

Análise da Influência do Uso e Ocupação do Solo na Qualidade da Água de Duas Sub-Bacias Hidrográficas do Município de Caxias do Sul

Renata Cornelli[†], Vania Elisabete Schneider[†], Taison Anderson Bortolin[†], Gisele Cemin[†], Geise Macedo dos Santos[†]

Resumo

O uso e ocupação do solo podem influenciar diretamente na qualidade e na disponibilidade dos recursos hídricos, seja pela urbanização acelerada, pela supressão da vegetação ou uso agrícola. Os impactos podem variar em função do uso, aporte de carga orgânica, nutrientes, contaminantes metálicos e o arraste de sedimentos comprometendo a qualidade e o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Este trabalho objetivou avaliar a influência do uso e ocupação dos solos sobre a qualidade da água das bacias hidrográficas dos Rios Piaí e Tega, em Caxias do Sul-RS. Avaliou-se para tal os Índices de Qualidade da Água (IQA) e de Toxicidade (IT) em 5 pontos do Rio Piaí (P1 a P5) e em 12 do Rio Tega (T1 a T12). Foram realizadas 12 campanhas entre setembro/2012 a julho/2014. Para o desenvolvimento dos mapas de uso e ocupação dos solos, foram utilizadas imagens de satélite LANDSAT 8 aliadas à classificação supervisionada com o algoritmo Máxima Verossimilhança Gaussiana e digitalização em tela em pontos de conflito. Para a classificação dos mapas foram definidas 7 classes de uso, sendo: mata nativa, campo, silvicultura, agricultura, solo exposto, área urbana e lâmina d'água. Concluiu-se que a baixa qualidade da água de pontos como P3 e P4 do Rio Piaí e dos pontos T1 a T9 do Rio Tega é reflexo do uso e ocupação do solo, lançamento de efluentes de fontes pontuais (residências e indústrias) sem estação de tratamento de efluentes ou cujo tratamento não é suficiente para atender os padrões de lançamento previstos pela legislação.

Palavras-chave

Uso e Ocupação dos Solos; Índice de Qualidade da Água (IQA); Índice de Toxicidade (IT); Bacia Hidrográfica; Área Urbana e Rural.

Analysis of land use and occupation in the water quality at two sub-basins of Caxias do Sul City

Abstract

The use and land cover can directly influence in the quality and in the availability of water resources, whether by accelerated urbanization, by the removal of vegetation and the agricultural use. The impacts may vary according the use, the organic load supply, metal nutrients and contaminants and the drag of sediment affecting the water quality and the balance of aquatic ecosystems. This research was aimed to evaluate the influence of use and land use on water quality of river basins of the rivers Piaí and Tega, in Caxias do Sul-RS. Analyzed for such the Water Quality Index (WQI) and Toxicity (TI) in 5 points from River Piaí (P1 to P5) and 12 from River Tega (T1 to T12). Were realized 12 campaigns between September / 2012 to July / 2014. To develop the maps the use and occupation land were used Landsat 8 satellite images combined with the supervised classification with the maximum likelihood algorithm and Gaussian screen scanning in trouble spots. For the classification of maps were defined 7 classes of use, as follows: native forest, field, forestry, agriculture, bare soil, urban and water depth. For the classification of maps were defined 7 classes of use, as follows: native forest, field, forestry, agriculture, bare soil, urban area and water depth. It was concluded that the low water quality of points as P3 and P4 from River Piaí and points T1 to T9 from River Tega is the reflection the use and occupation of the soil, the release of effluents from point sources, such as homes and industries that do not have effluent treatment plant or whose treatment is not sufficient to meet the discharge standards prescribed by the laws.

Keywords

Land use and occupation; Water Quality Index; Toxicity Index; Watershed; Rural and Urban Area.

I. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização acelerada alterou consideravelmente a qualidade da água da maioria dos rios que atravessam as cidades brasileiras, sendo esse considerado um dos grandes problemas ambientais da atualidade. A expansão dos centros urbanos, a intensificação da industrialização [1] e a ampliação da agricultura irrigada,

[†]Universidade de Caxias do Sul, Instituto de Saneamento Ambiental, Caxias do Sul, RS;
E-mail: rcornell@ucs.br, veschnei@ucs.br

Data de envio: 14/09/2015
Data de aceite: 12/12/2015

<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v4iss1p1>

aumentaram a demanda de água tanto para consumo direto como para a utilização em diversas fases da produção agrícola e animal -usos consuntivos- ou para usos não consuntivos (lazer, paisagismo). A qualidade da água dos mananciais vem decrescendo rapidamente pela ação antrópica [2] sendo muitas vezes causada por águas residuais não tratadas, pelo uso excessivo de fertilizantes e pesticidas e pela poluição industrial além de estruturas legais e institucionais desatualizadas [3].

A qualidade da água de uma bacia hidrográfica está diametralmente relacionada com o equilíbrio entre os fatores naturais e antrópicos [4]. Para avaliar este equilíbrio, o mapeamento de uso e cobertura do solo surge como uma ferramenta de análise ambiental de forma a auxiliar na visualização de perdas de biodiversidade muitas provenientes de desmatamentos, alterações climáticas e reincidência de doenças, além do impacto social causado pela urbanização do espaço. A complexidade dos fenômenos abordados tem exigido cada vez mais uma visão sistêmica, relacionando o uso do espaço com áreas remanescentes de vegetação, com a qualidade da água e a antropização, mensuradas dentro de uma bacia hidrográfica regional [5].

Sendo assim, este trabalho teve o objetivo de avaliar a influência do uso e ocupação do solo sobre qualidade da água dos recursos hídricos das bacias hidrográficas do Rio Piaí e Rio Tega, localizados no município de Caxias do Sul-RS por meio de análise do Índice de Qualidade da Água (IQA) e do Índice de Toxicidade (IT) e dos usos atuais do solo nestas microbacias.

Nesta seção serão abordadas a descrição dos locais de estudo, o desenvolvimento dos mapas de uso e ocupação do solo, o índice de qualidade da água (IQA) e o índice de toxicidade (IT).

A. Descrição dos Pontos de Amostragem

a) Sub-bacia do Rio Piaí

A sub-bacia hidrográfica do Rio Piaí está localizada na região centro-sul do município de Caxias do Sul e faz parte da bacia hidrográfica do Rio Caí (ver Figura 1). Suas nascentes se localizam na região dos campos, drenando boa parte da área agrícola ou com solo exposto do município. Apenas a região noroeste da sub-bacia está inserida no perímetro urbano de Caxias do Sul. A sub-bacia possui uma área de 331,51 km² e perímetro de 139,97 km [6]. Apenas dois afluentes nascem na área urbana, os quais se juntam ao rio principal no trecho médio da sub-bacia.

Na área urbana da sub-bacia, conforme o zoneamento estabelecido pelo Plano Diretor do Município de Caxias do Sul [7], predominam a Zona Residencial 3 (ZR3), Zona Residencial 4 (ZR4), Zona de Ocupação Controlada (ZOC) e Zona de Uso Misto (ZUM). Conforme a Resolução CRH nº 50/08 [8], as águas da sub-bacia do Rio Piaí, no trecho em que se situa os pontos 1 e 2, são enquadradas como classe 1. Para os demais pontos, segundo a mesma resolução, as águas são enquadradas como classe 3.

Sendo assim, foram alocados cinco pontos de amostragem na sub-bacia do Rio Piaí, como mostra a Figura 2, sendo três pontos no curso principal (Piaí, 1, 2 e 5) e dois pontos (Piaí 3 e 4) nos afluentes que drenam a área urbana e industrializada dos bairros São Virgílio, Petrópolis, Presidente Vargas, Cruzeiro e Bela Vista.

