

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA  
AMBIENTAL - MESTRADO E DOUTORADO  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM  
GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS**

Elias Dresch

**INOVAÇÃO METOLÓGICA NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE  
AMBIENTAL URBANA APLICADA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
ARROIO PRETO, SANTA CRUZ DO SUL, RS, BRASIL**

Santa Cruz do Sul  
2017

**Elias Dresch**

**INOVAÇÃO METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE  
AMBIENTAL URBANA APLICADA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO  
PRETO, SANTA CRUZ DO SUL, RS, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental-Mestrado e Doutorado, Área de Concentração em Gestão de Recursos Naturais, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental

Orientadores:

Prof. Dr. Eduardo Lobo Alcayaga

Prof. Dr. Ênio Leandro Machado

Santa Cruz do Sul

2017

**Elias Dresch**

**INOVAÇÃO METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE  
AMBIENTAL URBANA APLICADA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO  
PRETO, SANTA CRUZ DO SUL, RS, BRASIL**

Esta dissertação foi submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental-Mestrado e Doutorado, Área de Concentração em Gestão de Recursos Naturais, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

*Dr. Eduardo Lobo Alcayaga*

Professor Orientador – UNISC

*Dr. Adilson Bem da Costa*

Professor Examinador – UNISC

*Dr. Eduardo Rodrigo Ramos de Santana*

Examinador Convidado – FEPAM

Santa Cruz do Sul

2017

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao Deus supremo pela força e inspiração que nos emana no dia-a-dia; à minha esposa e filhos pela paciência e apoio incondicionais; aos meus pais por terem me conduzido a me tornar um homem de bem; aos demais familiares pelo incentivo; aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - Mestrado e Doutorado, pelos ensinamentos e pela amizade, por compartilharem as suas histórias; e, em especial, aos professores orientadores Dr. Eduardo Lobo Alcayaga e Dr. Ênio Machado, pelo apoio e disciplinamento, por acreditarem no projeto, pelo empenho e pela sabedoria transmitida. Agradeço por me ensinarem a desenvolver um projeto baseado no consenso, no crescimento pessoal e na superação.

Agradeço à CAPES - Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço à FAPERGS - Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul e à FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental pela concessão de bolsa de iniciação científica e pela participação motivadora do servidor Dr. Eng<sup>o</sup> Quim. Eduardo R.R. de Santana.

Agradeço ao estagiário Biólogo Patrick Wiesel e ao Geógrafo da Unisc Bruno Deprá, pelo apoio na aquisição e processamento de dados.

Agradeço aos colegas de trabalho pelo apoio e compreensão. Em especial, agradeço ao MSc. Eng<sup>o</sup> Rangel Ghisleni e ao Biólogo Mateus T. K. Beise pela troca de ideias, pelo encorajamento e pela compreensão em eventuais ausências.

Agradeço aos amigos pelo reforço da confiança a cada relato sobre o trabalho.

Agradeço à orientadora do estágio de docência Profa. MSc. Bióloga Marília Schuh e aos seus alunos que renovaram minha esperança numa academia mais conectada com o mercado de trabalho.

## RESUMO

A sustentabilidade ambiental urbana é um dos grandes desafios da sociedade contemporânea considerando que o meio ambiente nas cidades vem sendo gradativamente degradada pela ocupação do solo que segue padrões históricos tradicionais baseados na substituição dos recursos naturais por elementos de interesse humano. Neste contexto, a pesquisa objetivou avaliar a qualidade ambiental urbana na Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, Santa Cruz do Sul, RS, no decorrer de 2016, através da medição de características dos meios físico (MF), biótico (MB) e antrópico (MA), visando o desenvolvimento de um Indicador de Qualidade Ambiental Urbana (IQUAU). A coleta de dados foi baseada em informações disponíveis em sistemas de gerenciamento locais, avaliações in situ, programas computacionais de acesso gratuito e entrevistas. O processamento de dados foi feito através da aplicação de equações matemáticas objetivas e simplificadas. Os resultados do IQUAU são valores entre 0 e 1, e se constituem pela combinação de 12 indicadores, separados em três grupos conforme o meio avaliado, MF, MB e MA. A Bacia do Preto apresentou um valor de IQUAU igual a 0,71, o qual aponta para uma situação favorável na qualidade ambiental urbana na área de estudo, destacando o meio biótico que obteve um valor MB = 0,77, devido à grande presença de áreas verdes, que apresentaram um índice de  $23,4 \text{ m}^2 \text{ hab.}^{-1}$ , valor 212,7% acima da recomendação da Organização Mundial da Saúde (OMS), que estabelece  $11 \text{ m}^2 \text{ hab.}^{-1}$  como um desempenho satisfatório para a qualidade de vida da população, condição que posiciona a Bacia do Preto num patamar de destaque, além de parques e a arborização urbana, com uma média de  $101,6 \pm 40,2$  árvores/km linear de calçada percorrida (Coeficiente de Variação - CV = 39,5%), valor correspondente a um seletor grupo de cidades brasileiras com alto desempenho quantitativo. Estas condições mostram a grande relevância da floresta denominada “Cinturão Verde” na manutenção da qualidade ambiental urbana na bacia. O meio físico obteve um valor MF = 0,53, uma baixa pontuação obtida pelas características do solo e as intervenções nos cursos d’água, e alerta para a necessidade de preservação da qualidade da água, principalmente no trecho inferior do Arroio Preto, onde foi verificado um Índice de Qualidade da Água (IQA) de  $41,4 \pm 10,0$  (CV = 25,5%), correspondendo a uma água de Classe ruim, devido à contaminação orgânica e processos de eutrofização. Este fato coincide com a falta de cobertura de redes de esgotamento sanitário, uma vez que a partir do resultado obtido para este indicador,  $I_{es} = \text{Zero}$ , é possível apontar a questão do esgoto sanitário como uma prioridade para ser abordada nas ações de gestão ambiental na bacia. Os resultados também indicam uma estrutura de gestão ambiental pública organizada, e um sistema de abastecimento de água e de recolhimento de resíduos sólidos capazes de atender às demandas locais, como mostra o indicador Meio Antrópico (MA= 0,82). Concluimos que o IQUAU é uma ferramenta metodológica inovadora para a gestão ambiental em áreas urbanas, que pode determinar ações prioritárias entre os três meios (físico, biótico e antrópico) visando preservar o meio ambiente urbano, de modo que a sociedade seja efetivamente integrada com os serviços ecossistêmicos fornecidos pela natureza, e de forma sustentável.

Palavras-chave: Indicadores ambientais, qualidade ambiental urbana, meio físico, meio biológico, meio antrópico, Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, RS, Brasil.

## ABSTRACT

Methodological innovation for the evaluation of urban environmental quality applied on Preto Stream Watershed, Santa Cruz do Sul, RS, Brazil

The urban environmental sustainability is one of the great challenges of the contemporaneous society, considering that the environment in the cities has been gradually degraded by soil occupation following a traditional historic patterns based on the substitution of natural resources for elements of human interest. In this context, this research aimed at evaluating the urban environmental quality in the Preto Stream Watershed, Santa Cruz do Sul, RS, during 2016, through the measurement of some physical (PC), biological (BC) and anthropic (AC) characteristics, in order to develop an Urban Environmental Quality Indicator (UEQI). Data collection was based on information available in local management systems, evaluations in situ, computational programs of free access and interviews. Data processing was made by applying objective and simplified mathematical equations. The UEQI result is a value between 0 and 1, composed by the combination of 12 indicators, separated in three groups according to the type of environment evaluated, PC, BC and AC. The Preto Basin showed an UEQI value equal to 0.70, that signalizes a suitable condition in the urban environmental quality of the study area, highlighting the biotic environment with a value of  $BC = 0.77$ , owing to the presence of green areas which showing an index of  $23,4 \text{ m}^2 \text{ hab.}^{-1}$ , value 212,7% higher than the Health World Organization (HWO) recommendation, which established  $11 \text{ m}^2 \text{ hab.}^{-1}$  as suitable performance for getting life quality to population, condition that places the Preto basin in a notability platform, beyond the parks and the urban forest, with an average of  $101,6 \pm 40,2$  trees/km by linear sidewalk covered ( $CV = 39,5\%$ ), value that positions the region in a select group of places with high quantitative performance. These conditions show the great relevance of the forest called "Green Belt" in maintaining urban quality in the watershed. The physical environment showed a value of  $PC = 0.53$ , a low score getting by the soil characteristics and the water courses alterations, and warning the necessity to preserve the water quality, particularly in the lower reaches of Preto Stream, where it was verified a Water Quality Index (WQI) of  $41,4 \pm 10,0$  ( $CV = 25,5\%$ ), corresponding to a low quality water Class, due to organic contamination and eutrophication processes. This fact coincides with the lack of coverage of sewage networks, since from the result obtained for this indicator,  $I_{es} = \text{Zero}$ , it is possible to point out the issue of sanitary sewage as a priority to be addressed in environmental management actions in the basin. The results also indicate an organized public environmental management structure, as well as a system of water supply and solid waste collection capable of meeting the local demands, as shown by the anthropic indicator ( $MA = 0.82$ ). We conclude that IQAU is an innovative methodological tool for environmental management in urban areas, which can determine priority actions among the three environments (physical, biotic and anthropic) aiming at preserving the urban environment, in such a way the society is effectively integrated with the ecosystem services provided by the nature, in a sustainable fashion.

**Key words:** Environmental indicators, urban environmental quality, physic environment, biological environment, anthropic environment, Preto Stream Watershed, RS, Brazil.

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.</b>	<b>Contexto e Aplicação do Estudo.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.1.</b>	Objetivos específicos.....	16
<b>2.</b>	<b>REVISÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.</b>	<b>Sustentabilidade Urbana.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.</b>	<b>Impactos Ambientais Urbanos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.</b>	<b>Indicadores de Impactos Ambientais.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.1.</b>	<b>Indicadores de Avaliação do Meio Físico.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.2.</b>	<b>Indicadores de Avaliação do Meio Biótico.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.3.</b>	<b>Indicadores de Avaliação do Meio Antrópico .....</b>	<b>32</b>
A)	Indicador de Abastecimento de Água ( $I_{ab}$ ).....	34
B)	Indicador de Esgotamento Sanitário ( $I_{es}$ ).....	36
C)	Indicador de Resíduos Sólidos ( $I_{rs}$ ).....	36
A)	IDHM Longevidade .....	39
B)	IDHM Educação.....	40
C)	IDHM Renda.....	40
<b>2.4.</b>	<b>Caracterização da Área de Estudo.....</b>	<b>41</b>
<b>2.4.1.</b>	Localização .....	41
<b>2.4.2.</b>	Meio Físico.....	43
<b>2.4.3.</b>	Meio Biótico.....	47
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>56</b>
<b>3.1.</b>	<b>Indicadores de Qualidade Ambiental para o Meio Físico.....</b>	<b>56</b>
<b>3.1.1.</b>	Resistência a Impactos Ambientais (Tabela 9).....	56
<b>3.1.2.</b>	Hidromorfologia dos Cursos D'água .....	58
<b>3.1.3.</b>	Qualidade das Águas Superficiais .....	60
<b>3.1.4.</b>	Vulnerabilidade a Desastres Naturais .....	61
<b>3.2.</b>	<b>Indicadores de Qualidade Ambiental para o Meio Biótico.....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.1.</b>	Biodiversidade.....	62
<b>3.2.2.</b>	Conservação de Áreas de Preservação Permanentes (APPs) .....	63
<b>3.2.3.</b>	Áreas Verdes .....	65
<b>3.2.4.</b>	Arborização Urbana.....	66
<b>3.3.</b>	<b>Indicadores de Qualidade Ambiental do Meio Antrópico .....</b>	<b>68</b>
<b>3.3.1.</b>	Intensidade do Uso do Solo .....	68
<b>3.3.2.</b>	Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) .....	69

A)	Indicador de Abastecimento de Água (I <sub>ab</sub> ).....	69
C)	Indicador de Resíduos Sólidos (I <sub>rs</sub> ).....	69
<b>3.3.3.</b>	Estrutura de Gestão Ambiental Pública .....	69
<b>3.3.4.</b>	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) .....	70
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>72</b>
<b>4.1.</b>	<b>Indicadores do Meio Físico .....</b>	<b>72</b>
4.4.1.	Resistência a Impactos Ambientais .....	72
4.4.2.	Hidromorfologia dos Cursos D'água .....	73
4.4.3.	Qualidade das Águas Superficiais .....	78
4.4.4.	Vulnerabilidade a Desastres Naturais (MF4).....	81
<b>4.5.</b>	<b>Indicadores do Meio Biótico .....</b>	<b>84</b>
4.5.1.	Biodiversidade.....	84
4.5.2.	Preservação de Áreas de Preservação Permanentes (APP) .....	85
4.5.3.	Áreas Verdes Públicas .....	88
4.5.4.	Arborização Urbana.....	90
<b>4.6.</b>	<b>Indicadores do Meio Antrópico.....</b>	<b>92</b>
4.6.1.	Intensidade do Uso do Solo .....	92
4.6.2.	Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) .....	94
A)	Indicador de Abastecimento de Água (I <sub>ab</sub> ).....	94
B)	Indicador de Esgotamento Sanitário (I <sub>es</sub> ).....	95
C)	Indicador de Resíduos Sólidos (I <sub>rs</sub> ).....	97
4.6.3.	Estrutura de Gestão Ambiental Pública .....	99
4.6.4.	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) .....	101
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....</b>	<b>110</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>112</b>



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução da população e do índice de urbanização no Brasil (1940-2010).....	17
Tabela 2. Evolução da população e do índice de urbanização no Rio Grande do Sul (1970-2010). ....	17
Tabela 3. Parâmetros e pesos relativos do IQA, conforme Moretto <i>et al.</i> (2012). ....	28
Tabela 4. Resumo do dimensionamento das APPs de cursos d'água, conforme Brasil (2012).....	31
Tabela 5. Municípios do RS por faixas de número de habitantes - 1980 a 2010, extraído de SEPLAN (2014). Pop. (população), hab (habitantes). Nº Mun. (número de municípios).....	33
Tabela 6. Indicador de Abastecimento de Água (Iab), extraído de SÃO PAULO (1999).....	35
Tabela 7. Indicador de Esgotamento Sanitário ( $I_{es}$ ), conforme de SÃO PAULO (1999). ....	36
Tabela 8. Indicador de Resíduos Sólidos (Irs) conforme de São Paulo (1999). ....	37
Tabela 9. Características do solo quanto à resistência a impactos ambientais, conforme metodologia adaptada de Kämpf <i>et al.</i> (2008). ....	56
Tabela 10. Avaliação Hidromorfológica de cursos d'água, conforme metodologia adaptada de Binder <i>et al.</i> (2015). ....	58
Tabela 11. Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais utilizando o Índice de Qualidade da Água - IQA (MORETTO <i>et al.</i> , 2012). ....	60
Tabela 12. Adaptação a partir de BID (2014) e dos itens previstos no Art. 8º da Lei 12.608, de 10 de abril de 2012, que instituiu a O Estatuto de Proteção e Defesa Civil. ....	61
Tabela 13. Avaliação da biodiversidade arbórea adaptado do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2002). ....	62
Tabela 14. Compilação dos resultados do Inventário Florestal Contínuo do RS (Rio Grande do Sul, 2002) por bacia hidrográfica. ....	63
Tabela 15. Resumo do dimensionamento das APP de cursos d'água, conforme (BRASIL 2012).....	64
Tabela 16. Avaliação da preservação das APP de arroios urbanos com base no Novo Código Florestal Brasileiro (BRASIL 2012). ....	64
Tabela 17. Avaliação da disponibilidade de Áreas Verdes à População. Adaptado de De La Barrera <i>et al.</i> (2016). ....	65
Tabela 18. Avaliação da quantidade de árvores nos passeios públicos, adaptado de Iwana (2014) e Rossato (2008). ....	67
Tabela 19. Avaliação da Intensidade de Uso do Solo, adaptado de BID (2014). ....	68
Tabela 20. Avaliação da estrutura e ações de gestão ambiental municipal na área de estudo. Adaptado de BRASIL (2011), CONSEMA (2014) e Cunha <i>et al.</i> (2013). ....	70
Tabela 21. Resumo dos dados referentes ao Indicador MF1. ....	73
Tabela 22. Resumo dos resultados para hidromorfologia dos cursos d'água na Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, RS. ....	74
Tabela 23. Resultados de estudos de monitoramento ambiental na Bacia do Arroio Preto, desenvolvidos por Schuch <i>et al.</i> (2012) e pelo Laboratório de Limnologia da UNISC, entre 2007 a 2016. Apresentam-se, ainda, o resultado do IQA. ....	80
Tabela 24. Resultado do questionário aplicado a servidor do setor competente pela Defesa Civil, em 26/10/2016. ....	82
Tabela 25. Resultados extraídos do Inventário Florestal Contínuo (RIO GRANDE DO SUL, 2002). ..	84

Tabela 26. Levantamento das APPs na Bacia do Preto, RS, e do percentual preservado com cobertura vegetal com base em imagens de satélite. ....	87
Tabela 27. Resultados quanto à preservação de APPs na Bacia do Preto, RS, agrupados por intensidade de urbanização, tendo por base o emprego das ferramentas computacionais Quantum GIS e Google Earth PRO.....	87
Tabela 28. Projeções populacionais por bairros adaptado do último censo populacional IBGE(2010), considerando o aspecto tempo e área de cada bairro no contexto da Bacia do Preto, RS. ....	93
Tabela 29. Resultados de aplicação dos dados do Abastecimento de Água da Bacia do Preto à metodologia do ISA (SÃO PAULO, 1999) para obtenção do Indicador de Abastecimento de Água (I <sub>ab</sub> ). ....	95
Tabela 30. Resultados de aplicação dos dados do Esgotamento Sanitário da Bacia do Preto à metodologia do ISA (SÃO PAULO, 1999).....	96
Tabela 34. Resultados de aplicação dos dados do Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Bacia do Preto à metodologia do ISA (SÃO PAULO, 1999). ....	98
Tabela 32. Levantamento da estrutura para gestão ambiental municipal.....	100
Tabela 33. Resumo dos resultados de aplicação dos indicadores. ....	106

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação dos Solos Quanto à Resistência a Impactos Ambientais, com base no mapa desenvolvido por Kämpf <i>et al.</i> (2008) e aplicado ao programa Google Earth PRO .....	26
Figura 2. Localização do Município de Santa Cruz do Sul e da Bacia Hidrográfica do Arroio Preto no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. ....	42
Figura 3. Mapa de localização da área de escopo do estudo tendo por base imagem de satélite o programa Google Earth. Os pontos marcados correspondem aos extremos geográficos da área. Polígono em amarelo mostra a Bacia Hidrográfica do Preto. Linhas Azuis representam a rede de drenagem. O polígono verde mostra o traçado do Cinturão Verde. ....	43
Figura 4. Mapa da rede de drenagem e do relevo da região, gerado com plataforma QGIS, com destaque a localização dos limites do Município entre as bacias hidrográficas ocorrentes. ....	44
Figura 5. Climograma típico do Município de Santa Cruz do Sul, RS, considerando o período amostral de 1914-1968. As barras demonstram a pluviosidade média e a linha representa a temperatura média. Fonte: calculado por Hoppe, M. com dados da Estação Santa Cruz do Sul do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura. As barras remetem a valores médios da pluviosidade expressos em faixas no eixo a esquerda do gráfico. A linha remete aos valores de temperatura da coluna do eixo a direita do gráfico. ....	45
Figura 6. Perfil típico das regiões de encostas da área de estudo, adaptado de Noronha, <i>et al.</i> (2012), que propõe unidades hipotéticas em modelo de vertente. Os vetores representam as forças atuantes sobre os materiais basais em decomposição. Setas representam os sentidos da pressão exercida pela urbanização sobre as encostas. ....	47
Figura 7. Mapa da localização do Município de Santa Cruz do Sul e da Bacia do Arroio Preto, RS, em relação aos Biomas ocorrentes na região. Adaptado de IBGE (2004). ....	49
Figura 8. Sequência de tomadas aéreas da região do CV, Bacia do Preto, RS mostrando a regeneração da floresta entre 1976 (A) e 2016 (B). Elipses mostram mesmas regiões nas duas épocas. Fonte: Geoprocessamento PMSCS e Google Earth PRO. ....	51
Figura 9. Localização da Área de Estudo em relação ao Cinturão Verde na Cidade de Santa Cruz do Sul, RS. Fonte: Geoprocessamento Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul. ....	52
Figura 10. Planta da “Povoação de Santa Cruz”, quando iniciadas a demarcação das quadras centrais da Cidade publicada em 1855. Fonte: Geoprocessamento Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul, disponível em <a href="http://www.santacruz.rs.gov.br">www.santacruz.rs.gov.br</a> , Acesso em 14/11/2016. ....	53
Figura 11. Fotos comparativas da mesma paisagem, no início do século XX e atualmente, na cidade de Santa Cruz do Sul, RS. As setas mostram a mesma área aproximadamente um século após o primeiro registro. Fonte: Geoprocessamento Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul. ....	54
Figura 12. Vista típica do Túnel Verde, ponto turístico do centro da Cidade de Santa Cruz do Sul, RS. Fonte: Acervo digital Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul. ....	55
Figura 13. Roteiro para o Indicador Resistência a Impactos Ambientais. A: Demarcação do polígono da área em estudo. B: Registro da Área Total (AT). C: Ativação da camada Mapa de Classificação dos Solos Quanto à Resistência aos Impactos Ambientais e medição (com a Ferramenta Régua - Polígono) das áreas de intersecção correspondentes às classes do mapa. Registro das áreas e aplicação na Fórmula. ....	57
Figura 14. Roteiro de aplicação do Indicador Hidromorfologia dos cursos d’água. A: Marcação da área de estudo e da malha de drenagem total. B: Medição de afluente escolhido em A (elipse vermelha). C: Medição dos trechos em estado natural e para aplicação na fórmula. ....	59
Figura 15. Roteiro da aplicação do Indicador Mata Ciliar em APP. A: Geração dos polígonos das APPs e registro da área de APP Legal. B: Medição da mata ciliar conservada em cada trecho dos afluentes e registro da soma das áreas para aplicação na fórmula. ....	65
Figura 16. Mapa da Cidade de Santa Cruz do Sul, RS, em 1922. Destaque para os córregos urbanos existentes na região principalmente na porção sul, que atualmente é uma galeria pluvial subterrânea. ....	75

Figura 17. Recorte da Folha SH.22-V-D-IV-1 MI – 2968/1, Carta do Exército, baseada em levantamento aerofotogramétrico realizado na década de 1970. Polígono em vermelho mostra localização aproximada dos limites da B.H. do Arroio Preto. Extraído de Hasenack e Weber (2010). .....	77
Figura 18. Mapa de localização do Programa Google Earth PRO, dos pontos de coleta de amostras para monitoramento da qualidade da água do Arroio Preto, RS. ....	79
Figura 19. Média ( $\pm$ desvio-padrão) do Índice e Qualidade da Água (IQA), adaptado por Moretto <i>et al.</i> (2012) para sistemas lóticos sul brasileiros, no ponto 1 (P1), Parque da Gruta, ponto 2 (P2), intermediário e ponto 3 (P3), foz, na Bacia do Arroio Preto, RS, em 19 campanhas realizadas entre 2007 e 2016. (*): Diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Apresentam-se, também os limites para as classes de qualidade do IQA. ....	81
Figura 20. Mapa da distribuição das APPs na Bacia do Preto, RS, utilizando as ferramentas Quantum GIS e Google Earth PRO. ....	86
Figura 21. Levantamento das APPs de cursos d'água na Bacia do Preto, RS, e respectivas áreas protegidas por cobertura vegetal arbórea, considerando três níveis de intensidade de urbanização.....	88
Figura 22. Mapa de distribuição das áreas verdes e parques na Bacia do Preto, RS. A: Parque da Oktoberfest e B: Parque da Gruta. ....	89
Figura 23. Distribuição das quadras amostradas para avaliação quantitativa da arborização urbana na Bacia do Arroio Preto, RS. ....	90
Figura 24. Relatório extraído do Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Santa Cruz do Sul, RS baseado no cadastro oficial da CORSAN. Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico. Disponível em <a href="http://www.santacruz.rs.gov.br">www.santacruz.rs.gov.br</a> . Acesso em 11/11/2016. ....	97
Figura 25: Gráfico dos resultados gerais dos indicadores. MF: Meio Físico. MF1: Resistência do Solo a Impactos Ambientais. MF2: Hidromorfologia dos Cursos D'Água. MF3: Qualidade das Águas Superficiais. MF4: Vulnerabilidade a Desastres Naturais. MB: Meio Biótico. MB1: Biodiversidade. MB2: Mata Ciliar em APP. MB3: Áreas Verdes. MB4: Arborização Urbana. MA: Meio Antrópico. MA1: Intensidade do Uso do Solo. MA2: Indicador de Salubridade Ambiental. MA3: Estrutura de Gestão Ambiental Pública. MA4: Índice de Desenvolvimento Humano.....	102
Figura 26. Organograma da composição de indicadores do Indicador de Qualidade Ambiental Urbana (IQUAU), com o resumo dos resultados. Áreas divididas conforme meios avaliados. MF: Meio Físico. MF1: Resistência do Solo a Impactos Ambientais. MF2: Hidromorfologia dos Cursos D'Água. MF3: Qualidade das Águas Superficiais. MF4: Vulnerabilidade a Desastres Naturais. MB: Meio Biótico. MB1: Biodiversidade. MB2: Mata Ciliar em APP. MB3: Áreas Verdes. MB4: Arborização Urbana. MA: Meio Antrópico. MA1: Intensidade do Uso do Solo. MA2: Indicador de Salubridade Ambiental. MA3: Estrutura de Gestão Ambiental Pública. MA4: Índice de Desenvolvimento Humano.....	105

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Índice de Diversidade de Shannon, onde $H'$ é uma estimativa da média do número de espécies numa população com $S^*$ espécies, e $p_i$ é a abundância proporcional de cada espécie em relação ao total de espécies encontrada na população (LUDWIG & REYNOLDS, 1988). .....	30
Equação 2. Fórmula do Indicador de Salubridade Ambiental (ISA), adaptado de São Paulo (1999). Onde <b>Iab</b> é o Indicador de Abastecimento de Água, <b>Ies</b> é o Indicador de Esgotamento Sanitário e <b>Irs</b> é o Indicador de Resíduos Sólidos Urbanos. ....	34
Equação 3 – Equação principal do IDHM. Fonte: Brasil (2013). ....	39
Equação 4. Fórmula para obtenção da Dimensão Longevidade do IDHM. Onde: <i>EVObs</i> : esperança de vida ao nascer no local estudado; <i>EVMin</i> : esperança de vida mínima da população, padronizado 25 anos no Brasil (Censo 2010); e <i>EVMax</i> : esperança de vida máxima da população, padronizado 85 anos no Brasil (Censo 2010). Fonte: Brasil, 2013. ....	40
Equação 5: Fórmula geral (1) para obtenção da Dimensão Educação do IDHM e a fórmula para obtenção do fluxo escolar da população jovem. Em (2) a fórmula para o Fluxo Escolar da População Jovem. Fonte: Brasil, 2013. ....	40
Equação 6 - Fórmula para obtenção da Dimensão Longevidade do IDHM. Onde: <i>RPCRef</i> : Renda Per Capita de Referência; <i>VRMin</i> : Valor de Referência Mínimo; <i>VRMax</i> : Valor de Referência Máximo. Fonte: Brasil, 2013. ....	41
Equação 7. Equações gerais para obtenção do IQAU. ....	104

## LISTA DE ABREVIATURAS

AIA	- Avaliação de Impactos Ambientais
APP	- Área de Preservação Permanente
BID	- Banco Interamericano de Desenvolvimento
CMMAD	- Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNRH	- Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CORSAN	- Companhia Rio-grandense de Saneamento
CV	- Cinturão Verde
C.V.	- Coeficiente de Variação
DRH	- Departamento de Recursos Hídricos
DS	- Desenvolvimento Sustentável
FEE	- Fundação Estadual de Economia e Estatística
I <sub>ab</sub>	- Indicador de Abastecimento de Água
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICES	- Iniciativa Cidades Emergentes Sustentáveis
IDH	- Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	- Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
I <sub>es</sub>	- Indicador de Esgotamento Sanitário
IMF	- Indicador do Meio Físico
IMB	- Indicador do Meio Biótico
IMA	- Indicador do Meio Antrópico
IQA	- Índice de Qualidade da Água
I <sub>qa</sub>	- Indicador de Qualidade da Água de Abastecimento
IQAU	- Indicador de Qualidade Ambiental Urbana
I <sub>rs</sub>	- Indicador de Resíduos Sólidos
ISA	- Indicador de Salubridade Ambiental
LA	- Licenciamento Ambiental
ONU	- Organização Mundial das Nações Unidas
PMGIRS	- Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PMSB	- Plano Municipal de Saneamento Básico
PMSCS	- Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul
PNMA	- Política Nacional de Meio Ambiente
SEMA	- Secretaria Estadual de Meio Ambiente
SEMASS	- Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Saneamento e Sustentabilidade
SI	- Sem Informação
UF	- Unidade da Federação
UNISC	- Universidade de Santa Cruz do Sul
RS	- Estado do Rio Grande do Sul
SP	- Estado de São Paulo

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contexto e Aplicação do Estudo

A gestão ambiental de bacias hidrográficas urbanas no Brasil destaca-se na atualidade como um grande desafio, considerando o histórico de ocupação e uso do solo na sociedade, cujo modelo predominantemente empregado não prioriza a qualidade ambiental do meio urbano. A tomada de decisão das autoridades é cada vez mais exigida quanto à manutenção do meio ambiente preservado e, neste contexto, instrumentos de diagnóstico aplicados à realidade urbana são importantes para a sustentabilidade das ações escolhidas.

Existem muitas técnicas de avaliação de impactos ambientais e instrumentos de ordenação da gestão ambiental (SÁNCHEZ, 2006), porém muito vinculadas a empreendimentos específicos e não sobre a forma de organização das cidades. Desta forma surge uma lacuna para uma ferramenta que reúna o conhecimento científico à avaliação de áreas urbanas. Neste estudo é utilizada como escopo uma Bacia Hidrográfica Urbana, pois esta base permite reunir questões que perpassam os temas de interesse ao planejamento urbano como conservação de Áreas de Preservação Permanentes (APPs), drenagem urbana e esgotamento sanitário, por exemplo.

A metodologia proposta reúne indicadores empregados em trabalhos científicos e ferramentas de gestão consolidadas, aplicados aos meios físico, biótico e antrópico, relacionando os resultados para obtenção do Indicador de Qualidade Ambiental Urbana (IQUAU). O caminho de obtenção dos resultados é proposto como uma visão geral da área de escopo sobre as questões ambientais, permitindo a relação de aspectos tomados separadamente e que podem revelar similaridades e afinidades das características da área de estudo. Ao final do processo, obtém-se uma sinalização de tendências para a qualidade ambiental urbana, o que permite auxiliar na tomada de decisão para gestão ambiental local. Os indicadores propostos foram escolhidos considerando a representatividade, aderência à realidade local e objetividade na obtenção dos dados geradores dos indicadores.

Neste contexto, a pesquisa diz respeito à avaliação da qualidade ambiental urbana na Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, Santa Cruz do Sul, RS, utilizando indicadores como o sistema de esgotamento sanitário, gerenciamento de resíduos, características da rede fluvial e pluvial, índice de cobertura vegetal, relevo, aspectos legais, qualidade das águas superficiais, uso e ocupação do solo, dentre outros. Desta forma, a partir das características dos meios físico, biótico e antrópico e possíveis impactos atuantes na bacia do Preto, a pesquisa visa o



desenvolvimento de um novo enfoque metodológico e de inovação para uma gestão ambiental integrada em bacias hidrográficas urbanas.

## **1.2. Objetivo Geral**

Elaborar uma ferramenta metodológica com perfil inovador para uma gestão ambiental integrada em áreas urbanas, através da caracterização dos meios físico, biótico e antrópico, aplicando-a na Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

### **1.2.1. Objetivos específicos**

- 1) Pesquisar ações atuais para o desenvolvimento sustentável de áreas urbanas.
- 2) Definir parâmetros de monitoramento e avaliação da qualidade ambiental em áreas urbanas, incluindo os meios físico, biótico e antrópico.
- 3) Utilizar a estrutura de atuação da avaliação de impactos ambientais como forma de definição dos principais aspectos atuantes sobre a qualidade ambiental em áreas urbanas com ênfase nas bacias hidrográficas urbanas.
- 4) Avaliar a qualidade ambiental urbana na Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, Município de Santa Cruz do Sul, RS, utilizando por base os parâmetros apontados na metodologia proposta.
- 5) Propor uma ferramenta metodológica e de inovação para uma gestão ambiental integrada em áreas urbanas, através da caracterização dos meios físico, biótico e antrópico na Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, Santa Cruz do Sul, RS.

## 2. REVISÃO

### 2.1. Sustentabilidade Urbana

O Brasil observou nos últimos setenta anos uma modificação completa no perfil de sua população. Além do aumento em mais de 460% no número de habitantes, mudança na predominância da sua localização, acompanhada de movimentos migratórios das áreas rurais para o meio urbano, e mais recentemente se observa uma expansão das áreas urbanas sobre as áreas rurais. Segundo IBGE (2010), a urbanização no Brasil passou de 31,2 % em 1940 para 84,4 % da população em 2010 (Tabela 1). Na prática, as cidades passaram por um processo de intensificação do crescimento vegetativo e rápida expansão, o que afetou significativamente o meio ambiente urbano. A realidade do Estado do Rio Grande do Sul mostra perfil similar na dinâmica populacional (Tabela 2). Comparando-se as duas tabelas, constata-se a proximidade percentual entre a proporção da urbanização a nível nacional e no RS.

Tabela 1. Evolução da população e do índice de urbanização no Brasil (1940-2010).

Ano	População Total	População Urbana	População Rural	Urbanização (%)
1940	41.236.315	12.880.182	28.356.133	31,24
1950	51.944.397	18.782.891	33.161.506	36,16
1960	70.070.457	31.303.034	38.767.423	44,67
1970	93.139.037	52.084.984	41.054.053	55,92
1980	119.002.706	80.436.409	38.566.297	67,59
1991	146.825.475	110.990.990	35.834.485	75,59
2000	169.799.170	137.953.959	31.845.211	81,25
2010	190.755.799	160.925.792	29.830.007	84,36

Fonte: IBGE (2010)

Tabela 2. Evolução da população e do índice de urbanização no Rio Grande do Sul (1970-2010).

Ano	População Total	População Urbana	População Rural	Urbanização (%)
1970	6.664.841	3.554.239	3.110.602	53,33%
1980	7.773.849	5.250.024	2.523.825	67,53%
1991	9.138.670	6.996.542	2.142.128	76,56%
2000	10.187.798	8.317.984	1.869.814	81,65%
2010	10.693.929	9.100.291	1.593.638	85,10%

Fonte: Fundação Estadual de Economia e Estatística – FEE. Disponível em: <http://dados.fee.tche.br/>. Acesso em 04/01/2017.

