

PESQUISA

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES HIDROCLIMÁTICAS NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO POR LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO DE ESGOTO

Scaratti D^{*}; Bolzon AL^{**}; Ungericht JC^{***}; Scaratti G^{****}

Resumo

A pesquisa teve como objetivo avaliar a possível mudança de comportamento na eficiência do tratamento de esgoto sanitário a partir das variações hidroclimáticas, como a temperatura, a precipitação pluviométrica e a insolação. Foram avaliados dois sistemas formados por lagoas de estabilização de esgotos (LEEs) localizados no Estado de Santa Catarina, Sul do Brasil, região de clima subtropical no período de março de 2012 a março de 2013. Os dados hidroclimáticos foram comparados com os resultados dos testes laboratoriais de pH, DBO, DQO, $\text{NH}_3\text{-N}$, N-NO_2^- , N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} , ST, SS, coliformes totais e *E. coli*. Os resultados indicam que as condições hidroclimáticas interferem na eficiência de ambos os sistemas, principalmente na estação de inverno, o qual é rigoroso na região, e nos períodos de maior precipitação pluviométrica. Ambas as LEEs apresentavam remoção de matéria orgânica carbonácea abaixo dos parâmetros preconizados pela legislação vigente, no que

^{*} Doutor em Engenharia de Produção; Professor na Universidade do Oeste de Santa Catarina de Videira; Rua Paese, 198, Universitário, 89560, Videira, Santa Catarina, Brasil; dirceu.scaratti@gmail.com

^{**} Graduando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade do Oeste de Santa Catarina de Videira; Bolsista Pibiti/CNPq; andrebolzon@gmail.com

^{***} Mestrando em Ciência e Biotecnologia na Universidade do Oeste de Santa Catarina de Videira; joao.ungericht@gmail.com

^{****} Mestranda em Engenharia Química na Universidade Federal de Santa Catarina; gidiane@gmail.com

se refere à disposição final do efluente. O sistema de Herval d'Oeste obteve uma eficiência de 55,1% na DBO e 23,8% de DQO, enquanto Arroio Trinta obteve uma eficiência de 52,8% para a DBO e 43,5% para a DQO. Os resultados baixos na eficiência de remoção da DBO e da DQO estão associados aos meses de menor insolação e maior precipitação pluviométrica. Os parâmetros de $\text{NH}_3\text{-N}$, P-PO_4^{3-} , ST, SS, coliformes totais e *E.coli* não atenderam à remoção mínima indicada na legislação pertinente. Por sua vez, os parâmetros mínimos de lançamento de N-NO_2^- e N-NO_3^- foram atendidos por ambos os sistemas avaliados.

Palavras-chave: Lagoas de estabilização de esgoto. Efluente. Condições hidroclimáticas. Eficiência.

Influence of hydro-climatic conditions in sewerage treatment by wastewater stabilization ponds

Abstract

*The research aimed to evaluate the possible behavior change in the efficiency of sewerage treatment from hydro-climatic variations, such as temperature, rainfall precipitation and insolation. Two systems formed by wastewater stabilization ponds (WSP) located in the State of Santa Catarina, Southern Brazil, a region of subtropical climate in the period March 2012 to March 2013 were evaluated. The hydro-climatic data were compared with the results of laboratory tests for pH, BOD, COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, N-NO_2^- , N-NO_3^- , P-PO, ST, SS, total coliforms and *E. coli*. The results indicate that the hydro-climatic conditions affect the efficiency of both systems, especially in the winter season, which is rigorous in the region, and in periods of higher rainfall. Both (WSP) had removal of carbonaceous organic matter under parameters established by law, in relation to the final disposal of effluent. The system of Herval d'Oeste achieved an efficiency of 55.1% for BOD and 23.8% for COD, while Arroio Trinta achieved an efficiency of 52.8% for BOD and 43.5% for COD. Results in low removal efficiency of BOD and COD are associated with the months of lowest insolation and higher rainfall precipitation. The parameters of $\text{NH}_3\text{-N}$, P-PO, ST, SS, total coliforms and *E. coli*, did not attend the minimum removal specified in the relevant legislation. In turn, the minimum release parameters of N-NO_2^- , N-NO_3^- were attended by both systems evaluated.*

Keywords: Sewerage stabilization ponds. Wastewater. Hydro-climatic conditions. Efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A água possui características físicas, químicas e biológicas que a definem como adequada ou não para cada tipo de uso. Essas características são modificadas por condições naturais, como o escoamento superficial e a infiltração superficial, resultantes da precipitação e interferências antrópicas e também da disposição inadequada de águas residuárias. Qualquer ação humana terá efeito no meio em que está inserida, pois “[...] a forma em que o homem usa e ocupa o solo tem uma implicação direta na qualidade da água.”¹

O tratamento de águas residuais, como os esgotos domésticos, está em pauta atualmente, principalmente quando se trata de um país com enorme extensão territorial e desigualdades sociais

e econômicas acentuadas como o Brasil. O país tinha apenas 53,4% de sua população residente em domicílios conectados a uma rede de esgotos; do esgoto coletado, somente 48,4% é tratado.² Em relação aos sistemas de esgotamento sanitário, quando comparados os índices de 2012 em relação a 2011, houve um acréscimo de esgoto coletado de 423,1 milhões (8,9%) e tratado de 335,3 milhões de metros cúbicos (10,5%).

Os sistemas de tratamento biológico por lagoas de estabilização de esgoto (LEEs) utilizados na região Sul do Brasil, objeto de estudo nesta pesquisa, possuem além das vantagens de eficiência na remoção de DBO e patogênicos, técnicas econômicas de construção, implantação, operação e manutenção simples e baixíssimo consumo de energia elétrica, a vantagem diferencial da grande disponibilidade de áreas de terra para a sua instalação. Entretanto, salienta-se que o desempenho de eficiência das LEEs fica vulnerável às variações das condições climáticas, principalmente de temperatura e insolação, comuns nessa região.