II. MATERIAL E MÉTODOS

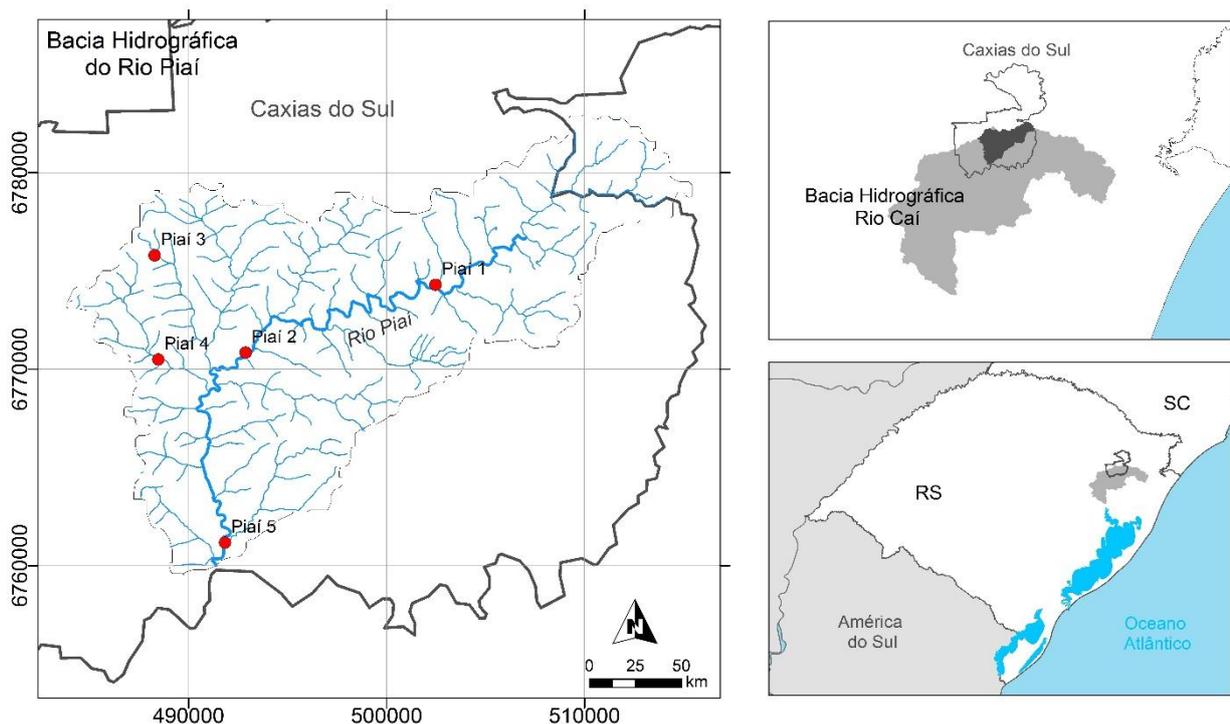


Fig. 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piaí e os Pontos de Amostragem.

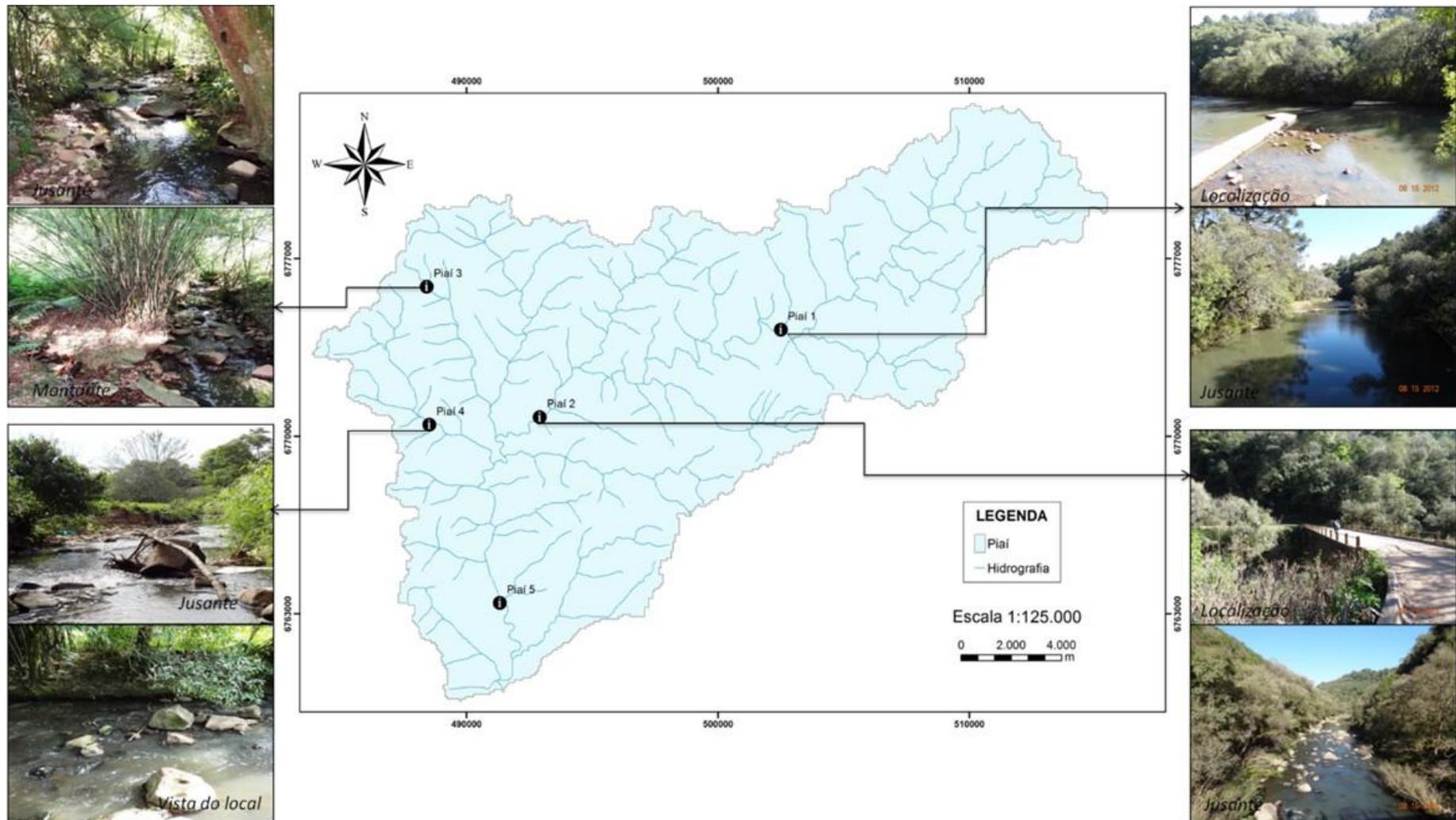


Fig. 2: Localização e detalhe dos pontos de amostragem na sub-bacia hidrográfica do Rio Piaí Desenvolvida por Tiago Panizzon (2014)

b) Sub-bacia do Rio Tega

A sub-bacia do Rio Tega (ver Figura 3) está inserida na Bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas e é considerada no município de Caxias do Sul uma das mais importantes uma vez que nasce no seu perímetro urbano e, após um percurso de 34 km, tem sua foz no rio das Antas, no limite dos municípios de Flores da Cunha e Nova Pádua. Os principais afluentes do Rio Tega são os arroios Herval, Dal Bó, Samuara e Maestra e o Rio Curuçu [9].

Esta sub-bacia conta com um perímetro de 116,81 km e drena uma área de 294,76 km² a qual compreende parte dos municípios de Caxias do Sul, Flores da Cunha e Nova Pádua. Aproximadamente 40% da área da sub-bacia do Rio Tega está inserida no perímetro urbano de Caxias do Sul. São 118,49 km², correspondentes à parte alta da sub-bacia, na qual se situam as cabeceiras dos seus principais formadores. Nessa região, a maior parte dos efluentes domésticos e industriais são lançados diretamente nos corpos

hídricos, que atualmente servem como canal para afastamento dos mesmos.

Na área urbana da sub-bacia, conforme o zoneamento estabelecido pelo Plano Diretor do Município de Caxias do Sul [7], predominam a Zona Residencial 1 (ZR1), Zona Residencial 3 (ZR3), Zona de Uso Misto (ZUM), Zona das Águas (ZA) e Zona Industrial (ZI). E, segundo a Resolução do Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul, a CRH n° 121/12 [10], este corpo hídrico é enquadrado como classe 2.

Para tanto, foram definidos doze pontos de amostragem no curso principal e afluentes de interesse que drenam a maior parte da área urbana, caracterizada pela maior densidade populacional e industrial, como mostra a Figura 4. Apenas os pontos 11 e 12 situam-se fora do município de Caxias do Sul, na parte baixa da sub-bacia. Os pontos de 1 a 8 situam-se na área mais densamente urbanizada de Caxias do Sul.