Segundo Machado (2000), o processo de urbanização no Brasil foi acompanhado de uma linha de pensamento e movimentos para organizar os ambientes urbanos convivendo com grandes conflitos sobre o uso do território. Neste contexto de intensa atividade para ocupação do solo, foram elencadas prioridades no planejamento urbano e as questões ambientais não faziam parte da pauta de discussão. Como resultado deste processo se desenvolveu um formato tradicional de expansão das cidades, no qual os recursos naturais não eram considerados como integrantes do espaço urbano, mas sim elementos concorrentes aos interesses dos ocupantes das cidades. Esta tradição se fixou e prosperou na cultura urbana brasileira. Somente com o surgimento dos movimentos ambientalistas no final da década de 1970 é que o cenário iniciou uma mudança.

A Organização Mundial das Nações Unidas (ONU) criou, em 1983, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), cujo objetivo principal foi reexaminar os principais problemas do meio ambiente e do desenvolvimento em âmbito planetário, a fim de formular propostas realistas para solucioná-los, bem como assegurar que o progresso humano será sustentável através do desenvolvimento, respeitando as necessidades das futuras gerações. Em 1987 a CMMAD publica o livro “Nosso Futuro Comum”, também conhecido como Relatório Brundtland (CMMAD, 1991). Neste Livro o Desenvolvimento Sustentável (DS) é concebido como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades. Após esse primeiro passo, a questão da sustentabilidade vem sofrendo um processo constante de evolução, no qual seus critérios perpassam as demais questões da sociedade humana, ao ponto de atualmente ser considerada como um dos grandes eixos para o controle das atividades econômicas no mundo (DO LAGO, 2007).

O conceito de sustentabilidade inicialmente tinha foco na preservação dos recursos naturais para esta e futuras gerações, e assim manteve-se até o fim do século XX. O meio ambiente era associado à imagem dos ambientes rurais e silvestres, que deveriam ser preservados longe das cidades, ou a salvo da expansão urbana. A partir desse conceito, a temática ambiental era vista como distante da realidade das cidades (FLYNN *et al.*, 2016).

Os primeiros esforços em contrário sinalizaram com uma revisão do desenho urbano geral e com o manejo das questões do saneamento, principalmente no abastecimento de água; nos resíduos sólidos e “lixões”; e na canalização de esgotos pluviais para redução de enchentes e afastamento do esgoto doméstico. Estas são ações predominantemente relacionadas às demandas em saúde pública. Como resposta a esta constatação, surgiu uma intenção social de valorizar parques e áreas de convívio público, numa tendência de ressurgimento do espírito

comunitário (BID, 2014). A assimilação destas ações como sendo medidas para o desenvolvimento ambientalmente sustentável ganhou força pela aproximação com conceitos da sustentabilidade econômica e da sustentabilidade fiscal.

O senso comum de que o homem demanda sustento econômico para prover suas necessidades básicas é reconhecido como premissa à sobrevivência no mundo contemporâneo. Este é o cerne da sustentabilidade econômica. O valor social de que todos precisam sobreviver se traduz no fato de que as atividades humanas precisam gerar valor econômico, que é a moeda de troca para a subsistência. No contexto das cidades sustentáveis, é a viabilidade econômica que vai garantir recursos para adoção de medidas de proteção do meio ambiente (FLYNN *et al.*, 2016).

Evoluindo o conceito sustentabilidade, a sociedade percebeu que é necessário cobrar as autoridades no sentido de gerir corretamente os recursos públicos para que atendam às demandas comuns a todos os cidadãos. Foi com esse movimento que surgem as leis de responsabilidade fiscal, que obrigam os governantes a considerar a viabilidade econômica em suas ações para que ao concluir o exercício fiscal não haja déficit nas despesas públicas. Dentre as necessidades sociais cobradas, a sociedade contemporânea vem apontando a sustentabilidade econômica e ambiental como reivindicação aos governantes (BID, 2014; FLYNN *et al.*, 2016; VAN BELLEN, 2006).

Nesta leitura contemporânea surge a sustentabilidade urbana integrada em três bases: sustentabilidade econômica, sustentabilidade fiscal e sustentabilidade ambiental. Como resultado deste processo evolutivo, a aproximação entre estes três eixos permite uma nova visão do meio urbano, em que a questão do ambiente natural passa a participar ativamente do planejamento nas ações como quesito a ser atendido. A realidade atual e futura na gestão pública municipal tende a alcançar na essência, o espírito da legislação ambiental, que até pouco tempo parecia distante do cotidiano das cidades.

A avaliação e monitoramento da sustentabilidade ambiental urbana constitui temática de certa complexidade técnica e científica e a realidade encontrada a nível Brasil demonstra que a questão ambiental ainda margeia os interesses dos governantes. Ainda é tratada como entrave ao desenvolvimento. Para enfrentar esta realidade, é premente a necessidade de efetivar o novo modelo de sustentabilidade, baseado nos três eixos. É esta estratégia que defende BID (2014), no contexto da Iniciativa Cidades Sustentáveis na América Latina e Caribe.

Ferramentas integradas de avaliação podem contribuir significativamente para investigar o panorama atual das cidades quanto à qualidade ambiental e servir de sinalizadores para subsidiar a definição de prioridades e a tomada de decisões. Este processo pode promover

a racionalização os recursos disponíveis, contribuindo para adoção do novo conceito de sustentabilidade urbana (VAN BELLEN, 2006).

A sustentabilidade urbana na gestão das cidades depende de uma atuação direta e indireta sobre as características locais. Para a correta caracterização do meio ambiente urbano são empregados conceitos científicos de avaliação ambiental e avaliação de impactos ambientais. Para tanto as análises normalmente permeiam três meios, formados por diversas disciplinas, que combinadas definem as características ambientais do local. Os meios físico, biótico e antrópico (SANCHEZ, 2006; VAN BELLEN, 2006).

O meio físico compreende o meio fornecedor de recursos. Localiza-se na litosfera, atmosfera e na hidrosfera, sendo reconhecido por não ser representado por seres vivos, mas sim formar o subsídio para a existência da vida.

O meio biótico compreende os seres vivos em todas as escalas, suas relações tróficas e interdependências. Comumente é reconhecido como a flora, fauna e ecossistemas que em conjunto formam a biosfera.

O meio antrópico abrange a antroposfera, com suas nuances impostas pela sociedade humana. Normalmente são atribuídos a este meio os grandes impactos ambientais sobre os demais.

## **2.2. Impactos Ambientais Urbanos**

Desde os primórdios da civilização o senso comum se baseia na premissa de que o ambiente serve o Homem. Quando baseada na cultura nômade, as sociedades se instalavam em locais de interesse e quando os recursos se escasseavam, chegava o momento de buscar nova morada. Talvez no intento de fixar raízes, ao contrário da grande maioria dos animais, o Homem desenvolveu ao longo do tempo o poder de adaptar o ambiente em que vive para atender suas necessidades. Essa característica pode ser devida à busca constante pelo desenvolvimento tecnológico e por recursos, primeiramente para a subsistência e posteriormente pelo poder e propriedade (SEIFFERT, 2011).

A prática de exploração máxima dos recursos naturais para fins do interesse humano como regra geral perdurou até o século XX, e em realidade se estende até os dias atuais. Como já mencionado, a evolução do pensamento e das regras para a valorização crescente do meio ambiente teve sua frutificação na sociedade nos últimos 50 anos. A urbanização talvez exemplifique o auge do poder da sociedade em transformar o ambiente, pois os recursos econômicos e tecnológicos disponíveis permitem que áreas ocupadas com florestas preservadas

em estado original, com riachos preservados e relevo intocado, podem ser rapidamente transformadas em áreas impermeabilizadas e repletas de edifícios arranha céus (VAN BELLEN, 2006).

A criação e crescimento das cidades formam uma atividade gradual que acompanha o crescimento de sua população. Segundo Sanchez (2006), os impactos ambientais ocorrem sobre os meios físico, biótico e antrópico com magnitudes, durações e caracteres variáveis. Sendo ainda reversíveis ou não, o que pode modificar o meio sem a possibilidade de retorno às condições iniciais ou originais.

Uma ocupação regrada e de acordo com os conceitos do DS envolve adequar os projetos às características e sensibilidade originais da área. No Brasil, a Legislação atual, expressa na forma da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei n° 6.938/1981), Constituição Federal (BRASIL, 1988) e Estadual (RIO GRANDE DO SUL, 1989), Lei Complementar n° 140/2011, resoluções dos Conselhos Nacional (CONAMA) e Estadual (CONSEMA) de Meio Ambiente, além de outras portarias e diretrizes criadas na esfera administrativa, exige a realização de estudos preliminares para atividades e empreendimentos causadores de potencialmente poluidores/degradadores do meio ambiente. O instrumento administrativo do Licenciamento Ambiental (LA) em três etapas determina a viabilidade das modificações pretendidas sobre o meio ambiente. Desta forma o LA lança mão de estudos sobre o meio físico, biótico e antrópico para definir a adequação de projetos às condições atuais de determinada área pretensa ao uso humano, seja na ocupação para fins de moradia, seja para outras atividades.

Quando o movimento de urbanização é acompanhado de planejamento, a busca por informação surge como premissa básica para a serem definidos os caminhos do crescimento das cidades. Neste sentido uma investigação sobre as características originais de cada meio é imprescindível para o bom andamento da ocupação (VERDUM, 2006). Os três meios são inter-relacionados por fluxos de massa e energia, porém dois deles são considerados como o meio natural: o meio físico e o meio biótico. O meio antrópico representa aspectos e impactos relacionados ao funcionamento da sociedade.

Normalmente as atividades modificadoras do meio natural que ocorrem na expansão das cidades tem caráter negativo, ou seja, causam perdas em relação à condição natural. Neste contexto, alguns dos principais impactos observados são trazidos por Sanchez (2006): remoção de vegetação, escavações, movimentação de terras, impermeabilização do solo, geração de resíduos sólidos, assoreamento e contaminação dos cursos d'água, perda da biodiversidade, modificações do relevo, afugentamento da fauna, e alterações na dinâmica do ecossistema.

Quando estes efeitos são avaliados sob a ótica do meio antrópico, fica ressaltado que a sociedade é a grande beneficiada das alterações no meio natural trazidas pela urbanização. Dentre os resultados positivos sobre o meio antrópico são evidenciados por Sanchez (2006): geração de emprego e renda, melhorias na qualidade de vida, valorização imobiliária, incremento da atividade econômica e melhoria na mobilidade, dentre outros.

O processo de modificação do ambiente é uma força com efeito gradativo sobre os meios físico e biótico. Cada meio e cada local possui características peculiares de resiliência aos impactos ambientais, sendo que cessado o dano, existe uma tendência de retorno a uma condição próxima do original. No meio físico este fenômeno é exemplificado nos cursos d'água, que possuem uma capacidade conhecida de autodepuração dos contaminantes (BRAGA *et al.*, 2005). No meio biótico a regeneração natural das florestas pelo processo de sucessional é o exemplo marcante (MARTINS *et al.*, 2014). Os dois exemplos demonstram que a capacidade de regeneração do meio natural depende das condições originais remanescente da área. Para córregos com leitos naturais e elevados índices de qualidade das águas, a velocidade de autodepuração e atingimento de uma situação de equilíbrio após o despejo de poluentes é mais elevada do que em córregos modificados pela urbanização, por exemplo. No caso de florestas a regeneração natural é tão diversa e intensa quanto a proximidade e diversidade das florestas remanescentes adjacentes, a eventual dano ou supressão da vegetação. Excedida a resiliência dos sistemas naturais, os impactos passam a ser mais marcantes, reduzindo o potencial de regeneração e recuperação das áreas.

### **2.3. Indicadores de Impactos Ambientais**

Uma forma de avaliar a qualidade ambiental urbana precisa integrar uma mescla de olhares sobre as condições encontradas nos meios físico, biótico e antrópico, com foco nos aspectos que se mostram mais relevantes. O que dificulta a escolha dos aspectos observados é o fato do processo de modificação do meio ambiente urbano ser um fenômeno com causas e efeitos diversos, que são pulverizados por todo o território. O desafio de mensurar deve ser precedido pela definição de premissas que direcionem os estudos sobre as características mais adequadas às observações, medições e geração de informação do sistema de indicadores (BRAGA *et al.*, 2009; VAN BELLEN, 2006).

Neste sentido, o emprego de indicadores tem como vantagem a agregação sintética de informação com caráter técnico e científico, para que seja utilizada preservando o essencial dos dados originais e utilizando apenas as variáveis que melhor representem os objetivos. Desta

forma não são medidas ou analisadas todas as variáveis possíveis sobre determinado tema. A informação é assim mais facilmente compreendida por parte de gestores, políticos, grupos de interesse e público em geral (VERDUM, 2006; VAN BELLEN; 2006).

Segundo Braga *et al.* (2009), a escolha de índices de sustentabilidade urbana segue três linhas principais. Na primeira delas, com vertente biocêntrica, utiliza indicadores biológicos, físico-químicos ou energéticos de equilíbrio ecológico de ecossistemas. Na segunda, com viés econômico, consiste na tentativa de valorar os recursos e serviços prestados pelo meio ambiente ao Homem. Na terceira linha busca-se uma posição de equilíbrio entre as linhas de pensamentos precedentes, considerando construir indicadores de qualidade e sustentabilidade ambiental baseados na mescla entre aspectos do meio natural e econômico, porém agregando relações da qualidade de vida da população, estrutura de gestão pública, aspectos culturais e institucionais.

Dos cenários apresentados, a terceira linha de pensamento para elaboração de indicadores de sustentabilidade urbana ganha força por apresentar uma contextualização mais ampla e holística, perfil encontrado nas práticas de gestão na esfera pública. A escolha da forma de avaliar a realidade necessita definir critérios claros e técnicas balizadas para que os resultados sejam representativos.

A escolha de indicadores deve seguir critérios conforme uma lógica que torne o processo adequado à realidade de aplicação. No caso da gestão ambiental de ambientes urbanos, a realidade encontrada é a da gestão pública. É através do poder público que medidas são tomadas sobre a coisa pública nas cidades. Apesar de entidades de classe e até a população terem influência sobre as questões ambientais, são os poderes públicos que têm a prerrogativa de organizar e operacionalizar mudanças nos rumos das cidades.

A reflexão de como se organizam os poderes públicos municipais trazem grandes dificuldades quanto à aplicabilidade de qualquer nova ferramenta de gestão de um tema ainda pouco priorizado como a temática ambiental urbana. Deve-se considerar a situação típica dos municípios brasileiros de poucos recursos; financeiros, de pessoal e de materiais; para serem empregados na gestão ambiental local. Ao serem definidos os métodos de avaliação ambiental urbana, os indicadores devem ser adequados a este cenário.

As premissas para escolha de indicadores enquadradas no contexto da gestão ambiental pública que merecem destaque são (VAN BELLEN, 2006; SEIFFERT, 2011; SANTOS, 2004):

- Relevância ao tema: capacidade da variável em traduzir o fenômeno, ou seja, representatividade.



- Aderência local: capacidade da variável (ou indicador) em captar fenômeno produzido ou passível de transformação no plano local, alterando-se a realidade, o resultado é alterado de forma proporcional.
- Disponibilidade, cobertura e atualidade dos dados: o dinamismo urbano exige que o sistema de avaliação seja mantido atualizado frente à realidade, por isso a objetividade e atualidade dos dados é fundamental para resultados condizentes com a realidade.
- Capacidade da variável em permitir comparações temporais: a composição de índices baseados em indicadores e subindicadores necessita que seja possível a rastreabilidade de mudanças numa linha temporal, para que o monitoramento do sistema de indicadores coincida com as mudanças reais nos fenômenos.
- Eficiência: traduzida em simplicidade na obtenção dos dados com baixo custo.

Dentro da abordagem holística proposta na lógica da AIA, em que o ambiente é estudado com base nos três eixos (meio físico, meio biótico e meio antrópico), mostra-se relevante utilizar como sustentação para o uso de indicadores uma estrutura simétrica, com o mesmo número de indicadores em cada eixo. A abordagem deve também avaliar as características originais da área, sejam características de solo, biodiversidade ou forma atual de ocupação do solo. A forma como os meios são impactados é outro aspecto relevante, seja na organização para o enfrentamento de desastres, a iniciativa de valorização da arborização urbana ou o desenvolvimento humano local.

Dentro desta lógica de simetria, onde se busca similaridades entre os indicadores propostos são apresentadas as informações seguintes, que identificam aspectos relevantes e propostas de sua avaliação como indicadores.

### **2.3.1. Indicadores de Avaliação do Meio Físico**

Segundo Sánchez (2006), dentre os componentes ambientais que integram o meio físico encontram-se a litologia, solos, relevo, ar e água. Convém destacar que os temas relacionados ao solo exigem normalmente estudos complexos e aprofundados, uma vez que as características e sensibilidade de cada local variam entre uma infinidade de classificações, que combinadas com o relevo e fertilidade, amplificam ainda mais possíveis resultados.

De fato, o solo é um dos componentes ambientais que localmente é mais afetado pelas atividades humanas, pois a modificação do uso das áreas em estudo acarreta em alterações muitas vezes irreversíveis para a condição original da área. No contexto da urbanização, a construção de benfeitorias, instalação de vias de circulação e demais obras de infraestrutura dependem de movimentação de terras, que expõe as camadas inferiores com alta sensibilidade a impactos ambientais negativos como, por exemplo, a contaminação das águas subterrâneas (VERDUM, 2006).

Apesar do estudo do solo ser intensamente complexo, a utilização de indicadores de sensibilidade ambiental pode auxiliar no planejamento de seu uso bem como a tomada de decisões pelos gestores públicos e investidores. Para atender esta demanda e contribuir para o planejamento ambiental, Kämpf *et al.* (2008) elaboraram uma metodologia que avalia as características do solo para classificar as áreas quanto à resistência a impactos ambientais. O estudo possuía uma motivação original voltada ao zoneamento de áreas para licenciamento ambiental da disposição de resíduos no solo. O resultado se baseou na combinação de dados teóricos com observações de campo numa malha de pontos ao longo do RS. Nas campanhas foram avaliadas as seguintes características locais dos solos: profundidade, textura, mineralogia, presença de gradiente textural, drenagem natural, presença de lençol freático, presença de lençol suspenso, risco de inundação, suscetibilidade à erosão, relevo local e declividade. A base dos dados tem origem nas características e propriedades das unidades de mapeamento de solos identificadas no relatório do Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Sul (LEMOS, 1973). As classes foram separadas em quatro níveis de resistência e apresentadas num mapa guia, conforme mostra a Figura 1.

Os resultados obtidos por Kämpf *et al.* (2008) extrapolam as intenções iniciais, na medida que à resistência do solo a impactos devido à disposição de resíduos sólidos pode ter comportamento similar para outras atividades humanas. Este fato se sustenta pois as características estudadas por aquele autor são da mesma forma de interesse na caracterização de áreas para outros usos.

Da mesma forma como o conflito pelo uso do solo afeta o meio físico em aspectos da geologia local, os cursos d'água são diretamente afetados pela pressão pela ocupação máxima das áreas nas cidades. Os córregos urbanos sofrem efeitos em duas bases primordiais para a manutenção da qualidade ambiental urbana, manifestadas na alteração dos traçados e na qualidade das águas. Estas duas áreas se apresentam como grandes potenciais para serem trabalhadas na avaliação da qualidade urbana.

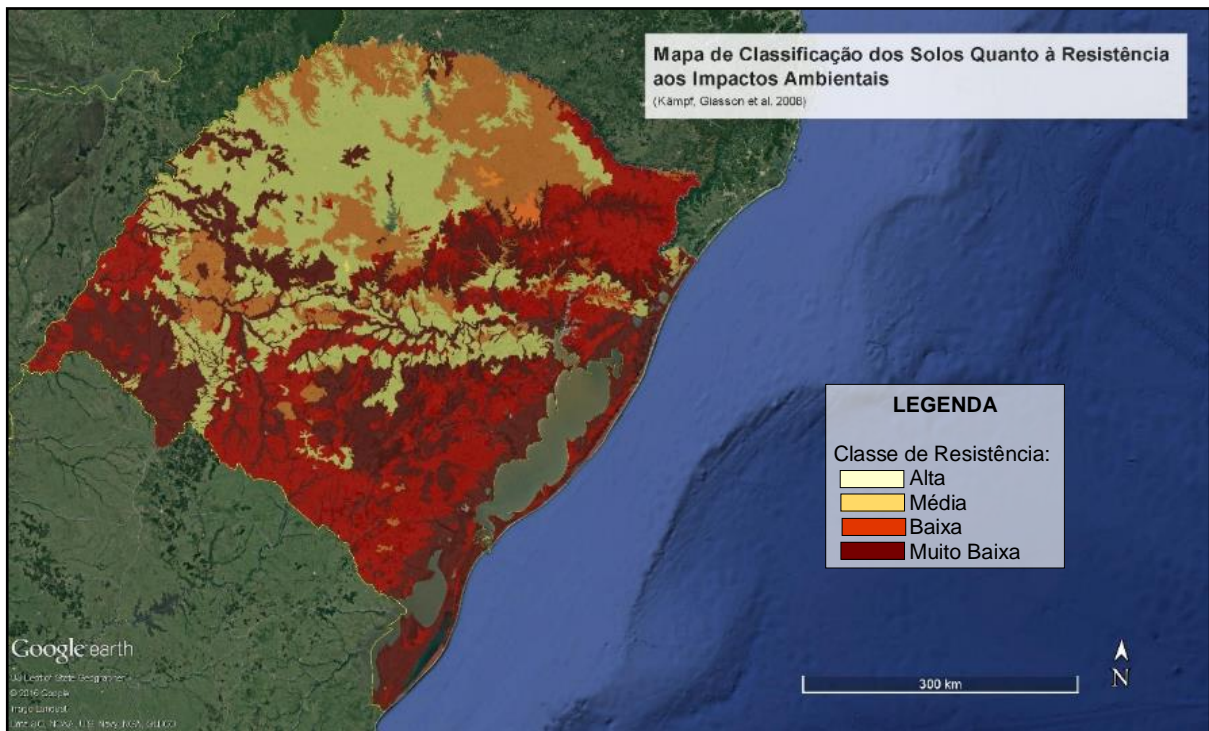


Figura 1. Classificação dos solos quanto à resistência a impactos ambientais, com base no mapa desenvolvido por Kämpf *et al.* (2008) e aplicado ao programa Google Earth PRO.

Em contracorrente à tendência de retificação e canalização dos cursos d'água, observada no Brasil, em nível global vêm sendo difundido o processo de “renaturalização” (*Renaturalization*) dos córregos urbanos. Estas práticas combinam medidas estruturais e de planejamento do uso do solo, de tal forma que a médio e longo prazo os córregos renaturalizados apresentem traçados sinuosos e naturais, circundados por matas ciliares, trazendo os benefícios que os córregos urbanos não deveriam ter perdido com a expansão das cidades (CALDERARI E MORAGNO, 2013). Binder *et al.* (2015) avaliaram projetos de recuperação de corpos d'água na região de Beijing, China, categorizando a morfologia dos cursos d'água em 5 classes ecológicas.

Classe 1 – *Status* Máximo: apenas pequenos impactos de descarga, transporte de sedimentos e geometria do canal do curso d'água. Uma condição natural.

Classe 2 – *Status* Bom: situação próxima da natural, com até uma das margens modificada, leito sem revestimento e sem barramentos ao longo do traçado.

Classe 3 – *Status* Moderado: Impactos moderados dos quesitos descarga e/ou transporte de sedimentos. Geometria do canal com as duas margens alteradas e leito natural, mas traçado com barramentos.

Classe 4 – *Status* Pobre: Observados impactos em descargas e transporte de sedimentos. Geometria do canal com duas margens alteradas, leito com sedimentos naturais, mas com traçado continuamente interrompido por barramentos.

Classe 5 – *Status* Ruim: Geometria do canal totalmente alterada, com margens e leito retificados ou com perfil transversal circular.

No contexto brasileiro, a Legislação na forma da Lei 12.651/2010 impede alterações nos traçados dos cursos d'água, salvo em situações especiais e de interesse público. Este fato torna a ocorrência de qualquer modificação no traçado dos córregos urbanos, como possível objeto de avaliação pelos órgãos ambientais. Outro aspecto a ser considerado é a prática comum no Brasil de canalizar os cursos d'água urbanos transformando-os em canais subterrâneos de águas pluviais e esgotos sanitários, situação não contemplada na escala proposta por Binder *et al.* (2015). Adaptando ao estudo em tela, é possível utilizar o critério de avaliação apresentado, considerando o percentual da malha dos córregos urbanos remanescentes com leito natural comparado com o total da extensão dos traçados.

Em continuidade às alterações no traçado dos córregos urbanos, as águas superficiais urbanas brasileiras invariavelmente recebem cargas de poluentes das mais diversas origens e o grau desta contaminação é indicador direto do impacto causado pela urbanização sobre estes recursos naturais. A sobrevivência humana está diretamente relacionada aos cursos d'água, ressaltando que a locação de cidades próximas aos rios ao longo da história são provas irrefutáveis. Se o uso da água é reconhecido como fundamental à sociedade, as águas servidas e cursos d'água integrantes da malha urbana da cidade não têm a mesma atenção (CALDERARI e MARAGNO, 2013). Baixos resultados para qualidade das águas superficiais urbanas são comuns e alertam para necessidades urgentes de tomadas de decisão responsáveis que busquem uma mudança no panorama (MORETTO *et al.*, 2012).

O monitoramento da qualidade da água e a disponibilização de índices simplificados surgem na comunidade científica como uma alternativa de grande aceitação na sociedade. Moretto *et al.* (2012) tomaram por base o Índice de Qualidade da Água (IQA), originalmente desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* - NSF nos Estados Unidos e calibraram sua aplicação à realidade da região da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, RS, sendo que a principal alteração se deu nos pesos dos parâmetros analisados no índice (Tabela 3). Desta forma, o indicador de Qualidade de Águas Superficiais baseado na aplicação do método de Moretto *et al.* (2012), surge como uma ferramenta adequada as premissas apresentadas na escolha de indicadores.

Tabela 3. Parâmetros e pesos relativos do IQA, conforme Moretto *et al.* (2012).

Variáveis	Unidade	Peso NSF	Peso Calibrado
Oxigênio dissolvido	% de Saturação	0,17	0,20
Coliformes Termotolerantes	NMP . (100 mL) <sup>-1</sup>	0,16	0,23
Potencial Hidrogeniônico - pH	-	0,11	0,05
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO <sub>5</sub>	Mg O <sub>2</sub> . L <sup>-1</sup>	0,11	0,08
Temperatura da água	°C	0,10	0,03
Nitrato	mg NO <sub>3</sub> . L <sup>-1</sup>	0,10	0,07
Fosfato	mg PO <sub>4</sub> . L <sup>-1</sup>	0,10	0,16
Turbidez	uT	0,08	0,12
Sólidos Dissolvidos Totais	mg L <sup>-1</sup>	0,07	0,06
Somatório		1,0	1,0

Após as intervenções humanas decorrentes da urbanização, surge a necessidade de organizar as atividades desenvolvidas no ambiente antrópico (SÁNCHEZ, 2006). Neste contexto, avaliar a forma como a sociedade local se organiza sobre a questão do respeito às características e fragilidades originais do meio físico é importante indicador da qualidade ambiental urbana. Pois uma combinação equivocada de vulnerabilidade original das áreas com ocupação desordenada amplifica um problema de grande preocupação para os gestores urbanos: os riscos a desastres naturais.

O gerenciamento dos riscos de desastres naturais é matéria prevista na Constituição Federal do Brasil que no artigo 21, inciso XVIII, atribui à União as prerrogativas de: “planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e as inundações”. Cumprindo esta previsão legal, foi criada a estrutura nacional de defesa civil, que na Lei 12.608, de 10 de abril de 2012, instituiu o Estatuto de Proteção e Defesa Civil. Neste texto legal ficaram estabelecidas as obrigações dos entes da federação sobre a matéria cabendo ao Município, no seu artigo oitavo, incisos III a IX, as seguintes atribuições:

- III - incorporar as ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal;
- IV - identificar e mapear as áreas de risco de desastres;
- V - promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas;
- VII - vistoriar edificações e áreas de risco e promover, quando for o caso, a intervenção preventiva e a evacuação da população das áreas de alto risco ou das edificações vulneráveis;
- VIII - organizar e administrar abrigos provisórios para assistência à população em situação de desastre, em condições adequadas de higiene e segurança;

IX - manter a população informada sobre áreas de risco e ocorrência de eventos extremos, bem como sobre protocolos de prevenção e alerta e sobre as ações emergenciais em circunstâncias de desastres.

Um exemplo em curso na região, é o programa ICES (Iniciativa Cidades Emergentes Sustentáveis), aplicado na América Latina e Caribe pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID (BID, 2014). Nele avaliam-se as condições de ocorrência e estrutura de prevenção e resposta a desastres naturais. Neste contexto, a avaliação da estrutura e forma de atuação das autoridades municipais para gestão de desastres naturais é um indicador potencial de resposta aos desastres bem como seus impactos, que afetam especialmente o meio físico, porém com influência direta sobre a sociedade e o meio biótico.

### **2.3.2. Indicadores de Avaliação do Meio Biótico**

Regeneração natural é a manifestação da resiliência da floresta. É um conceito amplo que define tanto um fenômeno ecológico quanto um estágio da floresta (SCHORN e GALVÃO, 2006). O processo depende de inúmeros fatores, mas recebe destaque a biodiversidade dos fragmentos florestais remanescentes. Segundo Martins *et al.* (2014), quanto mais diversa for a floresta matriz, maior será o potencial de dispersão de propágulos, com maior qualidade e variabilidade. Outro fator de sucesso de matrizes preservadas é a dispersão pela fauna. Quanto maior e mais diversificada a matriz biológica da floresta, mais diversa será a fauna presente nesses fragmentos, incrementando o potencial de dispersão de propágulos de um maior número de espécies florestais. Desta forma, avaliando-se a biodiversidade dos fragmentos florestais remanescentes, é possível inferir um maior potencial de regeneração natural a partir das florestas matrizes sobre as áreas adjacentes.

No âmbito do Estado do Rio Grande do Sul, foi realizado o Inventário Florestal Contínuo do RS, que baliza os estudos fitossociológicos na região e traz dados concretos da biodiversidade em todo território gaúcho. Muitos índices são empregados com este fim, mas dois surgem como alternativas simples e representativas para o contexto deste estudo: o número de espécies arbóreas presentes nas regiões (riqueza de espécies) e a diversidade de espécies, expressa através do índice de diversidade de Shannon (Rio Grande do Sul, 2002).

Uma proposta para utilização destes dados disponíveis como indicador deve considerar a coleta e processamento das informações de dados de campo ou dados compilados no próprio Inventário Florestal Contínuo do RS (Rio Grande do Sul, 2002). Na primeira situação, utilizar-

se-ia o levantamento da riqueza de espécies, ou seja, a variedade de espécies arbóreas presentes na área através de levantamento qualitativo em campo. Na segunda situação, propõe-se a utilização dos dados consolidados no Inventário, que disponibiliza resultados da riqueza de espécies por bacia hidrográfica do RS. Em ambos os casos, é possível utilizar o Índice de Diversidade de Shannon.

O índice de diversidade de Shannon é provavelmente o indicador de diversidade mais utilizado na ecologia de comunidades (LUDWIG & REYNOLDS, 1988). Sua fórmula (Equação 1) considera o número de espécies e o número de indivíduos de cada espécie. Sua estrutura matemática permite a definição de dois limites interessantes para a análise de dados: quando o resultado é zero, significa que existe apenas uma espécie na amostra, e o resultado é máximo quando cada espécie é representada pelo mesmo número de indivíduos, representando uma distribuição de abundância perfeita.

$$H' = - \sum_{i=1}^{S^*} (p_i \ln p_i)$$

Equação 1. Índice de Diversidade de Shannon, onde  $H'$  é uma estimativa da média do número de espécies numa população com  $S^*$  espécies, e  $p_i$  é a abundância proporcional de cada espécie em relação ao total de espécies encontrada na população (LUDWIG & REYNOLDS, 1988).

A urbanização sem aplicação de técnicas de planejamento provoca a ocupação irregular e o uso indevido das APPs, que tiveram sua definição atualizada pelo novo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012). Este impacto provoca uma redução e degradação progressiva da mata ciliar que, juntamente com o traçado natural do corpo hídrico, concentra os serviços ambientais prestados por estes recursos naturais. De modo geral o que se observa nas áreas urbanas brasileiras é o descumprimento da norma legal que previa a preservação das matas ciliares ao longo de cursos d'água e outros locais geograficamente definidos em Lei.

Em consonância da análise do traçado dos arroios urbanos, a avaliação da preservação das florestas ao longo de seus traçados surge como importante forma de avaliar o potencial destes recursos em oferecer inúmeros serviços ambientais originais, tais como a regulação do microclima e incremento aos valores paisagísticos (BERTRAM e REHDANZ, 2015), abrigo à fauna nativa e fonte de biodiversidade para regeneração natural (MARTINS *et al.*, 2014), melhoria na qualidade de vida da população (MARTEN *et al.*, 2014; DEPIETRI *et al.*, 2016) e absorção de carbono da atmosfera (GARRASTAZÚ *et al.*, 2015).

Neste contexto o levantamento do percentual de APPs de cursos d'água preservadas aponta diretamente a condição atual de um dos principais recursos ambientais das cidades.

Todos os benefícios atribuídos às matas ciliares têm sua disponibilidade à cidade condicionada à conservação das APPs. A Tabela 4 resume estas exigências ao contexto das APPs geradas por corpos d'água.

Outro recurso de grande relevância para a qualidade ambiental do meio biótico são as áreas verdes. As áreas verdes das cidades são espaços públicos ou privados que apresentam cobertura vegetal, arbórea (nativa e introduzida), arbustiva ou rasteira (gramíneas) e que contribuem de modo significativo para a qualidade de vida e o equilíbrio ambiental urbano. Segundo De La Barrera *et al.* (2016), as áreas verdes contribuem para o bem-estar das pessoas e promovem serviços ambientais como regulação do microclima, capturando poluentes do ar e reduzindo efeitos das enchurradas. Elas também trazem benefícios sociais, promovendo o convívio entre vizinhos e a integração das comunidades, sendo locais favoráveis para práticas saudáveis e de contemplação da natureza.

Tabela 4. Resumo do dimensionamento das APPs de cursos d'água, conforme Brasil (2012).

Largura do Curso Hídrico (m)	Faixa de APP a ser preservada ao longo de ambas as margens (m)
Até 10	30
Entre 10 e 50	50
Entre 50 e 200	100
Entre 200 e 600	200
Superior a 600	500

Conforme o Art. 8º, § 1º, da Resolução CONAMA Nº 369/2006, é considerada área verde de domínio público o espaço que desempenhe função ecológica, paisagística e recreativa, propiciando a melhoria da qualidade estética, funcional e ambiental da cidade, sendo dotado de vegetação e espaços livres de impermeabilização. A quantificação das áreas verdes e comparativo com um valor de referência permite comparar as condições ambientais locais com outras localidades.