Considerando a importância do tema, fez-se um estudo sobre o sistema de tratamento de esgotos implantados nos Municípios de Arroio Trinta e Herval d'Oeste, ambos localizados na região Meio-Oeste do Estado de Santa Catarina. Tal estudo teve como objetivo avaliar a interferência externa na eficiência das lagoas de estabilização, tomando fatores como a temperatura, o índice pluviométrico e a insolação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As lagoas de estabilização de esgotos foram descobertas acidentalmente em 1901 após a construção de uma lagoa de armazenamento de esgotos em San Antônio, Texas, EUA (lago Mitchel), na qual se verificou que os efluentes possuíam melhor qualidade que os afluentes.³ Em 1924, na cidade de Santa Rosa, Califórnia, para evitar o custo de uma estação de tratamento de esgotos, lançaram-se esgotos sobre o leito natural de pedras, imaginando-se que este funcionaria como um filtro natural. No entanto, o esgoto bruto provocou a colmatação do leito de pedra formando uma lagoa de 90 cm de profundidade, sem apresentar odores desagradáveis.⁴ Dessa forma, constatou-se a capacidade dos lagos artificiais no processo de tratamento dos esgotos.

A estabilização é a decomposição bioquímica de moléculas orgânicas pela ação de micro-organismos, principalmente bactérias.⁵

Aisse⁶ cita ainda alguns padrões normativos aplicáveis para a melhor eficiência, como a forma das lagoas, as profundidades, áreas, diques e fundo, as quais podem ser adequadas conforme as necessidades e peculiaridades do local e do efluente. Os dispositivos de entrada e de saída devem ficar em local acessível para a busca de dados e a verificação de mudanças repentinas.

Andrade Neto⁵ afirma que as LEEs não propiciam sobrevivência para agentes patogênicos em razão dos níveis de oxigênio dissolvido, pH, radiação solar, competição entre os micro-organismos e sedimentação. Essa análise é de suma importância, pois a ausência de patógenos é um dos itens primordiais para a qualidade do efluente tratado.

Para Curtis, Lindner e Kobiyama⁷ a penetração de raios luminosos é essencial não apenas para a eliminação de agentes patogênicos em lagoas facultativas e de maturação como também para aumentar a produtividade dos micro-organismos fotossintéticos. A taxa de qualquer reação química aumenta com a elevação da temperatura, desde que esta elevada temperatura não produza alterações nos reagentes ou no catalisador.¹

Entre os fatores ambientais que influenciam no processo anaeróbio, do sistema de LEEs, e utilizado na interpretação das análises laboratoriais, destacam-se:

- a) pH (Potencial Hidrogeniônico): interfere na atividade enzimática e na estrutura molecular dos micro-organismos, altera o equilíbrio químico de certos compostos aumentando ou diminuindo sua toxicidade. Segundo Lema,⁸ o pH ótimo para as bactérias metanogênicas se situa próximo da neutralidade (6,5 a 8,2), as produtoras de ácidos têm um crescimento ótimo na faixa de pH entre 5 e 6;
- b) Temperatura: interfere diretamente no desempenho da atividade dos micro-organismos anaeróbios, em especial para o grupo metanogênico, o qual apresenta atividade metabólica aumentada em temperaturas maiores que 60 °C e diminuída em temperaturas maiores que 70 °C. Duas faixas de temperaturas ótimas são verificadas para o processo anaeróbio, uma na faixa mesófila (cerca de 35 °C) e outra na faixa termófila (55 °C a 60 °C).⁹ Lema⁸ cita que em temperaturas abaixo de 20 °C o processo de digestão pode ser limitado pela velocidade da etapa hidrolítica;
- c) Insolação: interfere na fotossíntese, a qual transforma o carbono de um estado oxidado (CO_2 ou HCO_3^-) para um estado reduzido (CH_2O) de alta energia. Em decorrência de o trabalho ser realizado nos átomos de carbono, a fotossíntese demanda energia, a qual é proporcionada pela luz visível. Para cada grama de carbono assimilado, a planta ganha 39kJ de energia, porém, em decorrência da ineficiência dos muitos passos bioquímicos da fotossíntese, não mais do que um terço da energia da luz absorvida pelos pigmentos fotossintéticos eventualmente aparece nas moléculas de carboidrato.¹⁰

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÕES DAS LAGOAS MONITORAS

Os sistemas utilizados na pesquisa são a estação de tratamento de esgotos (ETE) dos Municípios de Arroio Trinta e Herval d'Oeste, ambos localizados na região Meio-Oeste de Santa Catarina.

3.1.1 Lagoas de estabilização de Arroio Trinta

A ETE é operada pela Prefeitura Municipal por meio da Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente e entrou em operação em 2003. É composta por três lagoas em série, denominadas lagoa anaeróbia, seguida de uma lagoa facultativa e outra de maturação. Os projetos foram desenvolvidos para atender à demanda populacional de 2.300 habitantes com vazão máxima de 461 m³/dia. Durante o período do estudo o sistema atendia, aproximadamente, a 2.100 pessoas, 90% da população urbana.

As dimensões obtidas a partir da medição *in loco*, por meio de utilização de estação total são:

- a) lagoa anaeróbia: área superficial de 746,49 m²; profundidade total de 2,54 m;
- b) lagoa facultativa: área superficial de 870,81 m²; profundidade total de 2,12 m;
- c) lagoa de maturação: área superficial de 1.137,28 m²; profundidade total de 1,94 m.

3.1.2 Lagoas de estabilização de Herval d'Oeste

A ETE de Herval d'Oeste, SC é operada pela Autarquia do Serviço Intermunicipal de Água e Esgoto (Simae) e atende à população de Joaçaba e Herval d'Oeste e entrou em operação em 1992.

