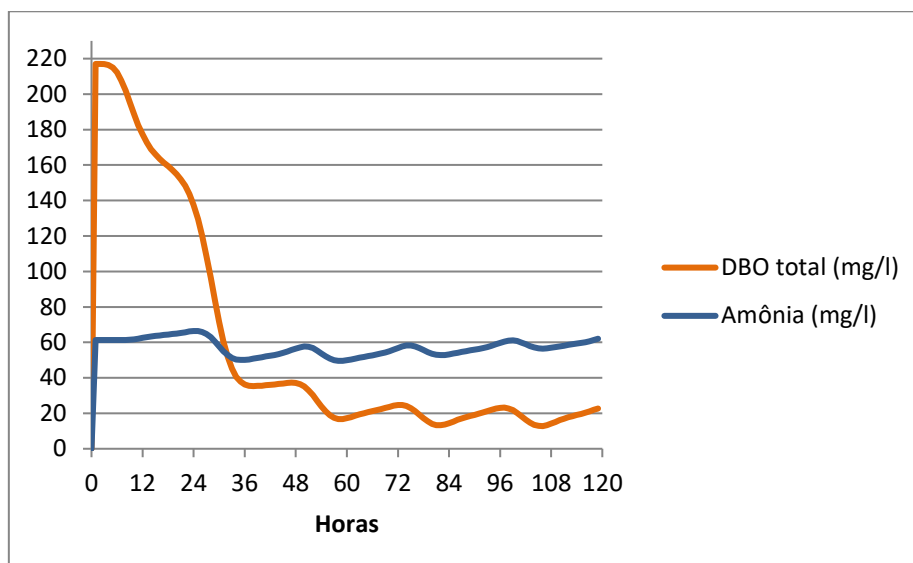


Figura 4: Variação da DBO total e Amônia no efluente final

Após esse período, a DBO total que era de 217,1 mg/L no efluente não tratado, é reduzida para cerca de 20 mg/L a partir da hora 60 do tratamento, apresentando uma ótima remoção deste parâmetro. Contudo, em relação à amônia, que ao final do tratamento apresenta valores próximos a 60 mg/L, não apresenta uma remoção significativa.

Em relação aos parâmetros SS totais, Nitrato e Fósforo total, estes apresentavam leve crescimento durante as primeiras 24 horas, conforme mostra a Figura 5. Contudo, após a recirculação da primeira carga de lodo no sistema, ocasionou-se um pico da concentração de Nitratos e posterior queda constante, enquanto o Fósforo total foi se acumulando de forma lenta e os sólidos totais se mantiveram em leve queda.

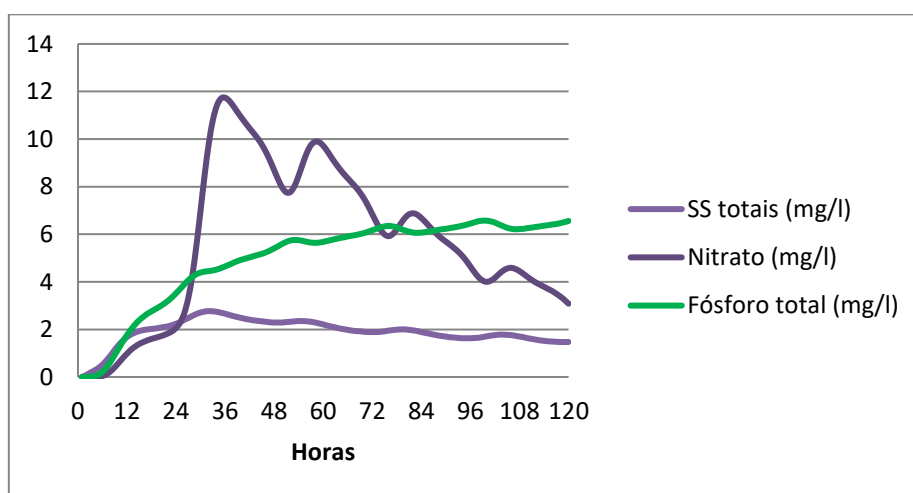


Figura 5: Variação de Fosfato, Fósforo total, Nitrato e SS totais no efluente final.

4.2 Comparação dos Resultados

Fui obtido valores médios de DBO total iguais a 67 mg/L em 8 amostras, enquanto a simulação no STOAT obteve média aproximadamente igual a 59 mg/L. Contudo a média da DBO total da simulação deve ser levada em conta após a estabilização do sistema. Após o

segundo dia de funcionamento, a DBO total é reduzida a aproximadamente 20 mg/L, oscilando entre 14 e 22 mg/L.

Estes dados são muito interessantes, haja vista que Fujii argumenta que seus resultados se deram aquém do esperado, motivados pela velocidade relativamente alta do raspador de lodo do decantador secundário, de forma que após a filtragem da DBO total, o valor médio encontrado em seu experimento foi igual a 23 mg/L.