A arborização nas vias públicas é fator determinante na qualidade de vida da população e na qualidade ambiental urbana. São percebidas interferências positivas para a saúde da população, redução da criminalidade, sensação de bem-estar e até redução na prescrição de medicamentos antidepressivos (MULLANEY *et al.*, 2015; TAYLOR *et al.*, 2015). Ainda, segundo os mesmos autores, uma paisagem urbana com abundância de vegetação apresenta também uma capacidade maior de redução de ruído e de poluentes atmosféricos como ozônio troposférico (O<sub>3</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), monóxido de carbono



(CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e material particulado inferior a 10 µm. O indicador utilizado neste estudo foi proposto por Iwana (2014), que revisou trabalhos realizados em 28 cidades brasileiras nesta questão e reforçou a posição de outros estudos definindo a concentração satisfatória para arborização dos passeios públicos como 100 árvores por quilômetro de calçada. Comparando-se a realidade estudada com o valor de referência proposto pelo autor, é possível avaliar a qualidade quantitativa da arborização urbana local. Estes resultados podem servir de orientação para tomada de decisão sobre a gestão desta questão de competência municipal.

### **2.3.3. Indicadores de Avaliação do Meio Antrópico**

A busca pela cidade ideal pode ser uma jornada infinita, pois este conceito é dinâmico e dependente de fatores locais. Soluções de sucesso em determinada cidade nem sempre dão resposta quando aplicadas em outros locais. Por este motivo são criadas diretrizes gerais no intuito de orientar o desenvolvimento de ferramentas locais. Nesta linha, as “eco cidades” são reconhecidas por concentrar metas de sustentabilidade em três eixos: social, econômico e ambiental (BID, 2014). Os objetivos reconhecidos giram sobre matérias como: incremento do microclima urbano, redução de ilhas de calor, redução nas emissões de gases geradores do efeito estufa, facilitação da mobilidade urbana, valorização das diversidades e busca pela coesão social (CHESHMEHZANGI e BUTTERS, 2016). A resposta para a busca pode ser a resiliência, o equilíbrio e a capacidade do ambiente urbano se adaptar às mudanças de cenários, situação cada vez mais frequente na atualidade.

Duas variáveis são interessantes para avaliar a forma de ocupação do solo urbano: a área urbanizada e o número de habitantes. A ICES (BID, 2014) definiu a densidade populacional na área urbanizada como indicador para medição da concentração urbana. Este método avalia a forma de expansão da cidade, pois considera a concentração de pessoas sobre a fração urbanizada da área em estudo. A metodologia de coleta de dados e os limites elaborados por BID (2014) se baseiam na experiência obtida pelo programa em cidades médias na América Latina e Caribe.

Para BID (2014), são consideradas cidades médias as com populações entre 100 mil e 2 milhões de habitantes. Nesse sentido, trazendo o contexto para a realidade brasileira, seria interessante considerar a classificação de cidades médias no Brasil. Segundo IBGE (2010), no Brasil são consideradas cidades médias os locais com população entre 100 e 500 mil habitantes. Neste contexto, SEPLAN (2014) resume o panorama do crescimento populacional do Estado do RS ao longo dos últimos censos oficiais realizados no Brasil. Na Tabela 5 resume-se a

evolução no número de municípios em relação às classes de tamanho que acompanham o aumento da população.

Tabela 5. Municípios do RS por faixas de número de habitantes - 1980 a 2010, extraído de SEPLAN (2014). Pop. (população), hab. (habitantes). N° Mun. (número de municípios).

Classes	1980		1991		2000		2010	
	n° Mun.	Pop. [hab]	n° Mun.	Pop. [hab]	n° Mun.	Pop. [hab]	n° Mun.	Pop. [hab]
Total do Estado	333	7.773.837	333	3.138.670	496	10.187.798	496	10.693.929
menos de 10 mil hab	170	961.611	163	903.319	333	1.375.944	331	1.381.649
10 a 50 mil hab	128	2.504.888	131	2.693.504	121	2.472.546	123	2.648.307
50 a 100 mil hab	24	1.600.786	23	1.555.047	25	1.733.019	24	1.663.011
mais de 100 mil hab	11	2.706.552	16	3.986.800	17	4.606.289	18	5.000.962

Conforme o último censo, o RS possui 18 municípios com população acima de 100 mil habitantes, abrangendo 50% da população. Neste sentido se propõe que a metodologia constante no relatório do BID (2014) seja adaptada à realidade brasileira, tendo como base o número de habitantes por municípios da classificação do SEPLAN (2014), que define como limite superior para cidades médias o valor de de 500 mil habitantes. Desta forma, se aplicará a lógica de divisão dos limites propostos pelo BID (2014) pelo fator 4, uma vez que esta relatório considera cidades médias aquelas que apresentam até 2 milhões de habitantes.

O aumento da população urbana majora a pressão sobre a infraestrutura das cidades, dentre elas o saneamento. Segundo FUNASA (2006), o saneamento ambiental é o conjunto de ações com o objetivo de alcançar a salubridade ambiental, que consiste da condição de saúde do ambiente de vida das pessoas. Dentre os temas relacionados prioritariamente à saúde das pessoas destacam-se o abastecimento de água, esgotamento sanitário, gerenciamento de resíduos sólidos, drenagem urbana e controle de doenças veiculadas pelo ambiente. A condição de salubridade desses temas tem relação direta com a qualidade ambiental, pois melhorando as condições de saneamento das áreas urbanas e rurais, os impactos ambientais das atividades humanas são reduzidos e a qualidade de vida da população é incrementada.

Neste contexto, surgiu uma ferramenta na região sudeste do Brasil, criada pelo Conselho Estadual de Saneamento de São Paulo - CONESAN, SP. O objetivo foi de incrementar a implantação dos planos de saneamento em SP, através de uma ferramenta padronizada e aplicável a nível municipal a qualquer lugar, que monitore as condições dos temas relacionados ao saneamento, apontando os quesitos deficientes para serem tomados como prioritários na gestão do tema (SÃO PAULO, 1999; VIANA, 2013). A ferramenta ISA original é composta de indicadores de segunda ordem, alimentados por dados objetivos, que combinados por

fórmulas e valorações, formam índices setoriais entre: abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, drenagem urbana, controle de vetores e questões sócio-econômicas.

Na realidade local e regional, tendo em vista as premissas apontadas no presente estudo, podem ser utilizados três indicadores setoriais: Indicador de Abastecimento de Água ( $I_{ab}$ ), Indicador de Esgotamento Sanitário ( $I_{es}$ ) e Indicador de Resíduos Sólidos ( $I_{rs}$ ).

O ISA empregado neste estudo resume o desempenho da área na questão ambiental de forma ampla, porém representativa. Na Equação 2 é mostrada a estrutura geral do indicador, que consiste da média dos 3 indicadores componentes de segunda ordem. A fórmula foi adaptada de São Paulo (1999), equilibrando a relevância de cada área, tendo em vista suas influências frente às questões ambientais.

$$MA2 = ISA = \frac{I_{ab} + I_{es} + I_{rs}}{3}$$

Equação 2. Fórmula do Indicador de Salubridade Ambiental (ISA), adaptado de São Paulo (1999).

Onde  $I_{ab}$  é o Indicador de Abastecimento de Água,  $I_{es}$  é o Indicador de Esgotamento Sanitário e  $I_{rs}$  é o Indicador de Resíduos Sólidos Urbanos.

#### A) Indicador de Abastecimento de Água ( $I_{ab}$ )

O  $I_{ab}$  avalia três aspectos do abastecimento de água: cobertura do sistema, qualidade da água e situação de saturação do sistema. Na Tabela 6 apresenta-se um resumo das fórmulas e dados necessários. Uma das características marcantes desta metodologia, manifestada no  $I_{ab}$  é estabelecer nas variáveis que o escore mínimo se localize num valor intermediário da faixa de variação de determinado indicador. Desta forma, sabendo-se que determinado resultado mediano quanto ao valor numérico é insatisfatório na manifestação do fenômeno de interesse, a este limite é atribuída a nota mínima. Por este motivo diversos indicadores do método exigem interpolação. Para o Indicador de Qualidade da Água ( $I_{qa}$ ), por exemplo, que avalia a qualidade da água de abastecimento, um desempenho considerado mínimo parte de resultado prático de 49%. Este fato estabelece um padrão satisfatório nos patamares próximos a 100%. Esta forma de avaliação tende a elevar o nível dos serviços, trazendo benefícios à qualidade no ambiente urbano e à saúde das pessoas.

Tabela 6. Indicador de Abastecimento de Água (Iab), extraído de SÃO PAULO (1999).

	Indicador	Composição da Fórmula	Pontuação	Objetivos/Finalidade
	I <sub>ca</sub> – Cobertura de Abastecimento	D <sub>ua</sub> = domicílios atendidos D <sub>ut</sub> = domicílios totais	Pontuação obtida diretamente pela fórmula (%)	Quantificar os domicílios atendidos por sistemas de abastecimento de água com controle sanitário.
	$I_{ca} = \frac{D_{ua}}{D_{ut}}$		I <sub>qa</sub> = 100% Pontuação :100	
Iab – Indicador de Abastecimento de Água	I <sub>qa</sub> – Qualidade da Água distribuída	K = n° amostras realizadas / n° mínimo de amostras exigidas pela Portaria n°2.914/11 <sup>1</sup> NAA = quantia de amostras consideradas como sendo de água potável relativa a colimetria, cloro e turbidez (mensais) NAR= quant. de amostras realizadas (mensais)	95 < I <sub>qa</sub> < 99% Pontuação : 80 85 < I <sub>qa</sub> < 94% Pontuação : 60 70 < I <sub>qa</sub> < 84% Pontuação : 40 50 < I <sub>qa</sub> < 69% Pontuação: 20 I <sub>qa</sub> < 49% - Pontuação:Zero	Monitorar a qualidade da água fornecida.
Fórmula:	$I_{qa} = K \times \frac{NAA}{NAR}$			
$I_{ab} = \frac{(I_{ca} + I_{qa} + I_{sa})}{3}$				
	I <sub>sa</sub> – Indicador de Saturação do Sistema Produtor	n = n° de anos para saturação sistema VP = volume de produção para atender 100% da pop. (L.s <sup>-1</sup> ); CP = capacidade de produção(L.s <sup>-1</sup> ); t = taxa anual média de crescimento (próximos 5 anos); k <sub>1</sub> /k <sub>2</sub> = coeficientes de perdas (%)	Sistema de Pontuação n ≥ 5 anos Pontuação: 100 0 < n < 5 Pontuação: Interpolar n ≤ 0 Pontuação: Zero	Compara a oferta e a demanda para programar novos sistemas ou ações que minimizem as perdas.
	$n = \frac{\log \frac{CP}{VP \left( \frac{K_2}{K_1} \right)}}{\log(1 + t)}$			

<sup>1</sup> BRASIL, P. N. (2011). "2914/2011, do Ministério da Saúde." Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília 12.

B) Indicador de Esgotamento Sanitário ( $I_{es}$ )

Na aplicação do  $I_{es}$  propõe-se a avaliar dois aspectos do esgotamento sanitário: cobertura do sistema e sistema de tratamento disponível. Na Tabela 7 apresenta-se um resumo das fórmulas e dados necessários. A metodologia estabelecida por SÃO PAULO (1999), define como desempenhos mínimos aceitáveis, resultados muitas vezes não facilmente alcançados na realidade do RS, por exemplo. Um índice de cobertura de esgotamento sanitário a partir de 75% exige grandes investimentos para o estado que detém uma média de cobertura de 29% da população, segundo o SNIS (2015).

Tabela 7. Indicador de Esgotamento Sanitário ( $I_{es}$ ), conforme de SÃO PAULO (1999).

	Indicador	Composição da Fórmula	Pontuação	Objetivos
$I_{es}$ – Indicador de Esgoto Sanitário	$I_{ce}$ – Cobertura em coleta em esgoto	$D_{ue}$ : domicílios urbanos atendidos por coleta $D_{ut}$ : domicílios totais	$I_{ce} < 75\%$ Pontuação : Zero $75 < I_{ce} < 89\%$ Pontuação : Interpolar $I_{ce} > 90\%$ Pontuação: 1	Quantificar os domicílios atendidos por redes de esgotos.
	Fórmula: $I_{ce} = \frac{D_{ue}}{D_{ut}}$			
$I_{es} = \frac{(I_{ce} + I_{te})}{2}$	$I_{te}$ – Esgotos Tratados	$I_{ce}$ : índice de esgotos coletados VT: Volume tratado medido VC: volume coletado ( $0,8 \times$ Consumo de Água)	$I_{te} < 0,45$ Pontuação: Zero $0,45 \leq I_{te} \leq 0,80$ Interpolar $I_{te} > 0,81$ Pontuação: 100	Quantificar e qualificar os domicílios atendidos por redes de esgotos.
	Fórmula: $I_{te} = I_{ce} \times \frac{VT}{VC}$			

C) Indicador de Resíduos Sólidos ( $I_{rs}$ )

Na aplicação do  $I_{rs}$  propõe-se a avaliar dois aspectos do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: a abrangência da coleta e a vida útil da opção de destinação. Na Tabela 8 apresenta-se um resumo das fórmulas e dados necessários.

A Constituição Federal Brasileira (BRASIL, 1988) tem em seu conteúdo parte exclusiva para tratar da temática meio ambiente. Esta base legal deu proteção constitucional à Lei n°.6938/81 da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) que possui um conceito amplo, visão globalizada e integrada de meio ambiente.

Tabela 8. Indicador de Resíduos Sólidos (Irs) conforme de São Paulo (1999).

Indicador	Composição da Fórmula	Pontuação	Objetivos
Icr – Coleta de Resíduos $I_{cr} = \frac{D_{uc}}{D_{ut}}$	Duc: domicílios com coleta de resíduos; Dut: domicílios totais	Icr < 0,95% Pontuação: 0 0,95 < Icr < 0,99% Pontuação: Interpolar Icr ≥ 0,99% - Pontuação: 100	Quantificar os domicílios atendidos por coleta de resíduos.
Irs – Indicador de Resíduos Sólidos  Fórmula: $I_{rs} = \frac{(I_{cr} + I_{sr})}{2}$	Isr – Saturação da disposição final dos resíduos sólidos  $n = \frac{\log\left(\frac{CA \times t}{VL} + 1\right)}{\log(1 + t)}$	CA: capacidade restante do aterro (toneladas). VL: Volume coletado de resíduos (média anual tonelada). t: taxa de crescimento médio anual (%).  n < 0 Pontuação: Zero 5 > n > 0 Pontuação: Interpolar n ≥ 5 Pontuação: 100	Indicar a necessidade de novas instalações.

Cabe destacar, contudo, que é na esfera municipal onde o impacto ambiental acontece, apesar de ter menor poder econômico frente às necessárias ações de preservação e incremento em qualidade do ambiente. Sendo assim, cabe ao município atuar de forma mais incisiva na gestão ambiental, dentro do que prevê a Legislação. Este papel foi reforçado pela Lei Complementar nº 140/2011 (BRASIL, 2011), que traz definições para a cooperação entre a união, os estados, o distrito federal e os municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora. O cenário se reforça tendo em vista o objetivo constitucional exposto no artigo nº 225, o qual afirma que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Para exercer seu papel de gestor ambiental, o município tem obrigações quanto à estrutura mínima institucional, de pessoal e física. Avaliando a forma de organização da estrutura existente é possível identificar a capacidade de atuação. A partir do atendimento dos quesitos legais para adquirir a competência de atuação, é que a sociedade local pode esperar uma atuação do poder público sobre a gestão ambiental na área urbana (BRASIL, 2011;

CONSEMA-RS, 2014). Avaliando-se esta estrutura é possível apontar o nível de preparação para exercer esse papel; surge desta forma um indicador que atende diretamente as premissas da gestão ambiental pública apontadas, baseado objetivamente nos quesitos que as normas legais impõe sobre o órgão ambiental local para capacitação a atuar na gestão ambiental local.

Outro aspecto de grande interesse para a qualidade ambiental do ambiente urbano remete diretamente à qualidade de vida da população (BID, 2014; VAN BELLEN, 2006). Um indicador para esta questão é o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) criado por Mahbub Ul Haq (UL HAQ, 1995) com a colaboração de uma equipe de economistas, destacando o indiano Amartya Sen, ganhador do Prêmio Nobel de Economia de 1998 (BRASIL, 2013). O IDH tem por objetivo disponibilizar uma medida geral e sintética sobre o desenvolvimento humano. Em consonância com os demais indicadores já apresentados, o IDH amplia a perspectiva sobre o desenvolvimento humano, porém não abrange nem encerra todos os aspectos de desenvolvimento.

Desenvolvimento humano é o processo de ampliação das liberdades das pessoas, no que tange as suas capacidades e oportunidades ao seu dispor, manifestando da forma mais ampla o direito de escolha sobre suas vidas. A expansão das liberdades inclui dinâmicas sociais, econômicas, políticas e ambientais importantes para proporcionar às pessoas diferentes oportunidades num ambiente fértil para o indivíduo exercer plenamente seu potencial. Pelo desenvolvimento do indivíduo, a sociedade se desenvolve plenamente (BRASIL, 2013).

O desenvolvimento humano deve ser centrado nas pessoas e na ampliação do seu bem-estar, não simplesmente baseado na renda. A forma de análise do IDH propõe que o indivíduo pleno tem os recursos necessários para viver com a maior longevidade e dotado de todos os recursos intelectuais possíveis para sua vida. O acúmulo de riqueza e o aumento da renda integram essa análise, mas a plenitude depende também da longevidade e da educação das pessoas. Seria com esse tripé que o indivíduo se libertaria para ver no mundo onde vive as oportunidades de desenvolver a si e à sociedade (UL HAQ, 1995).

É preciso que a busca constante da sociedade contemporânea pelo crescimento econômico seja transformado em conquistas concretas para as pessoas: crianças mais saudáveis, educação universal e de qualidade, ampliação da participação política dos cidadãos, preservação ambiental, equilíbrio da renda e das oportunidades entre toda a população, maior liberdade de expressão, entre outras. Assim, ao colocar as pessoas no centro da análise do bem-estar, a abordagem de desenvolvimento humano redefine a maneira com que pensamos sobre e lidamos com o desenvolvimento global e localmente.

A utilização do IDH como indicador de sustentabilidade vem sendo discutido globalmente com posições favoráveis e contrárias (NOURRY, 2008). Muitas vezes as equações para obtenção dos resultados são alteradas na intenção de integrar outros aspectos como, por exemplo, a emissão per capita de gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Segundo Neumayer (2001), uma das críticas mais relevantes quanto ao emprego absoluto do IDH se baseia em resultados práticos, considerando o fato de que resultados muito altos do IDH podem ser observados em países com resultados baixos na sustentabilidade ambiental. Para sanar esta deficiência fica reforçada a necessidade de integrar tal indicador a um sistema de avaliação que contemple outros aspectos do ambiente para que seu resultado seja pleno.

O cálculo do IDHM consiste de uma média geométrica dos componentes IDHM Longevidade, IDHM Educação e IDHM Renda. Na Equação 3 é demonstrada a estrutura básica do cálculo, que tem por base dados significativos da população da área de estudo. A confiabilidade dos resultados é uma das virtudes desta ferramenta.

$$IDHM = \sqrt[3]{(IDHM_{Longevidade}) \times (IDHM_{Educação}) \times (IDHM_{Renda})}$$

Equação 3. Equação principal do IDHM. Fonte: Brasil (2013).

#### A) IDHM Longevidade

O pilar Longevidade do IDHM considera a esperança de vida ao nascer, ou seja, o número médio de anos que as pessoas que residem em determinado local. A esperança de vida ao nascer é uma forma de sintetizar as condições sociais e de saúde de uma população ao considerar as taxas de mortalidade em suas diferentes faixas etárias.

Este indicador não distingue as diferentes causas de mortes. Esta é talvez sua maior limitação, que ganharia em riqueza se fosse possível uma estratificação pelo perfil de mortes da população. O cálculo se baseia nos censos populacionais e transforma o indicador censitário esperança de vida ao nascer, cuja unidade é “anos de vida”, em Índice de Longevidade, para tanto foram escolhidos parâmetros máximos e mínimos que normalizam os dados do indicador através da fórmula da Equação 4:



$$IDHM_{Longevidade} = \frac{EV_{Obs} - EV_{Min}}{EV_{Max} - EV_{Min}}$$

Equação 4. Fórmula para obtenção da Dimensão Longevidade do IDHM. Onde:  $EV_{Obs}$ : esperança de vida ao nascer no local estudado;  $EV_{Min}$ : esperança de vida mínima da população, padronizado 25 anos no Brasil (Censo 2010); e  $EV_{Max}$ : esperança de vida máxima da população, padronizado 85 anos no Brasil (Censo 2010). Fonte: Brasil, 2013.

## B) IDHM Educação

O pilar Educação do IDHM é uma média geométrica entre indicador de escolaridade da população adulta e de fluxo escolar da população jovem (Equação 5). O índice de escolaridade da população adulta ( $I_a$ ), que tem peso 1 na fórmula, é medido pelo percentual da população de 18 anos ou mais com o ensino fundamental completo. O índice do fluxo escolar da população jovem ( $I_j$ ), que possui peso 2 na fórmula, é medido pela média aritmética do percentual de crianças de 5 a 6 anos frequentando a escola ( $\%_{5-6}$ ); do percentual de jovens de 11 a 13 anos frequentando os anos finais do ensino fundamental regular ( $\%_{11-13}$ ); do percentual de jovens de 15 a 17 anos com ensino fundamental completo ( $\%_{15-17}$ ); e do percentual de jovens de 18 a 20 anos com ensino médio completo ( $\%_{18-20}$ ) (BRASIL, 2013).

$$IDHM_{Educação} = \sqrt[3]{(I_a) \times (I_j)^2} \quad (1)$$

$$I_j = \left( \frac{\%_{5-6} + \%_{11-13} + \%_{15-17} + \%_{18-20}}{4} \right) \quad (2)$$

Equação 5. Fórmula geral (1) para obtenção da Dimensão Educação do IDHM e a fórmula para obtenção do fluxo escolar da população jovem. Em (2) a fórmula para o Fluxo Escolar da População Jovem. Fonte: Brasil, 2013.

## C) IDHM Renda

A dimensão Renda do IDHM considera a renda per capita da população, ou seja, a renda média mensal dos indivíduos residentes em determinado local. A grande limitação desse indicador é não considerar a desigualdade de renda entre os habitantes da área de referência. Assim, um município, por exemplo, pode apresentar uma elevada renda *per capita*, mas o

resultado positivo pode estar omitindo uma grande desigualdade social. Para atenuar esta deficiência, a combinação com os demais eixos (educação e longevidade) tende a suavizar discrepâncias, pois a qualidade plena no IDHM depende de equilíbrio entre educação, renda e longevidade da população. Para o cálculo do IDHM Renda, aplica-se a fórmula da Equação 6.

$$IDHM_{Renda} = \frac{[\ln(RPC_{Ref}) - \ln(VR_{Min})]}{[\ln(VR_{Max}) - \ln(VR_{Min})]}$$

Equação 6. Fórmula para obtenção da Dimensão Longevidade do IDHM. Onde:  $RPC_{Ref}$ : Renda Per Capita de Referência;  $VR_{Min}$ : Valor de Referência Mínimo;  $VR_{Max}$ : Valor de Referência Máximo. Fonte: Brasil, 2013.

Segundo Brasil (2013), os valores de referência adotados no Brasil são:  $VR_{Max}$ : R\$ 4.033,00, que corresponde ao valor da menor renda *per capita* entre os 10% mais ricos residentes na Unidade da Federação (UF) com maior renda média do país no período analisado, o Distrito Federal; e  $VR_{Min}$ : R\$ 8,00, que corresponde aproximadamente definido globalmente como padrão.

## 2.4. Caracterização da Área de Estudo

### 2.4.1. Localização

A cidade de Santa Cruz do Sul situa-se na porção central do estado do Rio Grande do Sul, distante aproximadamente 150 km de Porto Alegre. É acessada por duas principais rodovias, com direção leste-oeste a rodovia RSC-287 e com direção norte-sul a rodovia BR-471. A Bacia Hidrográfica do Arroio Preto localiza-se no centro da cidade, compreende uma área aproximada de 1.434 ha. Ela abrange parte de 13 bairros, que totalizam aproximadamente 13,436 km<sup>2</sup>. O Arroio Preto percorre entre suas zonas de nascentes na porção leste da cidade e seu desague no Rio Pardinho cerca de 8,2 km. Neste percurso a grande maioria dos córregos foram intensamente alterados, estando conformados atualmente como galerias pluviais. Dentre seus afluentes, os mais conhecidos são: Arroio da Gruta, Arroio Jucurí, Arroio Retiro Loyola e Sanga da Imigrante (PMSB de Santa Cruz do Sul, 2014). A escolha da área exclui a região de várzea localizada à oeste da Rodovia BR 471, devido ao fato das drenagens na região dificultarem a definição dos divisores de água.

Os limites geográficos são mostrados na Figura 3, e as coordenadas geográficas no Datum Sirgas 2000 dos mesmos são: Norte:  $29^{\circ}41'8.70''S$   $52^{\circ}24'39.42''O$ ; Leste:  $29^{\circ}42'31.80''S$   $52^{\circ}23'41.84''O$ ; Sul:  $29^{\circ}43'41.55''S$   $52^{\circ}25'52.22''O$ ; e Oeste:  $29^{\circ}42'44.51''S$   $52^{\circ}26'40.86''O$ .

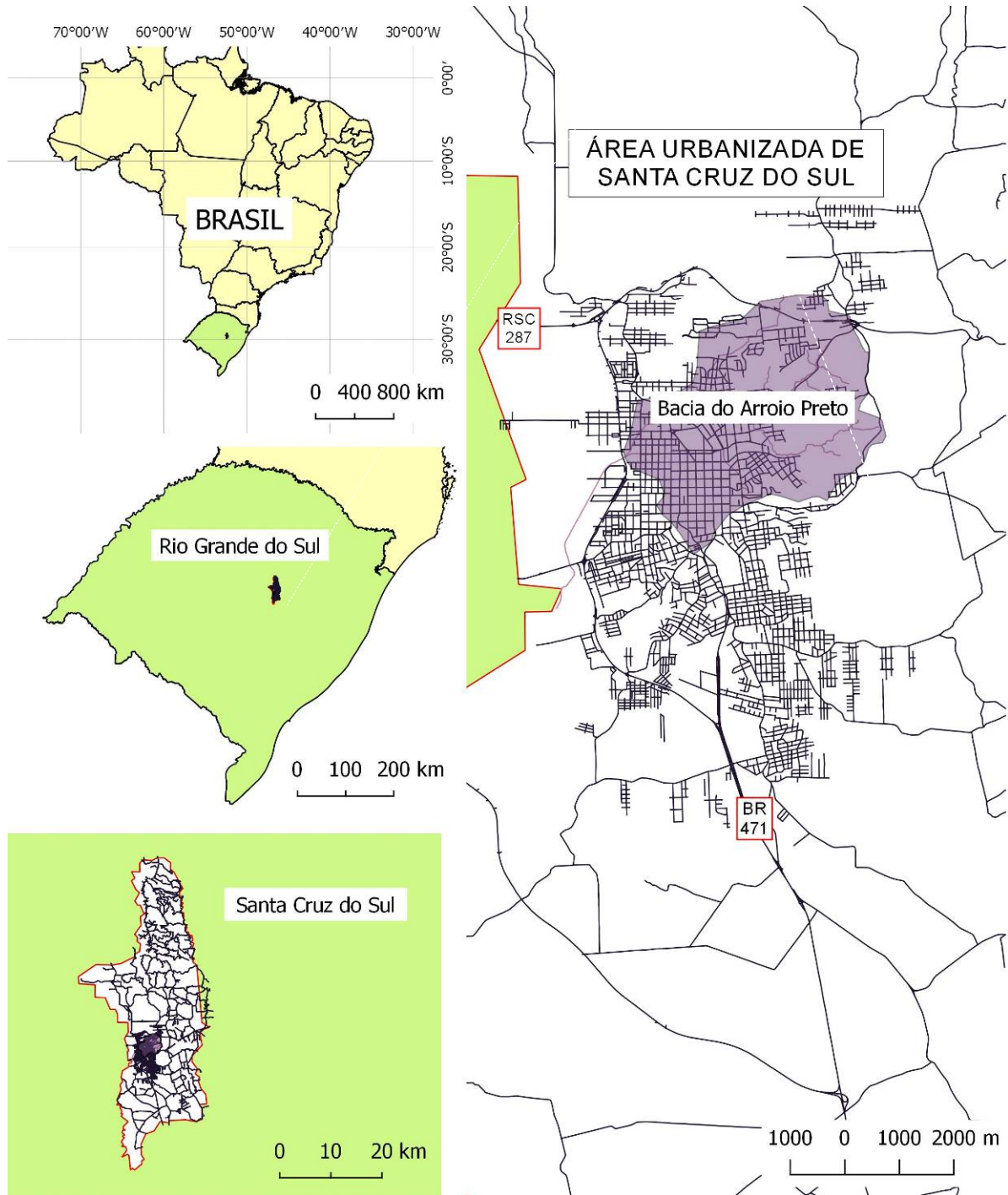


Figura 2. Localização do Município de Santa Cruz do Sul e da Bacia Hidrográfica do Arroio Preto no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

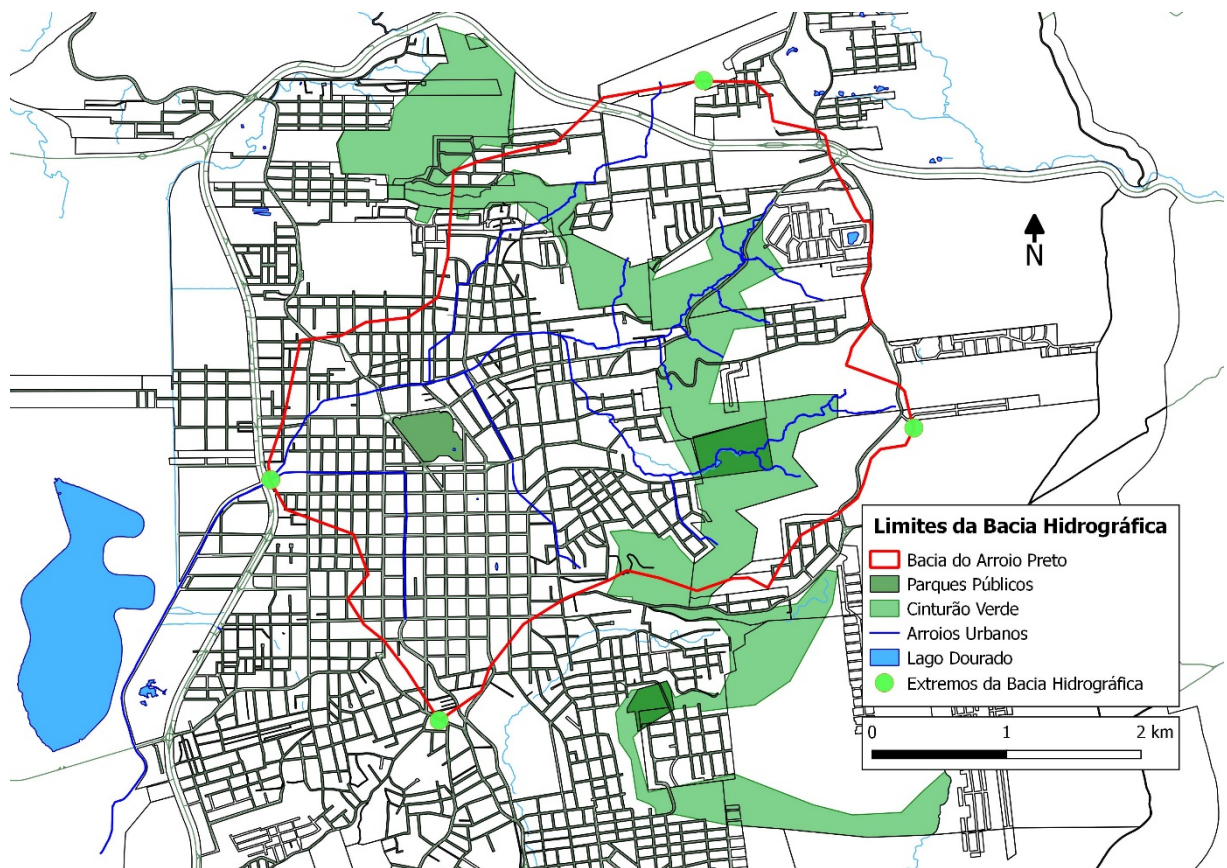


Figura 3. Mapa de localização da área de escopo do estudo tendo por base imagem de satélite o programa Google Earth.

#### 2.4.2. Meio Físico

O Município de Santa Cruz tem seu território dividido em três bacias hidrográficas: Bacia do Pardo, Bacia do Taquari-Antas e Bacia do Baixo Jacuí (Figura 4).

A Bacia Hidrográfica do Arroio Preto é uma das contributivas do Rio Pardo. Tem seu leito principal com escoamento no sentido oeste a sudoeste. Possui relevo com contrastes entre áreas de interflúvios, escarpas, ondulações suaves e várzeas inundáveis. As nascentes dos córregos têm altitudes máximas em altitudes próximas aos 200 m e sua foz junto ao Rio Pardo, cota de aproximadamente 30 m.

Santa Cruz do Sul é uma cidade de clima subtropical. Por estar nas proximidades do paralelo 30° a dinâmica climática é bastante intensa, causando eventos com variabilidade marcante nos dados climáticos entre precipitação e temperatura (MORENO, 2014). Ocorre uma pluviosidade significativa ao longo do ano em Santa Cruz do Sul, numa média de 1311 mm.



