

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA E ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA O RECEBIMENTO DE VAZÃO DE ESGOTO BRUTO EXTRA NA ETE SARANDI COM O USO DE MODELAGEM NUMÉRICA

Juliana Neves⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com período sanduíche pela École Supérieure de Chimie Physique Électronique de Lyon (CPE Lyon). Consultora na empresa HydroInfo.

Allan Guedes Pozzebon⁽²⁾

Engenheiro Químico pela Fundação Universidade do Rio Grande (FURG). Especialização em Engenharia de Saneamento Ambiental pela Universidade do Vale dos Sinos (Unisinos). Engenheiro no Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre (DMAE).

Charles Coser de Matos⁽³⁾

Químico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Químico no Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre (DMAE).

Enrico Remigi⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental, Mestre e Doutor pela Politecnico di Milano (Itália). Modelador de Processos e Consultor em otimização de Estações de Tratamento de Efluentes na DHI A/S.

Rodrigo Campos de Andrade⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre e Doutor em Engenharia Oceânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Sócio e diretor da empresa HydroInfo.

Endereço⁽¹⁾: Rua Emílio Blum, 131, Sala 409, Bloco A - Centro - Florianópolis - SC - CEP: 88020-010 - Brasil - Tel: +55 48 3879-6888 - e-mail: jun@hydroinfo.com.br

RESUMO

O uso de modelagem numérica e simuladores de processo aplicados a estações de tratamento de esgoto sanitário vem crescendo no Brasil. No presente estudo, o software WEST foi aplicado como ferramenta principal para a identificação das melhores alternativas para o processo da ETE Sarandi, localizada em Porto Alegre (RS). Programada para futuramente receber uma vazão adicional de esgoto bruto, o estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de tratamento da ETE com relação a parâmetros de qualidade do efluente tratado com a aplicação de diferentes cenários de readequação previamente selecionados. Os resultados das simulações numéricas indicaram que o processo atual da ETE passaria a apresentar potencial falha na operação de decantação secundária, com indícios de elevação do nível da manta de lodo e possível arraste de sólidos, caso nenhuma medida fosse aplicada. Foram então elencadas possíveis soluções para a prevenção desses potenciais problemas no processo, focando na melhoria desta operação e no controle da estação, tais como a adição de coagulantes químicos para melhoria da sedimentabilidade do lodo, a aplicação de ajustes operacionais no sistema atual e a implementação de um tanque de equalização previamente ao tratamento secundário. Apesar de algumas limitações na análise, a ferramenta de modelagem numérica utilizada se demonstrou efetiva para o atingimento do objetivo do estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem numérica, Simulação de processos, Tratamento de esgoto.

INTRODUÇÃO

O uso da modelagem numérica como ferramenta de apoio para estudos e projetos no setor do saneamento, especificamente em estações de tratamento de esgoto (ETE), tem sido uma prática aplicada em diversos países mundialmente, sendo inclusive já realizada no Brasil. Os modelos mais empregados são usualmente aqueles capazes de representar os processos de tratamento biológico, como os nomeados *Activated Sludge Models* (ASM) que possuem foco nos sistemas de lodos ativados (VAN LOOSDRECHT et al, 2015). Porém, hoje já é possível integrar diferentes modelos em uma única plataforma para obter uma representação numérica de grande parte dos processos realizados em uma estação de tratamento, sendo então integrados em um simulador de processo.

Esses simuladores, concebidos como *softwares* de simulação, possuem ampla aplicabilidade e versatilidade, e possibilitam aos usuários uma maior facilidade de compreensão dos modelos e da própria ETE simulada. Por permitirem a visualização de diferentes cenários operacionais de um processo de forma ágil, eles têm sido aplicados em estudos de dimensionamento, otimização, readequação e até mesmo como apoio para treinamento de operadores (VAN LOOSDRECHT et al, 2015).

No presente estudo, o *software* WEST, desenvolvido pela empresa DHI, foi aplicado como ferramenta principal para possibilitar uma avaliação de alternativas de readequação do processo de tratamento da ETE Sarandi, localizada na cidade de Porto Alegre (RS), de responsabilidade do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) do município. A conversão de outra estação de tratamento de esgoto – a ETE Rubem Berta, localizada no mesmo município – em uma Estação de Bombeamento de Esgoto (EBE) era uma proposta do Departamento com o objetivo de reduzir o número total de estações, facilitando assim questões logísticas internas da instituição. Contudo, a vazão aproximara-se da capacidade nominal da ETE Sarandi. Como a carga média do esgoto bruto ficava abaixo do projetado na concepção da ETE, os técnicos do DMAE cogitaram direcionar o esgoto bruto da ETE Rubem Berta para a ETE Sarandi. Para subsidiar essa decisão, utilizou-se a ferramenta de simulação.

Assim, como parte do processo de análise de alternativas, o DMAE buscou avaliar alternativas sugeridas por sua equipe que possibilitassem à ETE receber a carga extra de efluente com mínimo impacto possível à eficiência do tratamento, tomando como referências os parâmetros de concentração de DBO₅, nitrogênio amoniacal, fósforo total e sólidos suspensos totais (SST), com a aplicação de diferentes cenários propostos.

METODOLOGIA

Para possibilitar a execução do estudo com o apoio da modelagem computacional, a primeira etapa do trabalho consistiu na coleta e fornecimento por parte da equipe do DMAE de informações necessárias para a representação numérica do processo de tratamento da ETE Sarandi. Em sequência, foi realizada a análise e preparação desses dados fornecidos, de modo a permitir serem introduzidos na interface do *software* de simulação. Além disso, nesta etapa também foi realizada a construção do *layout* principal de simulação a partir da seleção dos modelos numéricos de processos.