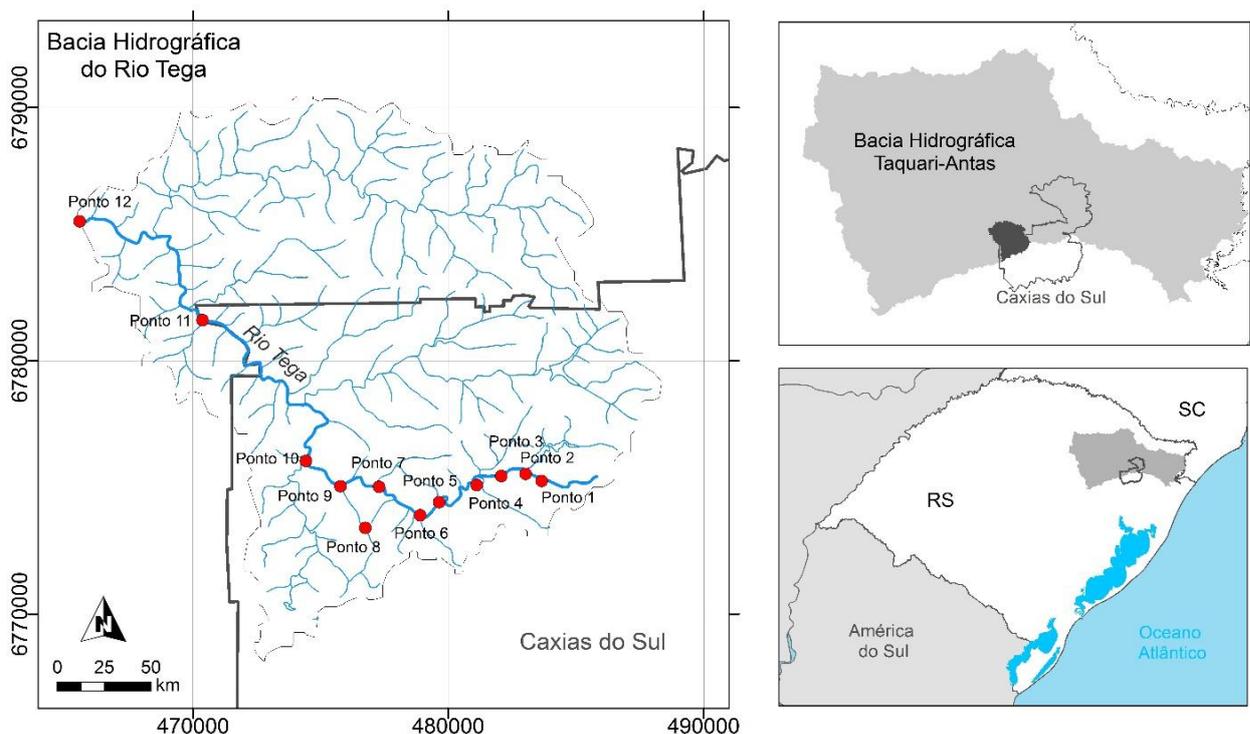


Fig. 3: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Tega e os Pontos de Amostragem.

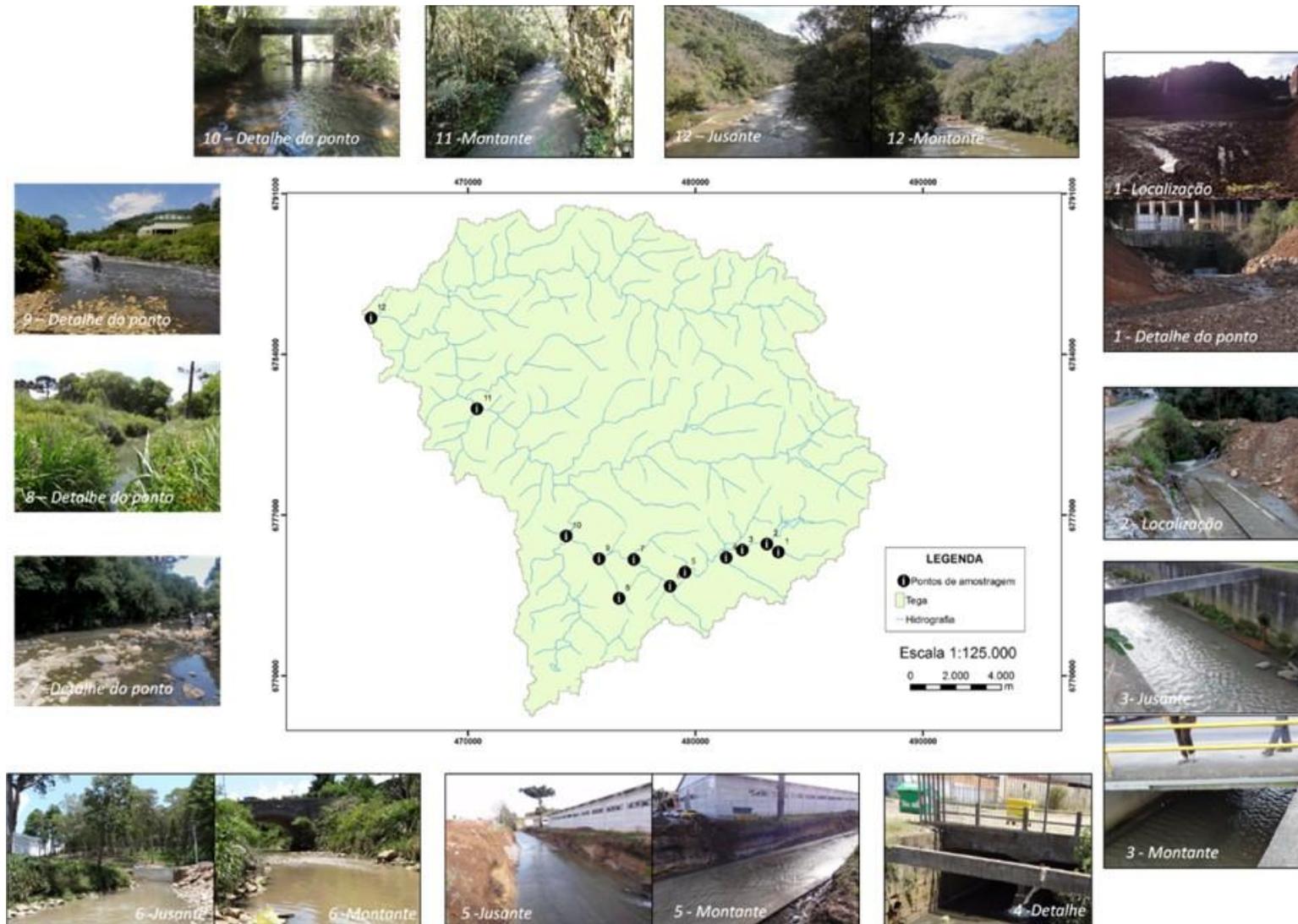


Fig. 4: Localização e detalhe dos pontos de amostragem na sub-bacia hidrográfica do Rio Tega Desenvolvida por Tiago Panizzon (2014)

B. Uso e Ocupação do Solo

Os dados de uso e cobertura do solo constituem um elemento básico para todas as ações que visam o planejamento e ordenamento do território. Segundo Estes dados retratam as atividades humanas que podem significar pressões e impactos sobre os elementos naturais. É uma ponte essencial para a análise de fontes de poluição e um elo importante de ligação entre as informações dos meios biofísicos e socioeconômicos [11]. As formas de uso e ocupação são identificadas (tipos de uso), espacializadas (mapa de uso), caracterizadas (pela intensidade de uso e indícios de manejo) e quantificadas (percentual de área ocupada pelo tipo). Os mapas que expressam os diferentes tipos de uso geralmente são gerados a partir da utilização de imagens de satélite e fotografias aéreas.

Para a obtenção do mapa de uso e cobertura do solo da sub-bacia do, realizou-se a interpretação visual das imagens do satélite Landsat 8 de 26/03/2014 referente à órbita-ponto 221/080. Nesta etapa, foram definidos os elementos que compõem a paisagem, ou seja, as classes de uso e cobertura do solo, como seguem: mata nativa, estepe gramíneo lenhosa, mata exótica, agropastoril, área urbana, solo exposto e lâmina de água. A classificação das imagens de satélite foi realizada de forma supervisionada, utilizando o algoritmo pixel a pixel de Máxima Verossimilhança Gaussiana. Este algoritmo utiliza apenas a informação espectral de cada pixel para agrupar regiões homogêneas.