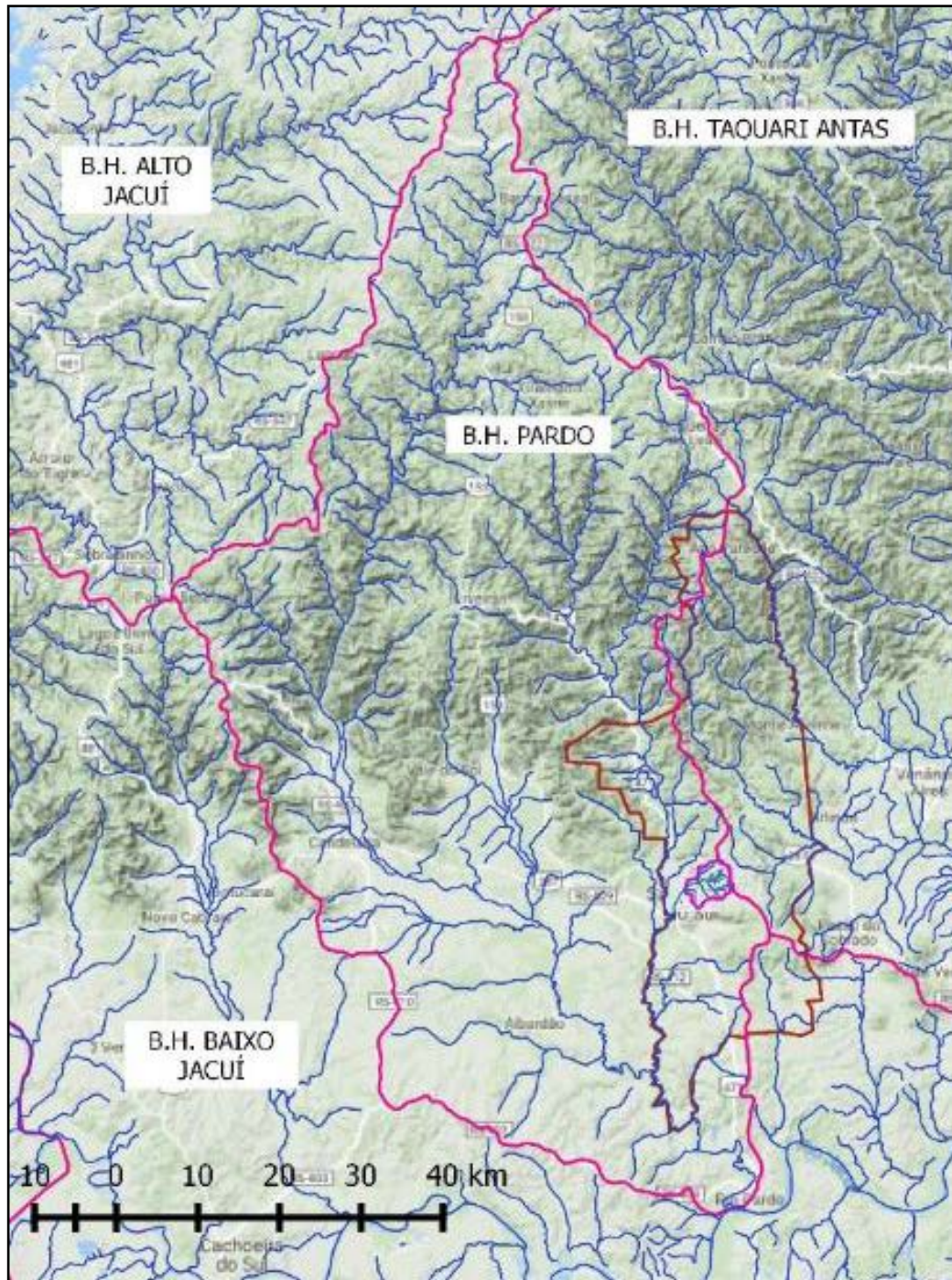


Figura 4. Mapa da rede de drenagem e do relevo da região, gerado com plataforma QGIS, com destaque a localização dos limites do Município entre as bacias hidrográficas ocorrentes.

Os períodos secos, normalmente os meses de fevereiro e novembro, apresentam chuvas acumuladas abaixo de 100 mm. Considerando as médias, o mês de setembro é o mais chuvoso, com acumulados médios de 175 mm. A temperatura média anual em Santa Cruz do Sul é 19,7 °C. Ilustrando a realidade climática da cidade, apresenta-se na Figura 5 um gráfico com as temperaturas médias e os volumes acumulados de precipitação.

A variabilidade de altitude já apresentada confere à região do estudo a presença de canais de drenagem natural bem pronunciados. Nas partes altas da Bacia, onde ocorrem as principais nascentes, é premente o conflito do uso do solo com a expansão da cidade. Nas áreas de encostas, porção intermediária dos cursos d'água, existem trechos preservados dos córregos, em que a sinuosidade dos leitos naturais é observada. Na porção mais baixa da bacia, onde o processo de urbanização é mais intenso, se observam trechos retificados e cobertos dos córregos urbanos.

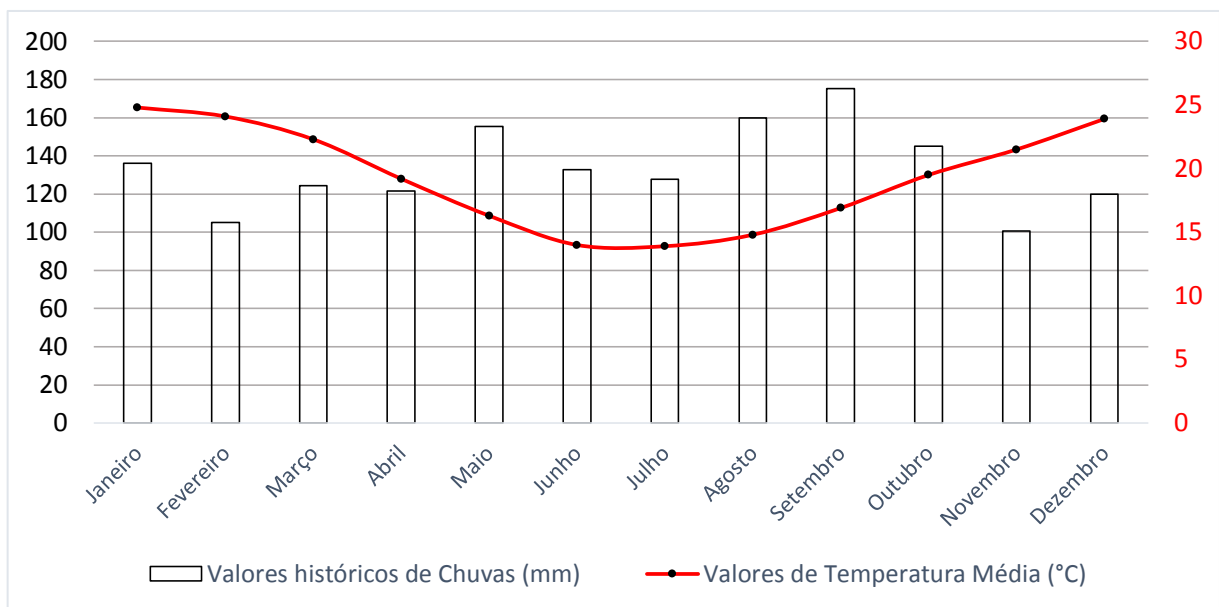


Figura 5. Climograma típico do Município de Santa Cruz do Sul, RS, considerando o período amostral de 1914-1968. As barras demonstram a pluviosidade média e a linha representa a temperatura média. Fonte: calculado por Hoppe, M. com dados da Estação Santa Cruz do Sul do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura. As barras remetem a valores médios da pluviosidade expressos em faixas no eixo a esquerda do gráfico. A linha remete aos valores de temperatura da coluna do eixo a direita do gráfico.

O processo de urbanização observado na área de estudo não foi acompanhado pela expansão dos sistemas de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto, em que o esgoto sanitário é afastado separadamente do esgoto pluvial para que seja devidamente tratado antes de lançado no meio ambiente em condições dentro dos padrões exigidos pela legislação. Por este motivo, os efluentes gerados na bacia hidrográfica em grande parte necessitam de tratamento individual antes do lançamento na rede de drenagem pluvial. Esta situação dificulta a gestão deste aspecto, por depender da participação de cada economia (residência, comércio, serviços, etc.) para que instalem e realizem a manutenção adequada das unidades de tratamento individual (Santa Cruz do Sul, 2013).

Como resultado, o Arroio Preto recebe a carga poluente de grande parte da cidade, seja por esgoto parcialmente tratado, seja por esgoto *in natura*. Características comuns em esgotos, como odores e aspecto desagradáveis e ausência de fauna aquática, podem afastar a população do entorno dos recursos hídricos, acarretando em pressão para retificação e cobertura dos mesmos. Este cenário introduz o monitoramento da qualidade da água superficial como um importante instrumento para controle da forma de ocupação e a efetividade no cumprimento das metas impostas pelo Plano Municipal de Saneamento.

O solo da região da bacia hidrográfica é marcado pela variabilidade. Segundo Noronha, *et al.* (2012), as unidades geológicas presentes na área de estudo inserem-se na porção sudeste da Bacia do Paraná: o Grupo Rosário do Sul, representado pelo Membro Alemoa da Formação Santa Maria e pela Formação Caturrita; e o Grupo São Bento, composto pelas Formações Botucatu e Serra Geral. Também ocorrem os depósitos sedimentares recentes, compostos pelos depósitos aluvionares e coluvionares.

As diferenças na geomorfologia acompanham a variabilidade do relevo, que tem na base os grupos da Formação Santa Maria, predominantemente representadas por argilas expansivas; na porção intermediária os arenitos da Formação Botucatu; e na parte superior da bacia os derrames basálticos da Formação Serra Geral. Ao longo das encostas são formadas regiões com uma composição mista dos produtos oriundos da decomposição das rochas basais das formações ocorrentes da região acima. Esta condição é conhecida como talus e pode conferir riscos de ocorrências de movimentação de massas, dificultando a ocupação humana. Na Figura 6 apresenta-se um modelo de perfil típico ocorrente na área, em que fica claro a baixa profundidade do solo nas partes superiores da bacia e o potencial de movimentação de blocos de rochas e material intemperizado acompanhando o relevo, este representado por vetores (EISENBERGER, 2003; NORONHA *et al.*, 2012).

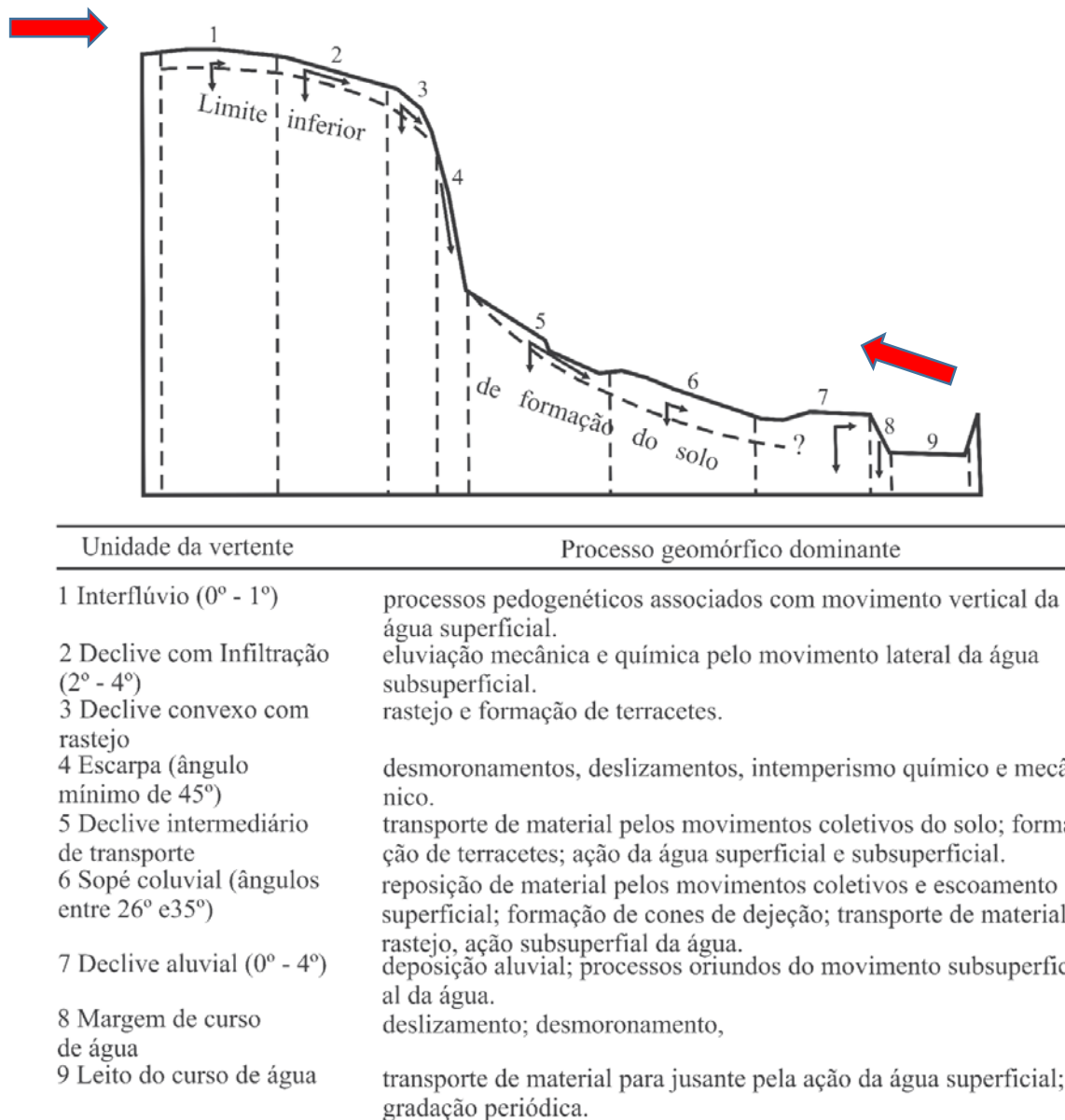


Figura 6. Perfil típico das regiões de encostas da área de estudo, adaptado de Noronha, *et al.* (2012), que propõe unidades hipotéticas em modelo de vertente. Os vetores representam as forças atuantes sobre os materiais basais em decomposição. Setas representam os sentidos da pressão exercida pela urbanização sobre as encostas.

### 2.4.3. Meio Biótico

Em relação às biorregiões brasileiras, Santa Cruz do Sul localiza-se predominantemente no Bioma Mata Atlântica (644,2 km<sup>2</sup>), o que corresponde a 85,5% do total do Município (753,5 km<sup>2</sup>) e parte encontra-se no Bioma Pampa, com 109,3 km<sup>2</sup>, 14,5% do território total do município (Figura 7). A Mata Atlântica é considerada como o bioma de maior biodiversidade no Brasil (JOLY, *et al.* 2011). Portanto, Santa Cruz do sul é ocupada por representantes botânicos deste Bioma, sendo coberta exclusivamente pela Floresta Estacional Decidual. De



acordo com Rio Grande do Sul (2002), a Floresta Estacional Decidual abrangia no passado uma área de 11.762,4 km<sup>2</sup>, representando 4,2% da cobertura florestal do estado e 23,8% da área total coberta com florestas naturais. Este tipo de vegetação é caracterizado por duas estações climáticas bem demarcadas.

No estado, embora o clima seja ombrófilo, possui uma curta época muito fria e que ocasiona a estacionalidade fisiológica da floresta. Esta formação ocorre na forma de disjunções florestais apresentando o estrato predominantemente caducifólio, com mais de 50% dos indivíduos despídos de folhas no período desfavorável. Destacam-se espécies como, Açoiatavalo (*Luehea divaricata*), Camboatá-vermelho (*Cupania vernalis*), Chal-chal (*Allophylus edulis*), Canela-guaicá (*Ocotea puberula*) e Canela-preta (*Nectandra megapotamica*). Entre as espécies pertencentes ao estrato emergente desta floresta, destacam-se a Grápia (*Apuleia leiocarpa*), Cabreuva (*Myrocarpus frondosus*), Angico (*Parapiptadenia rígida*), Louro (*Cordia trichotoma*) e Timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*).

Conforme Teixeira & Neto (1986), as variações nos gradientes ecológicos fundamentais da Floresta Estacional Decidual permitem sua individualização em três unidades fitofisionômicas distintas: Formação Aluvial, Formação Submontana e Formação Montana.

A Formação Aluvial reveste os terraços aluviais na depressão central ao longo dos Rios Jacuí, Ibicuí, Santa Maria, e respectivos afluentes do Uruguai. Em função das condições locais de drenagem esta unidade fitofisionômica apresenta pequenas variações estruturais e florísticas. A Formação Montana ocorre em altitudes que variam de 400 metros até em torno de 1.000 metros, enquanto que a Formação Submontana tem suas condições altimétricas limitadas entre 30 e 400 metros, ocupando relevos que variam de suavemente ondulados a dissecados.

Segundo Martins *et al.* (2014), um dos fatores mais relevantes para a regeneração florestal é a biodiversidade das matas matrizes. Neste sentido a região estudada possui um grande banco de recursos biológicos na área do Cinturão Verde (CV). Grande parte deste território coincide com as áreas de encostas descritas anteriormente na caracterização do meio físico. Esta característica transitória também se aplica ao contexto biológico, pois a cidade localiza-se no Bioma Mata Atlântica e tem ao sul do município extensões de terras no Bioma Pampa.

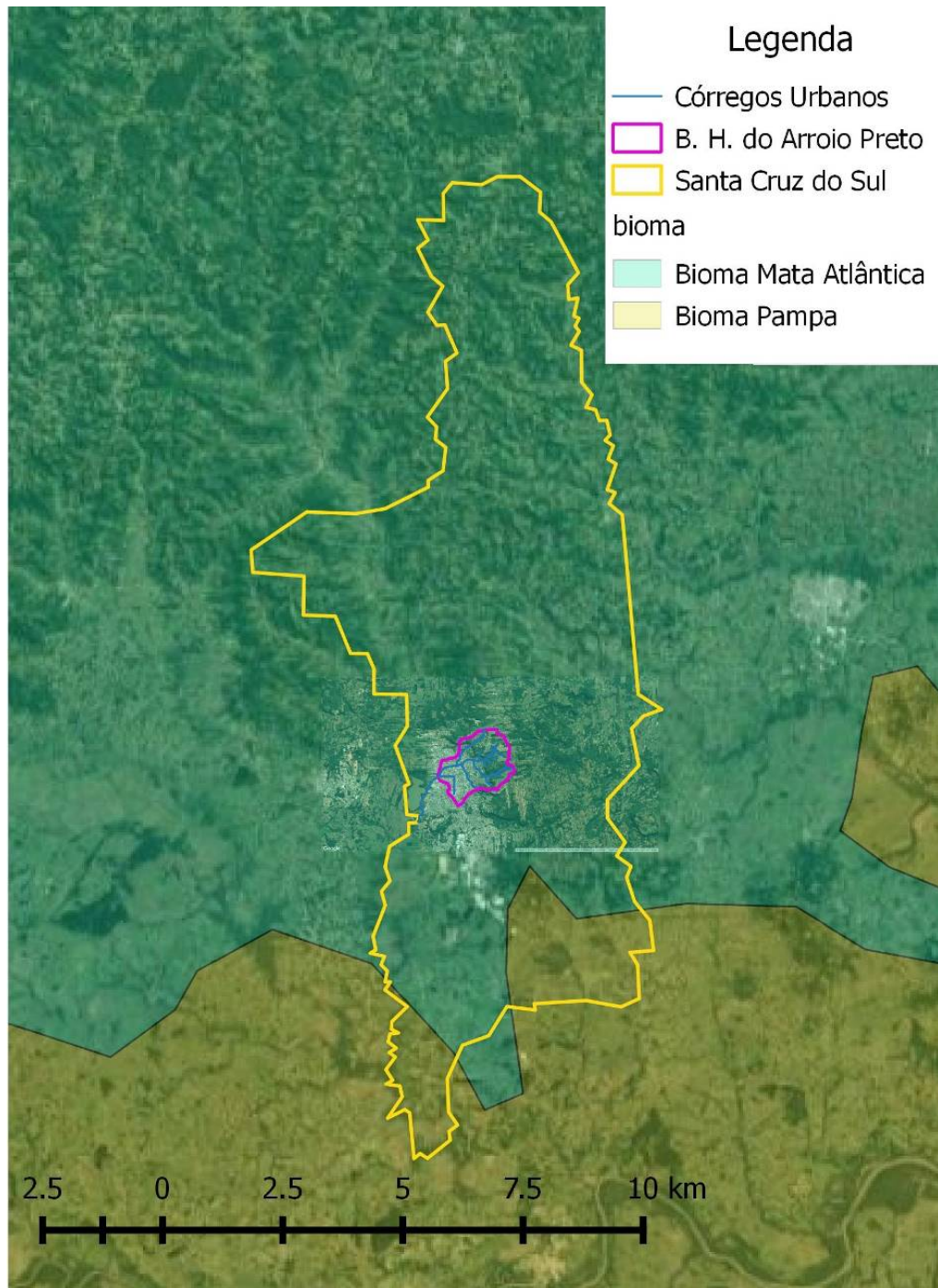


Figura 7. Mapa da localização do Município de Santa Cruz do Sul e da Bacia do Arroio Preto, RS, em relação aos Biomas ocorrentes na região. Adaptado de IBGE (2004).

O perfil apresentado na Figura 6 contempla a situação de relevo típica do CV. Nesta região uma combinação de fatores reduziu a intensidade de ocupação na região nas últimas décadas, o que contribuiu para a regeneração natural. Atualmente o traçado é reconhecido por Decreto Municipal, delimitado com marcos físicos e corresponde a local de interesse ambiental, cuja ocupação depende do cumprimento de exigências previstas no Plano Diretor Municipal. A

Lei Complementar nº 335, de 03 de janeiro de 2007, nos artigos 64 e 65 define algumas restrições para ocupação conforme citado abaixo:

Art. 64. Na área do Cinturão Verde poderão somente ser construídas residências unifamiliares.

Art. 65. Para fins de loteamento, na área localizada no Cinturão Verde o lote mínimo deverá ser de 10.000 m<sup>2</sup>, e conter um patamar de, no mínimo, 1.000 m<sup>2</sup>, com declividade inferior a 25%.

§ 1º Quando a gleba total a ser fracionada tiver mais da metade de sua área com declividade inferior a 25%, o lote mínimo poderá ser de 5.000 m<sup>2</sup>, e conter um patamar de, no mínimo, 1.000 m<sup>2</sup>, com declividade inferior a 25%.

§ 2º O lote mínimo, de 5.000 ou 10.000 m<sup>2</sup>, pode ser composto por duas áreas distintas e descontínuas, sendo uma considerada lote construtivo, de no mínimo 1.000 m<sup>2</sup>, composta de um patamar, com matrícula individualizada no Cartório de Registro de Imóveis, e outra em condomínio com as áreas da mesma origem, como área de preservação, em outra matrícula.

§ 3º A matrícula do lote construtivo deverá ter uma averbação da área total do lote mínimo, ou seja, além da área do lote construtivo, deverá constar a área restante e sua matrícula, para aplicação dos índices construtivos, assim como a obrigatoriedade de transferência ao novo adquirente do lote construtivo, também a área de preservação, em condomínio com os demais proprietários.

§ 4º A área de preservação permanente, composta pelas áreas restantes dos lotes mínimos, será mantida em condomínio entre os proprietários dos lotes construtivos.

Além de toda legislação ambiental aplicável a qualquer local com recursos florestais remanescentes, esta norma legal impõe mais restrições como a obrigação que cada lote habitacional seja unifamiliar e que tenha uma área mínima de 5.000 m<sup>2</sup>, para glebas com relevo menos acidentado. Caso a gleba a parcelar tenha predominância de relevo acidentado, a obrigação de área mínima por unidade sobe para 10.000 m<sup>2</sup>. Na Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, o CV ocupa Aproximadamente 310 ha, o que corresponde a 20% do território da região em estudo. Esta área possui grande número de riachos com traçado em estado natural, o que contribui para subsidiar a sobrevivência da fauna silvestre. Na Figura 9 apresenta-se a sobreposição dos dois territórios, demonstrando como estão interligados e como seus componentes são inter-relacionados.

A existência de um corredor ecológico preservado como o Cinturão Verde numa área urbana incrementa a qualidade do meio biótico amplificando os serviços ambientais disponíveis nas regiões adjacentes (RATH e FEBRIANTO, 2016). Avaliando-se aspectos que intensifiquem a dispersão dos serviços ambientais fornecidos pelas florestas urbanas é possível inferir a qualidade ambiental do meio biótico no contexto das cidades. Neste sentido surgem como variáveis importantes: avaliação da biodiversidade local, da preservação de matas ciliares, avaliação das áreas verdes e da arborização urbana.



No contexto histórico foi observada uma recuperação das florestas urbanas na área da Bacia do Preto. Em 1976 realizou-se sobre a área um levantamento fotogramétrico aéreo e comparando-as com a realidade atual da região do Cinturão Verde é possível perceber a recuperação da floresta no período entre a década de 1970 e a atualidade. As áreas abertas amostradas na Figura 8 (A) indicam uma tendência urbana comum no Brasil na época, o cultivo agrícola e em 2016 (B) percebe-se as mesmas áreas cobertas por florestas.

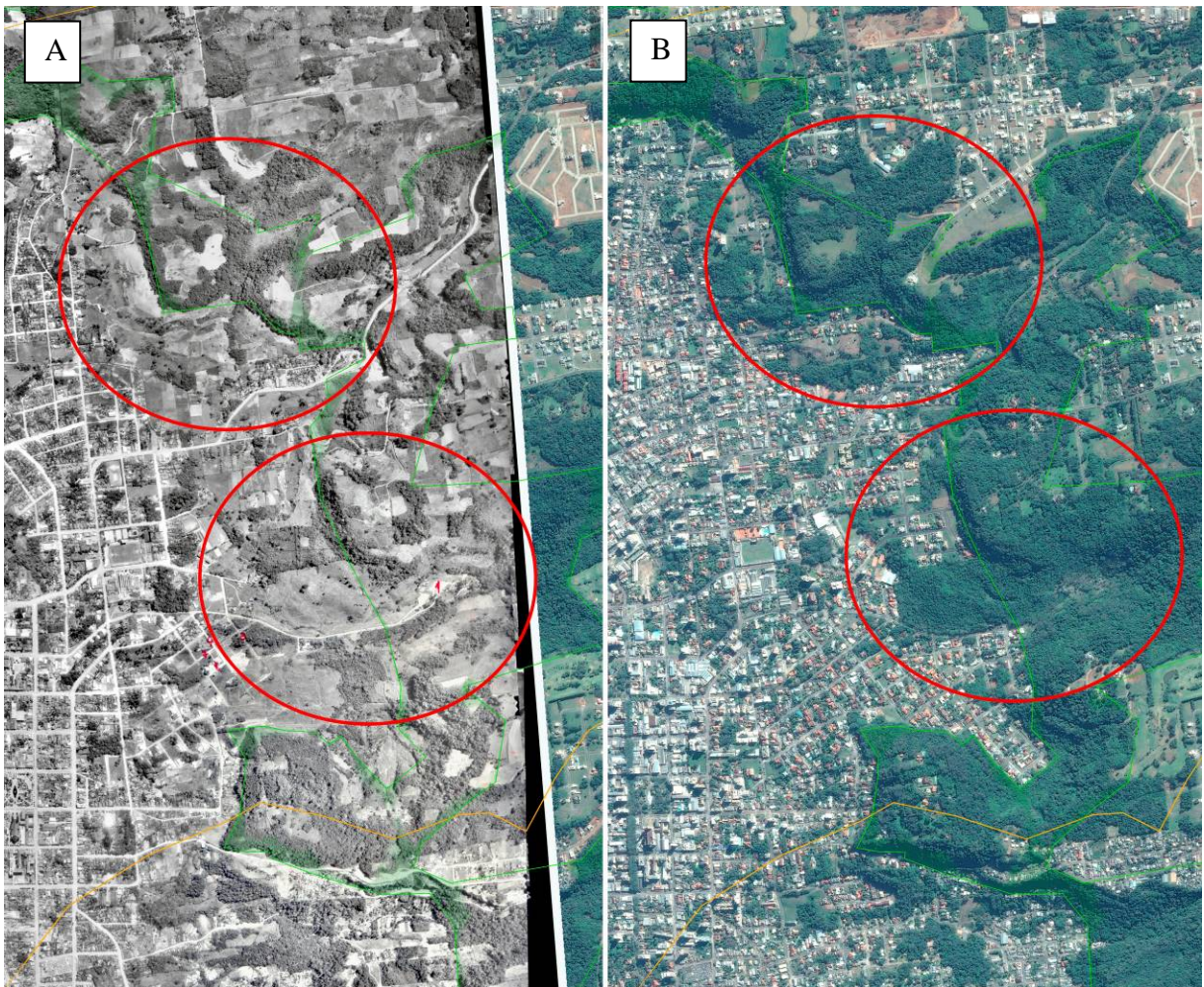


Figura 8. Sequência de tomadas aéreas da região do CV, Bacia do Preto, RS mostrando a regeneração da floresta entre 1976 (A) e 2016 (B). Elipses mostram mesmas regiões nas duas épocas. Fonte: Geoprocessamento PMSCS e Google Earth PRO.



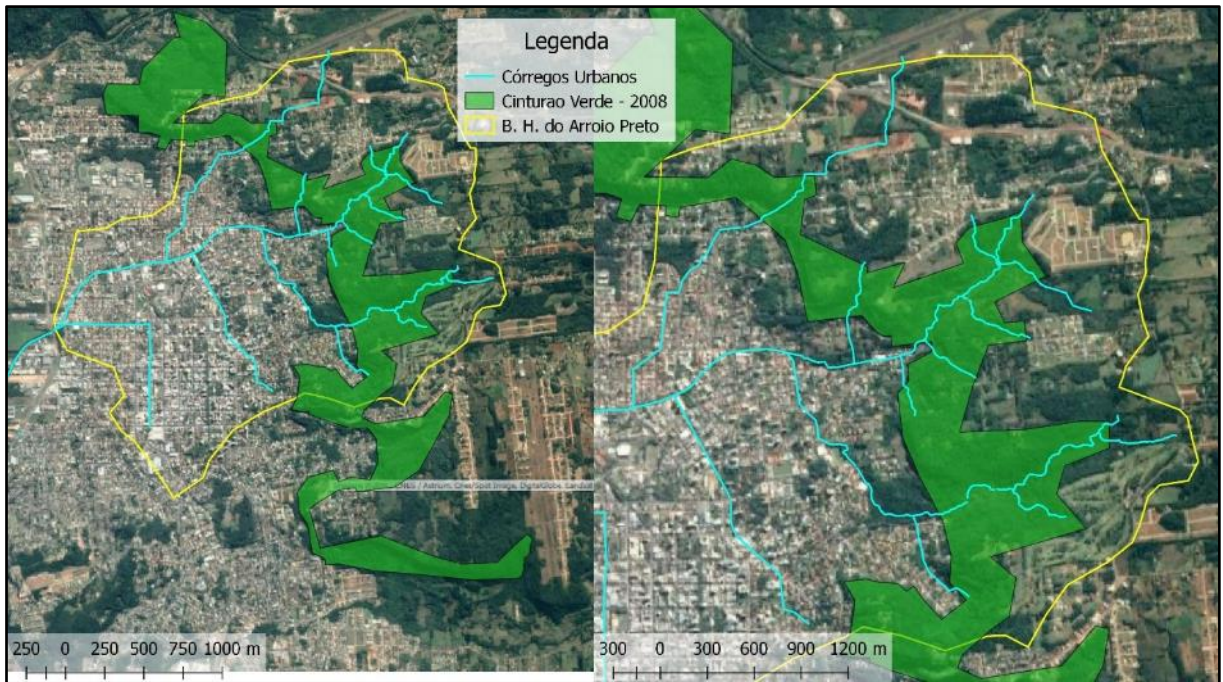


Figura 9. Localização da Área de Estudo em relação ao Cinturão Verde na Cidade de Santa Cruz do Sul, RS. Fonte: Geoprocessamento Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul.

#### 2.4.4. Meio Antrópico

Segundo IBGE (2010), a população de Santa Cruz do Sul é estimada para 2016 em 126.775 habitantes. A região apresenta uso do solo dividido entre residencial, comércio, serviços, indústria, áreas de lazer e áreas preservadas.

A região em estudo sofre intervenções decorrentes da ocupação humana desde os primórdios de criação da cidade, a porção central da cidade, iniciou, conforme plano apresentado na Figura 10, datado de 1855. O antigo plano de ocupação da região demonstra interesse na época pela forma racional de ocupação. Comparando-se fotografias antigas com imagens atuais, é possível perceber o perfil degradador do ambiente utilizado pelos pioneiros na sua instalação em Santa Cruz do Sul (Figura 11).

Atualmente a Bacia do Preto é uma região onde se percebe a integração entre o contexto urbanizado e os componentes naturais. Na região mais central da área são encontradas praças arborizadas, parques e passeios públicos com presença marcante de vegetação, como ocorre na Rua Marechal Floriano, trecho conhecido como Túnel Verde (Figura 12). A arborização urbana contribui consideravelmente na qualidade ambiental urbana em aspectos como qualidade de vida, saúde mental das pessoas, microclima e retenção de águas da chuva, dentre outros (MULLANEY *et al.*, 2015; TAYLOR *et al.*, 2015).

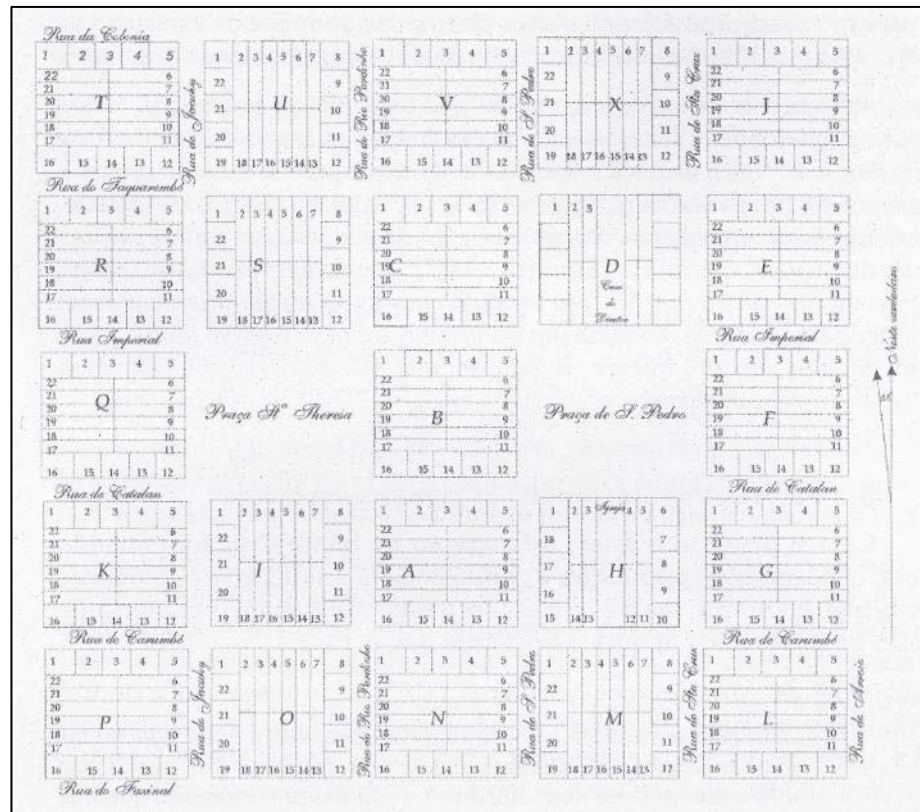


Figura 10. Planta da “Povoação de Santa Cruz”, quando iniciadas a demarcação das quadras centrais da Cidade publicada em 1855. Fonte: Geoprocessamento Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul, disponível em [www.santacruz.rs.gov.br](http://www.santacruz.rs.gov.br), Acesso em 14/11/2016.