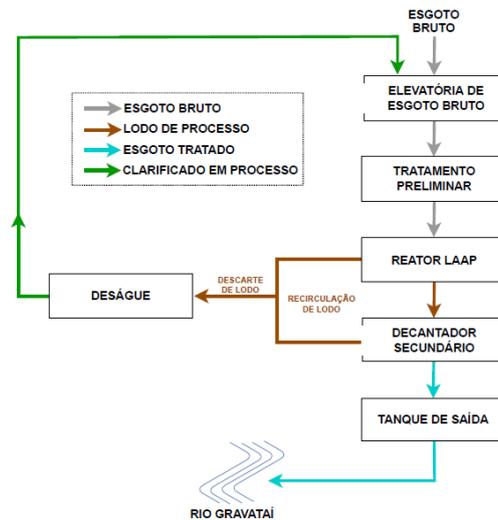
Realizou-se então a calibração dos modelos selecionados com o objetivo de obter uma representação adequada dos cenários de operação atual da ETE Sarandi. A metodologia adotada para esta calibração levou em consideração as conclusões da avaliação feita em etapa anterior sobre os dados fornecidos pelo DMAE com relação à caracterização do esgoto bruto e efluente tratado.

Sendo identificada uma calibração bem-sucedida dos modelos numéricos, seguiu-se para a etapa seguinte, na qual os cenários futuros de operação da ETE Sarandi foram simulados e analisados com o recebimento da carga adicional e as alternativas propostas. Estas propostas foram avaliadas em diferentes cenários de operação, os quais haviam sido definidos em etapa prévia. As simulações com resultados mais favoráveis à solução do potencial problema identificado foram então discutidas e elencadas como as mais recomendáveis ao estudo.

COMPREENSÃO DOS PROCESSOS DA ETE SARANDI

A Estação de Tratamento de Esgoto Sarandi está localizada na zona Norte da cidade de Porto Alegre (Rio Grande do Sul), no bairro Sarandi, e é responsável atualmente pelo tratamento de cerca de 100 L/s em média de esgoto sanitário do local. O processo atual (Figura 1) é caracterizado por um sistema preliminar com operações de gradeamento e desarenação para retirada de material flutuante e parte dos sólidos sedimentáveis e grosseiros. A partir desta etapa, o esgoto é levado ao tratamento biológico, o qual é composto de duas linhas de lodos ativados com configuração A2O, apresentando alternância em condições anaeróbia, anóxica e aeróbia. Em seguida, o processo de tratamento segue para a decantação secundária, a partir da qual o efluente tratado é levado para o lançamento final no corpo hídrico. Parte do lodo decantado é bombeada à recirculação para a câmara anaeróbia e a outra parte é levada ao deságue para seu descarte final.

Figura 1: Fluxograma esquemático do processo de tratamento da ETE Sarandi.



Fonte: elaboração realizada pela equipe do DMAE de Porto Alegre (RS), 2022.

Para compreensão e controle da eficiência do processo realizado na ETE Sarandi, as características do esgoto são monitoradas em pontos estratégicos. Além disso, os componentes monitorados permitem aos órgãos ambientais competentes avaliar e fiscalizar a adequação do processo às expectativas de tratamento. Os componentes monitorados que foram de interesse para o presente estudo são indicados na Tabela 1, juntamente com seus respectivos pontos de análise.

Tabela 1: Parâmetros de caracterização do esgoto analisados na rotina da ETE Sarandi que são de interesse para o presente estudo, com seus respectivos pontos de amostragem.

Parâmetros	Ponto de coleta de amostra
DBO ₅	Afluente e efluente
DQO	Afluente e efluente
Nitrogênio amoniacal	Afluente e efluente
Nitrogênio total	Afluente e efluente
Fósforo total	Afluente e efluente
Sólidos suspensos totais	Afluente, efluente e tanques de aeração
Oxigênio dissolvido	Tanques de lodos ativados
Temperatura	Afluente e efluente

Fonte: elaboração própria a partir de dados fornecidos pelo DMAE de Porto Alegre (RS), 2022.

No que diz respeito à legislação pertinente ao controle de qualidade do processo da ETE Sarandi, a Resolução CONSEMA n° 355/2017 do estado do Rio Grande do Sul é aplicada, a qual determina os padrões de emissão de efluentes líquidos em águas superficiais do estado (Tabela 2). Os dados de qualidade para o esgoto bruto e o efluente tratado fornecidos pelo DMAE para os anos de 2020 a 2022 foram avaliados em seus valores médios e comparados com os padrões estipulados pela legislação. Os resultados demonstraram um enquadramento satisfatório com relação aos requerimentos exigidos.

Tabela 2: Padrões de emissão de efluentes líquidos segundo a Resolução CONSEMA n° 355/2017 do estado do Rio Grande do Sul, para vazão afluente maior ou igual a 7.000 m³/d e menor que 10.000 m³/d.