Além disso, nos locais onde houve conflito, optou-se pela digitalização em tela das classes correspondentes. Desta forma, obteve-se uma maior separabilidade dos elementos de compõem a paisagem.

C. Índice de Qualidade da Água (IQA)

Como forma de auxiliar na interpretação dos dados e estabelecer uma classificação para os corpos hídricos, o Índice de Qualidade de Água (IQA) entra como uma ferramenta de integração de grupos de variáveis específicos. Inicialmente este índice foi proposto pela National Sanitation Foudantion (NSF) nos Estados Unidos e, modificado pela Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo (CETESB).

Sua estruturação ocorreu por meio de uma pesquisa de opinião junto à um grupo de 142 profissionais da área ambiental. E, para atribuir pesos a cada um dos parâmetros selecionados, [12] foi realizada uma análise estatística com cada um dos parâmetros eleitos e sua correspondência quanto ao grau de importância na avaliação da qualidade. Foram estabelecidos, então, os nove parâmetros de qualidade (Oxigênio Dissolvido, Coliformes Fecais, pH, DBO, Fósforo Total, Temperatura, Nitrogênio Total, Turbidez, Sólidos Totais) e seus respectivos pesos para compor o IQA, conforme é apresentado na Tabela 1A. A Tabela 1B apresenta a classificação da qualidade segundo os parâmetros e os pesos em escala de variação de 0 a 100.

Tabela 1: A) Parâmetros e pesos relativos ao IQA; B) Classificação da qualidade das águas segundo pesos relativos ao IQA.

Tabela 1A - Parâmetros e pesos relativos ao IQA.

Parâmetros	Pesos Relativos
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliformes Fecais	0,15
pH	0,12
DBO	0,10
Fósforo Total	0,10
Temperatura	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08

Fonte: [13]

Tabela 1B – Classificação da qualidade das águas no Rio Grande do Sul segundo cálculo do IQA.

Categoria	Ponderação
Ótima	90 < IQA ≤ 100
Boa	70 < IQA ≤ 90
Regular	50 < IQA ≤ 70
Ruim	25 < IQA ≤ 50
Péssima	IQA ≤ 25

Fonte: [14] com adaptações

D- Índice de Toxicidade (IT)

Para avaliar a toxicidade da água, tem sido utilizado um índice que pode representar o potencial de toxidade de determinada amostra de água. Este índice é conhecido como o índice de toxicidade (IT) e leva em consideração os parâmetros presentes em águas naturais, são eles: arsênio total, bário total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre e cianeto total, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacoal total e zinco total [15]. O mesmo pode ser classificado, segundo Von Sperling (2007) [16] e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), como baixa toxicidade, média ou alta. A avaliação é realizada comparando-se as concentrações obtidas com os padrões definidos pela Resolução CONAMA n° 357/05 [17].

Uma contaminação classificada como Baixa se refere se as concentrações obtidas forem iguais ou inferiores a 1,2 vezes o limite estabelecido para a classe em que o corpo hídrico está enquadrado no local da amostragem. A contaminação será Média se as concentrações obtidas estiverem entre 1,2 e 2 vezes o limite da classe. E a contaminação será alta se as concentrações superam o dobro do limite estabelecido para a classe de enquadramento do corpo hídrico [16].

A pior situação identificada no ponto da amostragem, considerando todos os parâmetros utilizados no cálculo do IT, define a faixa de contaminação do período considerado. Dessa forma, se apenas um dos parâmetros em um dado ponto de coleta apresentar concentração superior a duas vezes o limite estabelecido para a classe de enquadramento, a contaminação da água naquele ponto será considerada alta

[16]. A faixa de classificação da toxicidade utilizada é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Interpretação das condições por contaminação de tóxicos

Contaminação	Cor representativa	Relação da concentração com o valor limite da classe (padrão de qualidade)
Baixa	Verde	Concentração $\leq 1,2.P$
Média	Amarela	$1,2.P < \text{concentração} \leq 2.P$
Alta	Vermelha	Concentração $> 2.P$

Sendo P = valor padrão (limite de classe), segundo a Resolução CONAMA 357/05

Fonte: [16].

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão discutidos os resultados de uso e ocupação do solo das duas sub-bacias estudadas, além das análises dos índices de qualidade da água (IQA) e de

toxicidade (IT).

A. Uso e ocupação do solo

A Figura 5 ilustra o mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Arroio Piaí.

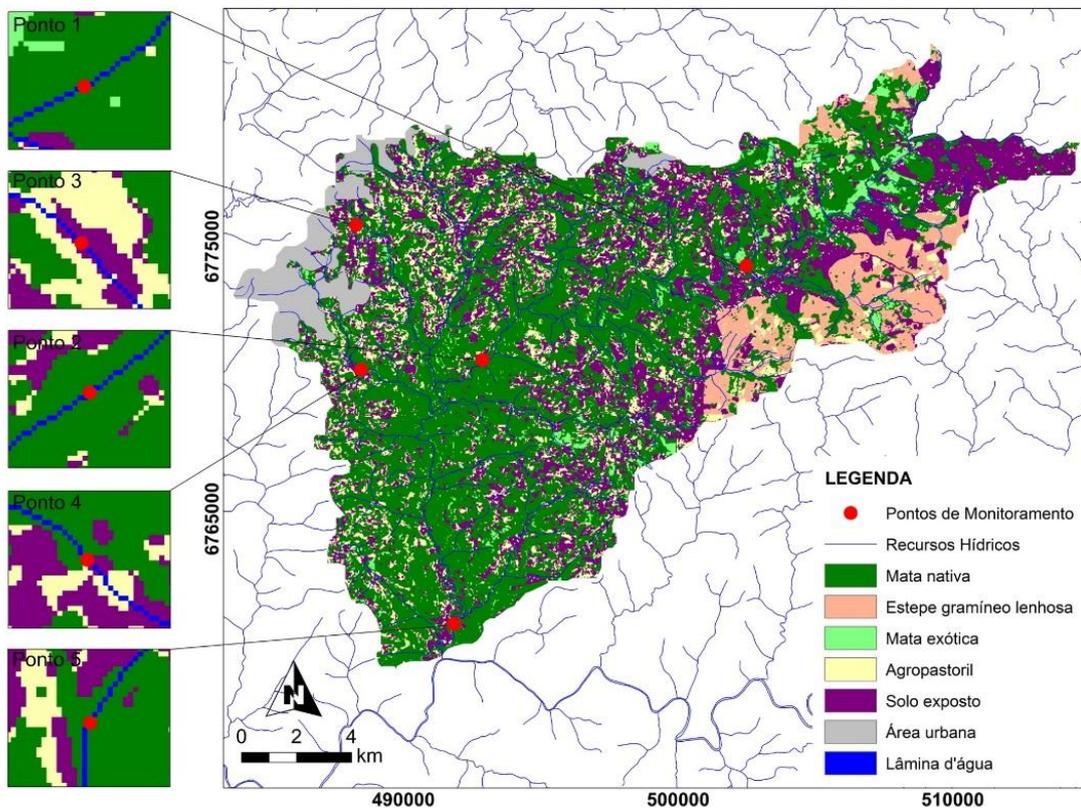


Fig. 5: Mapa de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Rio Piaí

A Figura 6 mostra o mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Arroio Tega.