O relevo e hidrografia das cidades são premissas fundamentais para ocupação do solo seja pela elaboração de projetos de arruamento ou de saneamento, principalmente para a drenagem pluvial e esgotamento sanitário. A Bacia do Arroio Preto se encaixa neste contexto como sendo a área que mais recebeu investimentos em saneamento ao longo da história do município (Santa Cruz do Sul, 2013).

Assim como observado na ampliação de muitas cidades, a ocupação urbana na região foi regrada principalmente pelo mercado imobiliário. Neste contexto, um conflito entre a legislação de uso e ocupação do solo e a legislação de preservação do meio ambiente foi instalado. O resultado desta situação conflitante pode ser avaliado por aspectos como a intensidade de uso do solo, que analisa a densidade populacional nas áreas urbanizadas.

A cidade é também reconhecida como polo regional na área de educação pela presença de instituições de ensino públicas e privadas em todos os níveis. Recebe destaque neste meio a Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, que carrega o nome do município mundialmente numa trajetória que iniciou em 1973. Atualmente é reconhecida pela filantropia, por sua capacidade de desenvolvimento regional, pela formação científica e profissional de jovens e



adultos, pela crescente capacidade de desenvolver a ciência e pelo perfil catalizador do desenvolvimento.

A região é nacionalmente conhecida pela cultura do tabaco, instalada desde final do séc XVIII. No ano de 2015 os volumes exportados do produto na região sul do Brasil foram de 514 mil toneladas, 99,4% das exportações brasileiras do setor. Este volume movimentou montantes da ordem de 2,15 bilhões de dolares. O ramo do tabaco emprega em toda cadeia produtiva, que envolve agricultor, industria e setores indiretos, cerca de 2,1 milhões de trabalhadores no país (KIST, 2016).



Figura 11. Fotos comparativas da mesma paisagem, no início do século XX e atualmente, na cidade de Santa Cruz do Sul, RS. As setas mostram a mesma área aproximadamente um século após o primeiro registro. Fonte: Geoprocessamento Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul.

O impacto econômico da cultura do tabaco na cidade é significativo, tanto na esfera privada como na pública, pois no consumo doméstico o produto é altamente tarifado, gerando grandes volumes de impostos nas esferas, municipal, estadual e federal. Além do mercado do tabaco, a cidade possui destaque no setor industrial e de serviços. Apresenta indústrias de

materiais, indústrias de alimentos, indústria de brinquedos, indústria metal-mecânica e indústria de equipamentos mecatrônicos.

A movimentação econômica, aliada às demais características de interesse de Santa Cruz do Sul, conferem à população uma boa qualidade de vida, comprovada pelo Índice de Desenvolvimento Humano<sup>2</sup> – IDH alto ( $IDHM_{2010} = 0,773$ ;  $IDHM_{(RENDA)} = 0,782$ ;  $IDHM_{(LONGEVIDADE)} = 0,852$ ;  $IDHM_{(EDUCAÇÃO)} = 0,693$ ). Este enquadramento posiciona a cidade na 197ª posição no ranking nacional de municípios.

Do funcionamento das atividades humanas, um dos principais aspectos a serem considerado é o saneamento, ou seja, a abrangência do atendimento, qualidade e vida útil dos serviços de saneamento, em especial o abastecimento de água, esgotamento sanitário e gerenciamento de resíduos sólidos. Avaliando estes quesitos é possível inferir o nível de preocupação da sociedade local com a questão da saúde pública e meio ambiente. Para garantir a sustentabilidade local são necessárias ações em gestão ambiental pública, porém não há ação concreta nesta áreas sem uma estrutura legal e administrativa adequada. Avaliando-se esta questão, é possível traçar um panorama das possibilidades de atuação do poder público sobre a preservação do meio ambiente, seja através de ações em fiscalização, licenciamento e/ou educação ambiental.



Figura 12. Vista típica do Túnel Verde, ponto turístico do centro da Cidade de Santa Cruz do Sul, RS. Fonte: Acervo digital Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul.

---

<sup>2</sup> Ranking do IDHM Municípios 2010, disponível em:

<http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html>; Acesso em: 05/01/2017



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Indicadores de Qualidade Ambiental para o Meio Físico

##### 3.1.1. Resistência a Impactos Ambientais (Tabela 9).

Tabela 9. Características do solo quanto à resistência a impactos ambientais, conforme metodologia adaptada de Kämpf *et al.* (2008).

Área	Meio Físico										
Grupo	Conteúdo										
Indicador Meio Físico 1 (MF1)	Resistência do Solo a Impactos Ambientais.										
Método de Coleta de Dados	Localização da área de estudo no Mapa Resistência dos Solos a Impactos Ambientais FEPAM utilizando programa Google Earth Pro, medição da área de estudo coberta por cada classificação e aplicação na fórmula.										
Variáveis	- Classificação das Áreas Quanto à Resistência do Solo a Impactos Ambientais: Alta Resistência (A); Média Resistência (B); Baixa Resistência (C); Muito Baixa Resistência (D). - Área Total de Estudo (AT).										
Fórmula e Resultados	$MF1 = \frac{(A \times 1,0) + (B \times 0,75) + (C \times 0,50) + (D \times 0,25)}{AT}$ <p>MF1 apresenta valores ente 0,25 e 1,0</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Níveis de Referência Pesos</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alta Resistência</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Média Resistência</td> <td>0,75</td> </tr> <tr> <td>Baixa Resistência</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>Muito Baixa Resistencia</td> <td>0,25</td> </tr> </tbody> </table>	Níveis de Referência Pesos	Pontuação	Alta Resistência	1,00	Média Resistência	0,75	Baixa Resistência	0,50	Muito Baixa Resistencia	0,25
Níveis de Referência Pesos	Pontuação										
Alta Resistência	1,00										
Média Resistência	0,75										
Baixa Resistência	0,50										
Muito Baixa Resistencia	0,25										

Os procedimentos para a coleta de dados quanto à resistência a impactos ambientais são os seguintes, destacando alguns deles na Figura 13:

- 1º) Acesso ao programa Google Earth PRO;
- 2º) Localização e medição da área total do território em estudo;
- 3º) Ativação das camadas do Mapa de Classificação dos Solos Quanto à Resistência aos Impactos Ambientais;
- 4º) Medição dos polígonos das intersecções entre a poligonal da área em estudo e as áreas classificadas do mapa (Figura 13);
- 5º) Registro das áreas correspondentes a cada classe de resistência a impactos ambientais;
- 6º) Aplicação da Fórmula.



Figura 13. Roteiro para o Indicador Resistência a Impactos Ambientais. A: Demarcação do polígono da área em estudo. B: Registro da Área Total (AT). C: Ativação da camada Mapa de Classificação dos Solos Quanto à Resistência aos Impactos Ambientais e medição (com a Ferramenta Régua - Polígono) das áreas de intersecção correspondentes às classes do mapa. Registro das áreas e aplicação na Fórmula.

### 3.1.2. Hidromorfologia dos Cursos D'água

O processo de urbanização envolve o conflito pelo uso do solo e a preservação dos cursos d'água, sendo que uma das ideias difundidas a nível global é o processo de “renaturalização” (*Renaturalization*), que combina medidas estruturais e de planejamento do uso do solo, de tal forma que a médio e longo prazo os córregos renaturalizados apresentem traçados sinuosos e naturais, circundados por matas ciliares, trazendo os benefícios que os córregos urbanos não deveriam ter perdido com a expansão das cidades (CALDERARI e MARAGNO, 2013). Binder *et al.* (2015) avaliaram projetos de recuperação de corpos d'água na região de Beijing, China, categorizando a morfologia dos cursos d'água em 5 classes. Adaptando tal método para a realidade local brasileira, propõe-se o uso de duas classes, conforme apresentado Tabela 10.

Tabela 10. Avaliação Hidromorfológica de cursos d'água, conforme metodologia adaptada de Binder *et al.* (2015).

Área	Meio Físico
Grupo	Conteúdo
Indicador Meio Físico 2 (MF2)	Hidromorfologia dos cursos d'água. Classes: Traçado em Condição Natural e Traçado Alterado sob Intervenção Humana.
Método de Coleta de Dados	Medida da malha de córregos urbanos na área estudada, registo da extensão total, medida dos fragmentos da malha ainda com traçados abertos naturais. Comparação do traçado natural com o traçado total. Ferramentas: Programa Google Earth Pro ou ferramenta GIS. Pesquisar as informações oficiais disponíveis. $MF2 = \frac{\text{Extensão dos Córregos com Traçado Natural [m]}}{\text{Extensão Total da Malha [m]}}$
Variáveis	- Extensão Natural do Iésimo Córrego (LN <sub>i</sub> ) - Extensão Natural Total (LNT) - Extensão do Iésimo Córrego (Li) - Extensão Total da Malha de Córregos Urbanos (LT)
Resultados	$MF2 = \frac{\sum_i^n (LN_i)}{\sum_i^n (Li)} = \frac{LNT}{LT}$
Valoração	A valoração do indicador será um número entre 0 e 1. Considerando zero o pior resultado em que não há trecho de cursos d'água com traçado natural.



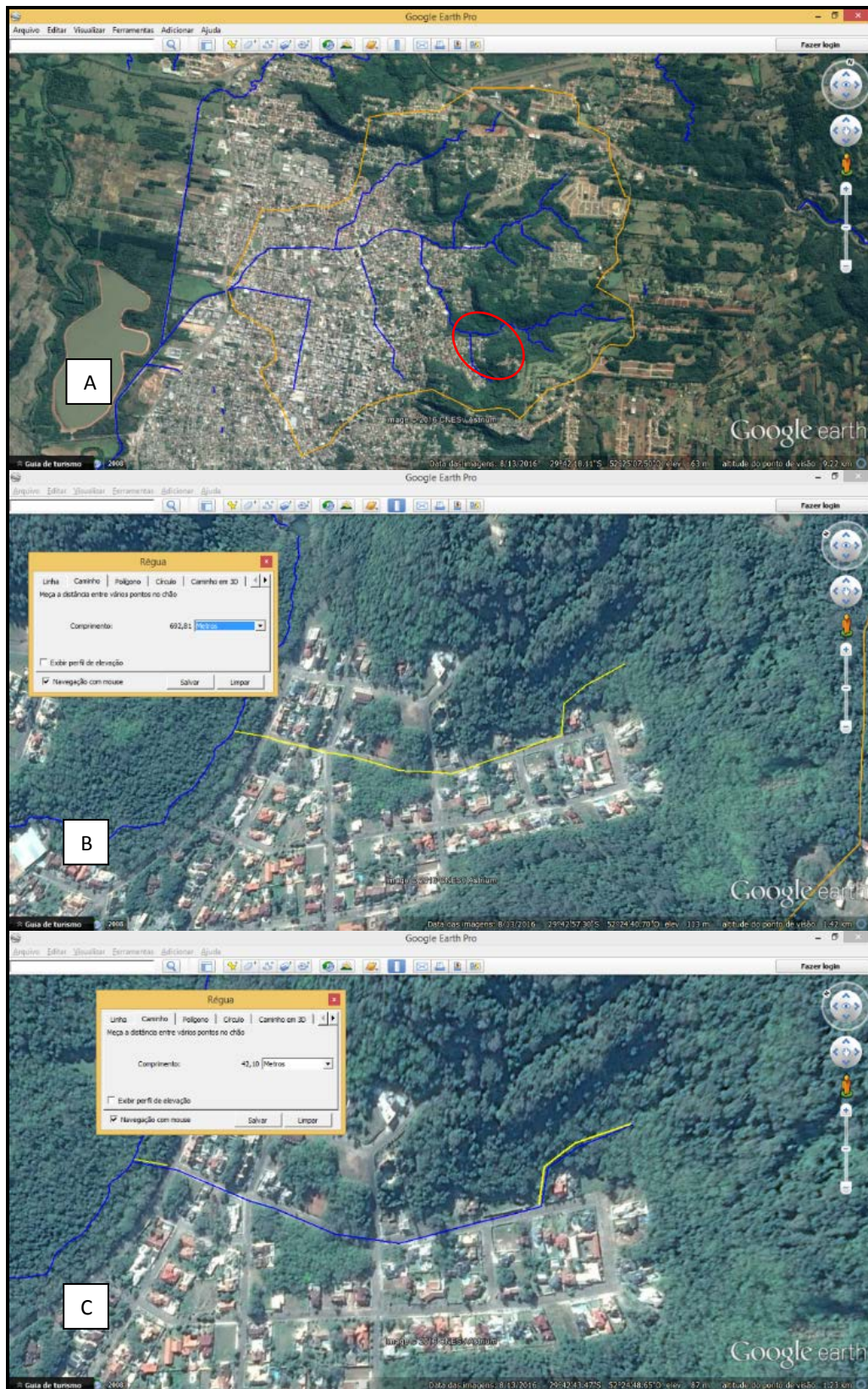


Figura 14. Roteiro de aplicação do Indicador Hidromorfologia dos cursos d'água. A: Marcação da área de estudo e da malha de drenagem total. B: Medição de afluente escolhido em A (elipse vermelha). C: Medição dos trechos em estado natural e para aplicação na fórmula.

Os procedimentos para a coleta de dados quanto à hidromorfologia dos cursos d'água na área de estudo são os seguintes, destacando alguns deles na Figura 14:

1º) Acesso ao programa Google Earth PRO, localizando e definindo o perímetro da área de estudo como limite territorial, dando prioridade para uso como unidade básica a bacia hidrográfica (utilizar ferramentas Régua e Caminho para marcar os arroios encontrados);

2º) Utilização de mapas auxiliares, visitas de campo, informações complementares ativação das camadas de Relevo do Programa para conhecimento do traçado dos arroios canalizados ou não;

3º) Medição em cada afluente e no curso d'água principal os traçados em condição natural e canalizados e registro das medidas em dois grupos: Curso Natural e Curso Canalizado; organização dos dados e aplicação da fórmula.

### 3.1.3. Qualidade das Águas Superficiais

O indicador de Qualidade de Águas Superficiais proposto neste trabalho se baseia na aplicação do método de Moretto *et al.* (2012), através do programa IQADATA (POSSELT *et al.*, 2015). A metodologia utilizada pode ser aplicada a outras realidades calibrando os pesos à realidade local, sendo que na Tabela 11 apresenta-se um resumo dos procedimentos empregados.

Tabela 11. Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais utilizando o Índice de Qualidade da Água - IQA (MORETTO *et al.*, 2012).

Área	Meio Físico
Grupo	Conteúdo
Indicador Meio Físico 3 (MF3)	Índice de Qualidade da Água - IQA.
Método de Coleta de Dados	- Coleta de amostras representativas analisando os parâmetros: Coliformes Termotolerantes, DBO <sub>5</sub> , Fosfato Total, Nitrato, Oxigênio Dissolvido, pH, Sólidos Totais Dissolvidos, Turbidez, Temperatura. - Aplicação dos resultados no Programa IQADATA (Posselt <i>et al.</i> , 2015), utilizando a metodologia descrita em Moretto <i>et al.</i> (2012).
Variáveis	Índice de Qualidade da Água – IQA Local (IQA <sub>Local</sub> )
Fórmula e Resultados	$MF3 = \frac{IQA_{Local}}{100}$
Valoração	O valor obtido será um número entre 0 e 1.

Os procedimentos para a coleta de dados quanto à qualidade das águas superficiais na área de estudo são os seguintes:

- 1º) Definição dos pontos de coleta ao longo da bacia hidrográfica;
- 2º) Análise preferencialmente dos parâmetros apontados na Tabela 3, caso não seja possível avaliar todos, deve ser procedida a ponderação dos pesos, distribuindo o peso do parâmetro não analisado proporcionalmente para os demais;
- 3º) Processamento dos resultados no Programa IQADATA, calibrando os pesos de cada parâmetro conforme a Tabela 3 e aplicação da fórmula.

### 3.1.4. Vulnerabilidade a Desastres Naturais

Na Tabela 12 apresenta-se a metodologia de coleta de dados para avaliar a Vulnerabilidade Local a Desastres Naturais, integrando as exigências previstas na Legislação Brasileira com as avaliações aplicadas no Programa ICES .

Tabela 12. Adaptação a partir de BID (2014) e dos itens previstos no Art. 8º da Lei 12.608, de 10 de abril de 2012, que instituiu a O Estatuto de Proteção e Defesa Civil.

Área	Meio Físico														
Grupo	Conteúdo														
Indicador Meio Físico 4 (MF4)	Vulnerabilidade a Desastres Naturais.														
Método de Coleta de Dados	Investigação junto ao órgão responsável local, referente ao cumprimento do que prevê a Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012 em itens do Art. 8º														
Variáveis	<table border="0"> <thead> <tr> <th>Variáveis</th> <th>Valores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- Ocorrência da integração das ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal.</td> <td>Sim: 1 Não: 0</td> </tr> <tr> <td>- Ocorrência da identificação e mapeamento das áreas de riscos de desastres.</td> <td>Sim: 1 Não: 0</td> </tr> <tr> <td>- Ocorrência da fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas.</td> <td>Sim: 1 Não: 0</td> </tr> <tr> <td>- Ocorrência de vistorias às construções em áreas de risco.</td> <td>Sim: 1 Não: 0</td> </tr> <tr> <td>- Realização regular de exercícios simulados.</td> <td>Sim: 1 Não: 0</td> </tr> <tr> <td>- Manutenção da população informada sobre áreas de risco, ocorrência de eventos extremos.</td> <td>Sim: 1 Não: 0</td> </tr> </tbody> </table>	Variáveis	Valores	- Ocorrência da integração das ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal.	Sim: 1 Não: 0	- Ocorrência da identificação e mapeamento das áreas de riscos de desastres.	Sim: 1 Não: 0	- Ocorrência da fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas.	Sim: 1 Não: 0	- Ocorrência de vistorias às construções em áreas de risco.	Sim: 1 Não: 0	- Realização regular de exercícios simulados.	Sim: 1 Não: 0	- Manutenção da população informada sobre áreas de risco, ocorrência de eventos extremos.	Sim: 1 Não: 0
Variáveis	Valores														
- Ocorrência da integração das ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal.	Sim: 1 Não: 0														
- Ocorrência da identificação e mapeamento das áreas de riscos de desastres.	Sim: 1 Não: 0														
- Ocorrência da fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas.	Sim: 1 Não: 0														
- Ocorrência de vistorias às construções em áreas de risco.	Sim: 1 Não: 0														
- Realização regular de exercícios simulados.	Sim: 1 Não: 0														
- Manutenção da população informada sobre áreas de risco, ocorrência de eventos extremos.	Sim: 1 Não: 0														
Fórmula e Resultados	<p>O desempenho é medido pelo somatório dos valores gerados no questionário.</p> $MF4 = \frac{\text{Soma dos Resultados do Questionário}}{6}$														
Valoração	Os valores obtidos serão proporcionais ao cumprimento dos itens investigados e assumirá um valor entre 0 e 1														

### 3.2. Indicadores de Qualidade Ambiental para o Meio Biótico

#### 3.2.1. Biodiversidade

A Tabela 13 organiza os conceitos empregados no presente indicador, visando comparar a realidade local com os dados oficiais quanto à biodiversidade.

Tabela 13. Avaliação da biodiversidade arbórea adaptado do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2002).

Área	Meio Biótico
Grupo	Conteúdo
Indicador Meio Biótico 1 (MB1)	Biodiversidade Local.
Método de Coleta de Dados	- Estudo Fitosociológico local ou uso de dados da Bacia Hidrográfica local no Inventário (Tabela 14) com base em duas variáveis: número de espécies arbóreas ou Índice de Diversidade de Shannon. - O resultado local obtido é comparado com o melhor resultado apontado pelo Inventário, para número de espécies ou maior índice de Diversidade de Shannon nas parcelas levantadas.
Variáveis	- Número de espécies Arbóreas locais ( $N_L$ ). - Índice de Diversidade de Shannon Local ( $S_L$ ). - Número de espécies Arbóreas na região de diversidade estuda pelo Inventário Florestal Contínuo do RS ( $N_{RS}$ ). - Índice de Diversidade de Shannon da parcela com maior diversidade apontada pelo Inventário Florestal Contínuo do RS ( $S_{RS}$ ).
Fórmula e Resultados	- Quando utilizado o número de espécies arbóreas: $MB1 = \frac{N_L}{N_{RS}}$ - Quando utilizado o índice de diversidade de Shannon $MB1 = \frac{S_L}{S_{RS}}$
Valoração	O resultado será um número entre 0 e 1, como um índice de proporcionalidade com a melhor situação encontrada em campo no Inventário Florestal Contínuo do RS (Rio Grande do Sul, 2002)

O procedimento para a coleta de dados utiliza as informações disponibilizadas pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA), destacando alguns deles na figura 4. As etapas da consulta são abordadas na sequência de instruções:

1º) Acesso à página ao inventário florestal *online*<sup>3</sup>; acesso na aba resultados, os dados por bacia hidrográfica;

2º) Localização da bacia correspondente à área de estudo;

<sup>3</sup> Disponível em: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/frame.htm>, acesso em: 08/11/2016.

3º) Extração do resultado de riqueza (número de espécies arbóreas) ou a Diversidade Média na Composição Florística;

4º) A opção escolhida deve ser comparada com os dados compilados na Tabela 14, entre a nota 1, baseada na Riqueza de Espécies e a nota 2, que reflete a biodiversidade utilizando o Índice de Diversidade de Shannon;

5º) O resultado será a biodiversidade local comparada com o melhor resultado encontrado no Inventário Florestal.

Tabela 14. Compilação dos resultados do Inventário Florestal Contínuo do RS (Rio Grande do Sul, 2002) por bacia hidrográfica.

Bacia Hidrográfica	Riqueza de Espécies	Nota 1	Diversidade Média Shannon	Diversidade Max. Shannon	Nota 2
B. H. do Alto Jacuí	103	0,45	2,38	3,55	0,65
B. H. do Apuae-Inhandaua	133	0,59	2,38	SI	0,65
B. H. do Baixo Jacuí - Pardo	141	0,62	2,42	3,14	0,66
B. H. do Caí	182	0,80	3,05	3,53	0,83
B. H. do Camaquã	111	0,49	2,32	3,07	0,63
B. H. do Gravataí	79	0,35	2,32	2,87	0,63
B. H. do Guaíba	76	0,33	2,41	2,91	0,66
B. H. do Ibicuí	SI	SI	2,00	SI	0,54
B. H. do Ijuí-Piratinim-Icamaquã	122	0,54	2,31	3,05	0,63
B. H. do Litoral Médio	58	0,26	2,58	3,05	0,70
B. H. do Mampituba	108	0,48	2,92	3,12	0,80
B. H. do Mirim-São Gonçalo	96	0,42	2,23	3,28	0,61
B. H. do Negro	32	0,14	2,26	2,43	0,62
B. H. do Passo Fundo- Várzea	48	0,21	2,55	SI	0,69
B. H. do Quaraí	38	0,17	1,20	SI	0,33
B. H. do Santa Maria	23	0,10	1,66	2,40	0,45
B. H. do Sinos	124	0,55	2,80	3,17	0,76
<b>B. H. do Taquari-Antas</b>	<b>227</b>	<b>1,00</b>	2,48	3,48	0,68
<b>B. H. do Tramandaí</b>	198	0,87	<b>2,48</b>	<b>3,67</b>	<b>0,68</b>
B. H. do Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo	111	0,49	2,38	2,96	0,65
B. H. do Vacacaí-Vacacaí Mirim	67	0,30	2,39	2,93	0,65

S.I. Sem Informações Disponíveis; Grifo para a B.H. com registro de maior riqueza de espécies e para a amostra (parcela) de maior diversidade Shannon; Nota 1:  $\frac{Riqueza\ Local}{B.H.de\ Maior\ Riqueza}$ ; Nota 2:  $\frac{Shannon\ Local}{Shannon\ da\ Parcela\ Mais\ Rica}$ . Fonte: Grifadas as B.H. com melhores desempenhos, que servem de parâmetro comparativo como nota máxima. Dados disponíveis em: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/frame.htm>. Acesso em: 08/11/2016.

### 3.2.2. Conservação de Áreas de Preservação Permanentes (APPs)

A metodologia proposta para avaliar o valor deste indicador no ambiente urbano utiliza ferramentas computacionais com roteiro de ações integradas com as exigências da Legislação



brasileira sobre o tema. A Tabela 15 resume estas exigências ao contexto das APPs geradas por corpos d'água, e a Tabela 16 apresenta as informações relativas à aplicação do indicador.

Tabela 15. Resumo do dimensionamento das APP de cursos d'água, conforme (BRASIL 2012).

Largura do Curso Hídrico (m)	Faixa de APP a ser preservada ao longo de ambas as margens (m)
Até 10	30
Entre 10 e 50	50
Entre 50 e 200	100
Entre 200 e 600	200
Superior a 600	500

Tabela 16. Avaliação da preservação das APP de arroios urbanos com base no Novo Código Florestal Brasileiro (BRASIL 2012).

Área	Meio Biótico
Grupo	Conteúdo
Indicador Meio Biótico 2 (MB2)	Mata Ciliar em APP.
Método de Coleta de Dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizando programa Google Earth PRO ou Quantum GIS, definir o traçado das APP relativas aos cursos d'água presentes na área de estudo (Tab. 8).</li> <li>- Utilizando as mesmas ferramentas, medir as áreas dentro das APP ainda cobertas por vegetação (mata ciliar).</li> <li>- Comparar as áreas cobertas por vegetação com o total de APP prevista.</li> </ul>
Variáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área de Preservação Permanente Coberta por Mata Ciliar (<math>APP_V</math>).</li> <li>- Área de Preservação Permanente Prevista em Lei (<math>APP_{Lei}</math>).</li> </ul>
Fórmula e Resultados	$MB2 = \frac{APP_V}{APP_{Lei}}$
Valoração	O valor será um número entre 0 e 1, correspondendo ao total preservado no âmbito da área em estudo.

Os procedimentos para a coleta de dados para o indicador Mata Ciliar em APPs utilizam ferramentas computacionais como Programa Google Earth PRO, numa perspectiva de menor precisão; e ferramentas GIS como o Quantum Gis para obtenção de resultados mais precisos. Os passos básicos utilizando o Programa Google Earth PRO são (Figura 15):

- 1º) Acesso ao programa Google Earth PRO;
- 2º) A partir da rede de cursos hídricos definida anteriormente proceder o enquadramento das larguras das faixas marginais de APP, alternativamente pode ser gerado um arquivo KML em programa auxiliar com *buffer* de largura correspondente ao enquadramento apontado;
- 3º) Registro da área oficial das APPs;

- 4º) Utilização da ferramenta Régua – Polígono para marcar as áreas cobertas por mata ciliar ao longo de cada afluente e curso principal e registro da área de mata ciliar total;
- 5º) Organização dos dados e aplicação da Fórmula.

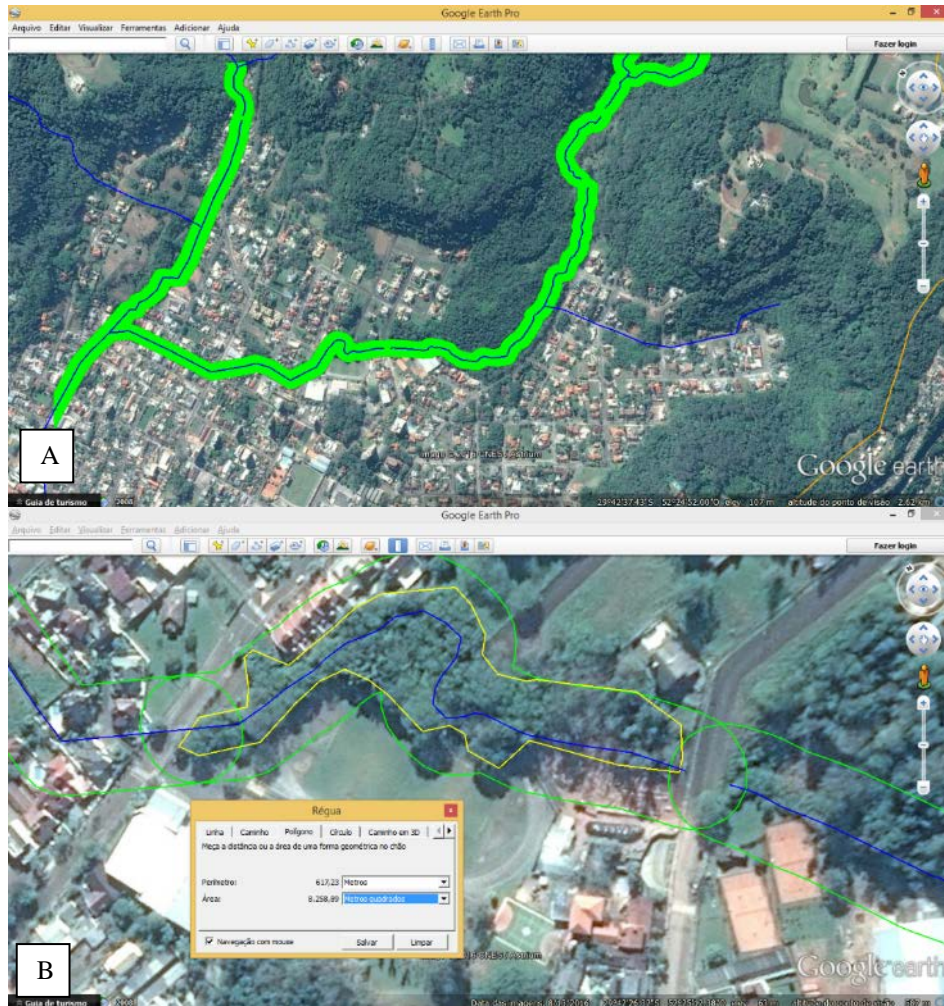


Figura 15. Roteiro da aplicação do Indicador Mata Ciliar em APP. A: Geração dos polígonos das APPs e registro da área de APP Legal. B: Medição da mata ciliar conservada em cada trecho dos afluentes e registro da soma das áreas para aplicação na fórmula.

### 3.2.3. Áreas Verdes

Para avaliação deste tema, na presente pesquisa foi proposta a utilização do padrão determinado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), e apontado por De La Barrera *et al* (2016), que preconiza o padrão de 9 a 11 m<sup>2</sup>/habitante como satisfatório para manutenção das funções ecológicas e promover o bem-estar da população. Na Tabela 17 são apresentadas as informações sobre o indicador.

Tabela 17. Avaliação da disponibilidade de Áreas Verdes à População. Adaptado de De La Barrera *et al.* (2016).

<b>Área</b>	<b>Meio Biótico</b>
<b>Grupo</b>	<b>Conteúdo</b>
Indicador Meio Biótico 3 (MB3)	Áreas Verdes.
Método de Coleta de Dados	- Utilizando programa Google Earth PRO ou Quantum GIS, definir o traçado das Áreas Verdes e quantificar a área total em m <sup>2</sup> . - Consultar dados populacionais para definição do número de moradores da região do estudo.
Variáveis	- Áreas Verdes e Parques Públicos: AV (m <sup>2</sup> ). - População: Número de Habitantes: POP (hab).
Fórmula e Resultados	$MB3 = \frac{AV_{(m^2)}}{POP_{(hab)}} \times \frac{1}{11 \frac{(m^2)}{(hab)}}$
Valoração	O valor será um número maior que zero, ente zero e 1, que seria a nota máxima. Caso o resultado seja acima de 11 m <sup>2</sup> /hab, o resultado deverá ser 1.

Os procedimentos para a coleta de dados para o indicador áreas verdes utilizam consultas a órgãos públicos ou ferramentas computacionais como Programa Google Earth PRO; ou ferramentas GIS como o Quantum Gis para obtenção de resultados mais precisos. Os passos básicos são os seguintes:

- 1º) Consultar o setor de cadastro e/ou geoprocessamento municipais buscando a informação das áreas verdes e parques oficiais e levantar a área total;
- 2º) Se haver arquivos digitais sobre o tema podem ser processados em programas como o Google Earth PRO ou Quantum GIS;
- 3º) Consultar dados populacionais e levantar estimativa da população habitante da área de estudos;
- 4º) Organização dos dados e aplicação da Fórmula.

#### **3.2.4. Arborização Urbana**

Na Tabela 18 são apresentadas as informações gerais necessárias à aplicação do indicador. Os procedimentos para a coleta de dados para o indicador áreas verdes públicas utilizam seguem duas linhas de complexidade. Para a amostragem aleatória simples em campo, considera-se como unidade amostral um quarteirão (quadra). Os autores Iwana (2014) e Rossato (2008) utilizam amostras com representatividade de 10% com intervalo de confiança de 5%. A utilização de ferramentas de geoprocessamento deve ser orientada segundo metodologia proposta por Iwana (2014).

A coleta de dados em campo, por amostragem aleatória simples deve seguir as seguintes etapas:

- 1°) Levantar número de quarteirões (quadras) na área de estudo como universo amostral;
- 2°) Utilizar lógica aleatória para definição dos quarteirões a serem inventariados;
- 3°) Realizar o levantamento das árvores em campo;
- 4°) Tabular e processar resultados, registrando, média, variância e desvio padrão.
- 5°) Aplicar o resultado médio na fórmula.

Tabela 18. Avaliação da quantidade de árvores nos passeios públicos, adaptado de Iwana (2014) e Rossato (2008).

<b>Área</b>	<b>Meio Biótico</b>
<b>Grupo</b>	<b>Conteúdo</b>
Indicador Meio Biótico 4 (MB4)	Arborização Urbana.
Método de Coleta de Dados	- Definição da técnica de amostragem: Amostragem Aleatória Simples de Quadras (quarteirões) em Campo ou Senso Total por Técnica Computacional proposta por Iwana (2014). - Tabulação e Processamento dos dados e definição da quantidade média de árvores existentes por quilômetro linear de calçadas na área de estudo.
Variáveis	- Número de Indivíduos de porte Arbóreo Existentes $N_{arv}$ (indiv.). - Distância linear percorrida L (km).
Fórmula e Resultados	$MB4 = \left(\frac{N_{Arv}}{L}\right) \div 100$
Valoração	O valor será entre zero e um. Quando o resultado médio for acima de 100 árvores/km, será adotado o resultado máximo 1.

### 3.3. Indicadores de Qualidade Ambiental do Meio Antrópico

#### 3.3.1. Intensidade do Uso do Solo

A metodologia de coleta de dados e os limites elaborados por BID (2014) se baseiam na experiência obtida pelo programa em cidades médias na América Latina e Caribe (Tabela 19).

Tabela 19. Avaliação da Intensidade de Uso do Solo, adaptado de BID (2014).