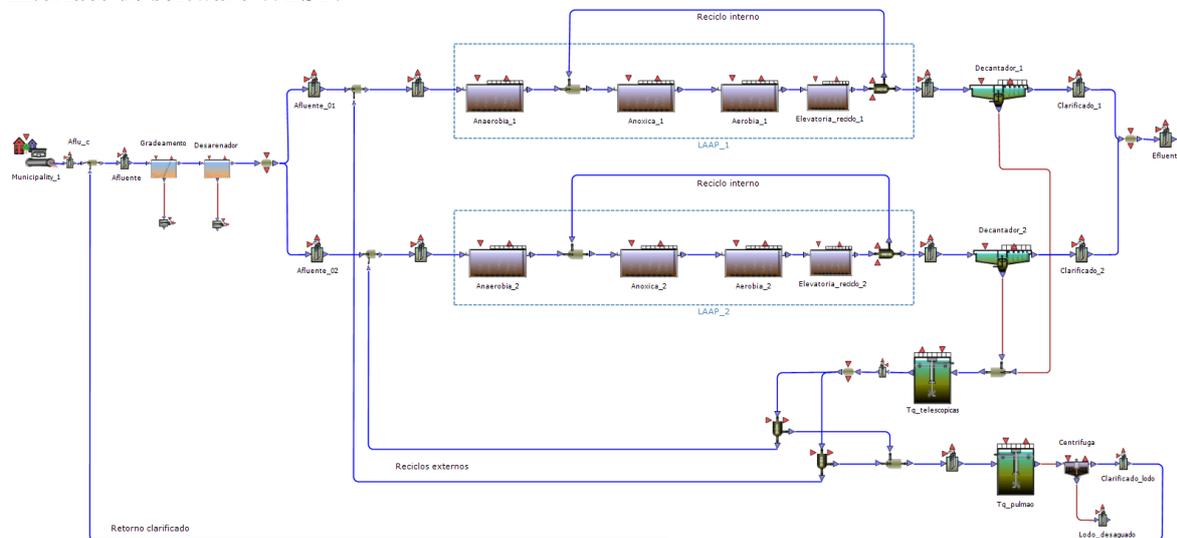
Parâmetros	Padrão de emissão
DBO ₅ (mg/L)	50
DQO (mg/L)	180
Sólidos suspensos totais (mg/L)	60
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	20
Fósforo total (mg/L)	2

Fonte: elaboração própria a partir de dados da Resolução CONSEMA n° 355/2017 (CONSEMA, 2017).

IMPLEMENTAÇÃO DO LAYOUT DE PROCESSO

Após a compreensão dos processos realizados na ETE Sarandi e o fornecimento dos dados de operação e caracterização do esgoto, foi feita a implementação do *layout* de processo na interface do *software* WEST (Figura 2). Para isso, o fluxograma principal fornecido pelo DMAE foi utilizado como base, sendo posteriormente verificado pela equipe a correspondência ao processo real.

Figura 2: *Layout* considerado para os modelos de simulação do processo atual da ETE Sarandi na interface do *software* WEST.



Fonte: elaboração própria a partir do *software* WEST, 2022.

Com relação à avaliação de modelagem base do processo, foram consideradas as opções disponíveis no *software* WEST, na versão 2022 Update 1, para que a simulação pudesse englobar todas as operações de análise. Sabendo-se que a presença de concentrações de fósforo seria de interesse para o estudo, o modelo *Activated Sludge Model* N° 2d (ASM2d), desenvolvido originalmente por Henze e colaboradores (2000), foi o escolhido como categoria de modelo base para os processos. Uma versão modificada do modelo, proposta pela literatura para inclusão de alterações na descrição do decaimento da biomassa (GERNAEY, JØRGENSEN, 2004), foi a versão utilizada na interface do WEST, indicada com a nomenclatura ASM2dMod (DHI, 2022).

Para além da escolha do modelo, algumas adaptações e premissas tiveram de ser assumidas para possibilitar a continuidade do estudo, uma calibração adequada dos modelos e a execução das simulações. A exemplo, foi assumido que as câmaras de sucção, de lodo decantado e o tanque pulmão pré-centrífuga poderiam ser representados numericamente aplicando-se o modelo de reator biológico de lodos ativados com volume constante. Além disso, o modelo de decantação secundária sem a presença de reação química disponível no WEST foi assumido como satisfatório para representação desta operação na simulação. Demais considerações feitas foram expostas à equipe responsável e validadas para o estudo.

Tendo os parâmetros operacionais definidos e implementados no *software*, foi então realizada a análise dos dados de caracterização do esgoto bruto e tratado da ETE Sarandi, que foram utilizados como dados de entrada (*input*) para a etapa de calibração dos modelos numéricos. Essa análise indicou que a frequência de medição e a localização dos pontos de coleta de amostras permitiriam somente a realização de avaliações de composição média do esgoto para a calibração, através da ferramenta de simulação em estado estacionário. Esta ferramenta simula a operação considerando que não há variações no tempo e faz uso de dados de entrada constantes para o período avaliado. Desta forma, eventuais variações no comportamento do esgoto durante o período selecionado para a simulação não são representadas no modelo.

Após a definição da abordagem metodológica a ser seguida, foi realizada uma análise mais detalhada dos dados fornecidos com o uso de ferramentas estatísticas, com objetivo de qualificá-los e tratá-los para utilização no *software* de simulação. Esta etapa consistiu principalmente numa primeira avaliação visual dos dados para seleção de *gaps* e posteriormente foram construídos histogramas e diagramas de caixa (*boxplot*) para

