

# ESTUDO DE AUTODEPURAÇÃO HÍDRICA DO LAJEADO PASSO DOS ÍNDIOS E SANGA BELA VISTA, CHAPECÓ - SC

Acadêmico: Tiago Mário Cichowicz

Professora orientadora: Manuela Gazzoni dos Passos

MBA em Gestão Ambiental

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar a autodepuração dos efluentes oriundos do lançamento de estações de tratamento de efluentes, no Lajeado Passo dos Índios e na Sanga Bela Vista, de dois empreendimentos localizados no município de Chapecó-SC. O estudo foi realizado em período de estiagem, cenário ideal para investigar o processo. Para o estudo da autodepuração do Lajeado e da Sanga, foi utilizado o modelo matemático Streeter & Phelps, analisando os parâmetros de oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica que oxigênio (DBO). A Sanga Bela Vista apresentou uma ótima capacidade de autorregenerar-se, atendendo às determinações da Resolução CONAMA N° 357/2011 para Rios Classe II, enquanto na simulação no Lajeado Passo dos Índios não houve perturbação de sua qualidade atual com o lançamento do efluente tratado, devido este ser, um corpo hídrico poluído.

**Palavras-chaves:** Autodepuração; Qualidade da água; Modelo Streeter & Phelps.

## ABSTRACT

The purpose of the studies is to analyze the self-purification of effluents from the release of effluent treatment stations, in stream of Passo dos Índios and stream of Bela Vista, of two projects located in Chapecó-SC. The study was made in a dry period with an ideal scenario to investigate the process. For the study of self-purification of streams, the Streeter-Phelps mathematical model was used, analyzing the parameters of dissolved oxygen (DO) and biochemical demand than oxygen (BOD). The Bela Vista's stream showed an excellent capacity to self-regenerate, in compliance with the provisions of CONAMA Resolution No. 357/2011 for Class II Rivers, while in the simulation in stream of Passo dos Índios there was no disturbance of its current quality with the release of the treated effluent, due to this being, a polluted water body.

**Keywords:** Self-purification; water quality; Streeter & Phelps model.

## INTRODUÇÃO

A exploração humana no meio ambiente ao longo do tempo, sem nenhum cuidado com os impactos ambientais provocados, apresentou muitos danos e com isso houve a necessidade de uma ação que tivesse a intenção de assegurar um meio ambiente sustentável. Exemplos de ações humanas sobre o meio ambiente onde houve degradação e efeito, podemos citar a contaminação e assoreamento dos corpos hídricos, enchentes trazendo estragos tanto no interior como nos centros urbanos.

A elevada poluição de uma forma geral no meio ambiente resulta na carência de água com qualidade, sendo esse um problema que a sociedade já está enfrentando, no entanto, a atenção não é somente em função da qualidade mas também da quantidade para a utilização. O crescimento das cidades nos últimos tempos, tem sido responsável pelo aumento da pressão das atividades antrópicas nos mananciais hídricos, intensificando a poluição e assim, reduzindo a qualidade da água e deste modo rebaixando a classe do curso d'água. Com a contaminação da água de diversas formas, há maiores gastos e dificuldades no tratamento para torná-la potável para o consumo humano.

O lançamento de despejos urbanos em corpos d'água, além de ter aspecto visual desagradável e de emitir gases que apresentam mau cheiro, resulta na contaminação de animais e/ou seres humanos pelo contato e consumo desta água. Outro ponto que se faz necessário ressaltar é a redução de oxigênio dissolvido no meio, comprometendo a sobrevivência dos seres de vida aquática. Os cursos d'água apresentam capacidade de restaurar-se, conforme a vazão e concentração dos poluentes, essa habilidade de acordo com Von Sperling (1996), pode ser entendida como um fenômeno de sucessão ecológica, em que o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, ou seja, a busca pelo estágio inicial encontrado antes do lançamento de efluentes, é realizada por mecanismos essencialmente naturais.

O uso de modelos matemáticos para simular a qualidade de água permite avaliar as consequências dos lançamentos de efluentes com cargas poluidoras e verificar as condições e medidas de controle ambiental. Com isso, o modelo de Streeter & Phelps é muito utilizado para a compreensão da capacidade de autodepuração de corpos hídricos, considerando oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio.

Atualmente, Chapecó está em alto crescimento na construção civil e também no parque tecnológico industrial, demonstrando uma economia estável e em franca ascensão, sendo os benefícios indiscutíveis para a economia e para a vida em geral dos habitantes. Avaliando a influência desse crescimento demográfico e da economia sobre o meio ambiente e os impactos gerados nele e principalmente sobre os lajeados e sangas que atravessam a cidade, sendo que estes recebem quase que toda contribuição poluidora, pode-se afirmar que acentuará o desequilíbrio dos ecossistemas devido a uma elevação da poluição das águas, do solo e ar, com redução da disponibilidade e da qualidade dos recursos naturais.

O objetivo deste estudo foi simular a autodepuração, através do modelo matemático Streeter & Phelps, da Sanga Bela Vista e do Lajeado Passo dos Índios, no município de Chapecó. Estes dois corpos hídricos recebem esgotos sanitários tratados de dois empreendimentos do município, e de acordo com o nível de eficiência de cada estação de tratamento que gera o lançamento de efluentes, será avaliada a capacidade de autodepuração, em períodos de estiagem, sendo o cenário ideal para a modelagem matemática. Serão avaliados os corpos hídricos em relação à sua qualidade, se o mesmo tem capacidade de receber o efluente tratado e se acarretará ou não em um desequilíbrio no meio aquático, será também analisada a distância para que o restabelecimento do equilíbrio ocorra.

## **1 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1.1 QUALIDADE DA ÁGUA**

A qualidade da água se refere às características físicas, químicas e biológicas que servem como parâmetros para determinar diferentes usos para esse recurso natural (CUNHA et al., 2001; MERTEN et al., 2002; SILVA, 2014; VON SPERLING, 2007).

Segundo Von Sperling (2007), a qualidade da água de um rio apresenta grande variabilidade, pois é influenciada por vários fatores decorrentes de fenômenos naturais e interferência antrópica. Em ambientes naturais, é influenciada por condições climáticas, tipo de rochas e cobertura vegetal. As condições naturais que influenciam as características da água são aquelas provenientes, principalmente, da precipitação atmosférica, através do escoamento

superficial (introduzindo sólidos em suspensão à água) e da infiltração de água com substâncias e impurezas no solo (incorporando sólidos dissolvidos). Em ambientes antrópicos a água é influenciada pelas diversas atividades humanas, principalmente devido ao uso e ocupação do solo, por exemplo, através da geração de efluentes domésticos e industriais e utilização de defensivos agrícolas.