A Tabela 3 apresenta a comparação dos resultados.

TABELA DE COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS		
	Simulação STOAT	Sistema de Fujii
DBO total média (mg/L)	59,34	67
DBO Filtrada (mg/L)	-	23
DBO total após 60 h (mg/L)	18,9	-
SST (mg/L)	1,92	32
Amônia (mg/L)	57,26	42
Nitrato (mg/L)	5,72	1,6

Tabela 3: Comparação dos resultados da simulação e dados práticos

Em relação aos demais parâmetros, os SST do sistema de Fujii sofrem influência do arraste de sólidos no efluente do lodo ativado, além de elevado percentual de material volátil (Fujii, 2011). Fujii ainda destaca a elevada concentração de amônia no efluente e a baixa nitrificação do mesmo, provavelmente devido às baixas temperaturas médias. Tais resultados, também foram reproduzidos na simulação computacional, embora com uma diferença significativa.

5. Conclusões

A simulação de um sistema de tratamento de efluentes por meio de lodos ativados utilizando o programa WRc STOAT atingiu resultados satisfatórios. O foco do estudo é a remoção de DBO total do efluente e, este parâmetro, apresentou dados muito próximos da realidade, principalmente após a estabilização do sistema a partir da 60ª hora.

No entanto, o programa computacional exige calibração minuciosa e iterativa para aproximar os resultados das análises práticas, como foi o caso dos parâmetros SST, amônia e nitratos que, embora próximos, apresentavam diferenças estatísticas significantes. Para tanto, são necessários mais estudos práticos e análises de simulação.

Em suma, o *software* apresenta grande potencial de utilização como uma ferramenta inovadora no processo de tratamento de efluentes. Tal inovação pode melhorar os processos de planejamento, monitoramento e otimização de ETEs, além de que pode ser considerado até mesmo uma inovação de produto, visto que o produto, efluente tratado, seria entregue ao meio ambiente e à sociedade com uma melhoria de sua qualidade.

Referências

BACHMANN, D. L.; DESTEFANI, J. H. *Metodologia para estimar o grau de inovação nas MPE: cultura do empreendedorismo e inovação*. Bachmann & Associados, Curitiba, 2008. Disponível: em: <<http://www.bachmann.com.br/website/documents/ArtigoGraudeInovacaonasMPE.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2017.

BALZANI, H. S. *Gestão de processos*. v. 4. Paraná, (PR): Sebrae, 2008.

BARANANO, A. M. *Gestão da Inovação Tecnológica: Estudo de Cinco PMEs Portuguesas*. Revista Brasileira de Inovação, v. 4, n. 1, 2005.

DEBIASI, R. *Aplicação do Modelo ASM1 em uma ETE de Lodos Ativados*. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade de Santa Catarina, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/124863/TCCII%20-%20Ronaldo%20Debiasi.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 19 mar. 2017.

FERREIRA, F. *Modelação e Gestão Integrada de Sistemas de Águas Residuais*. 2006. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil – Instituto Superior Técnico, UNL, 2006.

FONSECA, Ro. *Inovação tecnológica e o papel do governo*. Parcerias Estratégicas, n. 13, 2001.

FUJII, F. Y. *Análise Comparativa Entre O Processo De Lodo Ativado E O Reator De Biofilme De Leito Móvel Na Remoção De Nitrogênio De Esgoto Sanitário*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 1991.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 4. ed.. Rio de Janeiro: Editora SEGRAC, 2005.

LA MOTTA, E., MCCORQUODALE, J., ROJAS, J. *Using the Kinetics of Biological Flocculation and the Limiting Flux Theory for the Preliminary Design of Activated Sludge Systems. I: Model Development*. Journal of Environmental Engineering, v. 133, n. 1, 2007.

MANUAL DE OSLO. *Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação*. 3. ed. OCDE; FINEP, 1997.

MANUAL DE OSLO. *Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação*. 3. ed. OCDE; FINEP, 1997.

NELSON, M. and SIDHU, H. *Analysis of the activated sludge model (number 1)*. Applied Mathematics Letters, v. 22, n. 5, 2009.

PIVELI, R. P. *Tratamento de Esgoto Sanitário*. 2007. Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.phd.poli.usp.br/default.aspx?id=27&link_uc=disciplina>. Acesso em: 19 mai. 2017.

POMBO, S. *Contributo Para A Utilização De Modelos De Simulação Dinâmica No Dimensionamento De Processos De Lamas Activadas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2010.

SILVA, E. L., MENEZES, E. M. *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2005.

SPERLING, M. *Lodos Ativados*. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1997.

WRc plc COMPANY. *WRc STOAT: Dynamic Modelling of Wastewater Treatment Plants*. Inglaterra, 2012. Disponível em: <<http://www.wrcplc.co.uk/Data/Sites/1/media/pdfs/general/STOAT.pdf>>. Acesso em 07 mai. 2017.