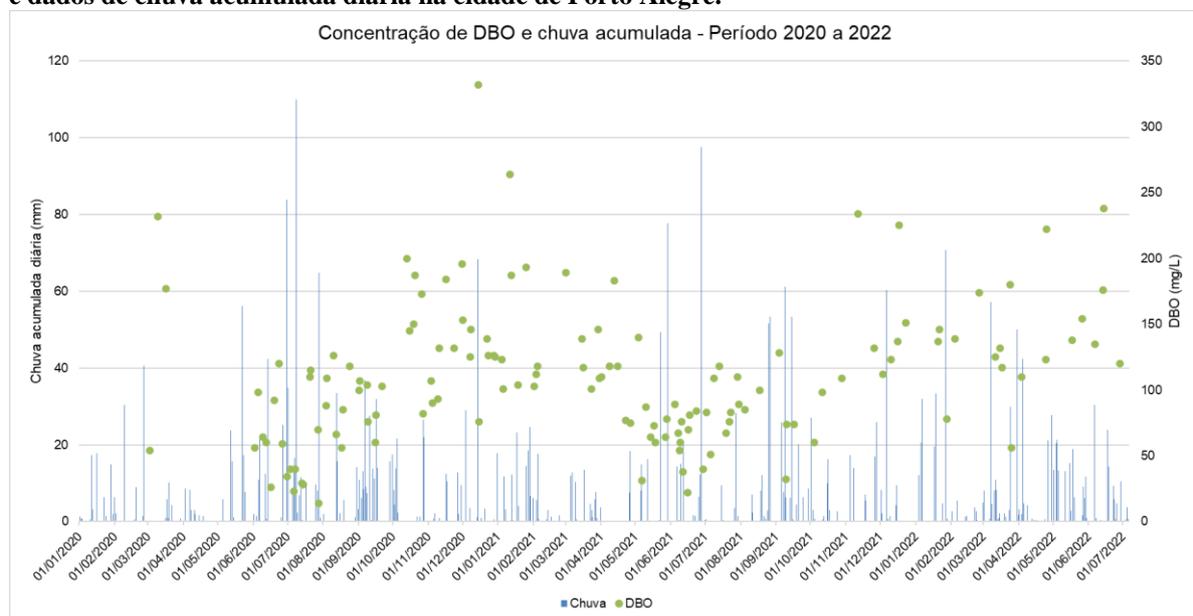
identificação e exclusão de *outliers*. Contudo, de modo geral, buscou-se manter uma análise conservadora, tendo em vista a baixa disponibilidade de dados de grande parte das medidas.

SELEÇÃO DE CENÁRIOS

Para além do tratamento adequado dos dados fornecidos para aplicação na simulação numérica, a qualificação desses dados permitiu também a identificação de cenários de sazonalidade a partir da identificação da variação de características do afluente. Assim como em muitos processos de tratamento existentes no país, foi observado pela equipe do DMAE que a composição do afluente da ETE Sarandí é sensível à sazonalidade. Esta variação dos componentes ocorre principalmente em períodos de chuva na cidade, em que há uma mistura do afluente com águas pluviais. Com isso, é possível observar uma influência do fenômeno de diluição, principalmente na concentração de matéria orgânica.

Ao avaliar os dados de caracterização do afluente e da vazão, esta diferença de fato é notada, apresentando em geral uma expressiva diluição da DBO₅ (Figura 3). A vazão, no entanto, apresentou pouco impacto relacionado a períodos de chuva no período avaliado. Contudo, devido à importância destacada pelo DMAE em relação ao fenômeno de diluição, foi definido que no presente estudo o processo seria avaliado também considerando cenários distintos de sazonalidade, sendo definidos como período chuvoso e período seco.

Figura 3: Representação gráfica dos dados de concentração de DBO₅ no esgoto afluente da ETE Sarandí e dados de chuva acumulada diária na cidade de Porto Alegre.



Fonte: elaboração própria a partir de dados fornecidos pelo DMAE (RS) e pelo Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022).

Para melhor caracterização do afluente durante cada um desses períodos, uma campanha adicional de coleta de dados do afluente foi sugerida pela equipe de execução da HydroInfo e realizada pela equipe do DMAE para determinação de valores médios dos parâmetros de DBO_{total}, DQO_{solúvel}, AGV (ácidos graxos voláteis) e NTK. Estes parâmetros foram identificados como importantes para a definição do fracionamento do afluente e não estavam disponíveis para o período de avaliação fornecido. Com estas informações disponibilizadas, seria possível obter resultados com melhor confiabilidade e menor incerteza em relação à esta definição do afluente, o que é relevante para estudos utilizando modelagem numérica.

CALIBRAÇÃO DOS MODELOS

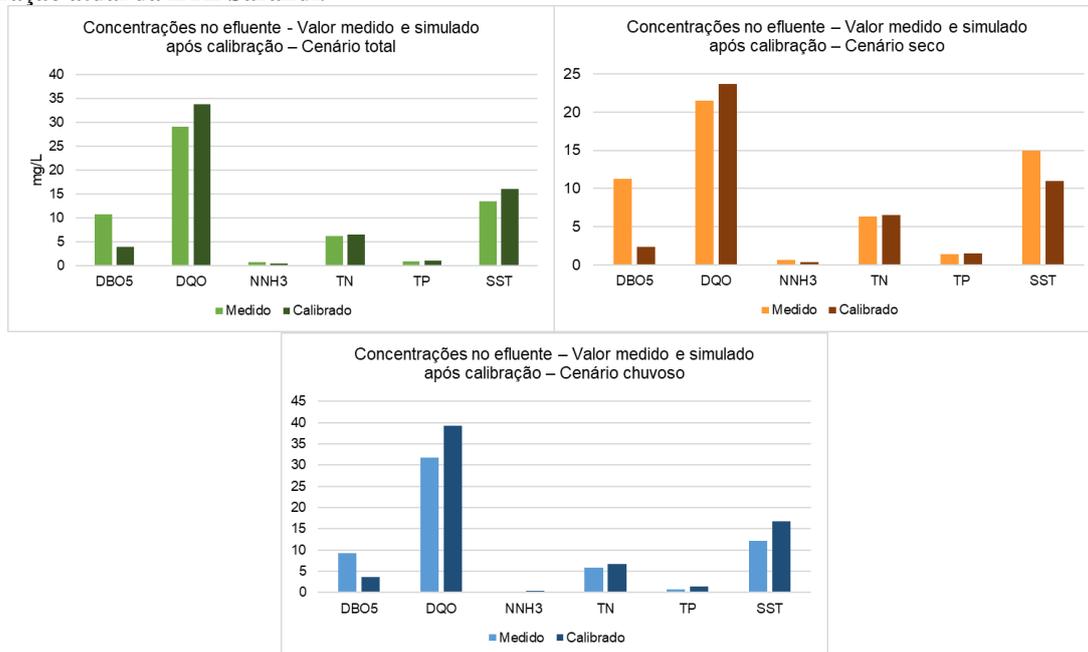
A partir da implementação do *layout* de processo no *software* de simulação, da análise dos dados de entrada e da definição de cenários de avaliação, iniciou-se o processo de calibração dos modelos numéricos. Este processo se caracteriza pelo ajuste iterativo ou manual de parâmetros até que a simulação corresponda ao

conjunto de dados observados com uma margem de erro aceitável. Dessa forma, a qualidade dos resultados da simulação é identificada através da análise de variáveis pré-definidas que devem estar dentro de uma faixa adequada de erro em comparação com os dados medidos (RIEGER et al., 2013).