Existem diversos parâmetros que representam a qualidade da água através de suas características físicas, químicas e biológicas. As características físicas estão associadas, principalmente, aos parâmetros cor, turbidez, sabor, odor e temperatura. Os principais parâmetros químicos relacionados à qualidade da água são o pH, a alcalinidade, a acidez, a dureza, ferro, manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, micropoluentes inorgânicos e macropoluentes orgânicos. As características biológicas estão associadas aos microrganismos presentes na água (que desempenham diversas funções, principalmente nos ciclos biogeoquímicos) e na transmissão de doenças (VON SPERLING, 1995).

Oppa (2007), cita que a partir da análise da qualidade da água é possível diagnosticar o estado de preservação de um ambiente, como, determinar o grau de erosão do solo, os contaminantes orgânicos, a poluição por efluentes, até mesmo, a poluição atmosférica.

### **1.1.1 Poluição Hídrica**

O desenvolvimento das atividades antrópicas eleva a geração de águas residuárias que, em muitos casos, são lançadas em corpos hídricos sem prévio tratamento e em quantidade superiores ao potencial de autodepuração do local (FLECK et al., 2013).

A poluição das águas refere-se à adição de componentes, que de forma direta ou indireta, alterem a natureza do corpo hídrico ou que prejudiquem os seus usos. Esses componentes impõem à água características físicas, químicas e biológicas. As características físicas estão associadas, principalmente, aos sólidos (suspensos, coloidais ou dissolvidos) presentes na água. As características químicas estão relacionadas, em sua maior parte, com a natureza orgânica ou inorgânica dos sólidos. As características biológicas estão relacionadas aos

microrganismos ou seres (vivos ou mortos) presentes na água (VON SPERLING, 1995).

De acordo com Von Sperling (1995), basicamente, existem duas formas de poluição hídrica: a poluição pontual e a poluição difusa. Na poluição pontual, os poluentes atingem os cursos hídricos de forma concentrada, relacionada à um ponto específico de descarga, por exemplo, o lançamento de efluentes industriais e de estações de tratamento de efluentes domésticos. Na poluição difusa os poluentes chegam aos corpos d'água distribuídos em parte da sua extensão, caracteriza-se por apresentar ampla área de contribuição, oriunda de atividades que depositam os poluentes de forma esparsa, em que podem chegar aos corpos d'água de forma intermitente em períodos chuvosos, como por exemplo, o escoamento de águas pluviais e utilização de pesticidas na agricultura.

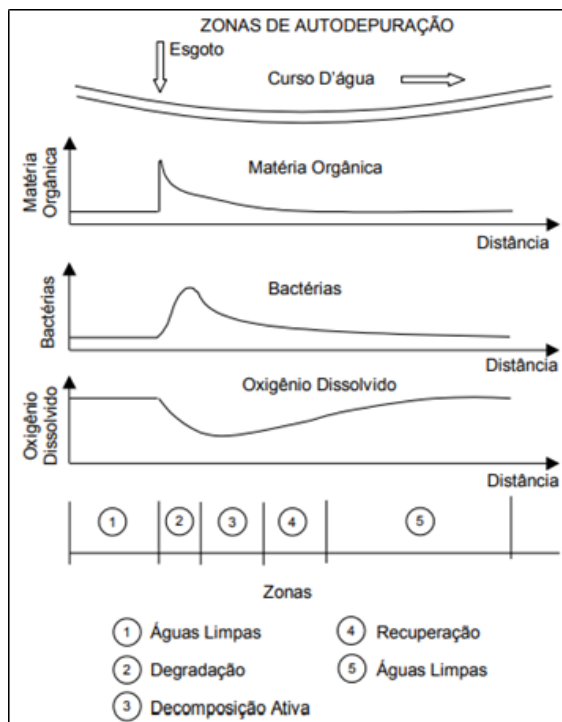
### **1.1.2 Autodepuração**

A matéria orgânica introduzida nos corpos d'água é um dos principais problemas de poluição das águas. Além de favorecer a transmissão de doenças de veiculação hídrica, resulta no consumo de oxigênio dissolvido (OD) do meio, desestabilizando a vida aquática. O oxigênio é considerado um dos principais parâmetros de caracterização de poluição por matéria orgânica, pois as bactérias decompositoras aeróbias que a degradam, fazem uso do oxigênio dissolvido na água para sua respiração (FRAGA, 2015; EZAKI, 2015).

Para Branco (1978), os poluentes que atingem um corpo hídrico sofrem fenômenos naturais de neutralização, conhecido também como autodepuração, regulados pelos processos de diluição, sedimentação e estabilização química.

Von Sperling (2005) relata que o processo de autodepuração pode ser dividido em cinco principais zonas, que são fisicamente identificáveis, sendo elas apresentadas na Figura 01.

Figura 01: Zonas de autodepuração de um corpo hídrico.



Fonte: Von Sperling (2007)

I. Zonas de águas limpas: Zona encontrada à montante do lançamento do efluente, as águas são limpas, com oxigênio e vida aquática superior, e baixa concentração de matéria orgânica;

II. Zona de degradação: Zona encontrada logo após o lançamento de efluentes. Possui como características principais a alta concentração de matéria orgânica em estágio complexo, uma diminuição inicial de oxigênio dissolvido e presença de organismos mais resistentes. A decomposição da matéria orgânica pode ter um início lento, pois os organismos decompositores estão se adaptando ao efluente, após essa adaptação há proliferação bacteriana com predominância das bactérias aeróbias;

III. Zona de decomposição ativa: Zona onde os reflexos dos despejos são mais acentuados e a qualidade da água se encontra em condições mais deteriorada. Há alto desempenho dos microrganismos decompositores da matéria orgânica. O oxigênio dissolvido atinge menor nível de concentração, podendo ser nulo, causando regiões anaeróbias (responsáveis pelos maus odores) devido ao consumo pelos microrganismos, e estes começam a se reduzir, principalmente devido à diminuição de alimento disponível, por grande parte já estar estabilizado.

IV. Zona de recuperação: Grande parte da matéria orgânica consumida nas zonas anteriores já se encontra estabilizada, resultando em menos consumo de oxigênio

dissolvido por bactérias aeróbias, fazendo com que este encontre-se mais disponível na massa líquida. Inicia-se o restabelecimento das condições anteriores ao lançamento de efluentes, com presença de vida aquática superior.

V. Zona de águas limpas: Região em que o corpo hídrico está neutralizado da poluição sofrida (embora o lodo de fundo não esteja totalmente estabilizado), voltando a atingir os níveis de oxigênio dissolvido, matéria orgânica e bactérias que possuía anteriormente à poluição, a diversidade aquática é alta.

Visando garantir a qualidade dos recursos hídricos, no Brasil, os estudos sobre a autodepuração têm aumentado. De acordo com Fraga (2015), a capacidade de autodepuração varia de um curso d'água para outro, e devido a isso, são necessários estudos específicos visando conhecer a capacidade de cada rio em receber efluentes sem que suas características naturais sejam prejudicadas.