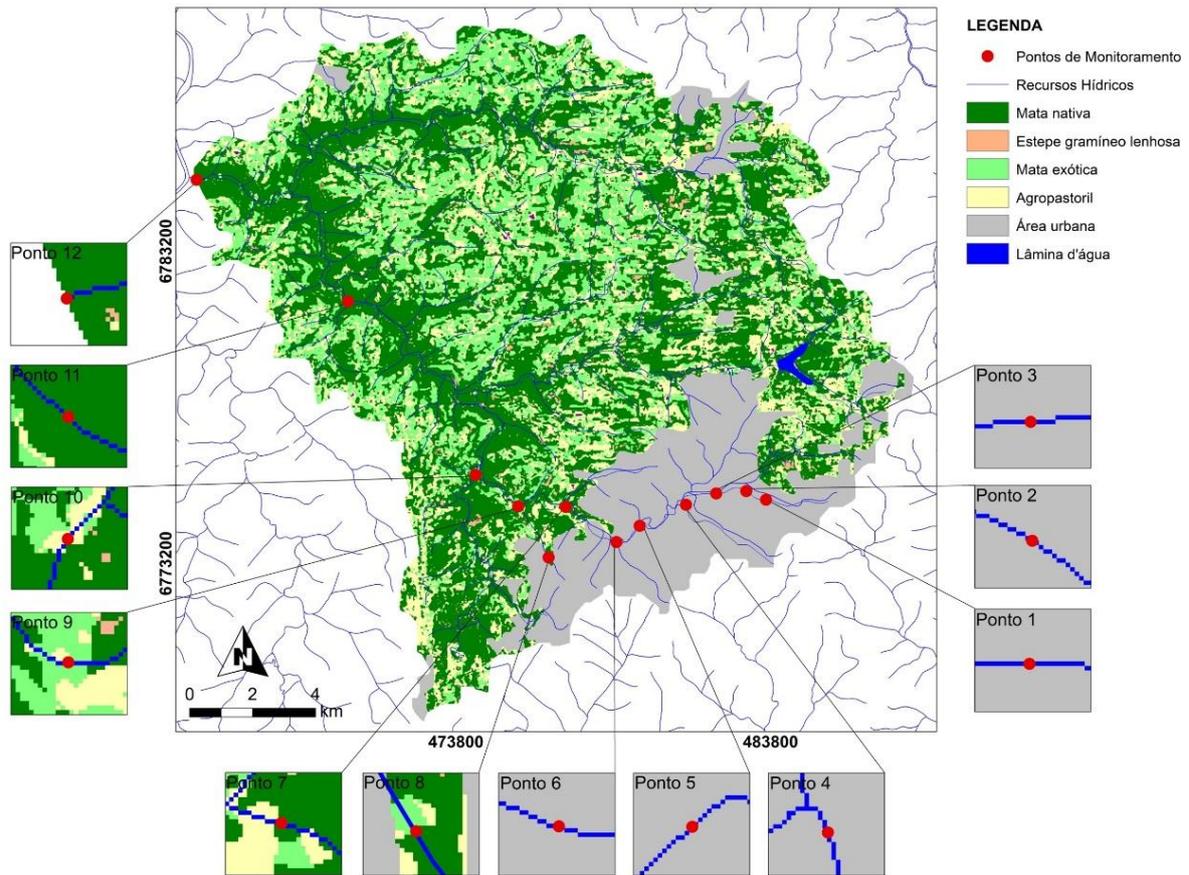


Fig. 6: Mapa de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Rio Tega

A Tabela 3 apresenta os dados quantitativos de cada classe observada nas sub-bacias avaliadas

Tabela 3: Dados quantitativos de uso e cobertura do solo das sub-bacias do Rio Piaí e do Rio Tega

Classe	Piaí		Tega	
	km ²	%	km ²	%
Mata nativa	168,71	50,89	123,59	41,93
Estepe gramíneo lenhosa	21,77	6,57	3,39	1,15
Mata exótica	9,17	2,77	61,05	20,71
Agropastoril	37,14	11,20	53,74	18,23
Área urbana	15,24	4,60	51,05	17,32
Lâmina d'água	1,98	0,60	1,93	0,66
Solo exposto	77,49	23,37	0,00	0,00
TOTAL	331,5	100,00	294,76	100,00

Analisando as Figuras 5 e 6 e a Tabela 3, é possível observar que aproximadamente metade das sub-bacias se apresentam cobertas por vegetação nativa, representada pelas classes de mata nativa e estepe gramíneo-lenhosa, totalizando 190,48km² (57,46%) para a sub-bacia do Rio Piaí e 126,98km² (43,08%) para o Rio Tega. Observa-se também a atividade agrosilvopastoril, representada pelo uso agrícola consolidado, solo exposto e pastagens, com 11,20% e 18,23%, para as sub-bacias do Rio Piaí e do Rio Tega, respectivamente. As áreas com mata exótica compreendem cerca de 2,77% e 20,71% das sub-bacias do Rio Piaí e do

Rio Tega respectivamente, estando distribuídas ao longo de toda a sub-bacia. E, a área urbanizada ocupa cerca de 4,60% no Rio Piaí e 17,32% no Rio Tega, enquanto que a lâmina d'água perfaz menos de 1% da área de cada uma das sub-bacias.

B. Parâmetros de Qualidade Analisados

Nas Tabelas 4, 5 e 6 estão dispostos os resultados de média, máximo e mínimo dos parâmetros de qualidade da água durante o período de estudo nas sub-bacias selecionadas.

Tabela 2: Valores de Média, Máximo e Mínimo da Sub-bacia do Rio Piaí

Parâmetros	Pontos Piaí				
	P1 (Média) (Mín-Max)	P2 (Média) (Mín-Max)	P3 (Média) (Mín-Max)	P4 (Média) (Mín-Max)	P5 (Média) (Mín-Max)
Chumbo (mg/L)	0,12 (0,12-0,12)	0,11 (0,01-0,12)	0,11 (0,01-0,12)	0,11 (0,013-0,12)	0,11 (0,007-0,118)
Cianetos (mg/L)	0,013 (0,01-0,05)	0,03 (0,01-0,1)	0,02 (0,01-0,06)	0,01 (0,01-0,05)	0,02 (0,01-0,07)
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	3,61E+02 (4,5E+02-1,7E+03)	2,48E+02 (2,00E+01-1,30E+03)	5,08E+04 (7,80E+02-5,40E+05)	1,98E+04 (3,30E+03-1,10E+05)	3,07E+03 (2,00E+01-2,80E+04)
Cromo (mg/L)	0,04 (0,04-0,04)	0,04 (0,04-0,06)	0,04 (0,04-0,05)	0,04 (0,04-0,04)	0,04 (0,04-0,04)
DBO (mg/L)	2,14 (1,00-10,50)	2,13 (1,00-6,60)	5,77 (2,11-46,00)	8,96 (1,31-18,0)	1,7 (1,0-3,0)
Fenol (µg/L)	4,97 (1,00-30,76)	5,39 (1,00-35,33)	8,94 (1,00-46,00)	10,93 (1,00-37,36)	12,41 (1,00-44,00)
Fósforo total (mg/L)	0,030 (0,010-0,075)	0,05 (0,02-0,14)	0,40 (0,15-1,48)	0,56 (0,19-1,56)	0,11 (0,04-0,20)
Níquel (mg/L)	0,05 (0,004-0,053)	0,05 (0,05-0,05)	0,005 (0,003-0,053)	0,06 (0,05-0,08)	0,049 (0,008-0,053)
Nitrato (mg/L)	0,95 (0,19-1,68)	1,66 (0,20-3,00)	10,88 (2,77-40,85)	13,25 (5,02-24,72)	7,02 (3,37-16,01)
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,29 (0,02-3,00)	0,08 (0,02-0,30)	4,41 (1,23-11,09)	5,61 (1,23-15,43)	0,08 (0,02-0,24)
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	2,08 (0,20-18,98)	0,24 (0,18-0,43)	5,07 (1,37-13,65)	6,56 (1,75-17,34)	0,45 (0,20-0,77)
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	11,45 (9,15-13,21)	11,89 (8,84-13,59)	9,48 (5,90-11,80)	9,92 (6,39-12,05)	11,98 (8,35-13,57)
pH a 25°C	7,18 (6,15-7,86)	7,32 (6,33-8,13)	7,23 (6,64-7,75)	7,36 (6,79-7,82)	7,24 (6,35-7,75)
Sólidos Totais (mg/L)	40,91 (10,00-60,00)	51,92 (35,00-67,00)	122,75 (71,00-218,00)	159,08 (86,00-300,00)	82,42 (54,00-110,00)
Temperatura (°C)	16,74 (12,61-23,54)	23,42 (15,00-33,00)	15,12 (12,40-19,85)	15,82 (11,88-21,29)	17,66 (11,31-24,22)
Turbidez (NTU)	3,22 (0-8,30)	4,32 (0-17,70)	20,71 (0-220,00)	4,87 (0-24,10)	7,08 (0-39,80)
Zinco total (mg/L)	0,05 (0,03-0,22)	0,06 (0,03-0,18)	0,08 (0,03-0,155)	0,06 (0,03-0,10)	0,06 (0,03-0,14)

No geral, o que se percebe ao avaliar os resultados dos parâmetros encontrados nos cinco pontos monitorados da bacia do Rio Piaí é que os pontos localizados na área urbana (P3 e P4) se encontram com problemas de contaminação, enquanto que os pontos da área rural (P1, P2 e P5) apresentaram boa qualidade. Os maiores problemas dizem respeito aos coliformes termotolerantes (provenientes de despejos), ao fenol (proveniente da aplicação de agroquímicos nas áreas rurais e de despejos industriais na área urbana), fósforo, nitrato e nitrogênio amoniacal também apresentam seus valores alterados quando comparados aos

limites apresentados na Resolução CONAMA n° 357/05. Cabe aqui destacar que o fato de haver uma maior concentração de nitratos do que de nitrogênio amoniacal no P3 indica que o efluente nessa região já sofreu um significativo processo de biodegradação. É importante também salientar que apesar de P3 e P4 drenarem a área urbana de Caxias, estes recebem despejos de locais diferentes, não estando relacionados. Ao chegar no P5, onde existe o encontro das águas dos quatro pontos, fica clara uma significativa melhora da qualidade, apesar de ainda ficar evidente a ocorrência de despejos domésticos à montante.

