

Simulação do Tratamento de Águas Residuais Urbanas por um Sistema de Lamas Ativadas

(1) Laís Daleffe

Departamento Acadêmico de Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campo Mourão-PR, Brasil, lais_daleffe@hotmail.com

(2) Rafael Oliveira

Departamento Acadêmico de Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campo Mourão-PR, Brasil, rafaeloliveira@utfpr.edu.br

(3) Manuel Feliciano

Centro de Investigação de Montanha, ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253, Bragança, Portugal msabenca@ipb.pt

Resumo— A modelação matemática do tratamento de águas residuais tem sido uma ferramenta de enorme utilidade nas fases de projeto e de exploração das estruturas de tratamento. Neste artigo apresenta-se um estudo que teve por objetivo a construção de um modelo global do tratamento de uma ETAR urbana da região norte de Portugal, com vista a avaliar e otimizar o seu desempenho. O modelo foi construído em WRc STOAT 5.0, tendo-se descrito o processo de lamas ativadas pelo modelo de referência ASAL3. A calibração e a verificação do modelo foi efetuada com base em dados experimentais. O modelo foi ainda utilizado para avaliar a qualidade do efluente em resposta a alterações de caudal e composição do afluente, a alterações de condições operatórias e a outras alternativas de tratamento. O modelo mostrou-se bastante adequado na descrição da evolução mensal da qualidade do efluente final da ETAR relativamente aos parâmetros Sólidos Suspensos Totais (SST) e Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5). Em relação ao azoto total, os valores simulados aproximaram-se dos valores médios reais, quando se aumentaram as taxas de recirculação interna para 400%, um fator de cerca de 4 vezes superior às taxas de recirculação utilizadas na ETAR. A comparação entre valores reais e simulados demonstram que a ETAR apresenta um bom desempenho em relação à remoção de SST e CBO_5 . Quanto à remoção de azoto o comportamento da ETAR não é tão consistente ao longo do ano, mas é razoavelmente bom face às condições operatórias.

Palavras-chave: Águas residuais urbanas, lamas ativadas, modelação matemática.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas aquáticos não devem ser usados como um recetor direto ou indireto, de descargas de poluentes, de modo a não se tornarem num fator de risco para a saúde humana, nem colocar em causa a sobrevivência dos organismos que nela vivem e de todos os seres vivos que destes dependem [1]. As águas residuais domésticas, urbanas e industriais contêm uma elevada carga de poluição de natureza química como compostos orgânicos, nutrientes, substâncias tóxicas e agentes patogénicos [2]. Por esta razão, antes de serem descarregadas

nos meios hídricos, devem ser recolhidas por um sistema de drenagem e encaminhadas para estações de tratamento especializadas, capazes de eliminar ou reduzir a carga de material indesejável presente na água, como está estabelecido na Directiva Tratamento de Águas Residuais Urbanas, adotada em maio de 1991 (Diretiva 91/271/CEE).

Uma estação modelo de tratamento de águas residuais (ETAR) integra um conjunto de operações físicas e processos químicos e biológicos envolvidos na purificação dessas águas, convertendo-a num fluxo material inócuo ou menos prejudicial para o ambiente e para o Homem.

Os processos biológicos mais conhecidos são os designados por lamas ativadas, leitos percoladores e as lagoas arejadas [3;4]. Entre estes, o processo de lamas ativadas é o mais usado em todo o mundo. Este processo de oxidação aeróbia, foi desenvolvido para remover o carbono orgânico, mas atualmente tem sido adaptado à remoção biológica de nutrientes (azoto e fósforo) [5;6] para atender aos limites de descarga.

O tratamento biológico, por lamas ativadas ou por outros processos, é todavia influenciado por vários fatores que alteram o funcionamento e a eficiência do processo, como a temperatura, pH, oxigénio dissolvido (OD), entre outros, e geralmente é difícil perceber onde está efetivamente o problema [7;8]. A modelação e simulação matemática dos sistemas de tratamento de águas residuais têm contribuído de forma indelével para a compreensão, a conceção e otimização do funcionamento de estações de tratamento de águas residuais por lamas ativadas ou por outros processos [9;10].