Área	Meio Antrópico								
Grupo	Conteúdo								
Indicador Meio Antrópico 1 (MA1)	Intensidade de Uso do Solo.								
Método de Coleta de Dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consulta aos dados populacionais oficiais da região de estudo.</li> <li>- Medição da área urbanizada no interior do polígono territorial em estudo usando recursos computacionais (Google Earth PRO, Quantum Gis, etc.).</li> </ul>								
Variáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área de Estudo Total (<math>A_{Total}</math>)[km<sup>2</sup>].</li> <li>- Área Urbanizada no interior do polígono de estudo (<math>A_{Urb}</math>)[km<sup>2</sup>], excetuadas áreas de campos e lavoura, florestas e grandes reservatórios de água;</li> <li>- Número de Habitantes na região (<math>N_{Hab}</math>).</li> </ul>								
Fórmula e Resultados	$MA1 = \frac{N_{Hab}}{A_{Urb}} \times A_{Total}$								
Valoração	<p>A valoração segue o modelo de BID (2014), com três faixas de notas e respectivas pontuações.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Faixas de Resultados</th> <th style="text-align: center;">Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Entre 1.750 e 5.000 hab.km<sup>-2</sup></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Entre 1.000 e 1750 hab.km<sup>-2</sup>; e Entre 5.000 e 6.250</td> <td style="text-align: center;">0,5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">&lt; 1.000 hab. km<sup>-2</sup>; e &gt; 6.250</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </tbody> </table>	Faixas de Resultados	Pontuação	Entre 1.750 e 5.000 hab.km <sup>-2</sup>	1	Entre 1.000 e 1750 hab.km <sup>-2</sup> ; e Entre 5.000 e 6.250	0,5	< 1.000 hab. km <sup>-2</sup> ; e > 6.250	0
Faixas de Resultados	Pontuação								
Entre 1.750 e 5.000 hab.km <sup>-2</sup>	1								
Entre 1.000 e 1750 hab.km <sup>-2</sup> ; e Entre 5.000 e 6.250	0,5								
< 1.000 hab. km <sup>-2</sup> ; e > 6.250	0								

### 3.3.2. Indicador de Salubridade Ambiental (ISA)

#### A) Indicador de Abastecimento de Água ( $I_{ab}$ )

O  $I_{ab}$  avalia três aspectos do abastecimento de água: cobertura do sistema, qualidade da água e situação de saturação do sistema. A metodologia para este indicador segue o roteiro explicativo da Tabela 6. A base de dados deve ser dados do Plano de Saneamento ou dados diretos dos setores responsáveis da Prefeitura ou da concessionária dos serviços de saneamento.

#### B) Indicador de Esgotamento Sanitário ( $I_{es}$ )

Na aplicação do IES propõe-se a avaliar dois aspectos do esgotamento sanitário: cobertura do sistema e sistema de tratamento disponível. Na Tabela 7 apresenta-se um resumo das fórmulas e dados necessários. A base de dados deve ser dados do Plano de Saneamento ou dados diretos dos setores responsáveis da Prefeitura ou da concessionária dos serviços de saneamento.

#### C) Indicador de Resíduos Sólidos ( $I_{rs}$ )

Na aplicação do  $I_{rs}$  propõe-se a avaliar dois aspectos do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: a abrangência da coleta e a vida útil da opção de destinação. Na Tabela 8 apresenta-se um resumo das fórmulas e dados necessários. A base de dados deve ser dados do Plano de Resíduos Sólidos ou dados diretos dos setores responsáveis da Prefeitura ou da concessionária dos serviços de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

### 3.3.3. Estrutura de Gestão Ambiental Pública

A metodologia proposta para a avaliação da qualidade municipal na gestão ambiental envolve a aplicação de questionário com base na estrutura necessária à gestão e licenciamento ambiental e no cumprimento do art. 9º da Lei Complementar nº 140/2011 (BRASIL 2011). A Tabela 20, adaptada a partir de tal Lei e da Resolução Consema, RS, nº 288/2014 (CONSEMA, RS, 2014).

Tabela 20. Avaliação da estrutura e ações de gestão ambiental municipal na área de estudo. Adaptado de BRASIL (2011), CONSEMA (2014) e Cunha *et al.*(2013).

Área		Meio Antrópico
Grupo	Conteúdo	
Indicador Meio Antrópico 3 (MA3)	Estrutura de Gestão Municipal.	
Método de Coleta de Dados	Consulta ao Órgão Ambiental Municipal para aplicação do questionário.	
	Variáveis	Valores
	- Equipe técnica habilitada ao licenciamento ambiental, em número adequado sobre o Meio Físico.	Sim: 1 Não: 0
	- Equipe técnica habilitada ao licenciamento ambiental, em número adequado sobre o Meio Biótico.	Sim: 1 Não: 0
	- Servidores atuantes na fiscalização ambiental.	Sim: 1 Não: 0
	- Estrutura física adequada para exercer atividades do licenciamento ambiental (veículos, equipamentos, etc.).	Sim: 1 Não: 0
	- Conselho Ambiental Municipal com participação da comunidade.	Sim: 1 Não: 0
	- Fundo Municipal de Meio Ambiente com independência financeira do restante do orçamento Municipal.	Sim: 1 Não: 0
	- Ações concretas em educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a proteção do meio ambiente na área de estudo.	Sim: 1 Não: 0
	- Atuação efetiva no licenciamento e fiscalização ambiental de atividades potencialmente poluidoras na área de estudo.	Sim: 1 Não: 0
	- Existência de Lei Municipal identificando áreas de interessa ambiental e restringindo o uso do solo nesses locais.	Sim: 1 Não: 0
	- Existência de Lei de controle de águas da chuva exigindo retenção temporária das precipitações.	Sim: 1 Não: 0
	- Existência de lei de incentivo à práticas visando o desenvolvimento sustentável (Ex: IPTU Verde).	Sim: 1 Não: 0
Fórmula e Resultados	O desempenho é medido pelo somatório dos valores gerados no questionário.	
	$MF4 = \frac{\text{Soma dos Resultados do Questionário}}{11}$	
Valoração	Os valores obtidos serão proporcionais ao cumprimento dos itens investigados e assumirá um valor entre 0 e 1.	

### 3.3.4. Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)

O IDH da área de escopo pode ser consultado diretamente no Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil<sup>4</sup>, que se mantém atualizado de acordo com a realização dos censos oficiais. As buscas permitem observar a realidade dos municípios, regiões metropolitanas, dos estados e nacionais. As vantagens da consulta direta são principalmente a padronização da informação e

<sup>4</sup> <http://www.atlasbrasil.org.br>, acesso em 29/01/2017

a possibilidade de comparação com outras localidades através do ranking. As desvantagens da consulta direta concentram-se na dependência de alimentação oficial dos dados, sendo assim, considerando o intervalo médio de 10 anos entre os censos, o ranking oficial é atualizado neste período.

Alternativamente o método permite a aplicação direta de dados coletados na população estudada. Neste caso a atualidade dos dados cobra empenho na busca de campo pelo pesquisador.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Indicadores do Meio Físico

#### 4.4.1. Resistência a Impactos Ambientais

A região de estudo apresenta duas feições no contexto do mapa de Resistência a Impactos Ambientais. Recebe assim a classificação de Baixa Resistência e Muito Baixa Resistência. Na Tabela 21 apresenta-se um resumo desses resultados, destacando que o enquadramento da região estudada refletem às características do solo.

Tratando separadamente as duas feições encontradas, a parte superior da região, considerada de Muito Baixa Resistência, apresenta predominância de solos originados de materiais decompostos dos derrames basálticos da Formação Serra Geral. Kämpf *et al.* (2008) consideraram uma combinação de características que são: solos rasos, com menor capacidade de absorver e conter eventual contaminação lançada no solo; coincidência do solo raso com a presença de lençol de água subterrâneo e consequente potencial de transporte de poluentes por vias subsuperficiais e fluxos de águas subterrânea por fraturas nas rochas, sendo que tal situação pode ser considerada de alta dificuldade para contenção de contaminantes, uma vez que a fratura pode transportar poluentes em velocidades acentuadas no subsolo.

A área mais baixa da bacia em estudo, apresenta o solo composto principalmente por argilas, que normalmente possuem uma baixa permeabilidade, fator de interesse para contenção de poluentes no solo. Porém as argilas da Formação Santa Maria comumente são classificadas como expansivas, e este fato confere a este solo movimentos oscilantes de variação de volume. Em época úmida o material se expande, enquanto em momento de seca o solo apresenta fissuras que podem transportar poluentes em eventual derramamento. Em relação à área anterior, observa-se a ausência de lençol próximo à superfície e uma maior profundidade da camada de solo. Para aprofundamento da metodologia de coleta de dados, parâmetros que formularam a escala de resistências a impactos ambientais é relevante o estudo de Kämpf *et al.* (2008).

Tabela 21. Resumo dos dados referentes ao Indicador MF1.

Classes de Áreas	Área (ha)	Resultado do Cálculo
Área Total	<b>1.343,6</b>	
Área A (Alta Resistência)	0	<b>Utilizando Google Earth Pro:</b>
Área B (Média Resistência)	0	$MF1 = \frac{(A \times 1,0) + (B \times 0,75) + (C \times 0,50) + (D \times 0,25)}{AT}$
Área C (Baixa Resistência)	671,6	$MF1 = \frac{(0 \times 1,0) + (0 \times 0,75) + (671,6 \times 0,50) + (672 \times 0,25)}{1343,6}$
Área D (Muito Baixa Resistência)	672	$MF1 = 0,375$
<b>Resultado</b>	<b>0,375 <math>\cong</math> 38%</b>	

A partir do mapa de resistência a impactos ambientais é possível perceber duas possibilidades de resultados devido à região estar localizada em região com duas classificações do mapa. Desta forma o resultado obtido recebe uma pressão para baixos desempenho, traduzido em  $MF1 = 0,38$ , evidenciando que a região necessita ser gestada com atenção quanto à forma de ocupação. O fato não deprecia a área estudada, apenas alerta da possível ocorrência de áreas suscetíveis à contaminações do subsolo, além de indicativos de que sejam necessárias intervenções estruturais apropriadas, como disciplinamento de esgotos, controle de deslizamentos, não utilização de áreas com riscos geológicos, etc.

De fato, o método proposto por Kämpf *et al.* (2008) exige um refinamento nos resultados para avaliação de áreas específicas, pois as condições do solo variam significativamente em regiões de características similares. O resultado motiva uma validação local para elucidar as características encontradas em campo que podem potencializar ou amenizar o desempenho obtido.

Estes resultados indicam que a metodologia empregada apresenta-se satisfatória, uma vez que o objetivo da mesma não é cessar as questões ambientais, mas sim indicar caminhos para tomada de decisão e definição de prioridades.

#### 4.4.2. Hidromorfologia dos Cursos D'água

O resultado obtido,  $MF2 = 0,52$  indica a alteração de traçado de quase metade dos leitos de córregos urbanos conhecidos na área de estudo. Os trechos mais alterados encontram-se em

zonas que sofreram processo de urbanização mais antiga. Pois as áreas onde os leitos permanecem preservados coincidem com o Cinturão Verde (CV) e suas adjacências.

Neste sentido, este indicador sinaliza claramente a importância do CV para a preservação dos corpos d'água, uma vez que em áreas totalmente urbanizadas, inúmeros outros cursos d'água existentes no passado, como os apresentados no mapa histórico da Figura 16, estão isolados do ambiente urbano, através de canalizações de fechamento total. Desta forma o resultado poderia ainda ser considerado otimista, uma vez que a rede de drenagem pluvial absorveu muitos córregos no decorrer da expansão da cidade. Os dados apresentados na Tabela 22 permitem analisar a variabilidade do resultado. Com uma amostra de onze trechos estudados ( $n = 11$ ), obtêve-se um Coeficiente de Variação (C.V.) de 78,5%. Este resultado sinaliza para uma não aleatoriedade da condição encontrada em campo. Resultado se alinha com a complexidade do fenômeno da degradação ambiental devida à urbanização, regrada por diversos fatores como históricos, culturais e econômicos.

Tabela 22. Resumo dos resultados para hidromorfologia dos cursos d'água na Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, RS.

Arroio	Extensão (m) com Traçado Natural	Extensão (m) Total do Trecho
A. da Gruta	3.985	5.244
A. Jucurí	2.098	2.359
A. Imigrante	52	1.780
A. Preto	0	2.647
A. Hortências 1	423	423
A. Hortências 2	590	705
A. Higienópolis	100	693
A. Assis Brasil	0	1.116
A. Terra Madre	745	780
A. Casa de Pedra	500	535
A. Retiro Loyola	1.388	3.340
<b>Total</b>	<b>9.781</b>	<b>18.929</b>

Resultado

$$MF2 = \frac{\sum_1^n (LNi)}{\sum_i^n (Li)} = \frac{LNT}{LT} = \frac{9.781}{18.929}$$

$$MF2 = 0,52 = 52\%$$

Extensão Natural do Iésimo Córrego/Trecho (L<sub>Ni</sub>); Extensão Natural Total (LNT); Extensão do Iésimo Córrego/Trecho (L<sub>i</sub>); Extensão Total da Malha de Córregos Urbanos (LT)

A partir da medição dos córregos urbanos localizados na área de estudo chegou-se ao total de uma malha hidromorfológica de aproximadamente 18.929 m. Neste levantamento foram

contabilizados trechos com leito em estado natural, retificado, em travessias de ruas, em canalizações e em galerias subterrâneas, quando conhecidos os traçados.

Na área de estudo foram encontrados todos os graus conhecidos de intervenção em corpos d'água urbanos: leito natural, leito retificado, leito retificado com perfil ortogonal, leito coberto e até galeria oculta (BINDER *et al.*, 2015). Nesta última situação não há conhecimento de qual o traçado do canal, uma vez que a urbanização mascarou qualquer sinal de sua existência.

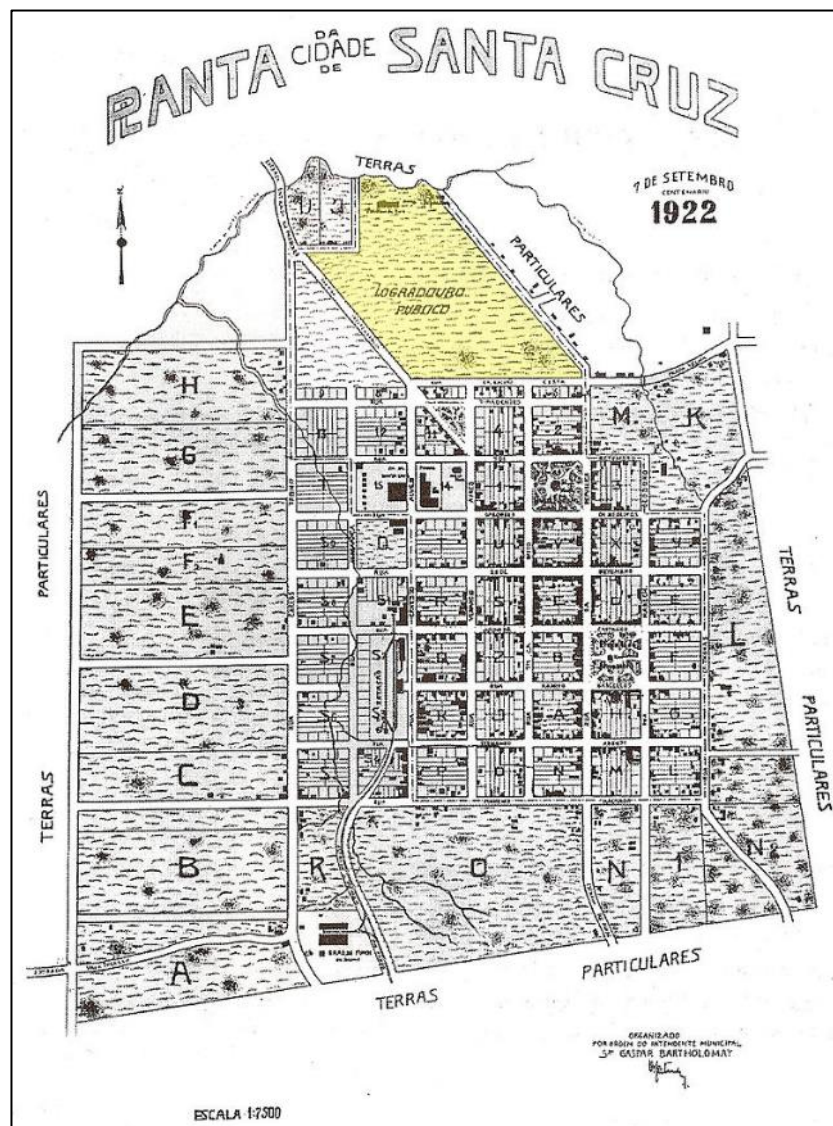


Figura 16. Mapa da Cidade de Santa Cruz do Sul, RS, em 1922. Destaque para os córregos urbanos existentes na região principalmente na porção sul, que atualmente é uma galeria pluvial subterrânea.

A predominância de trechos preservados dos córregos nas proximidades do CV, pode ser justificada pela coincidência destas áreas com situações de riscos geológicos devido às

encostas. Sendo um obstáculo natural à expansão urbana, as encostas do CV favoreceram a sua regeneração e preservação durante às últimas décadas, e dos corpos d'água nele contidos.

O levantamento apresentado na Tabela 22, que segrega cada trecho de corpo hídrico entre natural e total, permite suscitar uma discussão sobre a forma de expansão das cidades e as consequências sobre os hídricos preservados. No contexto do desenvolvimento urbano, as cidades defrontam-se com uma encruzilhada quanto às diretrizes de ocupação e uso do solo. O caminho segue pelo modelo tradicional com seu perfil degradador do ambiente, ou segue em busca da sustentabilidade urbana, quando a cidade percebe a importância dos recursos naturais existentes no presente e para as futuras gerações.

Ainda tratando do degradador primeiro cenário, Napieralski (2016) alertou para o legado negativo de “desertos sem arroios urbanos” em grandes cidades do hemisfério norte, como Detroit (EUA) e Londres (Inglaterra). A exemplo do que ocorre na Bacia do Preto, naquelas cidades o conceito de ambiente urbano excluiu os córregos como elemento integrante do espaço, transformando cursos d'água em canais subterrâneos. Esta prática acarreta em sérios problemas de contaminação do subsolo seja pelo desconhecimento da qualidade da água escoante nos canais subterrâneos, ou pela dificuldade de localizar pontos de lançamento de poluentes.

Esta foi a principal dificuldade da aplicação deste indicador, devido ao desconhecimento e complexidade de coleta de dados quanto à localização e situação atual dos antigos córregos transformados em canais subterrâneos. De uma forma geral, a falta de dados parece surgir como regra, pois apesar de consultar bases de mapas baseados em fotogrametria aérea de 40 anos passados, a realidade de conservação dos córregos urbanos não se mostrou muito alterada. Na Figura 17, apresenta-se recorte do Mapa da Carta do Exército que cobre a cidade de Santa Cruz do Sul. É possível perceber a presença de alguns córregos na área da Bacia do Preto, porém grande parte dos afluentes principais já está modificada e os afluentes menores não aparecem devido à escala do mapa.

Para retornar a uma condição mais próxima possível da original, inúmeras iniciativas a nível global vêm surgindo e assinalando a importância da regeneração de corpos d'água urbanos. Os benefícios alcançados com a restauração de condições naturais dos mesmos são cada vez mais valorizados, a saber: regulação do microclima, aumento da resiliência ecológica do ambiente, aumento da biodiversidade, sustento à fauna silvestre, além de aspectos paisagísticos e potencial uso da água no ambiente (BINDER, *et al*, 2015).

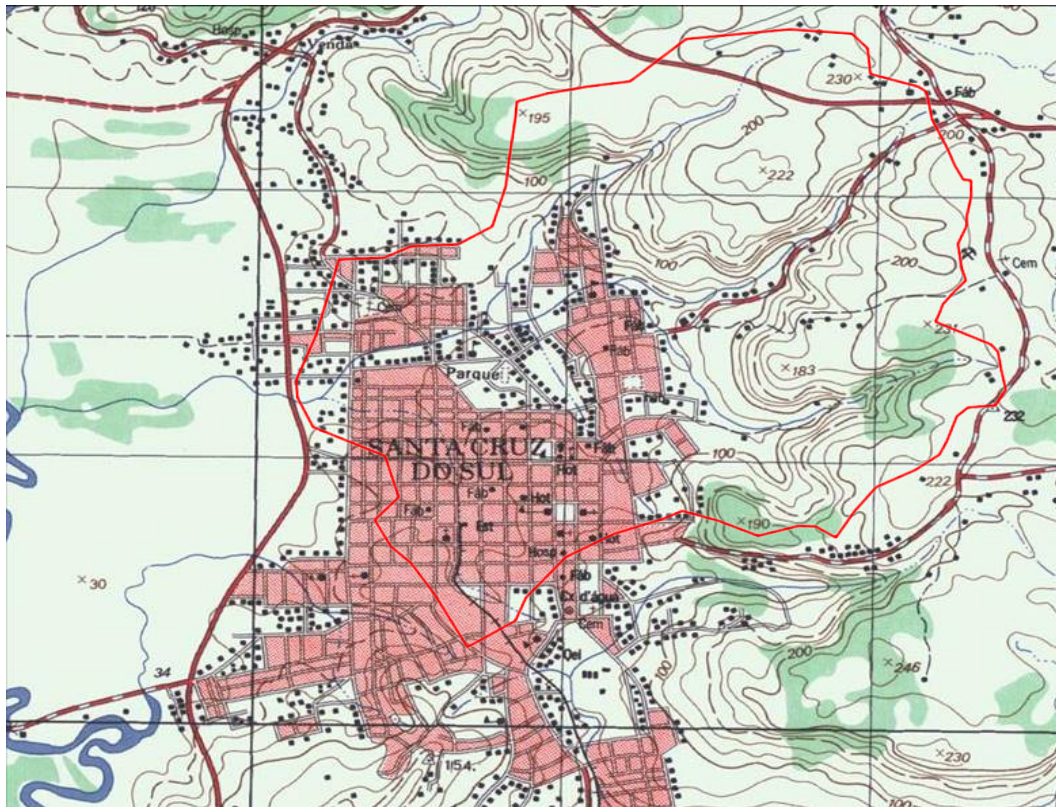


Figura 17. Recorte da Folha SH.22-V-D-IV-1 MI – 2968/1, Carta do Exército, baseada em levantamento aerofotogramétrico realizado na década de 1970. Polígono em vermelho mostra localização aproximada dos limites da Bacia do Arroio Preto. Extraído de Hasenack e Weber (2010).

Com base nos estudos realizados globalmente, conclui-se que o melhor caminho é adaptar o projeto de regeneração à dinâmica natural do corpo d'água, que possui uma tendência de seguir um caminho preferencial ao longo do traçado. Desta forma, a morfologia natural do fluxo da água se torna o líder do processo de regeneração (BINDER *et al.*, 2015; VIETZ *et al.*, 2016; PEKIN, 2013).

A importância dos projetos de recuperação dos córregos impactados pela urbanização só não é maior do que a preservação dos trechos ainda em situação natural, tendo em vista as pressões decorrentes da expansão das cidades. A realidade encontrada na Bacia do Preto requer a adoção de medidas que visem o incentivo à preservação e gestão dos córregos urbanos, de modo a evitar retroceder ainda mais no indicador de hidromorfologia dos cursos d'água (MF2) e comprometer um dos grandes valores ambientais encontrados na região atualmente, que é a existência de arroios preservados. Como existe um conflito de propriedade envolvido na expansão urbana, seria relevante o desenvolvimento de um programa de valoração ambiental e compensação aos proprietários para aqueles que preservarem os recursos naturais em suas propriedades. Este caminho poderia fazer frente à pressão econômica envolvida.



O indicador hidromorfologia dos cursos d'água (MF2) mostrou-se importante para avaliar de forma simples a situação dos corpos d'água apontando a existência de trechos com leito natural. Avaliando a localização das áreas preservadas em relação às impactadas, é possível sinalizar a importância do CV da cidade a partir do desempenho neste indicador. Observa-se, ainda, que áreas já impactadas podem ser consideradas mais viáveis à ocupação, por serem predominantemente planas e terem solos mais uniformes em sua composição. Sendo assim, a pressão pelo uso do solo é maior, acarretando uma ocupação intensa e, como consequência, a adaptação do traçado dos córregos urbanos às necessidades da sociedade local.

#### 4.4.3. Qualidade das Águas Superficiais

A qualidade da água superficial é um dos mais importantes indicadores da qualidade ambiental urbana, estando diretamente relacionado às atividades humanas desenvolvidas na Bacia Hidrográfica. Neste contexto, os resultados de estudos de monitoramento ambiental na Bacia do Arroio Preto, desenvolvidos por Schuch *et al.* (2012) e pelo Laboratório de Limnologia da UNISC, entre 2007 a 2016, indicam a relação entre a urbanização e a poluição hídrica.

As amostras para o estudo da qualidade da água foram localizadas em três pontos ao longo do leito principal do Arroio Preto (Figura 18), Ponto 1 (Coord. 29°42'38.22"S 52°24'24.98"O WGS84) no Parque da Gruta; Ponto 2 (29°42'21.28"S 52°26'4.29"O WGS84) numa posição intermediária do córrego; e Ponto 3: (29°42'44.73"S 52°26'40.67"O WGS84) junto à BR471, próximo à foz. Foram realizadas 19 campanhas entre 2007 e 2016.

Para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA), foi utilizado como base a pesquisa desenvolvida por Moretto *et al.* (2012), os quais calibraram o IQA originalmente desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NFS) dos Estados Unidos, adaptando-o às condições ambientais dos sistemas lóticos sul brasileiros, a partir da alteração dos pesos de importância das variáveis que compõem o índice. A base de dados foi retirada dos estudos de monitoramento ambiental da Bacia do Preto desenvolvidos por Schuch *et al.* (2012) e pelo Laboratório de Limnologia da UNISC, entre 2007 a 2016, sendo que na ausência de algum dado das variáveis do IQA, houve uma redefinição percentual dos pesos das mesmas. Os cálculos do IQA foram feitos utilizando o Programa IQAData 2015 (POSSELT *et al.*, 2015).

Os resultados obtidos (Tabela 23) indicaram que houve uma significativa diminuição da qualidade da água em termos do IQA ( $p < 0,05$ ), uma vez que variou de uma nota igual a  $89,9 \pm 1,1$  (CV = 1,2%; n = 4), no Ponto 1, Parque da Gruta, correspondendo a uma água de Classe

Boa, para uma nota igual a  $45,7 \pm 14,0$  (C. V. = 30,6%;  $n = 5$ ) no Ponto 2, trecho intermediário, e uma nota igual a  $41,4 \pm 10,0$  (C. V. = 25,5%;  $n = 10$ ) no Ponto 3, trecho próximo a foz, correspondendo em ambos os casos a uma água de Classe Ruim. Para fins de utilização no indicador, foi escolhido o ponto concentrador da Bacia (P3). Fica evidente, portanto, a boa qualidade da água do Ponto 1 junto a um ambiente natural preservado, no Parque da Gruta. Isto coincide com a pequena distância do ponto até às nascentes localizadas no Cinturão Verde e com a inexistência de atividades humanas na região. Surge neste sentido mais um fato a valorizar a preservação ambiental daquela região.

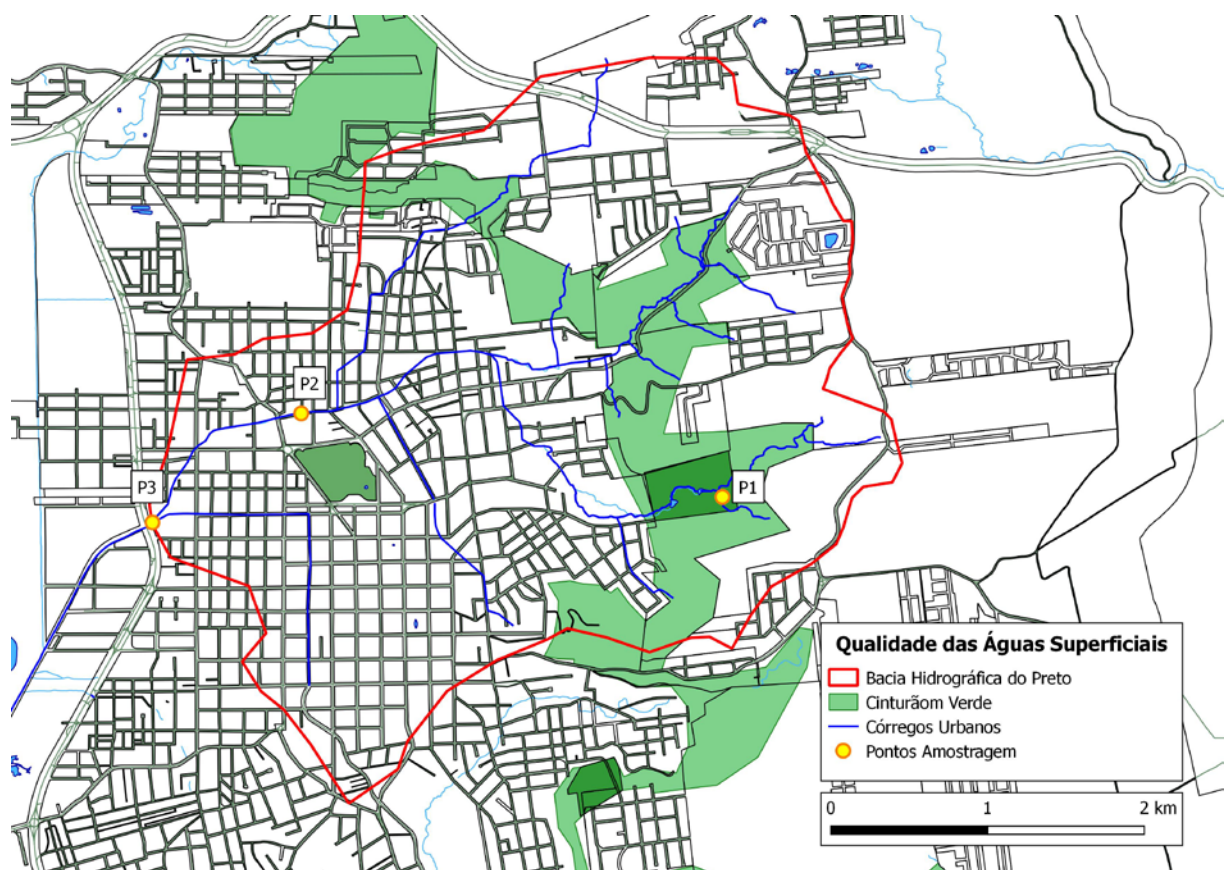


Figura 18. Mapa de localização do Programa Google Earth PRO, dos pontos de coleta de amostras para monitoramento da qualidade da água do Arroio Preto, RS.

Os resultados no Ponto 3, trecho próximo a foz da Arroio Preto,  $MF3 = 41,4 \pm 10,0$  (C. V. = 25,5%,  $n = 10$ ), vêm reforçar o diagnóstico de sobrecarga de poluentes nos córregos urbanos da Bacia. A baixa variabilidade observada, 25,5% na série temporal 2017/ 2016 ( $n = 10$ ), indica uma tendência de constância neste cenário, caracterizando uma fonte de poluição contínua. Este fato coincide com a falta de cobertura de redes de coleta de esgotamento sanitário, item a ser abordado oportunamente neste estudo, o gráfico da Figura 19 ilustra a variação dos resultados do processamento dos dados históricos.



Tabela 23. Resultados de estudos de monitoramento ambiental na Bacia do Arroio Preto, desenvolvidos por Schuch *et al.* (2012) e pelo Laboratório de Limnologia da UNISC, entre 2007 a 2016. Apresentam-se, ainda, o resultado do IQA.

Variáveis	Ponto 1				Ponto 2					Ponto 3									
	Mai/15	Out/15	Jun/16	Out/16	Mai/15	Out/15	Mai/16	Jun/16	Out/16	Ago/07	Nov/07	Fev/08	Mai/08	Mai/15	Mai/15	Out/15	Mai/2016	Jun/16	Out/2016
pH	7,4	7,8	6,5	7,2	7,4	7,2	7,0	7,2	7,7	7,5	7,3	7,4	7,3	7,2	7,3	7,3	7,1	7,0	7,8
OD (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	9,4	8,7	10,0	10,0	7,5	3,8	5,2	5,1	6,4	5,5	5,8	3,0	4,6	8,4	4,7	3,8	6,1	4,5	6,1
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )										2,3	4,6	5,1	5,6						
Turbidez (uT)	25,7	15,6	4,0	23,1	18,2	19,6	13,5	6,6	37,1	3,1	2,4	14,8	9,2	16,1	12,0	20,6	7,0	14,5	30,2
STD (mg L <sup>-1</sup> )	44,0	72,2	61,0	38,0	108,0	232,2	170,0	145,0	89,0	146,0	133,0	214,6	198,6	108,0	253,3	245,2	160,0	155,5	105,0
T (°C)	16,2	18,0	14,5	16,7	17,2	19,5	18,2	14,7	18,2	15,0	18,0	25,0	18,0	17,7	21,5	20,0	18,3	15,2	18,6
Nitrato (mg NO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	0,3				1,1					0,1	0,2	0,2	0,3	1,1					
Coliformes T. (NMP)					210.000					1.400	90.000	2.100	17.000	100.000					
Fosfato (mg PO <sub>4</sub> .L <sup>-1</sup> )		0,0		0,0		1,1	1,1		0,8	2,7	1,2	4,0	3,1		1,3	1,2	1,3	1,3	0,9
<b>IQA</b>	<b>91,1</b>	<b>88,8</b>	<b>90,5</b>	<b>89,2</b>	<b>26,2</b>	<b>39,7</b>	<b>47,5</b>	<b>63,9</b>	<b>51,0</b>	<b>37,3</b>	<b>52,9</b>	<b>25,1</b>	<b>27,6</b>	<b>34,2</b>	<b>45,1</b>	<b>38,9</b>	<b>46,2</b>	<b>56,3</b>	<b>50,4</b>

Onde: pH: Potencial Hidrogeniônico; OD: Oxigênio Dissolvido; DBO<sub>5</sub>: Demanda Bioquímica de Oxigênio; STD: Sólidos Totais Dissolvidos; T: Temperatura da Água; Nitrato: Nitratos; Coliformes T.: Coliformes Termotolerantes; Fosfato: Fosfatos.