Tabela 3: Valores de Média, Máximo e Mínimo da Sub-bacia do Rio Tega

Parâmetros	Pontos Tega					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	(Média) (Mín-Max)	(Média) (Mín-Max)	(Média) (Mín-Max)	(Média) (Mín-Max)	(Média) (Mín-Max)	(Média) (Mín-Max)
Chumbo (mg/L)	0,11 (0,14-016)	0,11 (0,016-0,14)	0,12 (0,12-0,12)	0,11 (0,07-0,12)	0,11 (0,017-0,154)	0,10 (0,002-0,12)
Cianetos (mg/L)	0,11 (0,01-0,46)	0,11 (0,01-0,69)	0,02 (0,01-0,07)	0,11 (0,01-0,61)	0,17 (0,01-0,49)	0,95 (0,02-6,89)
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	1,62E+06 (2,40E+05- 9,20E+06)	9,67E+05 (3,30E+04- 3,50E06)	6,06E+06 (1,60E+06- 1,60E+07)	1,88E+06 (1,30E+04- 1,60E+07)	5,84E+05 (1,30E+04- 2,20E+06)	1,83E+05 (7,90E+02- 1,10E+06)
Cromo (mg/L)	0,79 (0,04-3,93)	1,27 (0,004-5,24)	0,08 (0,04-0,33)	1,17 (0,04-3,89)	0,57 (0,27-0,87)	0,22 (0,04-0,97)
DBO (mg/L)	23,17 (17,7-55,30)	30,33 (13,50-87,00)	125,07 (59,1-213,0)	33,74 (9,20-87,70)	43,44 (21,1-81,6)	20,56 (7,1-58,9)
Fenol (µg/L)	4,48 (1-28,7)	3,67 (1,00-14,25)	17,15 (1-54,62)	10,65 (1,0-35,89)	7,18 (1-25,68)	4,17 (1-17,81)
Fósforo total (mg/L)	1,60 (0,4-5,72)	45,04 (0,35-524,0)	2,73 (1,08-9,51)	1,34 (0,48-3,17)	1,07 (0,5-2,32)	0,85 (0,46-1,97)
Níquel (mg/L)	0,58 (0,053-2,56)	0,53 (0,05-1,67)	0,06 (0,002-0,17)	0,52 (0,002-1,97)	0,34 (0,093-0,88)	0,45 (0,17-0,82)
Nitrato (mg/L)	9,99 (1,69-13,94)	8,38 (1,59-13,42)	2,1 (0,79-10,06)	5,53 (0,89-12,59)	4,04 (0,41-14,29)	2,55 (0,43-6,79)
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	7,77 (3,76-12,29)	9,13 (4,26-15,16)	20,16 (16,3-26,9)	11,44 (5,43-19,53)	12,24 (7,1-18,16)	10,12 (6,25-16,11)
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	11,15 (7,2-18,57)	12,71 (7,05-20,21)	20,02 (23,41-36,05)	15,08 (7,88-24,72)	15,85 (10,65-24,31)	12,77 (7,39-20,48)
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	9,17 (5,33-11,67)	7,92 (5,25-10,77)	3,01 (1,32-5,59)	6,39 (3,73-9,65)	5,93 (1,52-9,30)	9,88 (6,31-12,00)
pH a 25°C	7,54 (5,82-8,23)	7,42 (5,43-8,03)	7,32 (6,16-7,95)	7,40 (6,09-7,98)	7,35 (5,81-8,19)	7,91 (6,41-8,76)
Sólidos Totais (mg/L)	220,83 (166-375)	283,0 (149,0-683,0)	389,92 (293,0-540,0)	275,58 (120-537)	285,92 (164-420)	213,58 (153-300)
Temperatura (°C)	17,6 (13,91-22,7)	18,19 (12,95-25,67)	19,35 (15,77-23,68)	18,41 (13,36-24,75)	19,76 (14,9-26,6)	19,20 (15,31-24,8)
Turbidez (NTU)	26,18 (7,7-57,4)	24,04 (7,20-44,50)	78,52 (40,1-133,0)	52,43 (5,7-383)	44,30 (0,40-109)	12,46 (4,40-27,60)
Zinco total (mg/L)	0,23 (0,04-1,15)	0,12 (0,03-0,24)	0,16 (0,07-0,29)	0,49 (0,034-2,3)	0,63 (0,33-1,26)	0,55 (0,31-1,03)

O Rio Tega apresenta as piores condições de qualidade da água observadas em todas as campanhas de amostragem e também quando comparado a outra sub-bacia estudada. O trecho que se encontra na área urbana (T1 a T9) conta com uma maior presença industrial e populacional, onde ocorrem despejos de efluentes e esgotos, muitas vezes sem qualquer tratamento, denotando um aspecto de degradação constante, sendo possível esta constatação através de aspectos visuais e organolépticos como odores. Entre estes pontos, podem ser identificadas a presença de espumas, óleos e resíduos, conferindo às águas um aspecto degradante em termos de qualidade, contribuindo para a perda da função ecológica, servindo apenas como um curso de água de afastamento de

efluentes.

A baixa qualidade da água do Rio Tega e de seus afluentes é reflexo do lançamento de efluentes a partir de fontes pontuais, como residências e também de indústrias que não possuem estação de tratamento de efluentes ou cujo tratamento não é suficiente para atender os padrões de lançamento previstos pela legislação estadual. A drenagem das áreas urbanizadas da bacia também contribui para a degradação da qualidade das águas. Durante eventos de precipitação, o escoamento superficial gerado pela chuva promove o arraste de matéria orgânica, partículas de solo e resíduos sólidos para os corpos hídricos, aumentando a concentração de poluentes.