Atualmente existe um conjunto de modelos matemáticos capazes de simular dinamicamente os processos envolvidos numa ETAR, como também os fatores que os afetam consideravelmente, auxiliando não só na fase de projeto, mas também na fase de exploração [11]. Os mais usados e mais conhecidos são de longe os modelos ASM (Activated Sludge Models) [12;10]. Outra tipologia de modelos reportada na literatura são os modelos ASAL [13;10] e o TUDP [14]. A maior parte destes modelos são capazes de simular a remoção

de matéria orgânica, de azoto e de fósforo por métodos biológicos e físico-químicos [15;16].

Deste modo, o estudo que se apresenta neste artigo visou avaliar o tratamento de uma ETAR urbana sita no norte de Portugal, com recurso a uma ferramenta de modelação, procurando melhorar o conhecimento dos processos biológicos e ainda identificar condições que possam contribuir para um desempenho mais eficiente da mesma.

II. METODOLOGIA

A. Constituição e Funcionamento da ETAR

A ETAR que foi objeto de estudo é constituída por quatro distintas linhas de tratamento: linha líquida, linha de lamas, linha de biogás e linha de desorização. A linha líquida inclui: a gradagem, desarenamento e desengorduramento, onde são removidos os sólidos grosseiros, as areias e as gorduras, respetivamente; a decantação primária levada a cabo por três sedimentadores primários, onde a carga de poluição é reduzida através da remoção dos sólidos sedimentáveis; e ainda um tratamento biológico por lamas ativadas com desnitrificação (i.e. tratamento biológico do tipo Ludzack-Ettinger modificado). Neste sistema, a água residual passa por uma etapa inicial de anoxia, onde ocorre a desnitrificação que permite a eliminação de nitratos. Depois, o efluente é encaminhado para os dois tanques aeróbios em quantidades proporcionais às suas dimensões, onde decorre a nitrificação do azoto amoniacal a nitratos e a oxidação bioquímica da matéria orgânica iniciada na zona anóxica. Os nitratos (ou parte deles) produzidos nesta etapa de aerobiose são recirculados para a fase de anoxia (recirculação interna) para poderem ser transformados em azoto molecular. Da etapa aeróbia, o efluente segue para os clarificadores secundários, para se processar a separação sólido-líquido. Uma fração da parte sólida é recirculada para o tanque anóxico e a outra é extraída do sistema para o poço da estação elevatória de lamas mistas, onde será misturada com as lamas primárias e encaminhadas para a linha de tratamento de lamas.

A linha de lamas é constituída por espessamento gravítico das lamas primárias e secundárias, a digestão anaeróbia e a desidratação mecânica em filtro de bandas. O sobrenadante proveniente destas unidades de tratamento/desidratação de lamas é encaminhado para o início do tratamento primário e as lamas estabilizadas e secas têm um destino final adequado. A linha de biogás/cogeração consiste na produção anaeróbia de biogás, no seu armazenamento no gasómetro, e no seu aproveitamento como energia térmica ou elétrica ou simplesmente na sua queima com recurso a um *flare*, em função da concentração de metano no biogás.

Finalmente, a linha de desodorização possibilita a extração e tratamento do ar contaminado, proveniente dos espessadores gravíticos e dos edifícios de desidratação de lamas e de energia, com recurso à adsorção em filtro de carvão ativado.

Na Tabela I apresentam-se as características médias do afluente à ETAR e as condições operatórias prevalecente para o período estudado (janeiro a outubro de 2015).

B. Construção e Configuração do Modelo da ETAR de Estudo

O modelo da ETAR foi construído com recurso ao software WRc STOAT 5.0. Este software, além de ter distribuição livre e sem custos, é amplamente utilizado por outros investigadores que reconhecem a sua fiabilidade em simulações de sistemas de lamas ativadas.

TABELA I. Características médias do afluente à ETAR e condições operatórias prevalecentes para o período estudado.