Para isso, as ferramentas de análises avançadas disponíveis no *software* WEST foram utilizadas de maneira a calibrar o processo através principalmente de análise de cenários. O principal critério de quantificação da predição do modelo foi o Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE), objetivando um erro máximo de 20% e tendo como referência os resultados de análises laboratoriais da ETE Sarandi.

A metodologia de calibração proposta adotou a definição de diferentes cenários de operação do processo, os quais foram determinados na etapa de análise dos dados fornecidos, sendo cada um deles avaliados e calibrados separadamente com seus respectivos parâmetros e dados de entrada. Com a conclusão desta etapa, de modo geral foi possível representar satisfatoriamente o processo da ETE Sarandi através de simulação numérica em estado estacionário, tanto para o cenário englobando o período total dos dados disponibilizados, como para os cenários representativos de períodos de chuva e seco na cidade de Porto Alegre. A comparação entre as medições e os resultados numéricos obtidos para as concentrações no efluente tratado em todos estes períodos são ilustrados nos gráficos da Figura 4.

Figura 4: Resultado numérico final obtido com a calibração dos cenários total, seco e chuvoso de operação atual da ETE Sarandi.

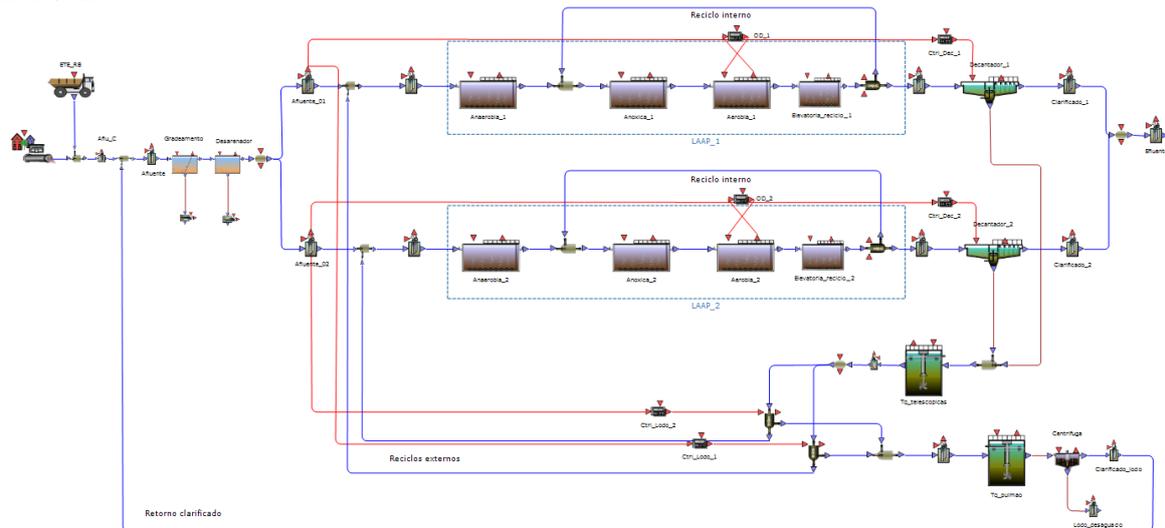


Fonte: elaboração própria a partir dos resultados de simulação obtidos no estudo, 2023.

SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS FUTUROS

Em sequência à etapa de calibração, foi realizada então a simulação das diferentes alternativas para o processo da ETE Sarandi, com o objetivo de identificar as configurações mais adequadas para o recebimento do esgoto bruto extra proveniente da ETE Rubem Berta. Para isso, os dados de caracterização desta carga adicional foram incluídos na simulação, configurando a composição do *layout* abaixo (Figura 5).

Figura 5: Layout de simulação do processo da ETE Sarandi adaptado com inclusão de afluente adicional.



Fonte: elaboração própria a partir do *software* WEST, 2022.

Com base nesta configuração, as seguintes propostas foram elencadas pela equipe responsável do DMAE para serem testadas nos modelos numéricos e possibilitar a avaliação dos cenários mais adequados ao estudo:

1. Aumentar a vazão de ar fornecida na câmara aeróbia de lodos ativados.
2. Transformar a câmara anaeróbia em câmara aerada parcialmente.
3. Transformar a câmara anaeróbia em câmara aerada totalmente.
4. Transformar a câmara anóxica em câmara aerada parcialmente.
5. Transformar a câmara anóxica em câmara aerada totalmente.
6. Transformar a câmara de sucção da recirculação interna (volume relativamente pequeno) em câmara aerada.
7. Transformar a câmara de sucção da recirculação externa (volume relativamente pequeno) em câmara aerada.
8. Ampliar a capacidade dos decantadores secundários: aumento da área superficial;
9. Ampliar a capacidade dos decantadores secundários: aumento da profundidade;
10. Operação de decantação secundária com auxílio de coagulante: cloreto férrico;
11. Operação de decantação secundária com auxílio de coagulante: sulfato de alumínio.

É importante mencionar que o cenário sem modificações no processo e com recebimento do esgoto adicional (nomeado cenário 0) foi também testado para que fosse compreendida a atual capacidade da ETE Sarandi de tratar a carga extra de esgoto bruto. Os demais cenários foram simulados em ordem de proposição e, de forma geral, sem aplicação cumulativa de propostas, sendo cada uma delas independente de sua anterior – conforme indicado pela equipe do DMAE.