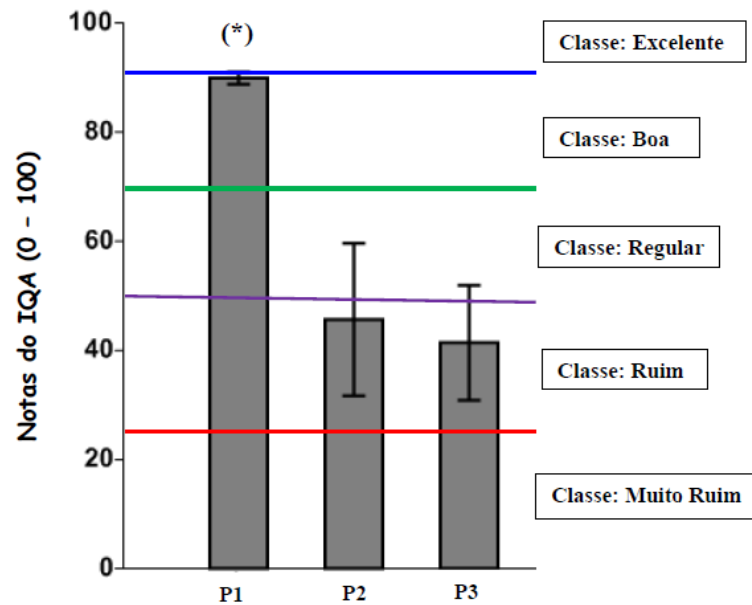


Figura 19. Média ( $\pm$  desvio-padrão) do Índice e Qualidade da Água (IQA), adaptado por Moretto *et al.* (2012) para sistemas lóticos sul brasileiros, no ponto 1 (P1), Parque da Gruta, ponto 2 (P2), intermediário e ponto 3 (P3), foz, na Bacia do Arroio Preto, RS, em 19 campanhas realizadas entre 2007 e 2016. (\*): Diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Apresentam-se, também os limites para as classes de qualidade do IQA.

#### 4.4.4. Vulnerabilidade a Desastres Naturais (MF4)

A ocorrência de desastres naturais como principalmente enchentes repentinas e deslizamentos de terras em áreas urbanas depende de muitos fatores, que variam consideravelmente conforme as características de cada lugar (DE CASTRO, 1999). O indicador escolhido para o tema trabalha na perspectiva de resposta, em relação à forma como as autoridades estão atuando para prevenção e resposta aos sinistros relacionados à defesa civil e à forma de ocupação do solo em áreas identificadas como sendo de risco.

Para nivelar as diferenças entre as realidades nos municípios brasileiros, em especial no Rio Grande do Sul, optou-se por avaliar o cumprimento da Legislação. Ela é a balizadora das ações em defesa civil, estabelecendo as responsabilidades e ações mínimas necessárias previstas no Plano Nacional de Defesa Civil Brasileiro. A partir de entrevista realizada com um integrante da equipe da defesa civil de Santa Cruz do Sul (Tabela 24), foi dado foco ao questionamento objetivo, bem como à busca por exemplos de situações que comprovassem o cumprimento dos itens.

Quanto à ocorrência de integração das ações de defesa civil no planejamento municipal, foi relatado que os representantes da Defesa Civil participam das reuniões pertinentes ao

planejamento municipal envolvendo áreas de risco, seja para áreas inundáveis ou para encostas. O entrevistado reforçou que a grande dificuldade da efetividade nas ações é devido ao direito à moradia exigido pelos habitantes das áreas sensíveis. Foi apontado que o Município possui mapeamento das áreas ditas de escorregamento e mantém atualizado o mapeamento das áreas sujeitas a alagamentos, essas junto às várzeas do Rio Pardinho.

Apesar da dificuldade relatada pelo entrevistado para atuação em fiscalização, foi comentado que existe esforço para evitar a ocupação das áreas de risco. Foram lembrados exemplos tanto para casos de enchentes como para áreas de encostas. Em decorrência de denúncias ou solicitações dos moradores, são realizadas vistorias para avaliar situações de risco em novas construções.

Conforme relatado, não são realizados exercícios simulados para ações de emergência por não fazer parte da cultura da população, bem como pelos riscos da região ser considerados baixos. Ainda, quanto à comunicação, foi informado que o setor de Defesa Civil mantém um sistema de informação junto aos meios de comunicação, principalmente rádio, internet e impresso, utilizando basicamente as mídias de utilidade pública destes meios.

Tabela 24. Resultado do questionário aplicado a servidor do setor competente pela Defesa Civil, em 26/10/2016.

Questões	Resultado
Ocorrência da integração das ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal.	Sim: 1 / Não: 0      1
Ocorrência da identificação e mapeamento das áreas de riscos de desastres.	Sim: 1 / Não: 0      1
Ocorrência da fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas.	Sim: 1 / Não: 0      1
Ocorrência de vistorias às construções em áreas de risco.	Sim: 1 / Não: 0      1
Realização regular de exercícios simulados.	Sim: 1 / Não: 0      0
Manutenção da população informada sobre áreas de risco, ocorrência de eventos extremos.	Sim: 1 / Não: 0      1
<b>Resultado</b>	$MF4 = \frac{5}{6} = 0,83 = 83\%$

O resultado do indicador obtido, MF4 = 83%, revela o cumprimento da maioria dos itens cobrados pela legislação para habilitação do município ao desempenho da gestão ambiental local. Observou-se que o questionamento positivo ou negativo não acrescenta riqueza de informação aos dados coletados. Neste contexto, abre-se uma possibilidade de melhoria neste indicador. Apesar de ter foco estrutural, o indicador MF4 permite obter um panorama geral de como estão organizados os setores competentes quanto à Defesa Civil local, bem como a forma de sua atuação. Cabe ainda evoluir o monitoramento para um estudo operacional, avaliando o funcionamento dos setores em situações de prevenção e controle de desastres naturais. A divulgação dos resultados pode permitir a ciência da população afetada, bem como a sua participação no processo. O desempenho satisfatório neste indicador não significa necessariamente uma atuação satisfatória da defesa civil e demais envolvidos no tema, mas sim como a cidade se organiza para cumprir o mínimo exigido pela legislação para atender as demandas atinentes ao tema no âmbito municipal, em especial na Bacia do Preto.

## 4.5. Indicadores do Meio Biótico

### 4.5.1. Biodiversidade

Segundo Isernhagen *et al.* (2009), a manutenção da biodiversidade arbórea nativa é imprescindível para a manutenção dos recursos naturais locais e regionais, pois esse extrato contribui para permeabilidade da paisagem urbana às demais espécies que utilizam como nicho ecológico estes vegetais. Avaliando-se a biodiversidade local, seja por meio de levantamentos *in situ*, seja utilizando-se os dados do Inventário Florestal Contínuo (RIO GRANDE DO SUL, 2002), é possível identificar um vetor potencial dos maciços florestais remanescentes apontando na direção do restante do ambiente urbano. Neste quesito, a área de estudo é privilegiada, pois boa parte da região apresenta proximidade com o Cinturão Verde, área coberta em grande parte por florestas em estágios avançados de regeneração. Com base em Rio Grande do Sul (2002) foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 25.

Tabela 25. Resultados extraídos do Inventário Florestal Contínuo (RIO GRANDE DO SUL, 2002).

Indicador		Resultados	
		Dados	Razão (índice)
Biodiversidade	Riqueza de Espécies	Riqueza de Espécies Local	141
		Maior Riqueza de Espécies do RS	227
	Índice de Diversidade de Shannon	Índice de Shannon Local	2,42
		Melhor Índice de Shannon do RS	3,67
Resultado Final		<b>MB1 = 0,66</b>	

Os resultados indicaram que em relação ao critério Riqueza de Espécies, a Bacia do Preto ocupa a quarta posição no RS, com 141 espécies arbóreas encontradas, contra o melhor resultado de 227 espécies na Bacia do Taquari Antas. Para o critério Índice de Diversidade de Shannon, a região ocupa a oitava posição com  $H' = 2,42$ , contra o melhor resultado de  $H' = 3,67$ , na Bacia do Rio Tramandaí.

Em ambos os parâmetros o resultado do indicador mostrou a força da biodiversidade local, muito valorizada pelas florestas urbanas existentes na região, em especial o Cinturão Verde. Esta riqueza de espécies confere uma pressão constante do ambiente sobre a cidade. Esta

pressão é contrária aos impactos ambientais que o meio natural tende a sofrer constantemente num ambiente urbano.

Como já apontado neste estudo, baseado no trabalho de Martins *et al.* (2014), a regeneração natural depende intensamente da biodiversidade da floresta matriz. Segundo os mesmos autores, no processo de regeneração natural estão envolvidas uma infinidade de espécies com seus nichos ecológicos inter-relacionados, o que agrega importante valor de serviços ambientais à região onde o fenômeno ocorre.

#### 4.5.2. Preservação de Áreas de Preservação Permanentes (APP)

O mapeamento e definição das áreas foi realizado em duas etapas, cada qual com uma ferramenta computacional diferente. No primeiro estágio, foi utilizada a plataforma Quantum GIS para definir, a partir dos traçados mapeados dos arroios, a geração de *buffer*<sup>(5)</sup> de 30 metros nos trechos intermediários e de 50 m junto às nascentes conhecidas. No segundo momento, utilizando o Programa Google Earth PRO, foi realizada a contabilização das áreas de APPs e a contabilização aproximada de área em APPs cobertas por vegetação arbórea. O resultado do mapeamento apresenta-se na Figura 20, que mostra um panorama geral da distribuição dos cursos d'água da Bacia do Preto.

Uma das dificuldades encontradas diz respeito à incerteza do traçado de alguns riachos, que já estão canalizados, fechados ou absorvidos pela rede de drenagem pluvial da cidade. Mesmo assim alguns destes foram levantados, por terem seus traçados conhecidos pela equipe do estudo, pelas autoridades municipais ou por estarem presentes em mapas antigos do Município.

Foram observados perfis distintos quanto à intensidade de urbanização, ou seja, a pressão que a ocupação do território fez sobre os arroios urbanos. As similaridades empíricas dividiram a intensidade da urbanização em três níveis: baixa, média e alta. Na intensidade baixa, foram enquadrados os trechos cuja paisagem é basicamente composta por florestas com eventual presença humana, seja por uma propriedade com perfil agrícola, seja por uma intervenção ecoturística, como ocorre no Parque da Gruta. A intensidade média foi encontrada em áreas que tem uma das margens preservadas e outra não, locais com grande lotes urbanos e preservação dos arroio. No grupo de intensidade de urbanização alta, foram reunidos os trechos

---

<sup>5</sup> *Buffer*: faixa longitudinal equidistante a partir de um traçado base.

médios e finais dos arroios, onde o perfil retangular do leito é comum, com construções junto das margens e onde o fechamento total dos canais é comum e incentivado pelos moradores.

Na Tabela 26 apresentam-se os resultados quantitativos do levantamento, ordenando pela sequência dos afluentes, a partir da nascente. Neste ponto é possível perceber a grande relevância dos arroios Jucurí e da Gruta como contribuintes à Bacia do Preto. Da mesma forma fica claro que os maiores índices de preservação das matas ciliares ficam junto a estes afluentes.



Figura 20. Mapa da distribuição das APPs na Bacia do Preto, RS, utilizando as ferramentas Quantum GIS e Google Earth PRO.

O resultado do indicador obtido foi  $MB2 = 0,43$ , correspondente ao percentual de preservação das matas ciliares. Esta situação proporciona interpretações distintas da mesma realidade. Por um lado fica evidente que o formato de ocupação do solo utilizado na Bacia não prioriza a preservação das APPs. Por outro lado, a partir da polarização encontrada entre a realidade de que as áreas intensamente urbanizadas não preservam APPs e as áreas pouco urbanizadas mantêm as APPs, surge mais um fator de grande relevância quanto ao papel do



Cinturão Verde (CV) na manutenção da qualidade urbana na Bacia do Preto. Em outras palavras, se não houvesse o CV o resultado possivelmente seria drasticamente pior.

Tabela 26. Levantamento das APPs na Bacia do Preto, RS, e do percentual preservado com cobertura vegetal com base em imagens de satélite.

Arroio	Área Cobertura Arbórea (m <sup>2</sup> )	Total da APP (m <sup>2</sup> )	Cobertura Percentual
da Gruta	191.083	280.461	68,1%
Jucurí	229.193	337.016	68,0%
Imigrante	7.146	96.516	7,4%
Retiro Loyola	45.879	168.398	27,2%
Preto	11.178	136.756	8,2%
Assis Brasil	1.789	109.583	1,6%
<b>Total Geral</b>	<b>486.268</b>	<b>1.128.730</b>	<b>43,1%</b>

Os resultados do estudo quanto à forma de ocupação do solo e a preservação das APPs apresentam-se na Tabela 27, com dados tabulados e na Figura 21 em forma de gráfico, para facilitar a visualização. Nestes itens é reforçada a importância da preservação dos recursos naturais no ambiente urbano, e como é importante o regramento do processo de urbanização para que a legislação seja cumprida. Através do estudo deste indicador surge o panorama à margem do que preconiza o código florestal quando à preservação das APPs, fixando este item como um passivo ambiental devido a forma de ocupação histórica da área de estudo.

Tabela 27. Resultados quanto à preservação de APPs na Bacia do Preto, RS, agrupados por intensidade de urbanização, tendo por base o emprego das ferramentas computacionais Quantum GIS e Google Earth PRO.

Intensidade de Urbanização	Área Cobertura Arbórea (ha)	APP (ha)	Cobertura Percentual
Baixa <sup>6</sup>	36,20	50,00	72%
Média <sup>7</sup>	6,60	15,40	43%
Alta <sup>8</sup>	5,80	47,50	12%

O indicador em questão se mostrou relevante por trazer um panorama geral do cumprimento de quesitos do Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), bem como trazer à luz da comunidade informações para reflexão dos impactos da urbanização local sobre os cursos

<sup>6</sup> Ocupação humana inexistente ou uso do solo com predominância de atividades agrícolas

<sup>7</sup> Urbanização moderada, com presença de ocupações e alternância de trechos naturais e trechos alterados (retificados, com margens construídas, etc.)

<sup>8</sup> Urbanização intensa, com trechos retificados e/ou canalizados sem presença de mata ciliar conectada às margens



d'água. Da mesma forma, ajuda a tornar perceptível o fato de que as APPs constituem um bem ambiental, cuja preservação é responsabilidade de todos.

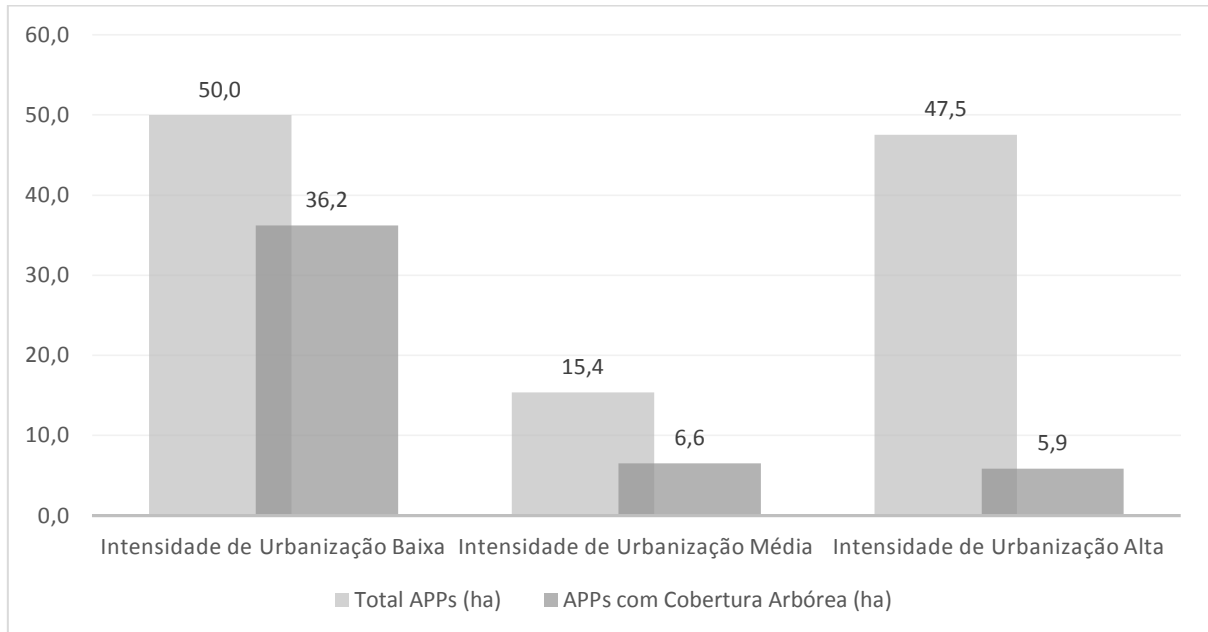


Figura 21. Levantamento das APPs de cursos d'água na Bacia do Preto, RS, e respectivas áreas protegidas por cobertura vegetal arbórea, considerando três níveis de intensidade de urbanização.

#### 4.5.3. Áreas Verdes Públicas

O levantamento das áreas verdes foi executado baseado nos dados disponíveis no cadastro municipal em trabalho desenvolvido pelo setor de geoprocessamento do município. Utilizou-se a plataforma QGIS para selecionar as áreas verdes institucionais dentro da Bacia e somou-se a área total. O mapa do levantamento apresenta-se na Figura 22. Nas áreas contabilizadas estão incluídas áreas verdes, praças, parques e áreas de equipamentos urbanos.

Como resultado obteve-se um total de 547.144 m<sup>2</sup> de áreas verdes e, baseado na estimativa populacional exposta na Tabela 31, uma população de 23.378 habitantes para a Bacia. Do quociente proposto na fórmula, chegou-se ao índice MB3 = 23,4 m<sup>2</sup> hab.<sup>-1</sup>. Comparativamente aos resultados obtidos em cidades do Chile por De la Barrera *et al.* (2016), assim como a Organização Mundial da Saúde (OMS), que recomenda de 9 a 11 m<sup>2</sup>.hab<sup>-1</sup> como um padrão de desempenho urbano para que estes elementos urbanos possam trazer qualidade de vida à população, o resultado da Bacia do Preto, corresponde a um valor 212,7% acima da recomendação da OMS, desempenho que posiciona a região do estudo num patamar de destaque.

O parâmetro  $m^2.hab^{-1}$  é amplamente utilizado para avaliação quantitativa da questão frente ao fato agregador de qualidade de vida atribuído às áreas verdes. De la Barrera *et al.* (2016) reforçam que para uma avaliação mais realista dos serviços ambientais prestados por estas áreas seria importante avaliar a biodiversidade da área e a acessibilidade às mesmas pela população. O foco de atuação deste indicador se relaciona com as questões do meio ambiente e também institucional, devido à definição de qual uso dado às áreas verdes é de responsabilidade do poder público municipal.

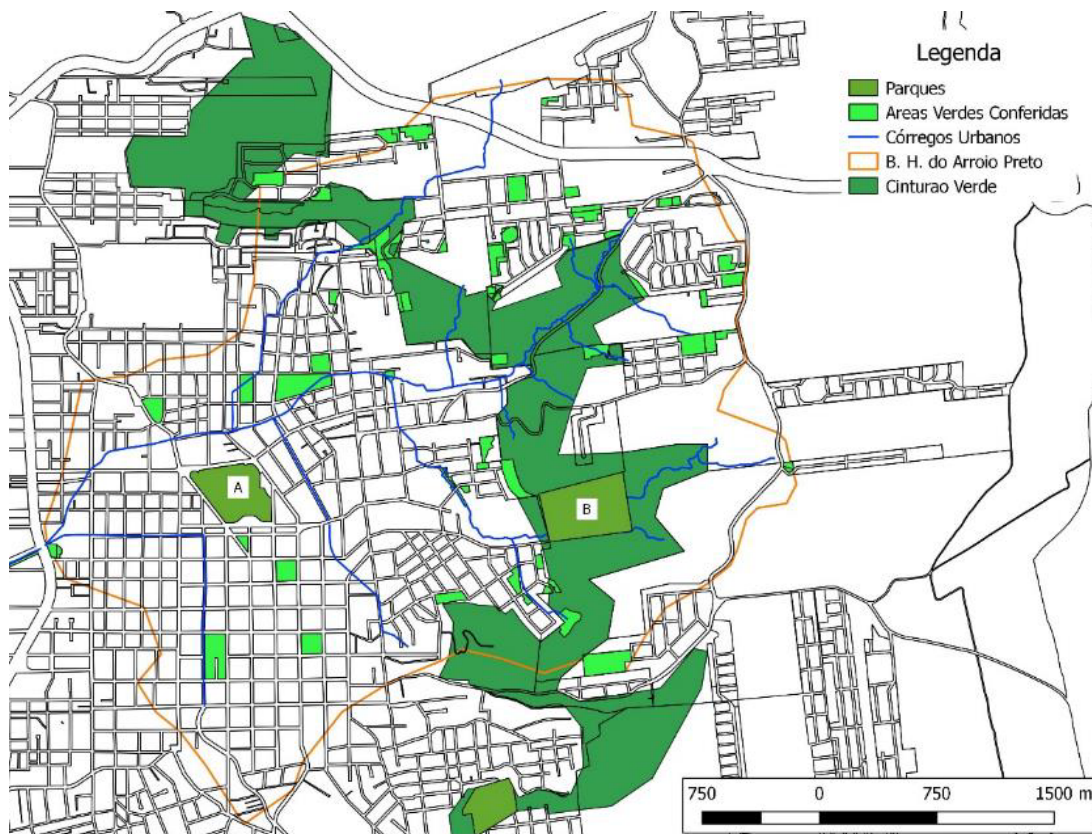


Figura 22. Mapa de distribuição das áreas verdes e parques na Bacia do Preto, RS. A: Parque da Oktoberfest e B: Parque da Gruta.

Da mesma forma como De la Barrera *et al.* (2016) ressalta a importância de avaliar qualitativamente as áreas verdes no intuito de enriquecer os resultados, esta metodologia agrega informações de outros indicadores do meio biótico para que o conjunto possa descrever amplamente a qualidade ambiental urbana no quesito meio biótico.

#### 4.5.4. Arborização Urbana

Em uma pesquisa aleatória nos sítios de pesquisa na internet<sup>9</sup>, as imagens que surgem quando o termo de pesquisa é o nome da cidade “Santa Cruz do Sul” sugerem a participação da arborização na identidade do município. Em um universo de 395 fotografias apresentadas numa busca aleatória realizada, 106 mostram paisagens com o elemento árvore como componente atrelado a outro elemento do ambiente urbano, correspondendo a 26,8%. De todas as possibilidades de imagens ligadas ao nome da cidade, uma proporção próxima a uma terça parte corresponde ao elemento árvore. Este simples exemplo sinaliza como o meio ambiente está atrelado à cidade de Santa Cruz do Sul e conseqüentemente ao escopo do estudo.

Este indicativo se confirma pelos resultados de campo obtidos. A distribuição da amostragem de quadras realizada na área de escopo apresenta-se na Figura 23.

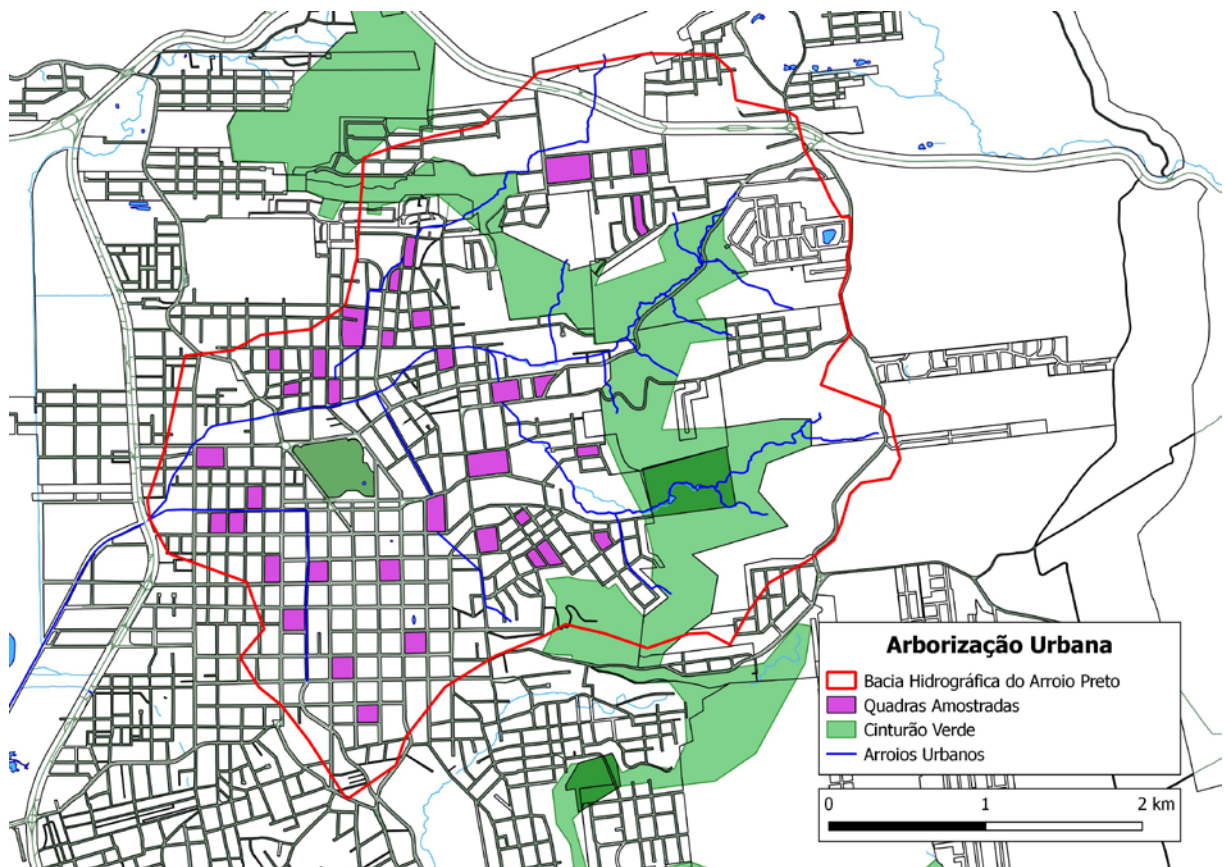


Figura 23. Distribuição das quadras amostradas para avaliação quantitativa da arborização urbana na Bacia do Arroio Preto, RS.

<sup>9</sup> Busca em <http://www.google.com.br>, com termo de pesquisa “santa cruz do sul” e resposta em imagens. Acesso em 16/11/2016.

A análise dos resultados da arborização urbana na Bacia do Preto indicou uma média de árvores/km linear de calçada percorrida igual a  $MB4 = 101,6 \pm 40,2$  árvores/km linear (C.V. = 39,5%). Iwana (2004) avaliando 28 municípios brasileiros diferentes nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Amazonas e Acre, encontrou apenas cinco cidades com resultados médios acima de 100 árvores /km linear de calçada. O panorama encontrado na Bacia do Preto, portanto, posiciona a região num grupo seleto de locais com alto desempenho quantitativo quanto à arborização urbana. Atrelado a este desempenho destacam-se os efeitos já apontados, entre benefícios e necessidades de manutenção, pelo poder público, que a arborização dos passeios traz ao ambiente urbano.

Considerando o perfil quantitativo da presente pesquisa, os resultados obtidos atenderam totalmente ao propósito, porém o método abre margem para complementações, como estudos qualitativos, a exemplo, identificando as espécies e a situação fitossanitária dos indivíduos. Recentemente New York City (2016) concluiu inventário florestal nos passeios públicos daquela cidade. Tem como resultado a identificação de cada indivíduo e baseado nas características das árvores como porte, espécie e situação fitossanitária observada, apontam vantagens financeiras em serviços como: retenção de águas de chuvas fortes, economia de energia elétrica devido ao microclima, remoção de poluentes do ar e fixação de carbono da atmosfera. Este modelo de trabalho utilizando a tecnologia como aliada na busca da qualidade ambiental urbana é um bom incremento qualitativo para o presente resultado para Bacia do Preto.

Árvores nos passeios públicos em número adequado demonstram a afinidade da população pela questão. A partir desta premissa, por exemplo, podem ser realizadas avaliações quanto à adequabilidade das espécies em relação ao espaço disponível nos passeios.

## 4.6. Indicadores do Meio Antrópico

### 4.6.1. Intensidade do Uso do Solo

A eficiência urbana vem sendo apontada como um dos grandes fatores para o desenvolvimento dos centros urbanos do futuro (CHESHMEHZANGI, 2016). Neste contexto, variáveis que medem a concentração do uso do solo e a concentração de habitantes são indicadores válidos para avaliar uma tendência de organização das cidades em relação às pessoas, aos bens e estruturas e ao meio ambiente. A partir da concentração das atividades das cidades em áreas menores, os recursos em infraestrutura e funcionamento tendem a serem empregados com mais eficiência (FLYNN *et al.*, 2016), o que pode agregar em qualidade de vida para os habitantes. Um círculo virtuoso é colocado em funcionamento, pois com mais recursos disponíveis as cidades tendem a funcionar melhor e o modelo de expansão seguirá o que já vem funcionando. Este é um dos meios de desenvolvimento das “Ecocidades” (FLYNN *et al.*, 2016; JOSS, 2015).

O resultado obtido no indicador,  $MA1 = 1,0$ , indica o equilíbrio na concentração de pessoas na Bacia. Este desempenho se deve pela adaptação do método proposto por BID (2014), considerando cidades médias aquelas com até 2 milhões de habitantes para a realidade brasileira, que considera cidade média aquela com até 500 mil habitantes.

Com uma intensidade de uso do solo equilibrada, é possível tornar o ambiente urbano mais adequado à qualidade de vida da população. Como o conceito comum de qualidade de vida está atrelado à presença de elementos naturais na paisagem, é possível inferir que a presença de elementos ambientais naturais é favorecida, mantendo-se a densidade populacional urbana em patamares adequados.

Este indicador se apresentou promissor, porém podem ser definidas estratégias futuras para calibração do mesmo para aplicação áreas urbanas de menor monta. A realidade da maioria dos municípios compreende populações menores de 100.000 habitantes, o que pode estimular a readequação do método proposto por IDB (2014).

Na Tabela 28 apresenta-se um quadro resumo da população habitante dos bairros parcialmente abrangidos pela Bacia do Preto e as estimativas populacionais na mesma, tendo por base a densidade populacional por Bairro e suas respectivas áreas contidas na Bacia. Pela estimativa da população e a abrangência das áreas urbanizadas foi definida a densidade populacional urbana da bacia, que gerou o resultado do indicador.

Tabela 28. Projeções populacionais por bairros adaptado do último censo populacional IBGE(2010), considerando o aspecto tempo e área de cada bairro no contexto da Bacia do Preto, RS.

Bairro	Área (km <sup>2</sup> )	Censo 2007		Censo 2010		Estimativa 2016		Área do Bairro na Bacia (km <sup>2</sup> )	Projeção População Atual na Bacia
		População	hab/km <sup>2</sup>	População	hab/km <sup>2</sup>	População	hab/km <sup>2</sup>		
Avenida	0,6331	3.335	5.266,93	2.492	3.935,6	2.668	4.214,9	0,42	1.770
Centro	2,7863	8.979	3.222,45	8.727	3.132,0	9.346,35	3.354,3	2,51	8.419
Country	7,9436	515	64,83	566	71,2	606,17	76,3	2,02	154
Goiás	1,0152	2.909	2.865,43	3.404	3.353,0	3.645,58	3.590,9	0,61	2.191
Higienópolis	1,4022	2.457	1.752,2	2.604	1.857,0	2.788,81	1.988,8	1,39	2.764
Jardim Europa	1,7189	358	208,27	517	300,77	553,69	322,1	1,53	493
Linha Santa Cruz	15,3431	2.323	151,4	2.851	185,85	3.053,34	199,0	0,41	82
Santo Inácio	1,6415	5.413	3.297,45	5.867	3.574,01	6.283,38	3.827,7	1,58	6.048
Senai	0,7074	4.011	5.669,74	3.705	5.237,20	3.967,94	5.608,9	0,05	280
Universitário	1,3812	3.746	2.712,09	4.100	2.968,38	4.390,98	3.179,5	0,37	1.176
TOTAL		31.723		31.982		34.251,76			23.378
TOTAL MUNICÍPIO		115.857		118.374		126.775			

#### 4.6.2. Indicador de Salubridade Ambiental (ISA)

Os dados para a obtenção do ISA foram coletados em companhias de saneamento básico (abastecimento de água e esgotamento sanitário) e de gestão de resíduos sólidos. A confirmação do dados realizou-se através de entrevista com funcionários do setor de saneamento da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Saneamento e Sustentabilidade (SEMSS).

Do ponto de vista de desempenho, o Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) obteve o resultado  $MA2 = 0,62$ . De uma forma geral o desempenho foi prejudicado pela realidade do esgotamento sanitário na área do escopo. Os indicadores foram adaptados da metodologia original, concentrando-se basicamente na cobertura e qualidade dos serviços prestados em saneamento (água, esgoto e resíduos) na ótica da saúde pública. Dentro deste panorama o resultado se mostra satisfatório, porém do ponto de vista ambiental, o esgotamento sanitário consiste de um grave problema para a área de escopo e para a cidade. O detalhamento de cada indicador apresenta-se nos itens A, B e C abaixo.

##### A) Indicador de Abastecimento de Água ( $I_{ab}$ )

O abastecimento de água na Bacia do Preto é realizado pela Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN). Na elaboração do Plano Municipal de Saneamento (PMSB) apresentam-se dados de gestão dos serviços que contemplam as informações necessárias ao preenchimento dos itens deste indicador.

O número de economias à época da elaboração do PMSB era de 47.243, e segundo funcionária entrevistada da SEMSS, na Bacia do Preto encontram-se 60% das ligações. Na mesma entrevista foi informado que atualmente existem cerca de 55.000 ligações de água, considerando usuários domésticos, comerciais e industriais. Aplicando-se o percentual de 60% chegou-se às 33.000 economias ligadas à rede, conforme o formulário dos indicadores, apresentado na Tabela 29. Aplicando os resultados dos indicadores de segunda ordem à fórmula proposta por São Paulo (1999) obtêve-se o resultado de  $I_{ab} = 86\%$  (Resultados de aplicação dos dados do Abastecimento de Água da Bacia do Preto à metodologia do ISA (SÃO PAULO, 1999)).

Tabela 29. Resultados de aplicação dos dados do Abastecimento de Água da Bacia do Preto à metodologia do ISA (SÃO PAULO, 1999) para obtenção do Indicador de Abastecimento de Água ( $I_{ab}$ ).