Parâmetro	Unidade	Valor
Caudal de afluente (Q)	m ³ d ⁻¹	5064
Concentrações do afluente		
SST	mg L ⁻¹	320
SSV	mg L ⁻¹	290
CQO	mg L ⁻¹	580
CBO ₅	mg L ⁻¹	260
Nt	mg L ⁻¹	90
Parâmetros Operatórias		
Concentração de MLSS	mg L ⁻¹	4800
Recirculação de Lamas	%Q	74
Recirculação Interna	%Q	106
Concentração MLSS nas lamas recirculadas	mg L ⁻¹	6500
OD nos tanques aeróbios	mg L ⁻¹	1,1

B. Construção e Configuração do Modelo da ETAR de Estudo

O modelo da ETAR foi construído com recurso ao software WRc STOAT 5.0. Este software, além de ter distribuição livre e sem custos, é amplamente utilizado por outros investigadores que reconhecem a sua fiabilidade em simulações de sistemas de lamas ativadas.

Na fig. 1 apresenta-se o modelo que representa o sistema real de tratamento. A estrutura do modelo desvia-se ligeiramente da estrutura do sistema real, pelo facto de se ter representado o tratamento biológico por duas linhas de tratamento do tipo *Ludzach-Ettinger modificado*, ou seja, o único tanque anóxico da ETAR foi representado no modelo por dois reatores anóxicos e os três decantadores secundários por dois tanques de sedimentação. Esta forma de representar o sistema real foi condicionada pelo ambiente de simulação usado, mas em termos de modelação, esta adaptação não comprometeu em nada a representação do sistema real.

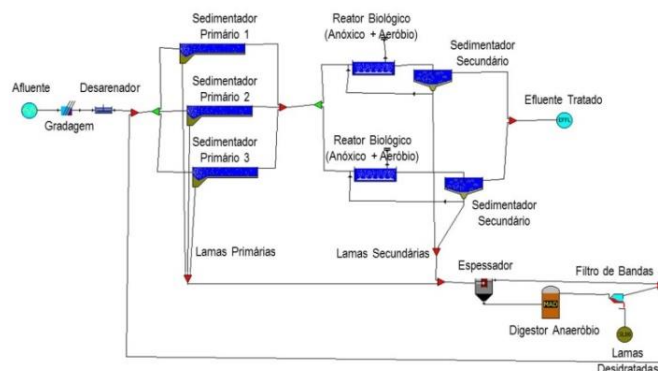


Fig. 1. Modelo em WRc STOAT da ETAR.

O modelo escolhido para os tanques foi o ASAL3, por ser mais facilmente adaptado à realidade dos inputs disponíveis relativamente ao afluente. O modelo usado para a sedimentação primária foi o da CBO, disponibilizado pelo STOAT, e para os decantadores secundários utilizou-se o modelo ASAL3.

III. RESULTADOS

A. Calibração do Modelo

A precisão do modelo foi avaliada com base na sua capacidade para simular a qualidade do efluente, ainda que se tenha verificado também a sua capacidade para simular outras variáveis como a concentração das lamas nos reatores biológicos e nas lamas de recirculação.

Para a calibração do modelo utilizaram-se os dados disponíveis para o mês de junho de 2015.

A comparação entre os valores simulados e os reais de SST e CBO₅ para diferentes dias do mês de junho encontram-se na fig. 2 e na Tabela II avalia-se o grau de comparabilidade entre os valores reais e os valores simulados, através de vários parâmetros estatísticos: o coeficiente de correlação, o desvio médio, a raiz quadrada do erro médio quadrático e o índice de concordância. Para o azoto não se apresentam os resultados da calibração pelo facto de ter sido disponibilizada informação apenas para dois dias do mês.