A ETE é composta por três lagoas em série, sendo a primeira denominada lagoa anaeróbia, seguida de uma lagoa facultativa e de uma lagoa de maturação em sequência. Eram atendidas no período da pesquisa, aproximadamente, 22.000 pessoas.

As dimensões obtidas a partir da medição *in loco*, por meio de utilização de estação total e batimetria, são:

- a) lagoa anaeróbia: área superficial de 8.520,84 m²; profundidade média de 2,43 m;
- b) lagoa facultativa: área superficial de 6.051,85 m²; profundidade média de 2,19 m;
- c) lagoa de maturação: área superficial de 4.907,44 m²; profundidade média de 1,73 m.

3.2 AMOSTRAGEM E PERIODICIDADE

Para a realização das análises citadas a seguir, foram feitas campanhas mensais (exceto abril/2012 e janeiro/2013), que consistem em coletas periódicas do afluente e efluente da estação, em um total de quatro pontos: ponto 1 (afluente – esgoto bruto); ponto 2 (efluente da lagoa anaeróbia); ponto 3 (efluente da lagoa facultativa); ponto 4 (efluente da lagoa de maturação = efluente final); dos meses de março de 2012 a março de 2013.

Os dados hidrometeorológicos foram obtidos com o Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram), pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri). Para o estudo do sistema de LEEs de Herval d'Oeste, optou-se por utilizar os dados de temperatura e precipitação pluviométrica da estação meteorológica do próprio Simae.

3.3 MONITORAMENTOS AMBIENTAIS

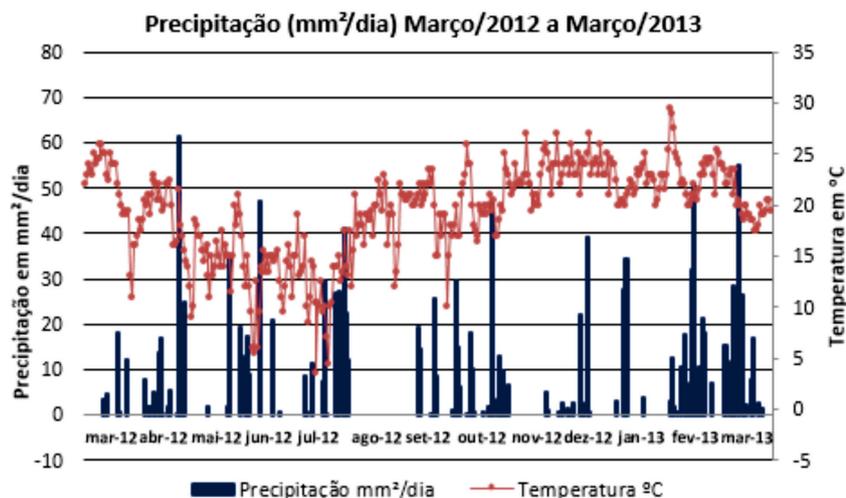
Os dados hidrometeorológicos coletados para avaliar os resultados das análises laboratoriais foram temperatura (°C), pluviosidade (mm²/dia) e insolação (h/sol/dia).

As análises físico-químicas e microbiológicas, sob as orientações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*¹¹ foram as seguintes: potencial hidrogeniônico (pH), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio amoniacal (NH₃-N), Nitrito (N-NO₂⁻), Nitrato (N-NO₃⁻), ortofosfato reativo (P-PO₄³⁻), sólidos totais (ST), sólidos em suspensão (SS), coliformes totais (CT) e Escherichia coli (E. coli). Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Experimentação e Microbiologia Ambiental (LEMA) da Unoesc de Videira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

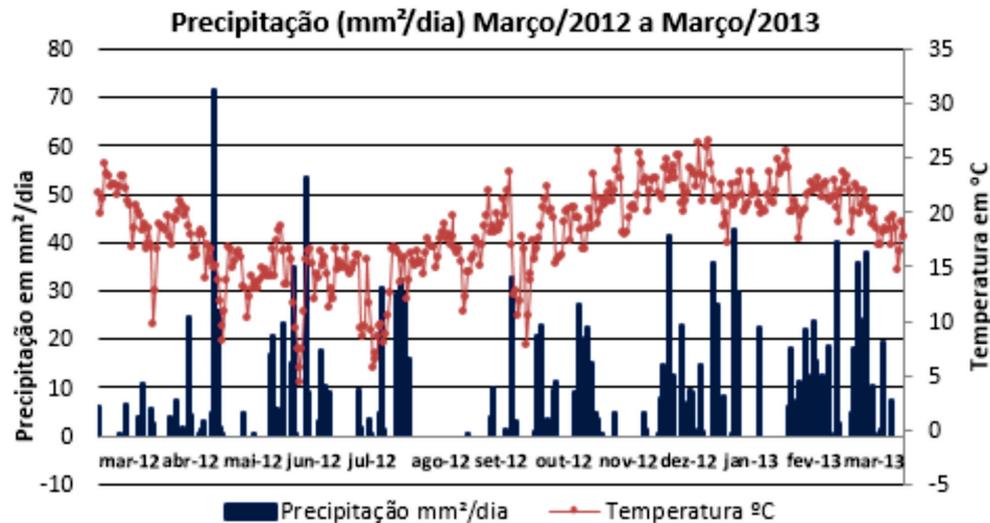
As análises laboratoriais e a coleta de dados hidrometeorológicos iniciaram no mês de março de 2012 e encerraram em março de 2013. O período de análise permite avaliar o ciclo completo, ou seja, todas as estações do ano. Os Gráficos 1 e 2 ilustram a precipitação pluviométrica em mm²/dia e as respectivas temperaturas médias diárias para ambas as unidades de estudo: LEE de Herval d'Oeste (HO) e LEE de Arroio Trinta (AT).