## 1.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

É de fundamental importância a obtenção de dados para a gestão de recursos hídricos. Devido ao alto custo do monitoramento ambiental e da escassez de dados disponíveis, modelos calibrados são aplicados para interpolar e extrapolar, no espaço e tempo, em toda a extensão do curso hídrico analisado, as informações obtidas em poucos pontos de monitoramento, tornando possível uma noção da autodepuração ao longo de um rio e do trajeto de plumas contaminantes. Dentro de uma faixa de incertezas inerente ao conhecimento, os modelos de qualidade são de fundamental importância na gestão dos recursos hídricos, assistindo a avaliação de impactos ambientais, cooperando para a identificação e tomadas de decisão das estratégias para gerenciar os programas de monitoramento ambiental (GARCIA, 2013).

Para Lima (1997), alguns exemplos de aplicação de modelagem matemática para a gestão dos recursos hídricos são: alocação de empreendimentos potencialmente poluidores dos cursos hídricos; definição de medidas de controle para fontes poluidoras se instalarem em uma bacia para atender aos padrões de qualidade; delimitação de trechos críticos de poluição; e previsão de alterações da qualidade da água espacial e temporalmente decorrente de descargas acidentais.

### 1.2.1 Modelo Streeter & Phelps

O modelo Streeter & Phelps foi pioneiro dos modelos matemáticos no estudo da poluição hídrica. O modelo foi desenvolvido em 1925 a partir de fontes de poluição no rio Ohio, e através de equações matemáticas descreve, a jusante de uma fonte de matéria orgânica, o aumento, seguido de decréscimo do déficit de oxigênio dissolvido (BRAGA et al., 2005).

No modelo, o rio é representado como um sistema de escoamento em pistão, é assumido que o sistema possui boa mistura lateralmente e verticalmente, portanto, são consideradas apenas as variações longitudinais, além disso, considera-se que a dispersão longitudinal é desprezível (VON SPERLING, 2007).

A principal hipótese do modelo Streeter & Phelps é que a taxa de decomposição da matéria orgânica (ou taxa de desoxigenação) é proporcional à concentração da matéria orgânica presente em um dado instante de tempo, como representa a equação a seguir:

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 * L \quad (1)$$

Onde:  $dL/dt$  = taxa de desoxigenação;  $K_1$  = constante de desoxigenação ou coeficiente de decomposição ( $\text{dia}^{-1}$ );  $L$  = concentração de DBO remanescente ( $\text{mg/L}$ );  $t$  = tempo (dias). A Tabela 01 apresenta valores típicos da constante de desoxigenação:

Tabela 01 – Valores típicos dos coeficientes de remoção de matéria orgânica ( $K_1$  e  $K_d$ ).

Origem	$K_1$ (laboratório) ( $\text{dia}^{-1}$ )	$K_d$ (rio)	
		Rios rasos	Rios profundos
Esgoto bruto concentrado	0,35 - 0,45	0,50 - 1,00	0,35 - 0,50
Esgoto bruto de baixa concentração	0,30 - 0,40	0,40 - 0,80	0,30 - 0,45
Efluente primário	0,30 - 0,40	0,40 - 0,80	0,30 - 0,45
Efluente secundário	0,12 - 0,24	0,12 - 0,24	0,12 - 0,24
Corpo d'água com águas limpas	0,08 - 0,20	0,08 - 0,20	0,08 - 0,20

Fonte: Von Sperling (2007).

Nota: Rios rasos: profundidade inferior a cerca de 1,0 ou 1,5 metros; Rios profundos: profundidade superior a cerca de 1,0 ou 1,5 metros.

Conforme a proporcionalidade apresentada na Equação 1, quanto maior a concentração de DBO, mais rápido ocorrerá a desoxigenação. Integrando a Equação 1, obtém-se:

$$L = L_0 e^{-K_1 t} \quad (2)$$

Em que  $L_0$  é a DBO inicial de mistura (efluente + corpo hídrico) (mg/L), em  $t=0$ .

Em termos de consumo de oxigênio para estabilizar a matéria orgânica até determinado instante, é essencial trabalhar com valores de DBO exercida ( $y$ ), em mg/L:

$$y = L_0 - L \quad (3)$$

Substituindo a Equação 2 na Equação 3:

$$y = L_0(1 - e^{-K_1 t}) \quad (4)$$

Segundo Von Sperling (2005), a reação de DBO que provoca o consumo de oxigênio dissolvido é simultânea à reação de reoxigenação na massa líquida, que por meio de processos exógenos, transfere oxigênio da atmosfera para a água, assim, a DBO pode ser expressa tanto pela DBO remanescente quanto pelo DBO exercida.

O modelo Streeter-Phelps considera que a única fonte de oxigênio nos cursos hídricos é a reaeração, caracterizada pela Equação 5:

$$\frac{dD}{dt} = -K_2 D \quad (5)$$

Sendo  $D$  o déficit de OD e  $K_2$  o coeficiente de reaeração.

Os valores típicos de  $K_2$  podem ser encontrados de acordo com modelos baseados em dados hidráulicos, como mostra a Tabela 02:

Tabela 02 – Modelos baseados em dados hidráulicos do curso d'água (20 °C) para determinar os valores do coeficiente  $K_2$  ( $\text{dia}^{-1}$ ).

<b>Pesquisador</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Faixa de aplicação aproximada</b>
O'Connor & Dobbins (1958)	$3,93v^{0,5}H^{1,5}$	$0,6 \text{ m} \leq H < 4,0 \text{ m}$ $0,05 \text{ m/s} \leq H < 0,80 \text{ m/s}$
Churchill et al. (1962)	$5,0v^{0,97}H^{-1,67}$	$0,6 \text{ m} \leq H < 4,0 \text{ m}$ $0,8 \text{ m/s} \leq H < 1,5 \text{ m/s}$
	$5,3v^{0,67}H^{-1,85}$	$0,1 \text{ m} \leq H < 0,60 \text{ m}$

Owens et al. (*apud* Branco, 1978;  
Chapra, 1997)

$0,05 \text{ m/s} \leq H < 1,50 \text{ m/s}$

Fonte: Von Sperling (2007).

Nota:  $v$  é a velocidade do curso hídrico (m/s) e  $H$  é a profundidade de curso hídrico (m).

O déficit de oxigênio é expresso na Equação 6.

$$D = D_0 e^{-K_2 t} \quad (6)$$

Para casos em que é considerado apenas a desoxigenação e a reaeração atmosférica no balanço de OD a taxa de variação do déficit de oxigênio é representada pela Equação 7.

$$\frac{dD}{dt} = K_1 L - K_2 D \quad (7)$$

Integrando a Equação 7, obtém-se:

$$D_t = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_0 e^{-K_2 t} \quad (8)$$

Em que  $D_t$  é o déficit de saturação de oxigênio no tempo  $t$ , em mg/L.  $D_0$  é o déficit inicial de OD, em mg/L.