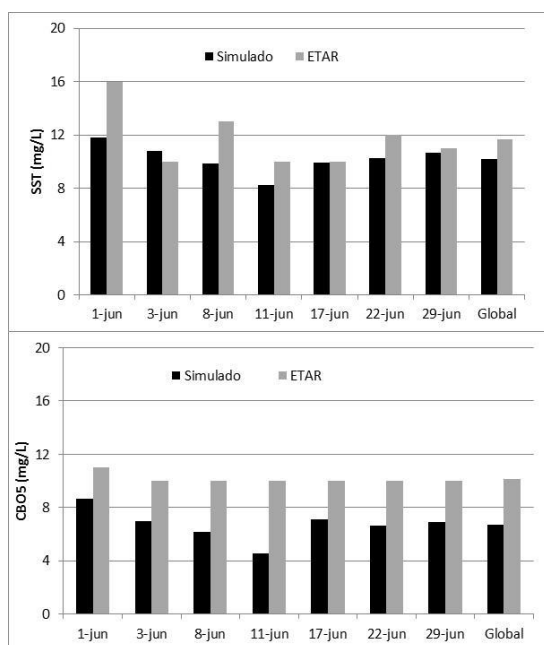


Fig. 2. Comparação entre os valores simulados e os reais de SST e CBO₅ do efluente final da ETAR, para diferentes dias do mês de junho. Os valores globais do mês também são apresentados.

Os resultados obtidos mostram alguma discrepância entre valores experimentais e simulados, em particular para a CBO₅, para o qual o desvio das médias é de 3,42 mg/L. Para o parâmetro SST no efluente final, o modelo também subestima

os valores de SST em cerca de 1,5 mg/L, mas existe um ajustamento mais razoável entre os valores simulados e os experimentais, como é possível ver pela magnitude dos parâmetros estatísticos da Tabela II.

TABELA II. Parâmetros estatísticos calculados para avaliar a qualidade dos valores simulados com base nos dados experimentais de junho de 2015.

Parâmetro	Valores aceitáveis	Valor ideal	SST	CBO ₅
r	-1 a 1	1	0,61	0,70
DM	$-\infty$ a $+\infty$	0	-1,49	-3,42
RMSE	0 a $+\infty$	0	2,21	3,54
d	0 a 1	1	0,58	0,13

Apesar das tentativas em ajustar os principais parâmetros cinéticos e estequiométricos, dentro das gamas aceitáveis, o modelo revelou-se sempre muito pouco sensível a essas alterações e, por essa razão, todos os parâmetros cinéticos e estequiométricos foram mantidos inalterados. No processo foram adotados os três princípios básicos de calibração aduzidos por [17]: (1) alterar apenas um parâmetro de cada vez; (2) existem parâmetros que nunca devem ser alterados, na medida em que a sua variação é negligenciável em termos de modelação; (3) se o modelo não se revelar sensível à alteração de um determinado parâmetro, este não deve ser alterado.

As diferenças encontradas justificam-se, sobretudo, pelo facto de o modelo representar relativamente bem a ETAR em condições ideais, sendo particularmente difícil ajustar algumas imperfeições que possam existir ao nível do regime hidráulico e das condições de arejamento, que exercem uma influência determinante.

B. Verificação do Modelo

Com o sistema calibrado, procedeu-se à realização de simulações e respectiva avaliação para o período de fevereiro a outubro (Fig. 3). Foram realizadas três simulações distintas:

- As simulações1 (S1) foram realizadas nas mesmas condições das que conduziram ao modelo calibrado;
- As simulações2 (S2) diferem das simulações1 por considerarem a taxa de recirculação interna de 130% (valor próximo do valor médio em alguns meses);
- As simulações3 (S3) diferem das simulações2 por a taxa de recirculação interna ter sido estabelecida em 400%.

Todas as simulações reproduziram bem as concentrações do efluente tratado em relação aos SST, sobretudo de julho a outubro, mas subestimam os valores entre fevereiro e maio. Em relação à CBO₅, o padrão de variação definido pelos valores simulados segue de certa forma o definido pelos valores reais, mas subestimam as concentrações para todo o período estudado. Para o azoto total, o modelo dá também uma excelente resposta a nível do padrão de variação mensal, em particular quando obtidos pela S3. A S1 e a S2 apresentam um perfil similar, mas sobrestimam os valores de azoto total.