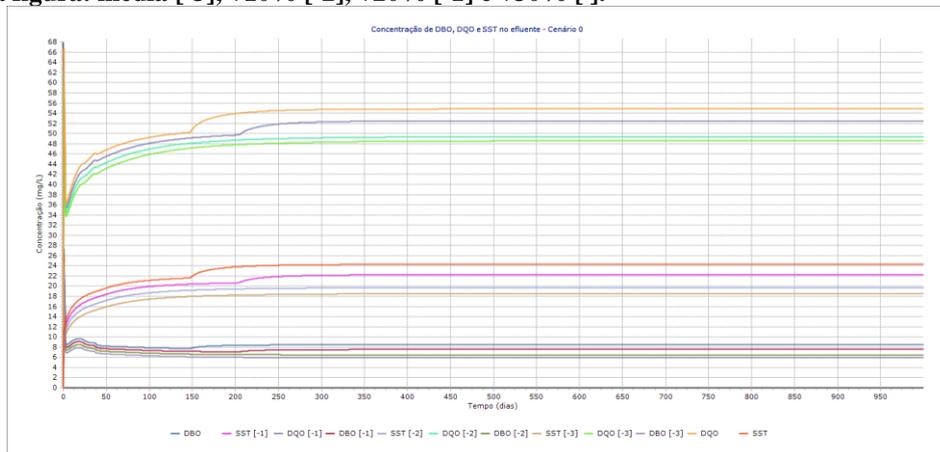
Ao longo do estudo, foi identificado também a impossibilidade de avaliar com precisão através dos modelos numéricos algumas das propostas elencadas, como a variação dos ciclos de aeração intermitente e o aumento da profundidade dos decantadores. Essas e outras limitações identificadas no trabalho devem ser consideradas na análise dos resultados obtidos com o estudo realizado.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Avaliando-se de forma geral as alternativas simuladas, primeiramente é importante pontuar que, pela simulação do cenário 0, o processo sem readequação não apresentou perda significativa da sua eficiência de tratamento. No entanto, ele passou a mostrar indícios de existência de um problema de sobrecarga hidráulica e de sólidos, que pode principalmente ocasionar falhas no processo de decantação. O modelo implementado de decantação apontou uma elevação na altura da manta de lodo, o que pode ser um indicativo de potencial arraste de sólidos em caso de aumento da vazão em períodos de pico. Na Figura 6, isto é ilustrado através dos

“degraus” observados no gráfico. Além disso, levando em consideração que os resultados foram simulados em estado estacionário e que o processo real opera em condições dinâmicas, há grande probabilidade de o limite observado ser excedido mesmo nos cenários em que não houve indicativo gráfico de sobrecarga – tendo em vista a proximidade dos resultados com o limite de carga suportável. Com isso, estas observações são evidências de que há potencial risco de o sistema de decantação ter capacidade insuficiente de tratar o esgoto com carga adicional em um cenário sem alterações no processo avaliado da ETE Sarandi.

Figura 6: Representação da concentração de DBO₅, DQO e SST no efluente tratado com simulação em estado estacionário do cenário 0 em período total. Variação da vazão afluyente indicada conforme a legenda na figura: média [-3], +10% [-2], +20% [-1] e +30% [].



Fonte: elaboração própria a partir dos resultados de simulação obtidos no estudo, 2022.

Na literatura, é enfatizado que o desempenho de um processo de lodos ativados – qualquer que seja sua configuração – está intimamente relacionado à eficiência do sistema de decantação. Se há uma falha nesta operação, todo o sistema é prejudicado, independente do desempenho dos reatores biológicos (VON SPERLING, 2007). Logo, neste estudo, as propostas de readequação que visaram melhorar a decantação, sejam com aumento de área superficial ou com aplicação de dosagem de coagulante químico, se demonstraram mais pertinentes e benéficas ao processo com recebimento de esgoto bruto adicional.

Apesar de não ter sido avaliada no estudo, é colocada em questão também a sedimentabilidade do lodo, a qual é analisada pelos ensaios de Índice Volumétrico do Lodo (IVL). As medidas fornecidas dos ensaios realizados entre 16 de abril e 11 de julho de 2022 pela equipe do DMAE – e que foram utilizados como parâmetro para as simulações do estudo – demonstraram que a qualidade da sedimentação oscila entre perfil razoável e ruim, o que pode influenciar no desempenho da decantação. Com isso, este foi indicado como um ponto de atenção a ser observado na análise para tomada de decisão sobre a estratégia de readequação da ETE Sarandi.

Com estas observações, de forma geral, os cenários de readequação que sugeriam um aumento da aeração e/ou instalação de um sistema de aeração em tanques que não o possuem se demonstraram estratégias que não apresentariam um benefício significativo para o processo. Isso é explicado pelo fato de eles não focarem diretamente na otimização do processo de decantação, sendo então modificações que não atingiriam o objetivo do estudo.