A concentração de OD no tempo ( $C(t)$ ) é dada pela concentração de saturação nas condições do experimento ( $C_s$ ) e o déficit de OD em determinado tempo ( $D_t$ ), representada pela Equação 9:

$$C(t) = C_s - D_t \quad (9)$$

A Equação 9 também pode ser escrita da seguinte forma:

$$C(t) = C_s - \left[ \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + (C_s - C_0) e^{-K_2 t} \right] \quad (10)$$

## 2 METODOLOGIA

Neste estudo realizou-se uma revisão bibliográfica referente ao processo de autodepuração de cursos hídricos. Além disso, foi analisada a autodepuração do lançamento de esgoto doméstico tratado de dois empreendimentos de Chapecó-SC, através do modelo matemático de Streeter & Phelps. Os resultados foram discutidos relacionando as normativas e legislações vigentes.

### 2.1 ÁREAS DE ESTUDO

Nesta pesquisa, foi analisado o lançamento de efluentes na Sanga Bela Vista e Lajeado Passo dos Índios, no município de Chapecó-SC. De acordo com Zeni (2007) o Lajeado Passo dos Índios nasce em uma propriedade particular em área rural na linha São Pedro, com um distância da área urbana do município de 1.420 metros, percorre um trajeto urbano de 16,323 quilômetros. No curso do Lajeado estão inseridos os bairros Boa Vista, São Pedro, Bom Pastor, Maria Goretti, Presidente Médici, Centro, Jardim Itália, São Cristóvão e Jardim América. Este Lajeado é passivo do recebimento de descarte de resíduos ao longo de todo o percurso da área urbana.

Outro importante corpo hídrico é a Sanga Bela Vista que possui sua nascente próximo ao bairro Desbravador, passando pelos bairros Vila Real, Líder e São Cristóvão. Próximo a sua nascente a qualidade do corpo hídrico está adequada, devido a menor pressão antrópica e pequenos remanescentes florestais, ao passar pelos demais bairros, próximo ao corpo hídrico existem oficinas mecânicas, comércio, agroindústria de médio porte e concessionárias, influenciando assim, na redução da qualidade da água da Sanga.

O despejo analisado na Sanga Bela Vista é oriundo de uma estação de tratamento de efluentes que trata o esgoto sanitário gerado pelos residentes de um condomínio residencial. A estação de tratamento deste residencial é composta por: gradeamento, decantador primário, reator aerado, decantador secundário, filtro de areia, tanque de oxigenação, tanque de contato e tanque de lodo. A vazão de esgoto gerada pelos residentes é de aproximadamente 103 m<sup>3</sup>/dia, e o efluente tratado é encaminhado para a rede pluvial que desagua na Sanga Bela Vista.

O despejo analisado no Lajeado Passo dos Índios provém de uma estação de tratamento de esgoto doméstico coletado por caminhão limpa fossa. Esta Estação é composta por tanque de recebimento, gradeamento, caixa de gordura, reator UASB, reator anóxico, reator aerado, decantador secundário, tanque de contato, tanque de oxigenação e leito de secagem e a Estação tem capacidade de tratamento de até 15 m<sup>3</sup>/dia.

## 2.2 COLETA DE AMOSTRAS

### 2.2.1 Coleta De Amostra Na Sanga Bela Vista

O período para a coleta de amostras para o estudo de autodepuração foi durante a forte estiagem que aconteceu no município de Chapecó no mês de agosto de 2019, onde houve racionamento de água para os habitantes, e solicitação por parte dos governantes para a economia de água, pois, o principal reservatório de água que abastece a cidade estava com nível extremamente baixo. Este cenário descrito, é de suma importância para a simulação da autodepuração.

O ponto de coleta e o local de lançamento do efluente na Sanga Bela Vista possuem as coordenadas S: 27°3'42.43" e W: 52°36'15.24" , sendo possível sua visualização abaixo na Figura 02.

Figura 02: Local de coleta da amostra e local de lançamento do efluente tratado.



Fonte: o autor.

### 2.2.2 Coleta De Amostras No Lajeado Passo Dos Índios

O período para a coleta de amostras para o estudo de autodepuração foi durante o mês de março de 2020, temperaturas altas, período também sem chuvas, sendo o cenário ideal para a coleta de amostras do corpo hídrico para a simulação da autodepuração.

O ponto de coleta e o local de lançamento do efluente no Lajeado Passo dos Índios possuem as coordenadas S: 27°07'03.6" e W: 52°38'49.1", sendo possível sua visualização abaixo na Figura 03.

Figura 03: Local de coleta da amostra e local de lançamento do efluente tratado.



Fonte: o autor.

### 2.3 ANÁLISE E SIMULAÇÃO DA AUTODEPURAÇÃO

Para o progresso do estudo, as análises físico-químicas da água superficial e a caracterização física dos corpos hídricos foram efetuadas para a obtenção de dados para a simulação de cenários através da modelagem.

A determinação da vazão foi através da medição de largura, altura (em diferentes pontos) e comprimento (10 metros) do corpo d'água em um tempo de percurso determinado.

As análises físico-químicas da água englobam, para cada lajeado, a concentração de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD), pH e temperatura.

As coletas e análises laboratoriais foram realizadas pelos técnicos do Laboratório, seguindo todas as normas pertinentes para o estudo de autodepuração.

Os ensaios realizados (para os parâmetros DBO, oxigênio dissolvido, pH e temperatura), o limite de quantificação e os métodos utilizados podem ser vistos na Tabela 03 abaixo.

Tabela 03: Ensaio, limites e métodos.

Ensaio	Limite de Quantificação	Método
--------	----------------------------	--------

DBO	2,79	SMEWW, 22nd.2012, Method 5210 B
Oxigênio dissolvido	0,1	SMEWW 4500 O G
pH	0 – 14	SMEWW 4500 H+ B
Temperatura	0 – 40	PO 018 – Determinação Temperatura

Fonte: o autor.

Para as simulações de autodepuração no Lajeado e na Sanga, foi utilizado a modelagem matemática Streeter & Phelps, através do software Excel. Este software aplica as Equações de 1 a 10 apresentadas anteriormente. O coeficiente  $K_1$  adotada na simulação da Sanga Bela Vista e Lajeado Passo dos Índios, foi respectiva,  $0,20 \text{ d}^{-1}$ , conforme a Tabela 01. As simulações realizadas tiveram a finalidade de verificar o tempo e a distância para retornar as condições anteriores ao ponto de lançamento.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 RESULTADO DAS ANÁLISES DE VAZÃO, TEMPERATURA, PH, DBO E OD

Pode-se observar na Tabela 04 os resultados das análises laboratoriais da Sanga Bela Vista e Lajeado Passo dos Índios.