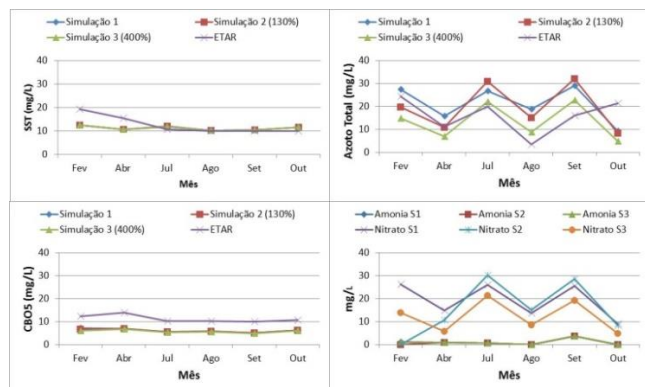


Fig. 3. Comparação entre valores simulados e valores reais de SST, CBO₅ e azoto total do efluente final da ETAR, para diferentes meses de 2015.

As baixas recirculações internas não permitem que todo o nitrato seja desnitrificado e daí as simulações S1 e S2 conduzirem a descargas de azoto total mais elevadas do que o verificado para as simulações S3. As simulações deixam assim antever que o aumento das taxas de recirculação interna se traduzem em melhoria do desempenho da ETAR em termos de remoção de azoto total, em particular de nitratos.

As diferenças encontradas podem ter várias causas, mas certamente refletem os vários fatores que condicionam o desempenho do processo de lamas ativadas. Entre os mais importantes temos os relacionados com a atividade biológica dos microorganismos, com as propriedades da própria lama ativada (licor misto), com as perturbações hidráulicas, que afetam sobretudo a capacidade do clarificador em separar e concentrar as lamas activadas do efluente e, ainda, com as condições do arejamento.

Indiretamente é possível introduzir no modelo alguns dos efeitos destes fatores, mas ao não se proceder a essas alterações, o modelo é uma representação do sistema real em condições ideais e, portanto, é natural que apresente resultados ligeiramente melhores. Em relação ao azoto, o modelo sobrestima as concentrações de Nt no efluente, mas os resultados corroboram o reportado na literatura para um sistema pré-anóxico Ludzack-Ettinger modificado.

C. Análise de Cenários

Com o objetivo de avaliar a influência de um conjunto de fatores ambientais e operatórias, foram realizadas várias simulações com o intuito de avaliar a resposta do sistema. Para simplificar esta análise, as simulações apresentadas nos pontos *i* e *ii* tiveram por base o mês de maio.

i. Cenários de Variação de Caudal e Concentrações

O objetivo destes cenários foi avaliar a resposta da ETAR a variações de caudal e da composição do afluente. Assumiram-se duas situações para o caudal do afluente, uma em que o caudal se reduz a metade e a outra em que o caudal aumenta para o dobro. Em relação à influência da

concentração de SST, CBO₅ e Azoto Total, também se adoptou um procedimento similar. Numa terceira situação consideraram-se todas as variáveis em conjunto, reduzindo-as a metade e aumentando-as para o dobro, alterando igualmente os caudais de recirculação de lamas e de recirculação interna de forma proporcional.

TABELA III. Concentrações de SST, CBO₅, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N e Azoto Total do efluente da ETAR em função da variação do caudal e das concentrações do afluente.

Alterações do Caudal e Concentrações do Afluente	Concentrações no Efluente da ETAR (mg /L)				
	SST	CBO ₅	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nt
Varição do Caudal					
100%	11.91	7.09	1.67	13.04	15
50%	6.63	4.43	0.22	12.9	13
200%	92.14	44.98	12.34	8.87	21
Varição das concentrações de SST, CBO₅ e Azoto					
100%	11.91	7.09	1.67	13.04	15
50%	8.99	5.82	0	13.14	13
200%	12.7	8.71	20.19	19.21	39
Varição do Caudal e das concentrações					
50%	5.26	2.72	0	12.03	12
200%	83.15	73.2	65.48	3.71	69

A partir dos resultados obtidos, constata-se que o aumento dos caudais diminui as eficiências de tratamento dos parâmetros avaliados, em especial de SST. O aumento das concentrações conduz a uma ligeira perda de eficiência a nível dos sólidos e da CBO₅, mas pode comprometer seriamente a remoção do azoto total, motivada ora por nitrificações ora por desnitrificações incompletas.