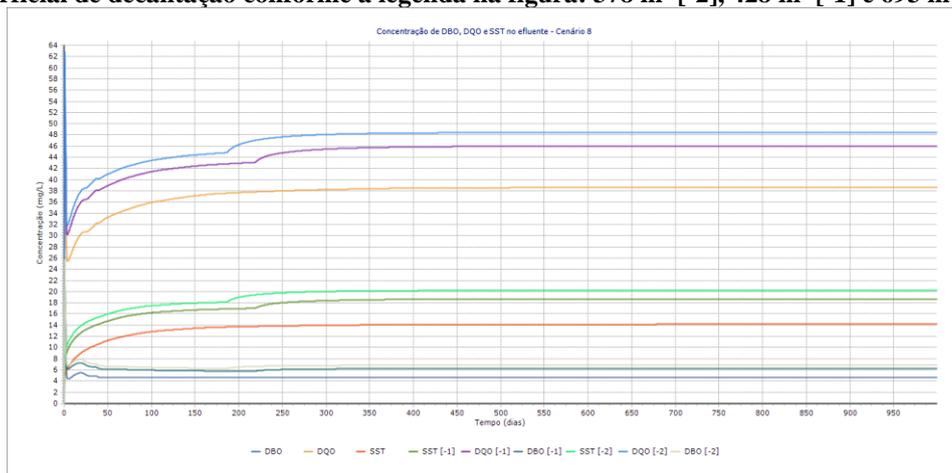
As propostas mais indicadas para o caso estudado seriam aquelas descritas nos cenários 8, 10 e 11 (ver Tabela 3 e Figuras 7 a 9), as quais se mostraram mais favoráveis para a manutenção da qualidade do tratamento, apesar de limitações elencadas em cada um. Em particular, os cenários 10 e 11 foram destacados para serem avaliados com critério, devido à possibilidade de ser afetada a eficiência do tratamento biológico de fósforo, com risco de não ser atingido o requerimento estipulado pela legislação para a concentração média. Nesta situação, um tratamento terciário poderia ser considerado como uma possível solução.

Tabela 3: Valores médios obtidos das concentrações dos componentes no efluente tratado. Resultados comparativos entre cenários 0, 8, 10 e 11, aplicando simulação em estado estacionário em período total e com vazão afluente média.

Concentração no efluente (mg/l)	Cenário 0 (Referência)	Cenário 8	Cenário 10	Cenário 11
DBO	5,9	4,6	6,1	6,2
DQO	49	39	49	50
SST	18,5	14,2	18,0	17,8
TN	8,2	8,0	7,9	7,9
NNH3	0,5	0,5	0,5	0,5
TP	1,4	1,0	1,6	1,5

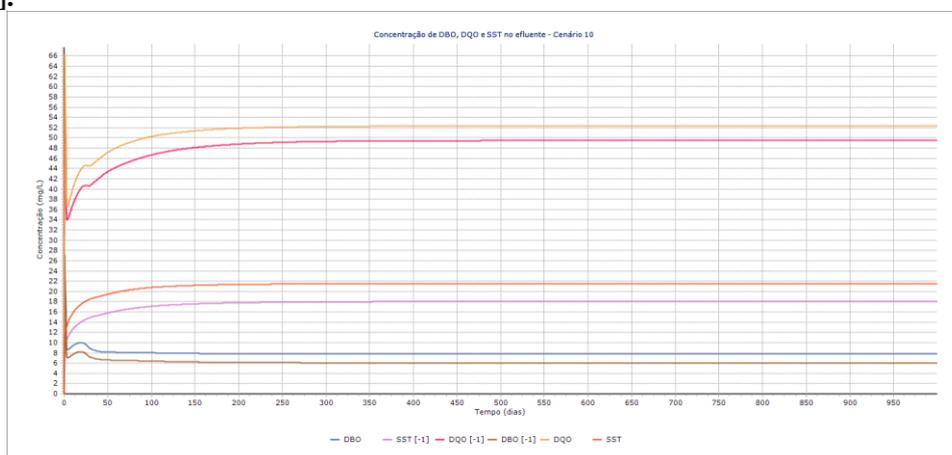
Fonte: elaboração própria a partir dos resultados de simulação obtidos no estudo, 2022.

Figura 7: Representação da concentração de DBO, DQO e SST no efluente tratado com simulação em estado estacionário do cenário 8 em período total e com vazão afluente em pico de 30%. Variação da área superficial de decantação conforme a legenda na figura: 378 m² [-2], 428 m² [-1] e 693 m² [].



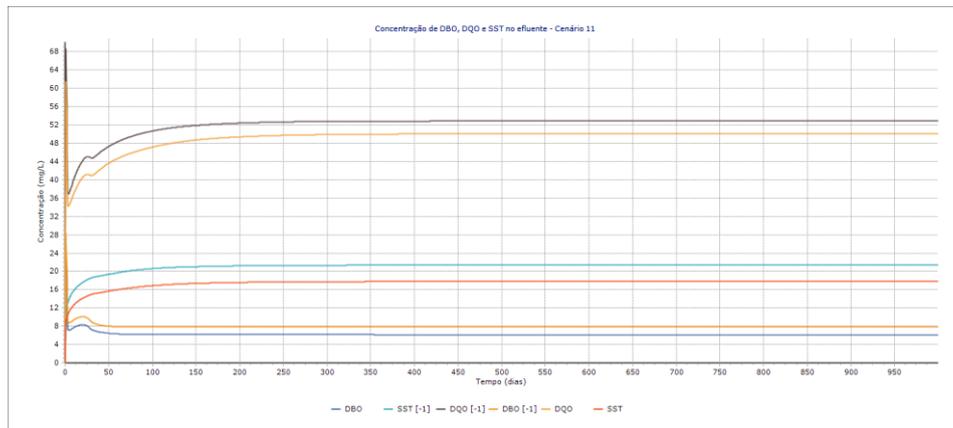
Fonte: elaboração própria a partir dos resultados de simulação obtidos no estudo, 2022.

Figura 8: Representação da concentração de DQO, DBO e SST no efluente tratado com simulação em estado estacionário do cenário 10 em período total e com vazão conforme legenda: em pico de 30% [] e média [-1].



Fonte: elaboração própria a partir dos resultados de simulação obtidos no estudo, 2022.

Figura 9: Representação da concentração de DQO, DBO e SST no efluente tratado com simulação em estado estacionário do cenário 11 em período total e com vazão conforme legenda: em pico de 30% [-1] e média [].