Gráfico 1 – Resultado da precipitação pluviométrica e temperatura no sistema de LEE de HO



Fonte: C. B. (SIMAE).¹²

Gráfico 2 – Resultado da precipitação pluviométrica e temperatura no sistema de LEE de AT

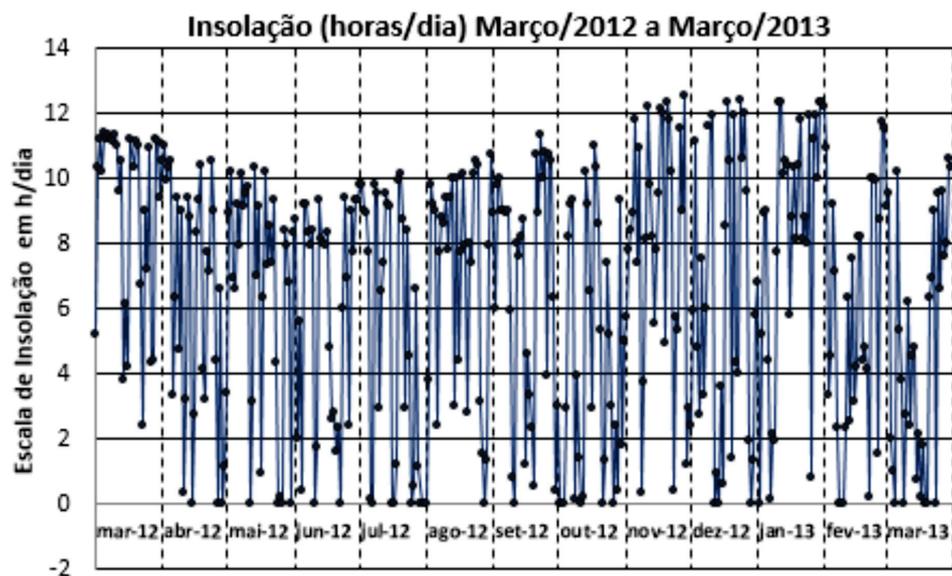


Fonte: Epagri Ciram.¹³

Observa-se que em razão da localização próxima, o comportamento da precipitação pluviométrica e da temperatura em ambas as unidades de LEE é idêntico. Os períodos com menores índices pluviométricos são agosto e novembro de 2012, e os maiores os meses de abril e junho de 2012. As temperaturas são menores em junho e julho de 2012 e as maiores nos meses de dezembro de 2012 a fevereiro de 2013.

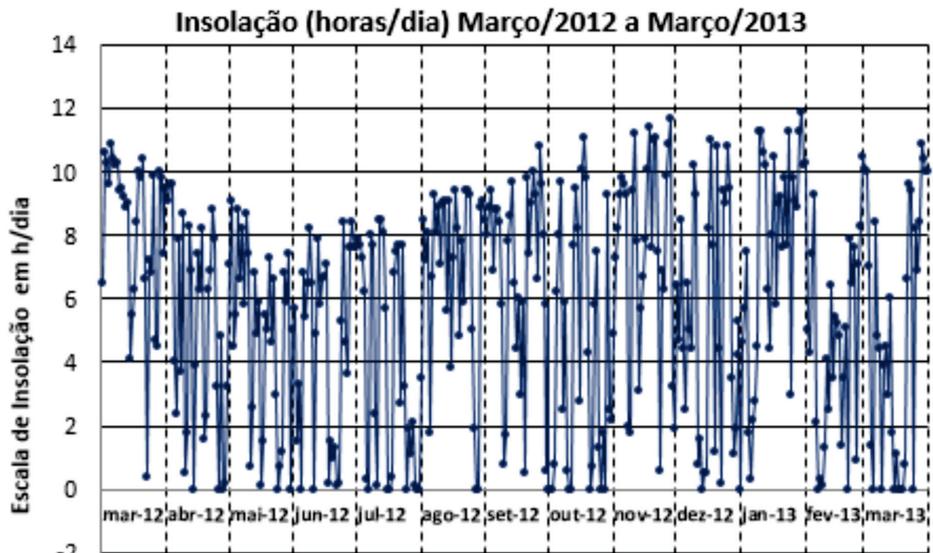
O comportamento da insolação medido em horas/dia para o período está representado nos Gráficos 3 e 4, respectivamente.

Gráfico 3 – Resultado da incidência solar no sistema de LEE de HO



Fonte: Epagri Ciram.¹³

Gráfico 4 – Resultado da incidência solar no sistema de LEE de AT



Fonte: Epagri Ciram.¹⁵

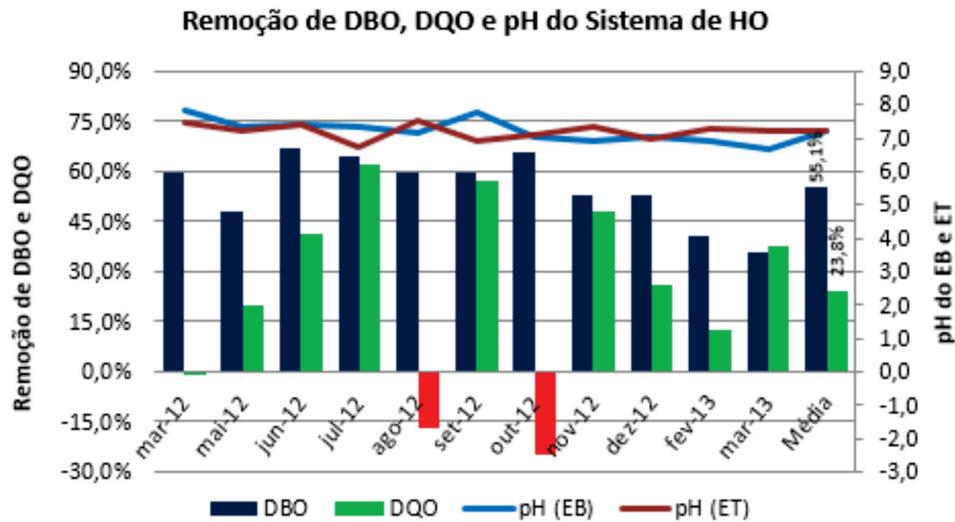
Percebe-se nos Gráficos 3 e 4 que os resultados do comportamento também são similares nas duas unidades de LEE, como na precipitação pluviométrica. Observa-se claramente a distinção de incidência solar nas estações do ano; no inverno temos as menores e na primavera e verão as maiores. Entretanto, os meses em que houve menor precipitação pluviométrica houve maior incidência solar, como ocorreu nos meses de agosto e novembro de 2012, por exemplo.