Tabela 4: Valores de Média, Máximo e Mínimo da Sub-bacia do Rio Tega

Parâmetros	Pontos Tega					
	T7 (Média) (Mín-Max)	T8 (Média) (Mín-Max)	T9 (Média) (Mín-Max)	T10 (Média) (Mín-Max)	T11 (Média) (Mín-Max)	T12 (Média) (Mín-Max)
Chumbo (mg/L)	0,11 0,01-0,12	0,11 0,01-0,12	0,11 0,015-0,12	0,11 0,007-0,12	0,11 0,01-0,12	0,11 0,016-0,12
Cianetos (mg/L)	0,06 0,01-0,16	0,02 0,01-0,07	0,04 0,01-0,11	0,018 0,01-0,06	0,013 0,01-0,05	0,02 0,01-0,06
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	3,61E+05 1,70E+04- 1,70E+06	3,12E+05 7,80E+03- 3,30E+06	1,32E+05 1,1E+04- 3,50E+05	2,18E+05 1,30E+02 – 2,40E+06	1,49E+04 7,90E+02- 9,20E+04	3,22E+04 2,30E+02- 3,5E+05
Cromo (mg/L)	0,26 0,04-0,63	0,26 0,07-0,69	0,26 0,07-0,69	0,18 0,04-1,38	0,09 0,04-0,34	0,04 0,04-0,06
DBO (mg/L)	23,91 12,1-51,4	24,63 8,7-96	18,92 5,21-36,9	2,94 1-8,2	9,18 3,37-21,22	4,09 1-17,1
Fenol (µg/L)	7,88 1-27,96	14,12 1-52,3	4,45 1-12,22	6,47 1—36,85	4,11 1-20,6	4,87 1-24,16
Fósforo total (mg/L)	0,91 0,44-2,39	0,90 0,35-2,61	0,86 0,34-2,24	0,17 0,035-0,512	0,50 0,27-1,18	0,40 0,20-0,99
Níquel (mg/L)	0,23 0,05-0,49	0,07 0,05-0,26	0,21 0,05-0,35	0,051 0,032-0,054	0,08 0,002-0,14	0,07 0,02-0,15
Nitrato (mg/L)	2,47 0,66-7,96	2,12 0,38-17,14	6,86 1,25-20,25	11,09 2,74-23,98	18,95 8,14-30,59	21,77 10,08-41,53
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	11,03 5,71-16,11	9,66 5,43-15,02	9,45 6,28-15,84	0,58 0,02-3	3,17 0,25-5,5	1 0,02-3,82
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	14,12 6,55-22,6	11,70 6,38-17-89	12,16 7,96-22,12	0,99 0,2-2,8	3,78 0,4-6,55	1,55 0,2-4,46
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	9,41 7,15-11,35	3,36 2,17-5,54	10,28 7,86-12,51	11,38 8,44-13,22	11,75 8,39-13,72	12,78 9,98-14,65
pH a 25°C	7,75 6,27-8,64	7,13 5,92-7,78	7,86 6,33-8,79	7,49 5,98-11,89	7,72 5,86-10,55	7,27 6,05-8,28
Sólidos Totais (mg/L)	240,92 148-360	270,83 140-773	237,42 167-335	71,83 10-100	160,33 10-234	145,68 97-211
Temperatura (°C)	19,70 14,37-26,39	21,11 14,12-26,25	18,80 13,42-22,47	16,48 10,75-21,42	18,18 10,72-26,53	17,14 10,54-24,5
Turbidez (NTU)	41,96 3,30-173,0	6,92 0,4-19,9	19,18 2,3-63,5	1,7 0-6,2	4,08 0-13	4,77 0-11,8
Zinco total (mg/L)	0,37 0,03-0,63	0,13 0,034-0,53	0,33 0,09-0,58	0,054 0,034-0,094	0,12 0,03-0,18	0,09 0,04-0,17

O Rio Tega apresenta as piores condições de qualidade da água observadas em todas as campanhas de amostragem e também quando comparado a outra sub-bacia estudada. O trecho que se encontra na área urbana (T1 a T9) conta com uma maior presença industrial e populacional, onde ocorrem despejos de efluentes e esgotos, muitas vezes sem qualquer tratamento, denotando um aspecto de degradação constante, sendo possível esta constatação através de aspectos visuais e organolépticos como odores. Entre estes pontos, podem ser identificadas a presença de espumas, óleos e resíduos, conferindo às águas um aspecto degradante em termos de qualidade, contribuindo para a perda da função ecológica, servindo apenas como um curso de água de afastamento de efluentes.

A baixa qualidade da água do Rio Tega e de seus afluentes é reflexo do lançamento de efluentes a partir de fontes pontuais, como residências e também de indústrias que não possuem estação de tratamento de efluentes ou cujo

tratamento não é suficiente para atender os padrões de lançamento previstos pela legislação estadual. A drenagem das áreas urbanizadas da bacia também contribui para a degradação da qualidade das águas. Durante eventos de precipitação, o escoamento superficial gerado pela chuva promove o arraste de matéria orgânica, partículas de solo e resíduos sólidos para os corpos hídricos, aumentando a concentração de poluentes.

C. Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Toxicidade (IT)

As Tabelas 6 e 7, apresentados na sequência, trazem a descrição dos pontos de amostragem, bem como a classificação do IQA e do IET e os principais contaminantes encontrados

Tabela 5: Descrição dos pontos de amostragem e a respectiva classificação do IQA e do IT conjuntamente com os principais contaminantes.

Ponto	Descrição do Ponto	Classificação IQA e principais contaminantes	Classificação IT e principais contaminantes
P1	Mata preservada, com baixa ocupação populacional e baixa presença de agricultura	83% boa Presença de coliformes termotolerantes e DBO ₅ .	58% baixa e 25% alta Presença de fenol e zinco
P2	Mata ripária preservada, baixa ocupação populacional	75% boa e 17% ótima Presença de coliformes termotolerantes e DBO ₅ .	67% baixa e 25% alta Presença de fenol e zinco
P3	Mata ripária preservada, próximo às propriedades rurais	83% regular Presença de coliformes termotolerantes, DBO ₅ , nitrogênio total e sólidos totais	42% baixa e 33% alta Presença de fenol, zinco, nitrogênio amoniacal e nitrato
P4	Pouca mata ripária, recebe contribuição de áreas urbanizadas	50% regular e 50% ruim Presença de coliformes termotolerantes, DBO ₅ , nitrogênio total e sólidos totais	67% baixa e 33% alta Presença de fenol, níquel, zinco, nitrogênio amoniacal e nitrato
P5	Área rural, próximo ao exutório com presença de lavouras e pomares	75% boa Presença de coliformes termotolerantes e sólidos totais	50% baixa e 33% alta Presença de fenol, zinco e nitrato

a) Sub-bacia do Rio Piaí

Dentre os pontos analisados, os pontos 1, 2 e 5 são os que apresentam as melhores qualidades (83%, 75% e 75% boa respectivamente). Os pontos 3 e 4 apresentam as piores qualidades (83% e 53% regular respectivamente) com presença de coliformes termotolerantes, sólidos totais (nos dois pontos), DBO₅ e nitrogênio total (somente no Ponto 4). O ponto 3 recebe contribuições de lavouras, enquanto que o ponto 4 recebe contribuições tanto de lavouras quanto de indústrias localizadas na área de influência. Quanto à análise do Índice de toxicidade, os pontos 1, 2 e 3 foram classificados como baixa em 58%, 67% e 42% das campanhas, respectivamente. Neles são encontrados contaminantes como fenol, zinco e nitrato que são provenientes dos agroquímicos utilizados nas lavouras da região. Este fenômeno pode ser explicado devido aos pontos se encontrarem em áreas rurais mas, com mata ripária preservada de baixa ocupação populacional, com pomares e lavouras.

b) Sub-bacia do Rio Tega

Os pontos 1 a 9 do Rio Tega se encontram na área urbana do Município (Figura 4). Neles se constata a presença de contaminantes provenientes de residências e indústrias

tornando a qualidade da água ruim e tendo como função prioritária apenas o dos despejos ali lançados.

Ainda, nos pontos 1 ao 9, quanto ao Índice de Qualidade (IQA) ressaltam-se alterações de parâmetros como: coliformes termotolerantes, DBO₅, nitrogênio total e fósforo total que podem ter como origem as residências da região. Referente ao Índice de Toxicidade (IT) foram detectados contaminantes, como: chumbo, cianeto, cobre, cromo, níquel possivelmente oriundos das atividades galvanotécnicas ali presentes.

Nos pontos 10 ao 12 desta sub-bacia se percebe a atenuação dos contaminantes e uma leve recuperação do corpo hídrico o que ocasiona em uma melhora tanto no índice de qualidade da água quanto do índice de toxicidade. Esta melhora pode ser explicada pela capacidade de oxidação do corpo hídrico, por estes pontos se encontrarem mais distantes das fontes de contaminação e aumento da vazão pela contribuição de afluentes laterais. O Rio Tega caracteriza-se como rio de montanha, correndo por vales encaixados e com várias corredeiras e cachoeiras ao longo do seu percurso o que propicia a autodepuração.

Tabela 6: Descrição dos pontos de amostragem e a respectiva classificação do IQA e do IT conjuntamente com os principais contaminantes.