A ocorrência de aumentos de caudal e das concentrações traduz-se na situação mais crítica, com perdas consideráveis de eficiência em relação a este parâmetro de qualidade. É importante adotar medidas capazes de solucionar caudais de picos, como a utilização de bacias de equalização, é um dos métodos mais eficazes para minimizar os efeitos desses picos de caudal no tratamento primário e secundário.

ii. Cenários de Variação de Condições Operatórias

Para os cenários das alterações das condições operatórias foram estudadas as influências de três parâmetros/processos na qualidade do efluente da ETAR: recirculação de lamas; a recirculação interna; os níveis de oxigénio no reator aeróbio. Os resultados encontram-se nas Tabelas IV, V e VI.

Em relação à recirculação de lamas, fizeram-se várias simulações em que se procedeu à variação das taxas relativamente ao valor de referência (100%), tendo-se simulado para taxas de 25% até 125%. Em geral, os resultados revelaram que o aumento da taxa de recirculação de lamas conduziu a uma diminuição da remoção de SST, a um aumento da remoção de azoto, e não afetou a remoção de CBO₅.

TABELA IV. Concentrações de SST, CBO₅, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N e Azoto Total do efluente da ETAR em função da variação das taxas de recirculação de lamas.

Taxas de Recirculação de Lamas	Concentrações do Efluente da ETAR (mg/L)				
	SST	CBO ₅	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nt
25%	13,2	9,20	15,26	9,31	24,57
50%	14,46	9,33	6,70	11,86	18,56
75%	15,85	9,49	3,68	12,09	15,77
100%	17,05	9,52	2,42	11,70	14,12
125%	18,31	9,95	1,84	11,14	12,98

TABELA V. Concentrações de SST, CBO₅, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N e Azoto Total do efluente da ETAR em função da variação das taxas de recirculação interna.

Taxas de Recirculação Interna	Concentrações do efluente da ETAR (mg/L)				
	SST	CBO ₅	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nt
100%	11,86	7,36	1,1	14,55	15,7
200%	11,89	7	1,15	11,54	12,7
300%	11,87	6,92	1,18	8,96	10,1
400%	11,86	6,87	1,65	7,63	9,28

TABELA VI. Concentrações de SST, CBO₅, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N e Azoto Total do efluente da ETAR em função da variação dos níveis de Oxigénio Dissolvido do reator aeróbio.

Variações de O.D no Tanque Aeróbio	Concentrações do Efluente da ETAR (mg/L)				
	SST	CBO ₅	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nt
25%	12,01	8,19	22,66	5,48	28,14
50%	11,95	7,48	9,82	9,92	19,74
75%	11,92	7,21	3,71	12,2	15,91
100%	11,91	7,09	1,67	13,04	14,71
125%	11,91	7,03	1,04	13,31	14,35
150%	11,9	6,99	0,78	13,42	14,2
200%	11,9	6,95	0,55	13,52	14,07

Em relação à recirculação de lamas, fizeram-se várias simulações em que se procedeu à variação das taxas

relativamente ao valor de referência (100%), tendo-se simulado para taxas de 25% até 125%. De um modo geral, os resultados revelam que à medida que se aumentou a taxa de recirculação de lamas, a remoção de azoto total aumentou, a remoção de CBO₅ manteve-se praticamente inalterada e a remoção de SST diminuiu. Atendendo às eficiências de tratamento e às poupanças energéticas resultantes de uma taxa de recirculação mais baixa, este simples cenário suporta o valor aplicado na ETAR para o mês de base.

No que concerne ao estudo da influência da recirculação interna, os resultados mostram que apenas os níveis de azoto são substancialmente alterados. Ainda que este efeito pareça baixo nas concentrações de azoto total, constata-se que a quadruplicação do caudal de recirculação interna se traduz numa diminuição das concentrações de Nt de aproximadamente 40%, que pode ser fundamental quando está em causa o cumprimento legal relativamente a este nutriente. Neste caso em particular, o valor usado na ETAR apresenta-se como o mais adequado para atingir os objetivos de tratamento em relação a SST e CBO₅.