Tabela 04: Ensaio e resultados.

Ensaio	Sanga Bela Vista	Lajeado Passo dos Índios
	Resultado	Resultado
Vazão	0,059 m <sup>3</sup> /s	2,907 m <sup>3</sup> /s
Demanda Bioquímica de Oxigênio		
- DBO	< 2,79 mg Oxig/L	13,00 mg Oxig/L
Oxigênio dissolvido - OD	6,00 mg OD/L	6,99 mg OD/L
Temperatura	14,9 °C	26,5 °C

Fonte: o autor.

A vazão da Sanga Bela Vista é extremamente baixa, sendo 2,029% quando comparada a vazão do Lajeado Passo dos Índios, ou seja, a vazão do Lajeado

Passo dos Índios é muito superior que a da Sanga Bela Vista, toda essa diferença é em virtude que o Lajeado Passo dos Índios recebe inúmeras contribuições ao longo do seu percurso de outros corpos hídricos menores.

Em termos de Oxigênio Dissolvido, nos dois corpos hídricos o parâmetro esteve acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357 de 17 de março de 2005. Para água doce Classe II, o oxigênio dissolvido deve ficar acima 5,0 mg/L e para a classe III, acima de 4,0 mg/L, como pode ser visualizado na Tabela 04.

A demanda bioquímica de oxigênio para a Sanga Bela Vista apresentou valores inferiores a 2,79 mg/L, ou seja, um corpo hídrico com boa qualidade, porém, vale ressaltar, que o local de coleta das amostras foi realizada poucos quilômetros da sua nascente. Já para o Lajeado Passo dos Índios a concentração de DBO foi de 13,00 mg/L. Quando comparado a resolução do CONAMA 357, a Sanga Bela Vista atende as concentrações para rio classe I e II, porém, o Lajeado Passo dos Índios não atende as concentrações destas classes (I, II e III), enquadra-se apenas na classe IV, pois, não há exigência nesta legislação.

A concentração elevada do parâmetro de DBO para o corpo hídrico Passo dos Índios pode estar relacionada à estiagem que ocorreu no período, acarretando no aumento da concentração de material orgânico, outro fator que pode ser citado também, é o descarte de efluente da ETE da concessionária de tratamento de esgoto da cidade de Chapecó/SC, localizada a alguns quilômetros do ponto de coleta.

As temperaturas para a Sanga Bela Vista e para o Lajeado Passo dos Índios foram 14,9°C e 26,5°C respectivamente, dentro do esperado de acordo com as estações do ano para o corpo hídrico de água doce, sendo a coleta na Sanga Bela Vista ocorrida no inverno e a do Passo dos Índios no verão.

## 3.2 SIMULAÇÃO ATRAVÉS DE STREETER & PHELPS

### 3.2.1 Sanga Bela Vista

Para a simulação da capacidade de autodepuração considerou-se que as concentrações de lançamento do efluente tratado para a demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido fosse respectivamente 9,0 mg/L e 5,0 mg/L. Estes

valores adotados corresponde ao nível de tratamento implantado, sendo ele composto por tratamento primário, secundário e terciário.

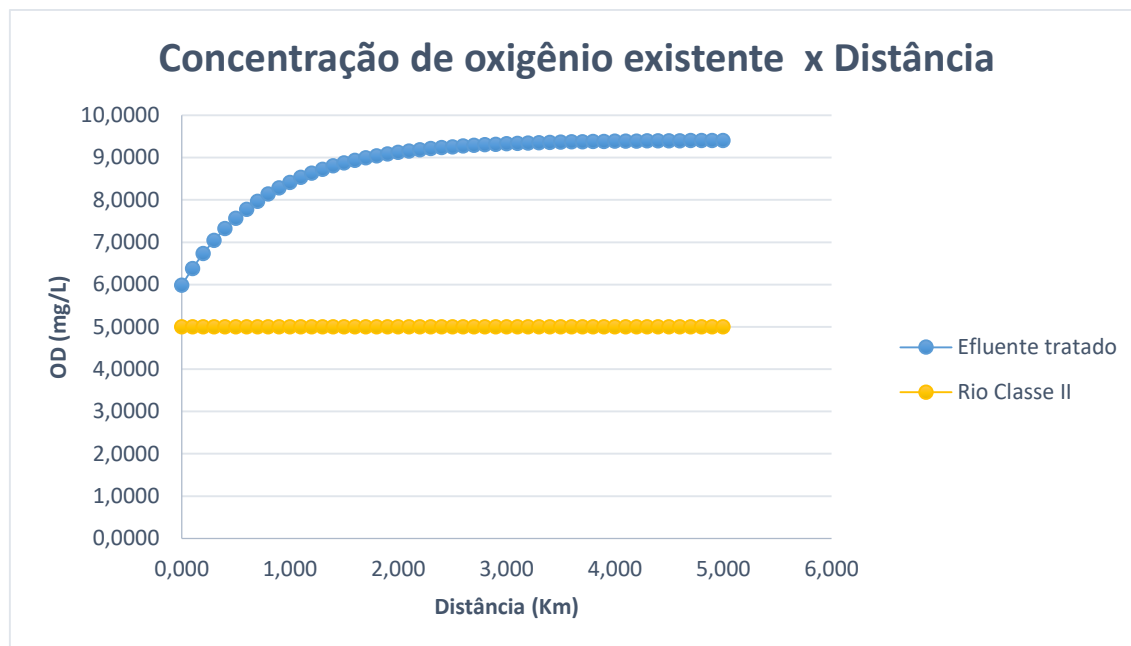
- Simulação Oxigênio Dissolvido:

Como pode ser visto no Gráfico 01, através da simulação no momento de lançamento / mistura ( $t=0$ ) do efluente tratado no corpo hídrico, a concentração de oxigênio dissolvido terá uma redução de apenas 0,33%, atingindo 5,98 mg/L, uma redução totalmente desprezível. Isso acontece porque a concentração de lançamento do esgoto tratado está muito próximo a concentração do oxigênio dissolvido da Sanga Bela Vista (6,0 mg/L). Em 0,1 quilômetros de percurso do efluente tratado no corpo hídrico, o mesmo apresentou a concentração 6,379 mg/L, valor superior a concentração antes do ponto de mistura, isso porque o tempo crítico é igual a zero, ou seja, acontece no exato local de lançamento do efluente. O déficit inicial é igual ao déficit crítico. Portanto, a Sanga Bela Vista possui uma boa capacidade de renovação em face aos resíduos afluentes, não vindo a sofrer diminuição na concentração de oxigênio dissolvido.