A DBO foi medida pelo método de espera de 5 dias a 20 °C. Essa medida serve para calcular a fração biodegradável dos componentes orgânicos presentes no efluente. A média no período desta pesquisa ficou em 334,2 mg.L⁻¹ para o esgoto bruto (EB), no sistema de LEE de HO, e 522,7 mg.L⁻¹ para as LEEs de AT. Os valores encontram-se acima do indicado por Von Sperling¹, em que os esgotos domésticos usualmente apresentam uma DBO de aproximadamente 300 mg/L, o que significa que 1 litro de esgoto consome aproximadamente 300 mg de oxigênio, em cinco dias, para estabilizar a matéria orgânica carbonácea.

Por sua vez, o teste da DQO mede o consumo de oxigênio ocorrido em razão da oxidação química da matéria orgânica presente no efluente – uma indicação indireta do teor de matéria orgânica e ficou em torno de 419,1 mg.L⁻¹ para HO e 697,7 mg.L⁻¹ para AT.

Os Gráficos 5 e 6 ilustram os resultados do período (exceto abril de 2012 e janeiro de 2013) para a remoção da DBO e da DQO do esgoto bruto (EB) *versus* esgoto tratado (ET) do sistema de LEE de HO e AT e o pH em ambas as amostras (EB e ET), respectivamente.

Gráfico 5 – Resultado da remoção de DBO, DQO do EB versus ET e pH de HO



Fonte: os autores.

Observa-se que a remoção da DBO das LEEs do sistema de HO obteve os melhores resultados (superior a 60%) em junho, julho e outubro e os piores em fevereiro e março de 2013. Por conseguinte, a média de remoção do período ficou em 55,1%, abaixo de 60% e 120 mg.L⁻¹ definidos pela Resolução Conama, n. 430/2011.¹⁴

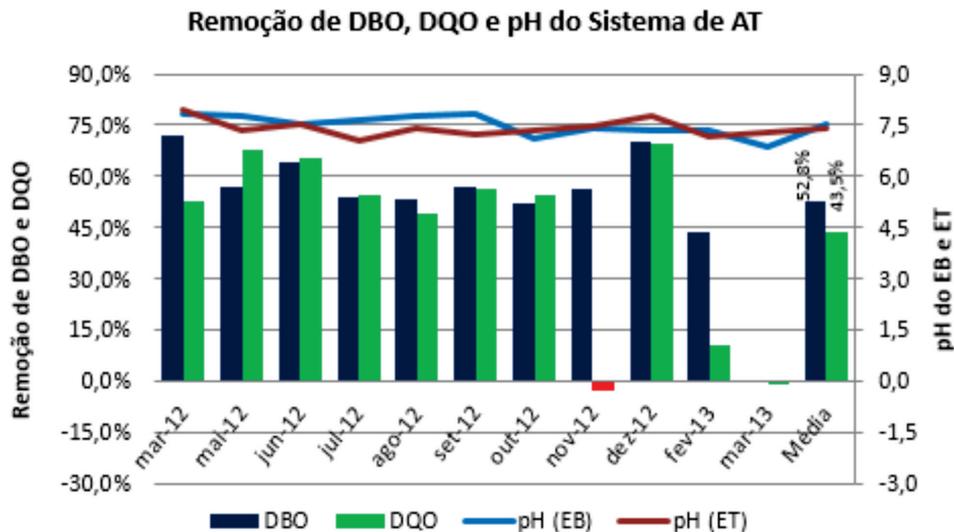
Considerando-se que os níveis de pH estavam em faixas ótimas (6,5 a 8,2%), pressupõe-se que a baixa eficiência no sistema pode ser derivada do excesso de acúmulo de lodo na lagoa anaeróbia, a qual não recebeu limpeza desde 1992, início de sua operação. Não obstante, a remoção de apenas 23,8% de DQO no período é decorrente de resultados negativos nos meses de agosto e outubro, a qual pode ser atribuída às precipitações pluviométricas elevadas ocorridas no final de julho e início de outubro, às baixas temperaturas no mês de julho e à baixa insolação em setembro e julho.

Por sua vez, o sistema de AT também operou em faixas ótimas de pH (6,5 a 8,2%) e apresentou uma melhor conformidade na remoção de DBO em todos os meses avaliados em 2012, ficando um pouco mais baixa no período do inverno (julho e agosto) ocorrendo uma baixa considerável em março de 2013, provavelmente por conta dos altos índices pluviométricos ocorridos em fevereiro e março de 2013. Apenas os meses de março, junho e dezembro de 2012 obtiveram remoção acima de 60%.

A remoção de DQO ocorreu razoavelmente em paralelo com a remoção de DBO, exceto o mês de novembro que apresentou um resultado negativo de 2,4%, associado ao alto índice pluviométrico ocorrido no final de outubro e início do próximo mês. O pior mês da série foi março de 2013, com a baixa remoção de DBO.