Em relação ao oxigénio dissolvido, verifica-se que o aumento dos níveis de oxigénio no tanque aeróbio melhora a eficiência de tratamento, sendo particularmente significativa para o azoto total. Curiosamente, o aumento do O.D. no reator aeróbio tem um efeito negativo na desnitrificação, que advém do facto de as recirculações de lamas e interna disponibilizarem oxigénio no reator anóxico, reduzindo as taxas de desnitrificação. Os resultados das simulações indicam também que os valores usados na ETAR são os adequados, se a remoção de azoto não for prioritizada.

iii. Outro cenários

Um cenário que se pretendeu estudar consistiu na reconversão do tratamento biológico do tipo Ludzack Ettinger modificado num sistema de Lamas Ativadas convencional. O estudo deste cenário foi apenas com o objetivo de avaliar as diferenças entre sistemas combinados de remoção de matéria orgânica e azoto e os sistemas simples de lamas ativadas que somente conseguem a remoção de matéria orgânica e azoto amoniacal, já que a ETAR não está obrigada a cumprir o limite de descarga de azoto total. Os resultados encontram-se na Tabela VII.

Ao observar os resultados obtidos e comparando com os históricos da ETAR, verificou-se que, de um modo geral, este sistema mostrou-se eficiente na remoção de SST e CBO₅. É também eficiente na remoção de NH₄⁺-N, mas como não possui qualquer tanque anóxico, o efluente sai com uma elevada carga de nitratos, podendo comprometer o equilíbrio químico e ecológico dos sistemas aquáticos.

Os sistemas pré-anóxicos são de facto utilizados para remover azoto, mas apresentam algumas vantagens relacionadas quer com a redução das necessidades de oxigénio e de energia, porque a CBO é removida pela desnitrificação, quer com a redução da produção de lamas, porque as bactérias obtêm menos energia, quando usam uma forma oxidada de azoto como aceitador de eletrões, em comparação com as que usam o O₂.

TABELA VII. Concentrações simuladas de SST, CBO₅, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N e Nt do efluente final da ETAR para um sistema de lamelas ativadas convencional do tipo CSTR.

	Concentrações do Efluente da ETAR (mg/L)				
	SST	CBO ₅	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nt
Fevereiro	13.55	7.87	0.55	50.54	51.1
Março	11.15	6.46	0.47	61.06	61.5
Abril	11.38	7	0.5	30.11	30.6
Mai	12.02	7.45	0.53	38.88	39.4
Junho	11.68	7	0.35	52.86	53.2
Julho	12.24	7.28	0.48	85	85.5
Agosto	11	6.4	0.11	45.15	45.3
Setembro	11.48	6.33	0.9	85	85.9
Outubro	12.41	6.65	0.08	23.7	23.8

IV. CONCLUSÕES

O tratamento de águas residuais urbanas é de complexidade elevada, em virtude do grande número de fatores que atuam sobre as várias etapas ao longo da linha de tratamento, em especial da etapa de tratamento biológico. A modelação matemática dos processos envolvidos nas diferentes etapas de tratamento, juntamente com os ambientes de simulação específicos, têm sido ferramentas essenciais no apoio aos especialistas a nível do projeto e da exploração de estações de tratamento.

Apesar das imensas dificuldades e das limitações que os modelos atuais ainda possuem, o modelo foi capaz de simular o tratamento da ETAR, avaliando-o em termos de eficiência de remoção de SST, CBO₅ e Azoto Total. Em relação ao Azoto Total, o modelo não foi suficientemente capaz de explicar as elevadas eficiências da ETAR, mas identificou a remoção do Azoto como o ponto ou um dos pontos mais críticos da ETAR.

De um modo geral a ETAR apresenta um desempenho excelente para a remoção de SST e de matéria orgânica carbonácea, mas pode e deve melhorar a remoção de azoto.