Fonte: elaboração própria a partir dos resultados de simulação obtidos no estudo, 2022.

De fato, estes três cenários se mostraram coerentes com algumas sugestões indicadas pela literatura para solucionar problemas com sobrecarga hidráulica em ETEs, as quais focam no aumento da capacidade de decantação com a construção de novas unidades e na melhoria da sedimentabilidade do lodo.

Contudo, ao longo do desenvolvimento do estudo, algumas possibilidades de ajuste apenas operacional foram sugeridas pela equipe de execução do projeto. Primeiramente, a regulagem do descarte de lodo de acordo com as necessidades de cada período do ano e com as cargas hidráulica e de sólidos é uma proposta aplicável a diversos cenários e que se demonstra efetiva como alternativa complementar às estratégias testadas. Neste caso, é recomendada a adoção de estratégias de controle automatizado de descarte de lodo através, por exemplo, de sensores de SST nos tanques de aeração, possibilitando uma manutenção adequada da idade do lodo no sistema e ao mesmo tempo uma concentração de sólidos num nível satisfatório para o processo. Além disso, é sugerida uma supervisão automatizada do nível da manta de lodo, com o objetivo de manter um maior controle de riscos e prevenir possíveis falhas no sistema de decantação.

Além das sugestões pontuadas anteriormente, também é sugerida a implementação de um tanque de equalização previamente ao tratamento secundário com o objetivo de controlar a vazão de entrada dos reatores biológicos e amortecer possíveis picos no afluente ao longo do tempo com maior segurança. Apesar de não ter sido testada através da simulação numérica, esta estratégia pode apresentar benefícios importantes para o processo, como um melhor desempenho dos decantadores e uma melhoria no tratamento biológico efetuado (METCALF & EDDY, 2013).

Além disso, esta opção se demonstra benéfica para estações que operam em sobrecarga, o que poderia ser considerado o caso futuro da ETE Sarandi. A implementação de um tanque de equalização se mostra então como uma oportunidade de readequação visando uma margem de segurança para a qualidade do processo. Ademais, é uma estratégia que possibilita a prevenção de maior descarte de lodo do sistema, o que teria por consequência um maior custo com o seu tratamento e disposição.

Embora a análise econômica não tenha sido o foco do trabalho realizado, é importante enfatizar a relevância de a equipe do DMAE realizar uma avaliação adicional com relação aos custos envolvidos tanto com aquisição e implementação de novas operações, como com a manutenção desses processos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos, foi possível avaliar diferentes alternativas para o processo de tratamento da ETE Sarandi através do uso da modelagem numérica em um *software* de simulação de processos. O cenário sem modificações indicou que, com o recebimento de uma carga de esgoto bruto adicional, a ETE passaria a apresentar potencial de falha na operação de decantação secundária, com indícios de elevação do nível da

manta de lodo e possível arraste de sólidos. Estas seriam possíveis evidências de uma sobrecarga hidráulica e de sólidos no processo, havendo então necessidade de se priorizar a prevenção deste problema.

Desta forma, dentre as propostas avaliadas e sugeridas, foram elencadas como possíveis soluções para o caso estudado o aumento da área superficial de decantação, a adição de coagulantes químicos para melhoria da sedimentabilidade do lodo, a aplicação de ajustes operacionais no sistema atual e a implementação de um tanque de equalização previamente ao tratamento secundário. Contudo, para uma adequada avaliação e tomada de decisão acerca das propostas, recomenda-se a realização de uma análise de viabilidade econômica para cada cenário elencado como satisfatório, buscando considerar os custos atrelados tanto à aquisição e implementação de novas operações, como à manutenção desses processos.

Ademais, considerando a carência de medidas de alguns parâmetros de caracterização do esgoto bruto e efluente tratado, a não correspondência temporal de determinadas informações para os períodos avaliados e a consequente dificuldade de representar de forma exata no modelo numérico os processos que ocorrem na ETE com suas variações, os resultados das análises do presente estudo devem ser interpretados em termos relativos, e não absolutos, e devem ser considerados como um indicativo das medidas a serem tomadas visando a readequação dos processos da ETE.

De modo geral, a partir do estudo realizado, é possível concluir que a utilização de modelagem numérica e simuladores de processo para análises de readequação de ETEs se demonstra como uma estratégia efetiva para a avaliação de possíveis impactos nos sistemas de tratamento, obtendo resultados de forma ágil e com relevância para a otimização e reestruturação de processos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONSEMA. *Resolução nº 355, de 13 de Julho de 2017*, do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA; "Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul"; Porto Alegre, RS.
2. DHI, 2022. *WEST Documentation*. Disponível em: <https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/WEST.htm>
3. GERNAEY, K. V.; JØRGENSEN, S. B. Benchmarking combined biological phosphorus and nitrogen removal wastewater treatment processes. *Control Engineering Practice*, v. 12, n. 3, p. 357–373, mar. 2004.
4. HENZE, M. et al. *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. Londres: IWA Publishing, 2000. IWA Scientific and Technical Report Series nº 9. 121 p.
5. INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Banco de Dados Meteorológicos do INMET. 2022. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>
6. METCALF & EDDY. *Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos*. 5ª Edição. Porto Alegre: AMGH, 2013.
7. RIEGER, L. et al. *Guidelines for Using Activated Sludge Models*. IWA Task Group on Good Modelling Practice. Londres: IWA Publishing, 2013. 281 p.
8. VAN LOOSDRECHT, M. C. M. et al. Twenty-five years of ASM1: past, present and future of wastewater treatment modelling. *Journal of Hydroinformatics*, v. 17, n. 5, p. 697–718, 1 set. 2015.
9. VON SPERLING, M. *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*. Londres: IWA Publishing, 2007. Volume 5. 322 p.