Ambos os comportamentos de remoção de DBO e DQO baixos interferiram na remoção de apenas 52,8% e 43,5%, respectivamente.

Gráfico 6 – Resultado da remoção de DBO, DQO do EB versus ET e pH de AT



Fonte: os autores.

Outros fatores podem ser citados com influência na baixa remoção de ambos os sistemas avaliados como o formato em curva das LEEs HO e a localização com alta incidência de sombra das LEEs de AT e nas suas medidas de profundidade e de superfície fora de padrão em ambas as unidades, prejudicando diretamente na oxidação dos compostos e promovendo a baixa remoção registrada no período analítico.

Portanto, os dois sistemas avaliados ficam aquém do mínimo de 60% de remoção com concentração de no máximo 120 mg/L, ou 80% de remoção total.¹⁴ ou concentração máxima de 150 mg/L.¹⁵

Para esgotos domésticos brutos, a relação DQO/DBO₅ varia em torno de 1,7 a 2,4 e deve aumentar à medida que o esgoto bruto avança pelas unidades de tratamento, podendo chegar a valores superiores a 3,0, quando o tratamento biológico for bem-sucedido.¹⁶ A tendência da relação é de aumentar em razão da redução gradativa da fração biodegradável, enquanto a fração inerte permanece aproximadamente inalterada.

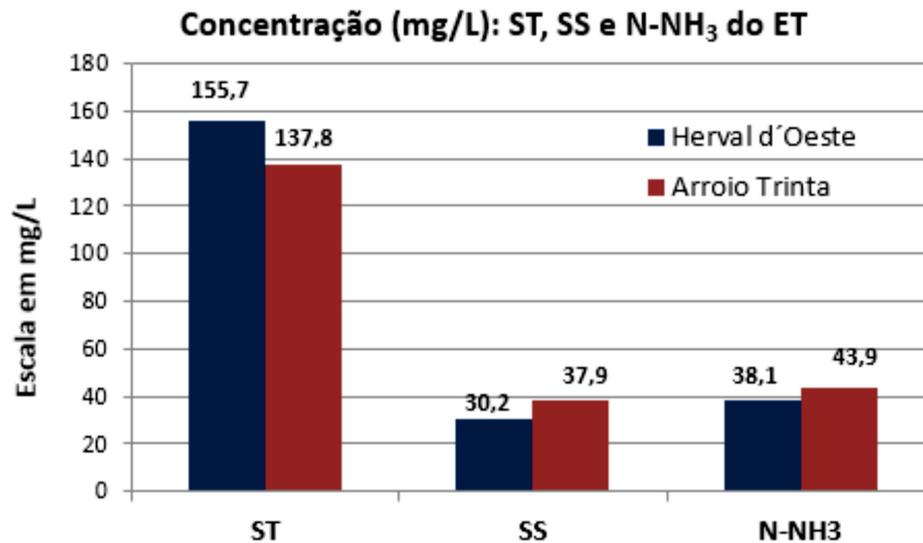
A relação DQO/DBO do EB de HO foi de 1,25 e de AT 1,34, ambas abaixo do esperado, o que pode ser atribuído à baixa carga orgânica dos sistemas. As causas dessas relações de DQO/DBO baixas podem ser as dimensões superdimensionadas nas referidas LEEs e as condições hidroclimáticas de precipitações elevadas (HO: 107,34 mm²/mês; AT: 119,71 mm²/mês), baixas temperaturas (HO: 19,34 °C/dia; AT: 18,10 °C/dia) e pouca incidência da insolação (HO: 6,44h/dia; AT: 5,75h/dia).

Um dos indícios da ineficiência dos sistemas de HO e AT refere-se à baixa relação DQO/DBO₅ verificada nos efluentes dos dois sistemas LEE. Em HO essa relação foi de 1,88 e AT de 1,48, indicando a existência de material orgânico biodegradável passível de tratamento nos efluentes finais.

Os níveis de concentração de ST, SS, N-NH₃, P-PO₄³⁻, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻, Coli Total e E. coli apresentaram resultados variados entre os sistemas de LEE. Os Gráficos 7, 8 e 9 ilustram os respectivos resultados no efluente tratado. A redução de ST e SS foram significativas em ambos os sistemas. Em

HO houve uma redução de 28,9% e 58,8% para ST e SS, respectivamente, e AT 61,6% e 69%, ambas superiores ao mínimo de 20%,¹⁴ porém, bem inferiores aos valores de até 95% passíveis de serem atingidos no tratamento final realizado pela lagoa de maturação.¹⁷ O N-NH₃ também ficou aquém dos níveis mínimos para os efluentes domésticos de no máximo 20 mg/L.¹⁴