Um dos aspetos mais críticos relacionados com a utilidade e a fiabilidade dos modelos advém da qualidade dos seus *inputs* e da calibração dos mesmos. A utilização de dados recolhidos rotineiramente nas ETARs não configura a situação ideal, mas com o presente estudo demonstra-se, mais uma vez, que são ferramentas que podem ser de elevada utilidade no dia-a-dia de qualquer gestor de ETAR. Em trabalhos futuros, seria interessante aprofundar outros aspetos como:

- procurar encontrar alternativas de tratamento eficientes e viáveis de remoção de azoto total;
- proceder a uma calibração mais rigorosa do modelo, com a realização de uma ou mais campanhas intensivas de medição e realização de ensaios laboratoriais para recolha de dados relevantes para a calibração/validação do modelo;
- realizar simulações dinâmicas recorrendo a séries de

entrada contínuas em termos de quantidade e qualidade. Estas séries de dados podem ser obtidas a partir dos dados dicretos disponíveis e transformados, através da utilização de séries de Fourier ou de outros procedimentos já aplicados e descritos na literatura;

- utilizar a modelação como ferramenta de base para avaliar a sustentabilidade ambiental de estratégias/alternativas de tratamento.

V. REFERENCIAS

- [1]. UNEP. 2010. Clearing the Waters. A focus on water quality solutions. United Nations Environment Programme. UNON, Publishing Services Section, Nairobi.
- [2]. Henze, M., Comeau, Y., 2008. Wastewater characterisation. In: Hence, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., Brdjanovic, D. (Eds.), Biological Wastewater Treatment: Principles, Design and Modelling. IWA Publishing, London.
- [3]. Chereemisnoff, N. P. 2011. Waste: A Handbook for Management. Trevor Letcher and Daniel Vallero . Pages 487 – 502.
- [4]. Russel, D. L. 2006. Pratical wastewater treatment. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
- [5]. Neumann M. B., Rieckermann J., Hug T., Gujer W. 2015. Adaptation in hindsight: Dynamics and drivers shaping urban wastewater systems. Journal of Environmental Management, Volume 151, Pages 404-415.
- [6]. Henze M., Harremoës P. 2013. Biological Denitrification of Sewage: A Literature Review. Proceedings of the Conference on Nitrogen As a Water Pollutant, Pages 509-555.
- [7]. Haller, E. J. 1995. Simplified Wastewater Treatment Plant Operations. Basic Activated Sludge Process Control. Water Environment Federation.
- [8]. Wang F. Y., Rudolph V., Zhu Z. H. 2013. Sewage Sludge Technologies. The University of Queensland, Brisbane, QLD, Australia.
- [9]. Bielefeldt A. R. 2016. Water Treatment, Industrial. Reference Module in Life Sciences. University of Colorado Boulder, Boulder, CO, United States.
- [10]. Gujer W. 2006. Activated sludge modelling: past, present and future. Wat. Sci. Tech., 53(3), pp. 111 - 119.
- [11]. Bozkurt H., Quaglia A., Gernaey K. V., Sin G. 2015. A mathematical programming framework for early stage design of wastewater treatment plants. Environmental Modelling & Software, Volume 64, Pages 164-176.
- [12]. Van Loosdrecht, M.C.M., Lopez-Vazquez, C.M., Meijer, S.C.F., Hooijmans, C.M. & Brdjanovic, D. 2015. Twenty-five years of ASM1: past, present and future of wastewater treatment modelling. J. Hydroinformatics, in press.
- [13]. Santa Cruz J. A., Mussati S. F., Scenna N. J., Gernaey K. V., Mussati M. C. 2016. Reaction invariant-based reduction of the activated sludge model ASM1 for batch applications. Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 4, Issue 3, Pages 3654-3664.
- [14]. Stokes, A. J., Forster, C. F., West, J. R. & Davies W. J. 2000. Stoat and the Oxygen Requirements of an Activated Sludge Plant, Environmental Technology, 21:11.
- [15]. Ergas S. J., Aponte-Morales V. 2014. Biological Nitrogen Removal. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from Comprehensive Water Quality and Purification, Volume 3, Pages 123-149.
- [16]. Bozkurt H., Gernaey K. V., Sin G. 2015. Optimization-based methodology for wastewater treatment plant synthesis – a full scale retrofitting case study. Computer Aided Chemical Engineering, Volume 37, Pages 1241-1246.
- [17]. Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M.C.M., Marais, G.V.R., 1995. Activated Sludge Model No. 2. IWA Scientific and Technical Report No. 3, London, UK.