Araújo (2013), em seu estudo de autodepuração do córrego, Salobinha em Goiás, simulou o lançamento de efluente de uma ETE e obteve resultados similares em período de estiagem, onde a concentração crítica de OD, no período de estiagem, chegou a 6,8 mg/L.

O Gráfico 01 também apresenta o limite de 5,0 mg/L para concentração de OD conforme a Resolução CONAMA 357 para rios Classe II. Nota-se que a concentração de oxigênio, mesmo no momento do lançamento do esgoto tratado no corpo hídrico (déficit crítico) fica acima do limite estabelecido pela resolução.

Gráfico 01: Concentração de OD x Distância – Sanga Bela Vista.



Fonte: o autor.

- Simulação Demanda Bioquímica de Oxigênio:

No Gráfico 02, observou-se através da simulação um aumento da concentração de DBO de 2,79 mg/L para 2,91 mg/L na zona de mistura, houve um acréscimo de 4,30%. Logo após essa zona, teve início a decomposição da matéria orgânica, percebendo assim, a declividade da curva de DBO. Isso acontece devido à proximidade da zona de degradação e decomposição ativa dos microrganismos decompositores.

Nota-se que o pico da concentração da demanda bioquímica de oxigênio foi no momento da mistura, contudo, não ultrapassando os limites do CONAMA 357 de 5,0 mg/L para rio classe II.

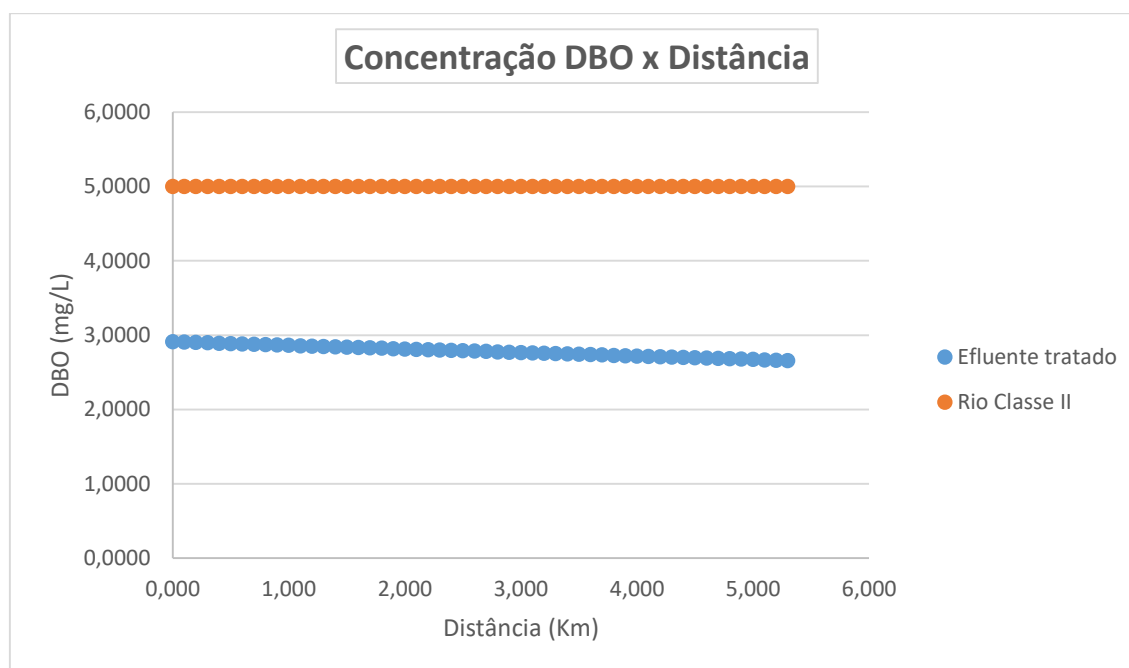
Paula (2011), em seu estudo no rio Jordão em período de estiagem, também detectou o pico de DBO na zona de mistura, onde decresceu gradualmente. Também neste estudo, em que o rio se enquadra em Classe II, o OD respeitou o limite determinado pela Resolução CONAMA 357/2005, porém a DBO não atendeu ao limite estabelecido por esta Resolução. Freire et al. (2009) avaliou a descarga do ribeirão Maringá no rio Pirapó e observou que a degradação da matéria orgânica despejada no rio também ocorre no ponto de mistura e que os valores de DBO permaneceram dentro do limite estipulado pela Resolução supracitada.

A Sanga Bela Vista indicou um ótimo potencial de autodepuração para esta situação, com baixa concentração de DBO e alta concentração de oxigênio

dissolvido no lançamento do efluente tratado, estimulando a reprodução dos microrganismos depuradores. Observou-se também a ótima reaeração do corpo hídrico, devido à altura da lâmina de água (baixa) e a grande quantidade de pedras ao longo do percurso, promovendo o turbilhonamento do corpo hídrico e assim, contribuindo de forma satisfatória para a introdução de ar no meio líquido, aumentando a depuração microbiológica.

Verificou-se que no quilômetro 2,5 a concentração da demanda bioquímica de oxigênio atingiu valores iguais do corpo hídrico antes do lançamento do efluente tratado, o que acaba atestando a alta capacidade de autodepuração.

Gráfico 02: Concentração  $DBO_5$  x Distância – Sanga Bela Vista.



Fonte: o autor.

### 3.2.2 Lajeado Passo Dos Índios

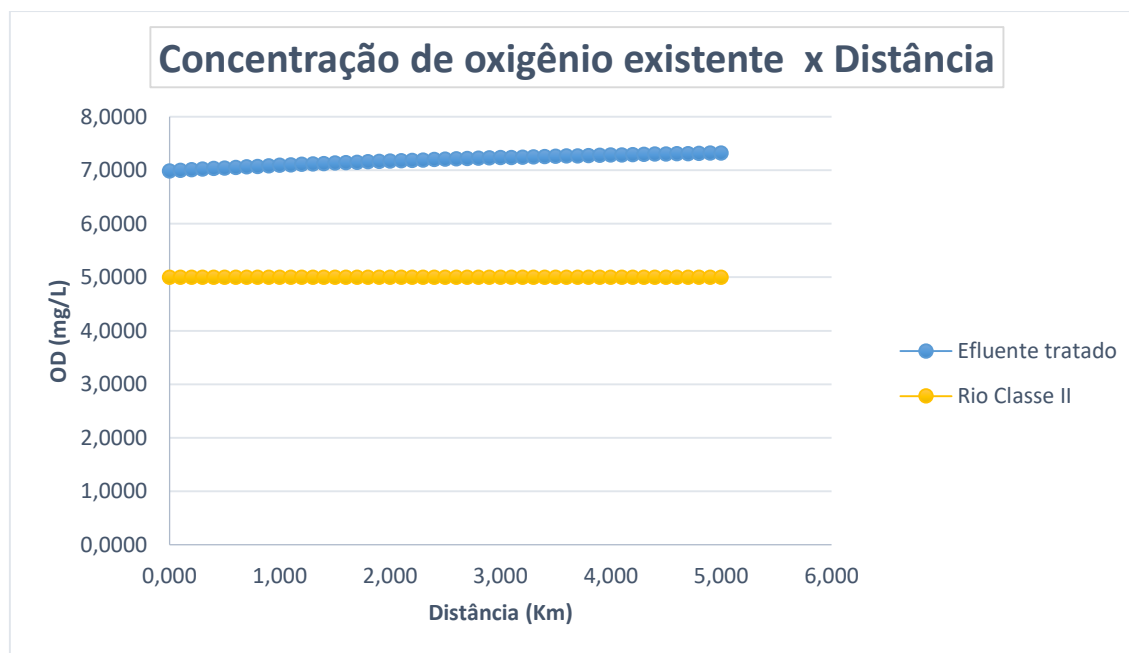
Para a simulação da autodepuração considerou-se que as concentrações de lançamento do efluente tratado para a demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido fosse respectivamente 60,0 mg/L e 5,0 mg/L. Estes valores adotados corresponde ao nível de tratamento implantado, sendo ele composto por tratamento primário, secundário e desinfecção.