Gráfico 7 – Resultados da concentração de ST, SS e N-NH₃ no ET



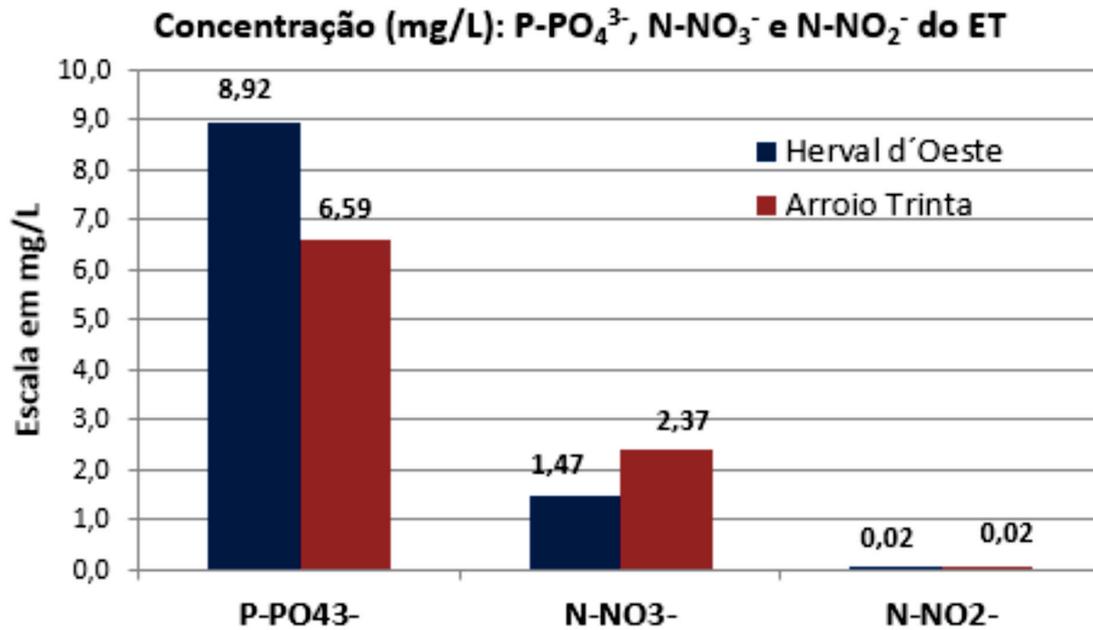
Fonte: os autores.

Para os níveis de N-NO₃⁻ e N-NO₂⁻, ilustrados no Gráfico 8, a Resolução Conama n. 357/2005¹⁸ estabelece como concentração mínima 10 mg/L e 1,0 mg/L, respectivamente, demonstrando que a eficiência de ambos os sistemas (HO: 1,47 e 0,02; AT: 2,37 e 0,02) atende à referida Resolução.

O fósforo está presente nos esgotos domésticos em três formas principais: ortofosfatos, polifosfatos (polímeros e ácido fosfórico) ou fosfatos condensados, e constituindo compostos orgânicos (fosfoproteínas insolúveis, ácidos nucleicos e polissacarídeos). O fósforo inorgânico contempla aproximadamente 70% do fósforo total dos esgotos sendo oriundo principalmente dos detergentes. Segundo Von Sperling,¹⁹ a concentração do P orgânico (fosfoproteínas, fosfolipídios, ácidos nucleicos, carboidratos) nos esgotos domésticos é de 4,0 mg/L e de P inorgânico (ortofosfatos + polifosfatos) de 10,0 mg/L.

Para o P-PO₄³⁻, ocorreu uma variação negativa de 15,2% no sistema de HO, passou 7,74 mg/L do EB para 8,92 mg/L no efluente, provavelmente em razão da diluição do EB, provocada principalmente pelos altos índices de precipitação pluviométrica no período. Por sua vez, o sistema de AT promoveu uma remoção de 56,1%, dentro dos limites indicados por Von Sperling,²⁰ a qual pode variar de 55 a 70%. Considerando-se o que determina a Legislação do Estado de Santa Catarina (Lei n. 14675),²¹ o limite de fósforo total para lançamentos é de 4,0 mg/L e remoção mínima de 75%.

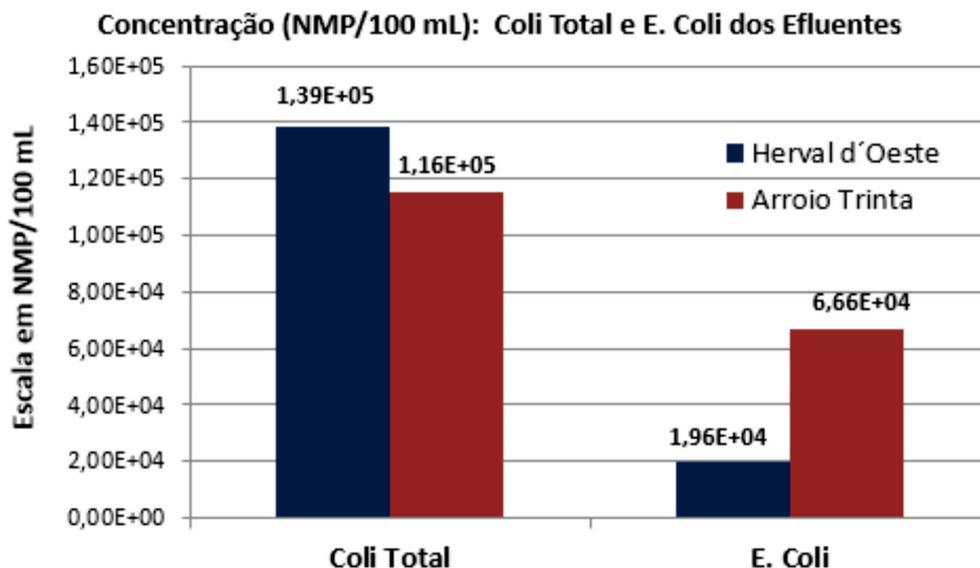
Gráfico 8 – Resultados da concentração de $P-PO_4^{3-}$, $N-NO_3^-$, $N-NO_2^-$ no ET



Fonte: os autores.

No Brasil, em decorrência das variações hidrometeorológicas, típicas de cada região, o tratamento de esgoto doméstico por LEE varia muito, podendo atingir concentrações inferiores a 1000NMP/100 mL de *E. coli*,^{22,23} bem inferiores às verificadas no sistema estudado, ou ter como limites 10+03 a 10+05, desde que atenda às remoções mínimas de 99% e 95%, respectivamente, admitidas na região Sul do Brasil, em razão das condições hidroclimáticas.¹⁵ O sistema de HO removeu no tratamento 91,86% de Coli Total e 98,81% de *E. Coli*, e AT removeu 92,90% de Coli Total e 93,68% de *E. coli*.

Gráfico 9 – Resultado NMP/100 mL de Coli Total e *E. coli* no ET



Fonte: os autores.