Ponto	Descrição do Ponto	Classificação IQA e principais contaminantes	Classificação IT e principais contaminantes
T1	Nascente do Rio Tega. Situado na área urbana, drena zona urbana e também industrial.	92% ruim Presença de coliformes termotolerantes, DBO ₅ , nitrogênio total e fósforo total	92% alto Presença de chumbo cianeto, cromo, níquel e nitrogênio amoniacal
T2	Situado em área urbana, área densamente urbanizada com grande concentração industrial	83% ruim Presença de coliformes termotolerantes, DBO ₅ , nitrogênio total e fósforo total	100% alto Presença de chumbo cianeto, cromo, níquel e nitrogênio amoniacal
T3	Situado em área urbana, área densamente urbanizada com grande concentração industrial	100% péssima Presença de coliformes termotolerantes, DBO ₅ , nitrogênio total e fósforo total e por vezes apresentou baixa concentração de oxigênio dissolvido	100% alto Presença de chumbo, fenol, níquel e nitrogênio amoniacal
T4	Situado em área urbana, área densamente urbanizada com grande concentração industrial	75% ruim Presença de coliformes termotolerantes, DBO ₅ , nitrogênio total e fósforo total e por vezes apresentou baixa concentração de oxigênio dissolvido	100% alto Presença de chumbo cianeto, cromo, fenol e nitrogênio amoniacal
T5	Situado em área urbana, área densamente urbanizada com grande concentração industrial	83% ruim Presença de coliformes termotolerantes, DBO ₅ , nitrogênio total e fósforo total e por vezes apresentou baixa concentração de oxigênio dissolvido	100% alto Presença de chumbo cianeto, cromo, níquel, zinco e nitrogênio amoniacal
T6	Área com alta densidade populacional e diversidade de atividades (indústrias, comércios e serviços)	75% ruim Presença de coliformes termotolerantes, DBO ₅ , nitrogênio total e fósforo total	100% alto Presença de chumbo, cianeto, cromo, níquel, zinco e nitrogênio amoniacal
T7	Área com alta densidade populacional. Recebe contribuição de todos os pontos anteriores	100% ruim Presença de coliformes termotolerantes, DBO ₅ , nitrogênio total e fósforo total	92% alto Presença de chumbo cianeto, cromo, níquel, zinco e nitrogênio amoniacal
T8	Nascente que drena parte do distrito industrial. Não recebe contribuição de pontos anteriores	83% ruim Presença de coliformes termotolerantes, DBO ₅ , nitrogênio total e fósforo total e por vezes apresentou baixa concentração de oxigênio dissolvido	92% alto Presença de chumbo cianeto, cromo, níquel, zinco e nitrogênio amoniacal
T9	Último ponto urbanizado. Recebe contribuição dos demais	92% ruim Presença de coliformes termotolerantes, DBO ₅ , nitrogênio total e fósforo total	100% alto Presença de chumbo cianeto, cromo, níquel, zinco e nitrogênio amoniacal
T10	Não recebe contribuição dos pontos anteriores. Apresenta mata ripária preservada	50% ruim Presença de coliformes termotolerantes e fósforo total	75% alto Presença de chumbo, níquel e nitrato
T11	Afastado da zona urbana, com mata ripária preservada, recebe contribuição de todos os pontos anteriores	60% ruim Presença de coliformes termotolerantes, DBO ₅ , nitrogênio total e fósforo total	67% alto Presença de chumbo, cromo, níquel e nitrato
T12	Localizado no exutório da sub-bacia, próximo ao ponto onde o Rio Tega se encontra com o Rio das Antas	75% ruim Presença de coliformes termotolerantes e fósforo total	67% alto Presença de chumbo, níquel e nitrato

IV. CONCLUSÕES

A forma como o ser humano uso e ocupa o solo está conectada diretamente com a qualidade da água dos cursos hídricos ali presentes. Assim, após a análise dos índices de qualidade da água, tanto IT quanto IQA, é factível a constatação de que os mesmos são influenciados pelo uso e ocupação do solo, podendo assim estabelecer algumas considerações:

- Sub-bacia do Rio Piaí (sub-bacia com pouca influência antrópica) possui predominantemente características rurais visto que apresenta aproximadamente 70% do uso do solo dividido entre atividade agropastoril, mata nativa e exótica e estepe é a que possui, se comparando as duas sub-bacias, a melhor qualidade da água pois na maioria das campanhas e dos pontos o IQA foi considerado Boa e o IT baixo.

• Sub-bacia do Rio Tega (alta intervenção antrópica) é a que possui pior qualidade pois conforme apresentado, a maioria dos pontos nos quais foram realizadas as coletas (em 9 de 12) ficam na área urbana (despejo de esgotos domésticos) e também em áreas industriais (despejos de efluentes industriais) do município. Isso comprova o IQA ruim e o IT alto.

Os resultados apresentados demonstram que mesmo com os impactos presentes nas duas sub-bacias, é perceptível que ainda existam nestes recursos hídricos processos naturais capazes de atenuar a carga de poluentes que é lançada. Para tanto, são necessárias realizar ações com o objetivo de otimizar a coleta dos resíduos sólidos nas áreas de entorno, melhorar a coleta e a eficiência dos tratamentos de efluentes utilizados, buscando recuperar e preservar as matas ciliares, além de um forte programa de educação ambiental.

V. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pela concessão da bolsa durante o período de realização do Pós- Doutorado.

À Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Caxias do Sul.

Ao colega Tiago Panizzon pelas figuras com a localização e os detalhes dos pontos de amostragem das duas sub-bacias.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] D.A. Carvalho, et al. Análise de BTEX em água: comparação entre duas colunas cromatográficas. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 9, n. 1, 149-160. 2014.
- [2] D.P. Santana, et al, Água: recurso natural finito e estratégico. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 20 p. 2001. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 16). Disponível: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/486441/agua-recurso-natural-finito-e-estrategico>>. Acesso: 10 mar. 2015.
- [3] PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Perspectivas do meio ambiente mundial (GEO-3). Passado, presente e futuro. Publicado pela primeira vez no Reino Unido e nos Estados Unidos em 2002. Tradução de Sofia Shellard Neila Barbosa Corrêa. S/I: PNUMA/IBAMA/ UMA. 2004. Disponível: http://www.wvuma.org.br/geo_mundial_arquivos/index.htm. Acesso: 07 mar. 2015.
- [4] M. Von Sperling, Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 3. Ed. Belo Horizonte: UFMG. 2005.
- [5] A. Balmford, et al, Economic reasons for conserving wild nature. *Science*, v 297, 950-953. 2003.
- [6] N. Vieceli, et al, Avaliação da Fisiografia de Bacias Hidrográficas de Caxias do Sul. RS. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves. 2013. Disponível: https://www.abrh.org.br/sgecv3/UserFiles/Sumarios/c3f7d7a816cf15015f69b1b6a6c8ae3e_77fe7af4be40a8804d789e9b82159b55.pdf. Acesso: 05 mai. 2014.
- [7] CAXIAS DO SUL. Lei complementar nº 290, de 24 de setembro de 2007. Institui o Plano Diretor do Município de Caxias do Sul e dá outras providências. 2007. Disponível em: Acesso em: 25 ago. 2014.
- [8] RIO GRANDE DO SUL. Conselho de Recursos Hídricos. Resolução CRH nº 50, de 6 de novembro de 2008. Aprova o Enquadramento das águas das bacias hidrográficas dos rios Caí, Pardo, Tramandaí e do Lago Guaíba. 2008. Disponível: <<http://www.sema.rs.gov.br/>> Acesso: 25 ago. 2013.
- [9] M.A. Paviani, et al, Monitoramento Qualitativo das Águas do Rio Tega–Caxias do Sul. XIII Mostra de Iniciação Científica, Pós-graduação, Pesquisa e Extensão. Caxias do Sul. 2013.
- [10] RIO GRANDE DO SUL. Resolução CRH nº 121, de 12 de dezembro de 2012. Aprova o enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. 2013. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 07 out. 2014.
- [11] R.F. Santos, Planejamento ambiental: Teoria e prática. São Paulo: Oficina dos Textos, 184p. 2004.
- [12] R.M. Brown, et al, Water Quality Index – Do we dare? *Water & Sewage Works*, 339-343. 1970.
- [13] CETESB. Relatório Anual de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: Apêndice A: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas de amostragem. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo: CETESB. 2009.
- [14] ANA-Agência Nacional de Águas. Portal da Qualidade das Águas: Agência Nacional das Águas. 2009.
- [15] IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da Água Superficial. 2015. Disponível: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas/monitoramento/agua-superficial>>. Acesso: 10 fev. 2015.
- [16] M. Von Sperling. Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuais: estudo e modelagem da água de rios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG. 2007.
- [17] BRASIL. Resolução CONAMA 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. Brasília, DF. 2005. Disponível: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso: 21 fev. 2015.