- Simulação Oxigênio Dissolvido:

Como pode ser visto no Gráfico 03, através da simulação no momento de lançamento / mistura ( $t=0$ ) do efluente tratado no corpo hídrico, a concentração de oxigênio dissolvido terá uma redução de apenas 0,14%, atingindo 6,98 mg/L, uma redução totalmente nula. Isso acontece porque a concentração de OD no esgoto tratado é de 5,0 mg/L, assim, no lançamento do esgoto não há nenhuma perturbação do corpo hídrico para este parâmetro. A simulação neste lajeado, igual a simulação na Sanga Bela Vista, apresenta tempo crítico igual a zero, conforme apresentado por Von Sperling (1996), com  $L_0/D_0 = K_2/K_1$ .

No 0,1 quilômetros de percurso do efluente tratado no corpo hídrico, o mesmo apresentou a concentração 7,00 mg/L, valor superior a concentração antes do local de mistura, isso porque o tempo crítico é considerado zero, ou seja, o tempo crítico é no exato local de lançamento do efluente. O déficit inicial é igual ao déficit crítico.

Gráfico 03: Concentração de OD x Distância – Lajeado Passo dos Índios.



Fonte: o autor.

Portanto o Lajeado Passo dos Índios possui uma boa capacidade de autodepuração em relação aos resíduos afluentes, não vindo a sofrer diminuição na concentração de oxigênio dissolvido.

Nota-se também que o OD do Lajeado, na simulação, sempre está acima da legislação para rio Classe II, não provocando nenhuma desordem no meio aquático.

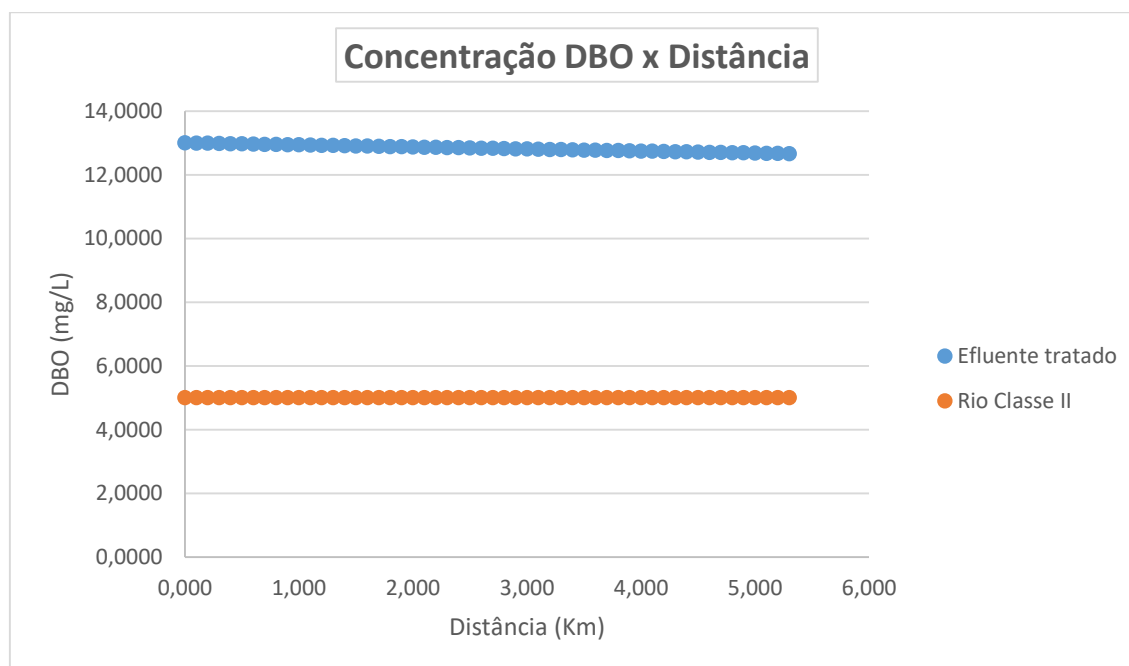
Um dos principais motivos de não ocorrer um déficit de oxigênio no corpo hídrico no momento do lançamento é devido a vazão de lançamento do esgoto tratado ser baixa quando comparado a vazão do rio, pois, a vazão de esgoto é 0,0059% da vazão do Lajeado Passo dos Índios.

Braum, Lima e Pinto (2018), em seu estudo sobre modelagem de autodepuração de efluentes domésticos através do modelo Streeter & Phelps, encontraram resultados em que a depleção na curva de OD não é muito significativa. De acordo com os supracitados autores, isso ocorreu devido a vazão de esgoto lançado ser muito inferior a vazão do rio (situação semelhante à observada neste estudo), os autores também descrevem que o ponto crítico atinge um consumo em que o valor mínimo de OD alcançado é de aproximadamente 7 mg/L, valor superior ao estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para Classe II, concluindo que não há significativa variação na qualidade da água do rio.

- Simulação Demanda Bioquímica de Oxigênio:

Como pode ser visualizado no Gráfico 04, a simulação da taxa de decomposição da matéria orgânica não houve nenhuma declividade visível da curva de DBO.

Gráfico 04: Concentração DBO<sub>5</sub> x Distância – Lajeado Passo dos Índios.



Fonte: o autor.