5 CONCLUSÃO

Os resultados da pesquisa permitem concluir que as condições hidroclimáticas interferem diretamente na eficiência dos sistemas naturais de tratamento por LEEs.

A região do estudo possui clima subtropical e, no entanto, essa condição dificulta manter a eficiência dos micro-organismos nos sistemas, principalmente pelas baixas temperaturas registradas principalmente na estação de inverno e, especificamente, no período do estudo no final do outono (abril) e no início da primavera (final de setembro).

Ademais, as instalações das LEEs não atendiam aos parâmetros de projeto para esse tipo de tratamento, principalmente nas medidas de profundidade e área superfície (HO e AT), além de formato em curva no sistema de HO. Verificou-se, em monitoramento paralelo de vazões de entrada, que apesar de a infraestrutura de ambos os sistemas de coleta ser em rede separada da drenagem pluvial, recebia grandes quantidades de água de chuva, provocadas por descarga das coberturas dos imóveis com ligação, o que provocou diversos desequilíbrios da eficiência nos sistemas.

Não obstante as diversidades indicadas anteriormente, nos períodos em que houve maior incidência de chuva (final de julho e outubro, fevereiro e março de 2013) a remoção de matéria orgânica foi menor, por causa da diluição do oxigênio e da matéria orgânica. Por sua vez, com temperaturas elevadas, como se pode observar no mês de dezembro em AT, a remoção mostrou-se maior, comprovando que o metabolismo dos micro-organismos acelera em razão da temperatura ambiente. Entretanto, no sistema de HO, a remoção sofreu variações abruptas em alguns períodos, o que pode ser atribuído a índices elevados de precipitação pluviométrica, ao tempo de retenção hidráulica por conta de suas dimensões e principalmente pelas obras de dragagem e retirada do lodo.

Diante do exposto, propõe-se que o sistema de Herval d'Oeste seja monitorado nas mesmas condições deste estudo pelo menos por mais um ano, haja vista, o pré-tratamento ter tido seu *start-up* em 17 de janeiro de 2013, a retirada do lodo das LEEs ter sido encerrada em 27 de fevereiro de 2013 e a aplicação de micro-organismos visando equilibrar o sistema ter ocorrido em 18 de março de 2013.

Futuramente, o sistema de Arroio Trinta pode ser avaliado novamente, entretanto, nesse próximo período, propõe-se que o Município defina responsabilidades para fazer a gestão do sistema de tratamento, haja vista ele estar por conta do Município, sem cobrança de tarifa aos usuários e sem orçamento específico para fazer as melhorias necessárias e a respectiva operação técnica adequada.

REFERÊNCIAS

1. Von Sperling M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

2. Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Brasília, DF; 2014.
3. Silva SA, Mara, DD. Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização. Rio de Janeiro:ABES; 1979.
4. Kellner E, Pires EC. Lagoas de estabilização: projeto e operação. Rio de Janeiro: ABES; 1998.
5. Andrade Neto, C. Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES; 1997.
6. Aisse, MM. Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES; 2000.
7. Curtis K, Lindner EA, Kobiyama M. The Effect of Sunlight on Faecal Coliforms in Ponds: Implication for Research and Design. *Water Science Technology*. 1994;26:7-8.
8. Lema JM. Curso de digestão anaeróbia aplicada a resíduos sólidos e líquidos. In: Santana FB. Tratamento anaeróbio de águas residuárias da indústria de curtume. Monografia [Especialização em Engenharia Química] – Universidade Federal de Santa Catarina; 1997.
9. Malina JF, Pohland FG. Design of anaerobic processes for treatment of industrial and municipal wastes. Pennsylvania:Technomic Publishing Company; 1992.
10. Ricklefs RE. A economia da natureza. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1996.
11. American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. ed. Baltimore: APHA-AWWA-WEF; 2005.
12. Simae. Joaçaba, Herval d'Oeste e Luzerna. Relatório de monitoramento do índice pluviométrico e da temperatura dos anos de 2012 e 2013. Joaçaba; 2013.
13. Epagri. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram). Relatório de monitoramento das estações hidrometeorológicas de Videira, Joaçaba e Campos Novos no período de março/2012 a março de 2013. Florianópolis; 2013.
14. Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União 16 maio 2011.
15. Rio Grande do Sul. Secretaria do Meio Ambiente. Resolução nº 128, de 24 de novembro de 2006. Dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul 07 dez. 2006.
16. Von Sperling M. Lagoas de estabilização. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 1996.

17. Fonseca PW. Avaliação do desempenho e caracterização de parâmetros em lagoas facultativa e de maturação. Dissertação [Mestrado em Ciências em Engenharia Civil] – Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2005.
18. Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União 18 mar. 2005.
19. Von Sperling M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 1995.
20. Von Sperling M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Lagoas de Estabilização. 2. Ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2002.
21. Santa Catarina. Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009. Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina [lei na internet]. Diário de Justiça Eletrônico 13 abr. 2009 [acesso em 10 mar. 2014] Disponível em: http://www.alesc.sc.gov.br/portal_alesc/legislacao.
22. Silva N, Cantúcio Neto R, Junqueira VCA, Silveira NFA. Manual de Métodos de Análise Microbiológica da Água. São Paulo: Varela, 2005.
23. Bento AP. Tratamento de esgoto doméstico em lagoas de estabilização com suportes para o desenvolvimento de perifiton: biofilme. Tese [Doutorado em Engenharia Ambiental] – Universidade Federal de Santa Catarina; 2005.

Agradecimento

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica CNPq/PIBIC pela bolsa de Iniciação Científica ao aluno de Engenharia Sanitária e Ambiental da Unoesc de Videira, André Luiz Bolzon.

Recebido em 21 de julho de 2014
Aceito em 09 de novembro de 2014