Através da simulação realizada, torna-se possível denotar no Gráfico 04 que no local de lançamento proposto, o mesmo apresenta características muito peculiares, pois o Lajeado Passo dos Índios apresenta uma vazão alta quando comparada a vazão do esgoto tratado, mesmo com uma concentração de DBO do esgoto tratado de 60 mg/L, dentro dos padrões de lançamento de esgoto tratado conforme legislação, não houve um aumento da carga orgânica no Lajeado.

Para a extensão do corpo hídrico antes do local de lançamento e após, não foi possível verificar uma mudança da carga orgânica razoável, ou seja, não foi possível identificar nenhuma redução da carga orgânica satisfatória, o que caracteriza um corpo hídrico com nível alto de poluição já preexistente. A população de organismos vivos estabilizou-se em 12 mg/L durante dezesseis quilômetros, no qual ocorreu uma variação mínima, ou seja, a velocidade de reação foi controlada pela quantidade de alimento disponível aos organismos, não ocorrendo oxidação da matéria orgânica (poluente) neste período.

Nota-se também que a concentração da carga orgânica sempre está acima da legislação, CONAMA 357 de 5,0 mg/L para rio classe II. Paula (2011), em sua pesquisa também analisou a diminuição gradual de DBO, a partir do ponto de mistura, que também não atendeu a regulamentação para cursos de água Classe II, devido a já existente poluição do corpo hídrico analisado.

#### **4 CONCLUSÃO**

Este estudo teve por objetivo simular a autodepuração no período de estiagem, através do modelo matemático Streeter & Phelps, na Sanga Bela Vista e no Lajeado Passo dos Índios, no município de Chapecó, simulando o despejo de esgotos sanitários tratados de dois empreendimentos do município. Os corpos hídricos foram avaliados em relação à sua qualidade, à capacidade de receber o efluente tratado.

A Sanga Bela Vista apresentou um ótimo potencial de autodepuração em relação ao despejo da estação de tratamento de esgoto, não houve queda significativa da concentração de oxigênio dissolvido e não teve aumento da demanda bioquímica de oxigênio face aos microrganismos depuradores. Um ponto positivo da Sanga Bela Vista, no local de desagüe do efluente tratado, é a altura da lâmina d'água e a grande quantidade de pedras, promovendo um turbilhonamento

e aeração do corpo hídrico, colaborando para o processo de recuperação das ações antropogênicas.

No entanto o Lajeado Passo dos Índios, de acordo com a análise laboratorial enquadra-se em um rio classe IV, devido à alta concentração de DBO. Ao introduzir o esgoto tratado no corpo receptor o mesmo não alterou a sua carga orgânica, ou seja, não teve aumento. Esse fato ocorreu-se devido a vazão de esgoto tratado ser extremamente baixa quando comparada a vazão do Lajeado Passo dos Índios, não promovendo a perturbação no ecossistema. Vale ressaltar que o Lajeado caracteriza-se como um corpo hídrico com alto grau de poluição pré existente. Um aspecto positivo, é a concentração de oxigênio dissolvido que não teve variação, não teve redução, um motivo já citado anteriormente, é a alta reoxigenação do corpo hídrico devido ao choque da água com as pedras existentes e as pequenas quedas ao longo do corpo hídrico.

Portanto, a Sanga Bela Vista possui uma ótima capacidade de autorregenerar-se na região de lançamento do esgoto tratado, já o Lajeado Passo dos Índios, nesse estudo, para a vazão de lançamento do esgoto tratado (baixa) não houve um desordem do ecossistema.

Com as informações obtidas na modelagem matemática percebe-se que esta é uma ferramenta de fundamental importância nos estudos de autodepuração, fornecendo informações e prevendo cenários que vão auxiliar na tomada de decisões para gerenciamento dos recursos hídricos visando a preservação e diminuição ou mitigação dos impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, P. R. F. **Modelagem de oxigênio dissolvido no córrego Salobinha, montes Carlos de Goiás**. 2013. 50 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2013.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G.; BARROS, M. T.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Editora Prentice Hall. São Paulo. 2005.
- BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 2ª edição. CETESB, São Paulo (SP). 1978. 620p.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2005) **Resolução CONAMA nº. 357, de 17 de março de 2005**. 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. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2005. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.
- BRAUM, E. S.; LIMA, G. B.; W. P. Estimativa de esgoto e modelagem da autodepuração dos efluentes domésticos lançados no Rio Doce na cidade de Baixo Gandu, ES. **Natureza online** 16 (3), p. 40–48, 2018.
- CUNHA, A. C.; SIQUEIRA, E. Q; CUNHA, H. F. A. Avaliação das equações de previsão do coeficiente de reaeração no modelo QUAL2E para modelagem de oxigênio dissolvido: estudo de caso no ribeirão do Feijão (São Carlos - SP). **Revista de Ciência e Tecnologia do Estado do Amapá**, v. 2, n. 1, p. 90-111, 2001.
- EZAKI, Y. **Estudo de estudo de autodepuração do efluente da ETE de um loteamento em São José/SC**. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E. Conceitos e importância da modelagem matemática de qualidade da água para gestão dos recursos hídricos. **Ambiência**, v. 9, n. 3, p. 487-503, 2013.
- FRAGA, M. S. **Modelagem da qualidade da água do rio Piracicaba visando a avaliação de sua capacidade de autodepuração**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2015.
- FREIRE, R. et al. Avaliação da autodepuração de um trecho do Rio Pirapó - PR após receber as águas do Ribeirão Maringá - PR. **Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana (SIMPGEU)**, Maringá-PR, 2009.
- GARCIA, J. **A qualidade da água, o processo de autodepuração e a proposição de cenários para gerenciamento sustentável do rio Sorocamirim (SP)**. 163 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento): Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2013.
- LIMA, C. A. A; GIORGETTI, M. F., 1997, Aplicação do Modelo Qual2E na Simulação de Descargas Acidentais Contaminantes. In: 19o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos: 19o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo. **ABES**, p. 2534-2545.
- MERTEN, Gustavo H., MINELLA, Jean P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. Porto Alegre, 2002. **Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent.** Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez 2002.
- OPPA, L. F. **Utilização de Modelo Matemático de Qualidade de Água para Análise de Alternativas de Enquadramento do rio Vacacaí Mirim**. 130 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PAULA, L. M. **Avaliação da qualidade da água e autodepuração do rio Jordão, Araguari (MG)**. 2011. 177 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

SILVA, M. M. A. P. M. **Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Piracicaba – MG**. 2014. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte (MG): Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), v.7, 1ª Ed., 588 p, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte (MG): Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), v. 1, 3ª Ed, 452 p. 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte (MG): Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), v. 1, 3ª Ed, 452 p. 1996.

ZENI, Vera L. F. **Desenvolvimento de cenários visando à mitigação de impactos ambientais em rios urbanizados: o caso do rio Passo dos Índios – Chapecó – SC**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Comunitária Regional de Chapecó – UNOCHAPECÓ, Chapecó, 2007.