Indicador de 2ª ordem	Pontuação	Composição da Fórmula	Variável	Dados	Resultado	
$I_{ca}$ – Indicador de cobertura de abastecimento	Pontuação obtida diretamente pela fórmula (%)	DUA = domicílios/economias atendidos	DUA	33000	1,0	
		DUT = domicílios urbanos totais	DUT	33000		
					<b>Resultado <math>I_{ca}</math></b>	<b>100</b>
$I_{qa}$ – Indicador de Qualidade da água distribuída	$I_{qa} = 100\%$ Pontuação: 100	K: nº amostras realizadas (n) / nº mínimo de amostras exigidas pela Portaria nº2914 GM – MS (N)	N =	92	1,0	
	$95 < I_{qa} < 99\%$ -> Pont. 80		N =	92		
	$85 < I_{qa} < 94\%$ -> Pont. 60	NAA: quantidade de amostras consideradas como sendo de água potável relativa a colimetria, cloro e turbidez (mensais)	NAA =	92		
	$70 < I_{qa} < 84\%$ -> Pont. 40		NAR =	92		
	$50 < I_{qa} < 69\%$ -> Pont. 20	NAR: quantidade de amostras realizadas (mensais)	I <sub>qa</sub> (%)		1,0	
$I_{qa} < 49\%$ Pont. 0	<b>Resultado <math>I_{qa}</math></b>		<b>100</b>			
$I_{sa}$ – Indicador de Saturação do Sistema Produtor	Pontuação	n = nº de anos para saturação sistema	n =	2,88		
		VP = volume de produção para atender 100% da pop(L/s)	VP =	293,46		
		CP = capacidade de produção(L/s)	CP =	500		
		t = taxa anual média de crescimento (próximos 5 anos)	T =	0,01		
		k1/k2 = coeficientes de perdas	K1 =	0,58		
		K1: perda física atual	K2 =	0,30		
					<b>Resultado <math>I_{sa}</math></b>	<b>57,64</b>
Indicador de Abastecimento de Água – $I_{ab}$					<b>Resultado <math>I_{ab}</math></b>	<b>85,87 <math>\cong</math> 86 %</b>
$I_{ab} = \frac{(I_{ca} + I_{qa} + I_{sa})}{3}$						

## B) Indicador de Esgotamento Sanitário ( $I_{es}$ )

O resultado obtido pela aplicação das fórmulas e pontuação proposta por São Paulo (1999) foi de  $I_{es} = 0$  (zero). Na Tabela 30 apresenta-se o resultado da aplicação do método, que considera para parâmetros de coleta e tratamento de esgoto um desempenho mínimo de 75% e 45% respectivamente. Desta forma, apesar dos esforços recentes observados com renovação de



concessão dos serviços e planos de expansão do sistema, enquanto dados oficiais não alcançarem os desempenhos mínimos de 75% de cobertura de coleta e 45% de tratamento total, o resultado do  $I_{es}$  será zero.

Interpretando os dados da Tabela 30, foi estabelecido um número de 5.970 economias ligadas num universo estimado de 33.000 economias na área do escopo. Desta estimativa resultou um percentual de atendimento de 18,1% das economias. Para fins de tratamento, foi considerado que totó esgoto coletado é tratado, informação superestimada. Mesmo com a visão otimista sobre o sistema, os resultados da pontuação foram mínimos.

Tabela 30. Resultados de aplicação dos dados do Esgotamento Sanitário da Bacia do Preto à metodologia do ISA (SÃO PAULO, 1999).

Indicador de 2ª ordem	Pontuação	Composição da Fórmula	Variável	Dados	Resultado	
Ice – Indicador de Cobertura em coleta em esgoto	Ice > 90%: Pontuação 100	Due = domicílios/ economias urbanas atendidas por coleta;	Due	5.970	18,09	
	75 < Ice < 89%: Interpolar		Dut	33.000		
	Ice < 75%: Pontuação 0	Dut = domicílios/ economias urbanas totais	<b>Pontuação</b>			<b>0</b>
I <sub>te</sub> – Indicador de Esgotos Tratados	I <sub>te</sub> > 81%: Pontuação 100	VC (m³/dia) = Vazão Coletada = 4hab/dom*vazão diária 160 L/hab	VC	4.776	18,09	
	45 = <I <sub>te</sub> = <80%: Pontuação Interpolada	VT = Vazão Tratada de Esgoto	It	100%		
	I <sub>te</sub> < 45% Pontuação 0	VT = Vazão Tratada = VC * It (% tratamento)	VT	4.776		
		It = Índice Percentual de Tratamento	I <sub>te</sub>			
<b>Pontuação</b>					<b>0</b>	
Indicador de Esgotamento Sanitário – I <sub>es</sub>						
$I_{es} = \frac{(I_{ce} + I_{te})}{2}$					<b>Resultado I<sub>es</sub></b>	<b>0 %</b>

A partir do resultado obtido para o indicador ( $I_{es} = \text{Zero}$ ), é possível apontar a questão do esgoto sanitário como uma prioridade para ser abordada nas ações de gestão ambiental no âmbito da Bacia do Preto. Observa-se que São Paulo (1999) estabelece que nos indicadores de 3ª ordem relativos à cobertura e tratamento do esgoto, a pontuação tem seu desempenho diferente de zero a partir de 75% de cobertura. Este fato pode trazer um tipo de frustração devido à realidade observada nos municípios de uma forma geral, com extremas deficiências nos sistemas de esgotamento sanitário, porém a meta de 75% é fundamental para reduzir inúmeros impactos decorrentes da falta de coleta e tratamento adequado dos esgotos sanitários nas cidades.

Os dados necessários à aplicação da fórmula proposta por São Paulo (1999) foram retirados do PMSB (SANTA CRUZ DO SUL, 2013), parcialmente apresentados na Figura 24 e complementados por entrevista ao pessoal técnicos da SEMASS. Ressalta-se que a Bacia do Preto compreende quase a totalidade das economias atendidas por rede pública de coleta de esgotos no Município.

Qtde Economias			COM LIGAÇÃO DE ESGOTO			SEM LIGAÇÃO DE ESGOTO		TOTAL	
			ESGOTO COLETADO	ESGOTO TRATADO	SUBTOTAL	ESGOTO FACTIVEL	SUBTOTAL		
<b>QUANTIDADE DE LIGAÇÕES</b>			19	2462	2481	33124	33124	35605	
ECONOMIAS	COMERCIAL	C1	2	1015	1017	1373	1373	2390	
		COM	5	1147	1152	1406	1406	2558	
		<b>SUBTOTAL</b>	7	2162	2169	2779	2779	4948	
	INDUSTRIAL	IND		58	58	356	356	414	
		IND1							
		<b>SUBTOTAL</b>		58	58	356	356	414	
	PUBLICA	PUB		41	41	190	190	231	
		<b>SUBTOTAL</b>			41	41	190	190	231
	RESIDENCIAL	BP				12	12	12	
		RA							
		RA1			1	1	749	749	750
		RB		103	3598	3701	38492	38492	42193
		<b>SUBTOTAL</b>		103	3599	3702	39253	39253	42955
<b>TOTAL</b>			110	5860	5970	42578	42578	48548	

Figura 24. Relatório extraído do Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Santa Cruz do Sul, RS baseado no cadastro oficial da CORSAN. Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico. Disponível em [www.santacruz.rs.gov.br](http://www.santacruz.rs.gov.br). Acesso em 11/11/2016.

### C) Indicador de Resíduos Sólidos (Irs)

Os dados relativos aos resíduos sólidos foram extraídos do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), e complementados por entrevista realizada com pessoal técnico do setor de saneamento da SEMASS. Aplicando-se os dados coletados à fórmula proposta por São Paulo (1999), foi obtida a nota máxima para o Irs = 100% (Tabela 34). Este fato se deve ao sistema de coleta e destinação atender a abrangência e capacidade mínima esperadas. Para inserção dos dados, foram considerados a capacidade do aterro sanitário Central de Resíduos do Recreio, na cidade de Minas do Leão, RS, Brasil, atualmente utilizada como destinação dos resíduos sólidos urbanos gerados na área de estudo, nas suas quantidades diárias recebidas, de modo a definir a vida útil daquela unidade.

Inúmeras outras questões acerca do tema resíduos sólidos podem ser abordadas em indicadores, buscando riqueza nos dados e inferências nas respostas. Este fato pode ser tornar uma melhoria para esta metodologia proposta, porém o método ISA de São Paulo (1999) é consolidado no cenário nacional. Desta forma o presente estudo considera satisfatório o resultado obtido com o indicador.

Tabela 31. Resultados de aplicação dos dados do Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Bacia do Preto à metodologia do ISA (SÃO PAULO, 1999).

Indicador de 3ª ordem e Fórmula	Pontuação	Composição da Fórmula	Variável	Dados	Resultado
I <sub>cr</sub> – Indicador de Coleta de Resíduos	I <sub>cr</sub> >= 99%	DUC = Domicílios / economias urbanas atendidas	Duc	33.000	
	Pontuação 100				
	95 < I <sub>cr</sub> < 99%: Interpolar		D <sub>ut</sub>	33.000	
	I <sub>cr</sub> < 95% Pontuação 0	DUT= domicílios / economias urbanas totais	I <sub>cr</sub> %		100%
			<b>I<sub>cr</sub></b>		<b>100</b>
I <sub>sr</sub> – Indicador de Saturação do tratamento e disposição final dos resíduos sólidos	n >= 5 - Pontuação 100	CA= capacidade restante do aterro (toneladas);	CA	15.000.000	
	5 > n > 0 - Interpolar Pontuação	VL= Volume coletado de resíduos (média anual tonelada);	VL	1.000.000	
	n < 0 Pontuação 0	t = taxa de crescimento médio anual (%)	t	2	
			n		5,192
			<b>Pontuação</b>		<b>100</b>
Indicador de Resíduos Sólidos – I <sub>rs</sub>					
$I_{rs} = \frac{(I_{cr} + I_{sr})}{2}$			<b>Resultado I<sub>rs</sub></b>		<b>100%</b>

Apesar da provável superficialidade dos indicadores quanto aos resíduos sólidos urbanos, o desempenho máximo demonstra que as questões sanitárias envolvidas são atendidas com plenitude. Este fato é satisfatório para a metodologia ISA (SÃO PAULO, 1999), uma vez que na origem da criação do método o objetivo era avaliar a salubridade ambiental, que remete à saúde pública em detrimento até do meio ambiente urbano. Porém a combinação destes indicadores com os demais podem trazer uma combinação de fatores que podem sinalizar um panorama geral da qualidade ambiental urbana dentro da proposta inicial do estudo.

#### 4.6.3. Estrutura de Gestão Ambiental Pública

Para atender as demandas e expectativas relativas ao meio ambiente urbano, os legisladores criam leis com o objetivo de mediar os conflitos e garantir o cumprimento dos preceitos do desenvolvimento sustentável. Neste sentido a estrutura da administração pública acerca do tema é fundamental, conforme se propõe a avaliar o indicador utilizado neste estudo. Para atender este indicador realizou-se entrevista com técnicos responsáveis pelo licenciamento ambiental no órgão ambiental responsável. Os resultados são apresentados na Tabela 32.

Do ponto de vista de desempenho, o indicador alcançou quase o nível máximo (MA3 = 0,91). Esta situação demonstra que a estrutura de gestão ambiental pública está desenvolvida na cidade e na Bacia do Preto. O funcionamento da mesma, em especial as questões práticas e operacionais são áreas que podem ser avaliadas por metodologias mais aprofundadas, complementarmente a este trabalho.

A partir de entrevista realizada junto a um técnico responsável pelo licenciamento ambiental no município, foram levantadas respostas amplas, que compiladas posicionaram a situação encontrada entre a positivo ou negativo, conforme sugere a metodologia proposta. O entrevistado informou que a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Saneamento e Sustentabilidade (SEMASS) possui dois geólogos aptos a atuar na área de meio físico e três biólogos e um engenheiro florestal aptos a atuar em atividades voltadas ao meio biótico. Foi informado, ainda, que a equipe conta com 4 fiscais ambientais e mais servidores com prerrogativas para atuação nestas atividades. A SEMASS é uma das secretarias melhor estruturadas na prefeitura municipal, segundo o servidor.

Conforme Lei Municipal 2.473, de 12 de maio de 1993, o Conselho Municipal de Meio Ambiente (CMMA) é um órgão colegiado paritário, com participação da sociedade organizada. Além disso o Fundo Municipal de Meio Ambiente possui seus recursos desvinculados do orçamento unificado municipal, o que gera independência para gestão dos recursos.

Quanto às ações em educação ambiental, foi informado que a SEMASS atua com programas diretamente no público alvo, como ações de orientação para podas de árvores e sobre o licenciamento ambiental; ou em colaboração com a Secretaria Municipal de Educação, em ações junto aos públicos infatis e infanto-juvenis.

Foi ressaltado pelo entrevistado, que as atividades de fiscalização e licenciamento ambiental são realizadas efetivamente na área da Bacia do Preto, acompanhando as atividades potencialmente poluidoras e focando na preservação do meio ambiente. Como já apontado, a

área da Bacia do Preto tem seu território incluído parcialmente no Cinturão Verde. Esta área e as APPs ao longo dos cursos d'água são consideradas de interesse ambiental pelo Plano Diretor da cidade e demais legislações aplicáveis.

Consta no Plano Diretor (SANTA CRUZ DO SUL, 2007) que as construções localizadas na parte superior do anel de proteção do CV, devem ser dotadas de reservatórios de captação e retenção das águas pluviais, medida que atende ao quesito apontado no indicador. O incentivo a eficiência ambiental em construções e/ou atividades humanas ainda é uma realidade em desenvolvimento e não está implantada na legislação aplicável à Bacia do Preto.

Tabela 32. Levantamento da estrutura para gestão ambiental municipal.

Questões	Resultados
Equipe técnica habilitada ao licenciamento ambiental, em número adequado sobre o Meio Físico.	Sim: 1 / Não: 0 1
Equipe técnica habilitada ao licenciamento ambiental, em número adequado sobre o Meio Biótico.	Sim: 1 / Não: 0 1
Servidores atuantes na fiscalização ambiental.	Sim: 1 / Não: 0 1
Estrutura física adequada para exercer atividades do licenciamento ambiental (veículos, equipamentos, etc.).	Sim: 1 / Não: 0 1
Conselho Ambiental Municipal com participação da comunidade.	Sim: 1 / Não: 0 1
Fundo Municipal de Meio Ambiente com independência financeira do restante do orçamento Municipal.	Sim: 1 / Não: 0 1
Ações concretas em educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a proteção do meio ambiente na área de estudo.	Sim: 1 / Não: 0 1
Atuação efetiva no licenciamento e fiscalização ambiental de atividades potencialmente poluidoras na área de estudo.	Sim: 1 / Não: 0 1
Existência de Lei Municipal identificando áreas de interesse ambiental e restringindo o uso do solo nesses locais.	Sim: 1 / Não: 0 1
Existência de Lei de controle de águas da chuva exigindo retenção temporária das precipitações.	Sim: 1 / Não: 0 1
Existência de lei de incentivo à práticas visando o desenvolvimento sustentável (Ex: IPTU Verde).	Sim: 1 / Não: 0 0
$MA3 = \frac{\text{Soma dos Resultados do Questionário}}{11} = \frac{10}{11} = 0,909 = \mathbf{0,91}$	

#### 4.6.4. Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)

A partir de consultas ao banco de dados na plataforma Atlas Brasil (BRASIL, 2013), o resultado para o indicador IDH foi  $MA4 = 0,773 \cong 77\%$ . O desempenho geral do município de Santa Cruz do Sul apresenta-se no gráfico da Figura 25. Conforme a última atualização do IDHM, Santa Cruz do Sul ocupa a 26ª colocação no ranking de municípios do Rio Grande do Sul. Para haver um comparativo regional foram elencados, operacionalmente, os principais municípios num raio de até 50 km.

Com base na Figura 25 ( $n = 7$ ), a variabilidade é maior para o IDHM Educação (C.V. = 11%), frente um C.V. = 5% para IDHM Renda, e apenas C.V. = 1% para o IDHM Longevidade. De uma forma geral o Município de Lajeado apresenta o melhor resultado para o IDH na região, dentre os municípios consultados.

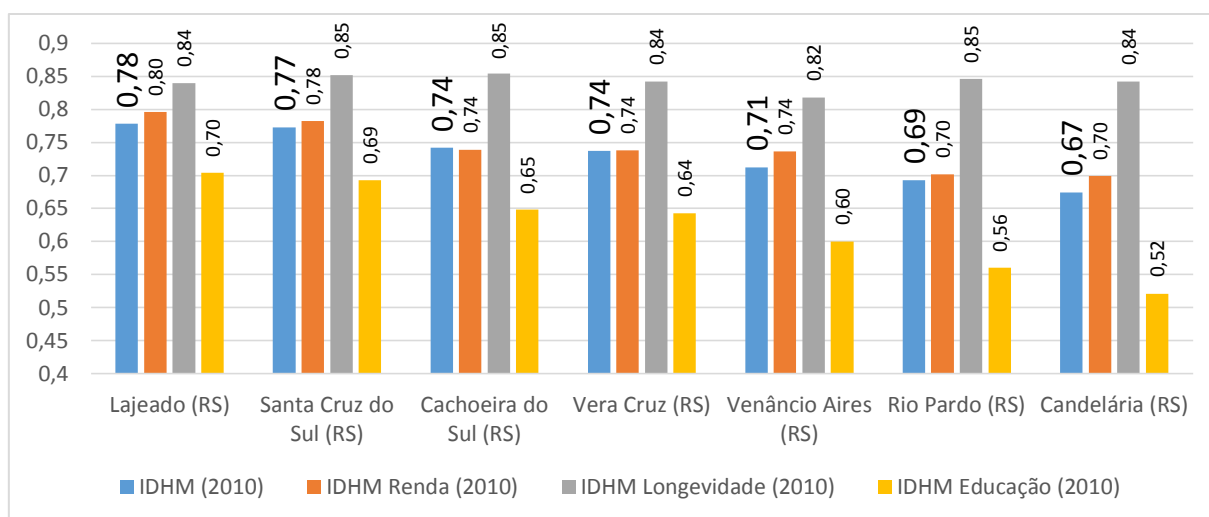


Figura 25. Gráfico comparativo do IDHM de Santa Cruz do Sul com municípios próximos, segundo BRASIL (2013).

A similaridade no critério relacionado à expectativa de vida, pode ser devido ao estilo de vida regional, que apresenta grande semelhança. O critério relacionado à educação surge como desafio para todos municípios regionais consultados. Havendo relação direta entre o IDHM e a qualidade ambiental urbana, é possível inferir que nos aspectos ambientais influenciados pelo desenvolvimento humano, a região, em especial Santa Cruz do Sul, apresenta desempenho de destaque, posicionando-se de forma privilegiada a nível estadual (26ª posição) e regional (2ª posição).

#### 4.7. Resultados Gerais

O princípio de aplicação deste estudo consiste na avaliação de aspectos da qualidade ambiental urbana nos meios físico, biótico e antrópico, condição que determina um enfoque holístico em relação à variedade de temas abordados. Para resumir os resultados obtidos e definir o desempenho final da Bacia do Preto, apresenta-se a Tabela 33, na qual é possível rastrear deficiências e virtudes ambientais da região. O gráfico da Figura 25 demonstra um apanhado geral dos resultados dos indicadores e na Figura 26 apresenta-se a hierarquia dos mesmos para auxiliar na avaliação geral.

O IMF foi elaborado de modo a trazer um panorama geral das características do meio físico abordando as peculiaridades do solo (MF1) frente a possíveis impactos ambientais, as intervenções sofridas pelos corpos d'água na Bacia (MF2), a qualidade da água superficial (IQA) em ponto de concentração da drenagem, nas proximidades de sua foz (MF3), e a forma como a questão dos riscos de desastres é encarada pelas autoridades no âmbito Municipal (MF4), avaliando a gestão pública da questão.

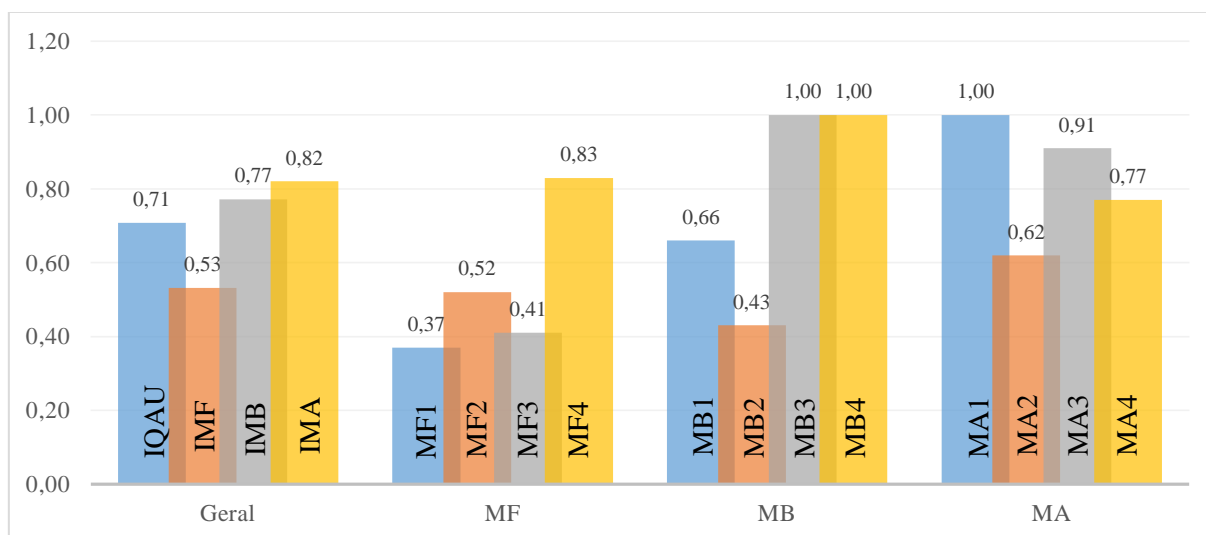


Figura 25. Gráfico dos resultados gerais dos indicadores. IMF: Indicador do Meio Físico. MF1: Resistência do Solo a Impactos Ambientais. MF2: Hidromorfologia dos Cursos D'Água. MF3: Qualidade das Águas Superficiais. MF4: Vulnerabilidade a Desastres Naturais. IMB: Indicador do Meio Biótico. MB1: Biodiversidade. MB2: Mata Ciliar em APP. MB3: Áreas Verdes. MB4: Arborização Urbana. IMA: Indicador do Meio Antrópico. MA1: Intensidade do Uso do Solo. MA2: Indicador de Salubridade Ambiental. MA3: Estrutura de Gestão Ambiental Pública. MA4: Índice de Desenvolvimento Humano.

Os desempenhos obtidos alertam para a sensibilidade do solo e subsolo da região e a necessidade de preservação dos corpos d'água. Se não for possível a recuperação dos traçados

dos mesmos, que o resultado proporcione cuidado nas zonas de expansão urbana, onde a ocupação deve ser regrada priorizando a preservação.

O IMB foi idealizado considerando o potencial de “prestação dos serviços ambientais” a partir da biodiversidade local (MB1) e presença quantitativa desta biodiversidade no ambiente urbano avaliado, no âmbito da preservação de APPs (MB2), disponibilidade de áreas verdes públicas (MB3) e quantificação da arborização de passeios públicos (MB4).

O IMA consiste na avaliação da forma da urbanização presente, através da concentração de pessoas residentes (MA1), que remete a demandas em infraestrutura, custos de funcionamento das cidades e organização do espaço. Um das formas mais atuantes na geração de impactos ambientais foi avaliada pelo saneamento (MA2), que refletindo dados da qualidade dos serviços de abastecimento de água, potencial de impacto pelo sistema de esgotamento sanitário e organização e qualidade do serviço de gerenciamento dos resíduos sólidos.

A maneira como a gestão ambiental pública está organizada permite apontar se existem deficiências estruturais e quais os potenciais de ação das autoridades do setor. A avaliação operacional e os resultados complementaríamos esta análise, porém a estrutura de estado surge como uma premissa para o seu bom funcionamento (MA3).

Considerando os conceitos de sustentabilidade, em que o termo se aplica a diversas áreas como econômica, ambiental, fiscal, social, etc.; o fechamento do MA é concebido pela aplicação do Índice de Desenvolvimento Humano, MA4, ao município onde é realizado o estudo. Este indicador é utilizado pelas Nações Unidas no mundo todo e abre a possibilidade de um canal de comunicação da realidade local com realidades nas mais diversas áreas a nível regional, nacional e/ou global.

Pelos resultados obtidos é possível perceber que a forma de ocupação atual está impactando negativamente o meio físico, devido às suas vulnerabilidades inatas e à forma de relação com os recursos hídricos. A estrutura de gestão de desastres aparece como ponto favorável, porém a motivação desta postura pode estar mais relacionada com a preocupação com as pessoas e a cumprimento legal, do que com aspectos relacionados à sustentabilidade ambiental.

O desempenho do meio biótico reflete o senso comum de que a região de estudo é privilegiada pela presença do Cinturão Verde e dos parques públicos municipais na área principal da cidade de Santa Cruz do Sul. A biodiversidade local combinada com a proximidade das florestas urbanas, agregam valor ambiental à cidade, incrementada com a cultura local de arborização dos passeios públicos.



Na questão do meio antrópico o resultado foi impulsionado pelo adensamento adequado da área urbana e pela estrutura de gestão ambiental pública. O aspecto adverso encontrado se concentra no sistema de esgotamento sanitário, que pela sua deficiência causa impactos potencialmente danosos ao ambiente. O sistema de gestão pública se mostra estruturado dentro do que preconiza a legislação, cabendo ainda passos adiante no sentido de incentivos fiscais para estimular a sociedade local a adotar posturas sustentáveis.

Considerando que o IQAU é um indicador dependente de componentes de segunda ordem, a sua interpretação exige compreender os desempenhos de cada um destes elementos constituintes. Dentre os 12 indicadores de 2ª ordem que compõe a estrutura da fórmula geral apresentada na Equação 7, recebem destaque positivo os quesitos com pontuação elevada como MB3(1,0), MB4(1,0), MA1(1,0) e MA3(0,91).

$$IQAU = \frac{IMF+IMB+IMA}{3} \quad , \quad IMF = \frac{MF1+MF2+MF3+MF4}{4} \quad ,$$

$$IMB = \frac{MB1+MB2+MB3+MB4}{4} \quad , \quad IMA = \frac{MA1+MA2+MA3+MA4}{4}$$

Equação 7. Equações gerais para obtenção do IQAU.

Os indicadores de segunda ordem que prejudicam o desempenho geral são MF1 (0,37), MF3 (0,41), MB3 (0,43). O item MF1 ressalta a importância da preocupação quanto à forma de ocupação e usos do solo local, que pode apresentar condições desfavoráveis à construção devido a características originais do solo da região. Os itens MF3 e MB3 remetem à degradação estrutural dos corpos d'água, que demanda ações de preservação dos leitos naturais e de suas matas ciliares. Destacando o indicador MB3, percebe-se o grave quadro quanto ao cumprimento das exigências do Código Florestal Brasileiro a cerca da preservação das matas ciliares dos cursos d'água na forma de APPs. É premente a necessidade de reforço na mudança do modelo de ocupação. Como a área estudada já se apresenta consolidada, fica motivada a aplicação do método de avaliação em outras áreas da cidade, a fim de comparar os resultados obtidos com áreas em processo de ocupação.

O resultado final do indicador IQAU = 0,71 aponta para uma situação favorável na qualidade ambiental urbana na área de estudo. Isso indica que as características originais da região (solo e biodiversidade) são bem assimiladas pela expansão urbana. Este processo demandará sempre estruturas de gestão de desastres naturais preparadas para atuar na prevenção e reação frente e eventos adversos, além de um órgão ambiental qualificado tecnicamente e

atuante, com independência financeira para promover ações de fiscalização, licenciamento e educação ambiental.

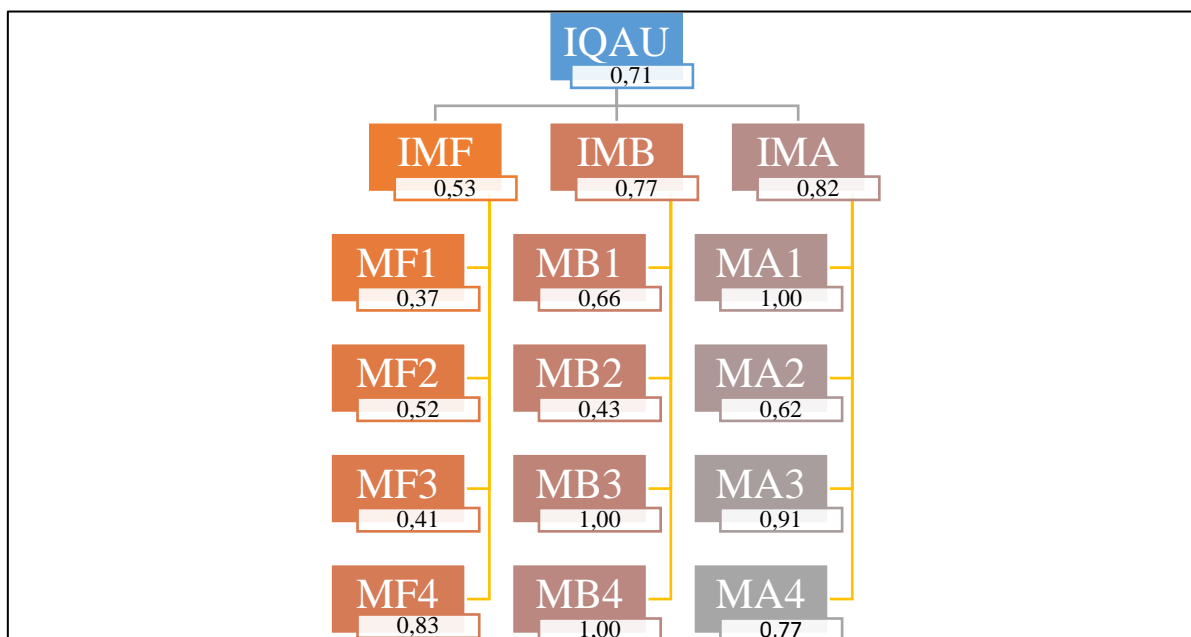


Figura 26. Organograma da composição de indicadores do Indicador de Qualidade Ambiental Urbana (IQUAU), com o resumo dos resultados. Áreas divididas conforme meios avaliados. IMF: Indicador do Meio Físico. MF1: Resistência do Solo a Impactos Ambientais. MF2: Hidromorfologia dos Cursos D'Água. MF3: Qualidade das Águas Superficiais. MF4: Vulnerabilidade a Desastres Naturais. IMB: Indicador do Meio Biótico. MB1: Biodiversidade. MB2: Mata Ciliar em APP. MB3: Áreas Verdes. MB4: Arborização Urbana. IMA: Indicador do Meio Antrópico. MA1: Intensidade do Uso do Solo. MA2: Indicador de Salubridade Ambiental. MA3: Estrutura de Gestão Ambiental Pública. MA4: Índice de Desenvolvimento Humano.

Os resultados mostram como a biodiversidade de uma floresta urbana matriz pode contribuir para a manutenção e expansão dos movimentos de regeneração ao longo de uma área urbana. Apontam, também, que as questões de abastecimento de água e destinação de resíduos sólidos, que remetem para disponibilidade, qualidade e vida útil dos sistemas, são favoráveis, enquanto que o tratamento de esgotos sanitário e seus impactos surgem como a principal demanda atual da região. A importância desta meta como prioridade é comprovada pelo alto grau de degradação da qualidade das águas superficiais ao longo da Bacia do Preto.

Mostram também que a região apresenta-se bem equilibrada quanto à densidade populacional e remete a alta qualidade de vida decorrente do convívio dos habitantes com elementos naturais na forma de áreas verdes, parques públicos acessíveis e arborização urbana em quantidade similar aos melhores resultados estudados no Brasil. Como resultados finais surgem demandas, prioridades e possibilidades de melhorias para a gestão ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Preto.

Tabela 33. Resumo dos resultados de aplicação dos indicadores.

Área	Código	Indicador	Dados Primários		Sub Indicador		Resultado	
<b>Meio Físico</b> <b>0,53</b>	MF1	Resistência do Solo a Impactos Ambientais	Área Total	1343,6			<b>0,37</b>	
			Área A (alta resistência a IA)	0				
			Área B (média resistência a IA)	0				
			Área C (baixa resistência a IA)	671,6				
			Área D (muito baixa resistência a IA)	672				
	MF2	Hidromorfologia dos Cursos D'Água	Arroio		Trecho Natural	Trecho Total	Percentual	<b>0,52</b>
			A. da Gruta:		3985	5244	76,0%	
			A. Jucurí:		2098	2359	88,9%	
			A. Imigrante:		52	1780	2,9%	
			A. Preto:		0	2647	0,0%	
			A. Hortências 1:		423	423	100,0%	
			A. Hortências 2:		590	705	83,7%	
			A. Higienópolis:		100	693	14,4%	
			A. Assis Brasil:		0	1116	0,0%	
			A. Terra Madre:		745	780	95,5%	
A. Casa de Pedra:			500	535	93,5%			
A. Retiro Loyola:		1388	3340	41,6%				
Total		9781	18929	51,7%				
MF3	Qualidade das Águas Superficiais	IQA (média ± desvio padrão)				<b>0,41 ± 0,11</b>		

	<b>Código</b>	<b>Indicador</b>	<b>Dados Primários</b>			<b>Sub Indicador</b>		<b>Resultado</b>	
	MF4	Vulnerabilidade a Desastres Naturais	Questões			Resultado		<b>0,83</b>	
			- Ocorrência da integração das ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal;			S:1 / Ñ:0	1		
			- Ocorrência da identificação e mapeamento das áreas de riscos de desastres;			S:1 / Ñ:0	1		
			- Ocorrência da fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas			S:1 / Ñ:0	1		
			- Ocorrência de vistorias às construções em áreas de risco			S:1 / Ñ:0	1		
			- Realização regular de exercícios simulados			S:1 / Ñ:0	0		
			- Manutenção da população informada sobre áreas de risco, ocorrência de eventos extremos,			S:1 / Ñ:0	1		
<b>Meio Biótico</b>  <b>0,77</b>	MB1	Biodiversidade	Riqueza Local	141	Resultado:	0,62		<b>0,66</b>	
			Maior Riqueza RS	227					
			Shannon Local	2,42	Resultado:	0,66			
			Melhor Shannon RS	3,67					
	MB2	Mata Ciliar em APP	Trecho	Mata Ciliar (m²)	APP Trecho (m²)	%			<b>0,43</b>
			Arroio da Gruta	91.083,00	280.461,00	68,13%			
			Arroio Jucurí	229.193,00	337.016,00	68,01%			
			Arroio Retiro Loyola	45.879,00	168.398,00	27,24%			
			Arroio Imigrante	7.146,00	96.516,00	7,40%			
			Arroio Assis Brasil	1.789,00	109.583,00	1,63%			
			Arroio Preto	11.178,00	136.756,00	8,17%			
			Total	486.268,00	1.128.730,00	43,08%			
	MB3	Áreas Verdes Públicas	Áreas Verdes (m²)	547.144				<b>1,00</b>	
População (hab)			23.378						
Resultado			23,4 m².hab <sup>-1</sup>						
MB4	Arborização Urbana	Amostra	Nº Árvores	Distância (m)		101,6 arv./km	<b>1,00</b>		

Área	Código	Indicador	Dados Primários		Sub Indicador	Resultado
<b>Meio Antrópico</b>  <b>0,82</b>	MA1	Intensidade do Uso do Solo	Área Total de Estudo (km <sup>2</sup> )	13,44	2.419,26 hab.km <sup>-1</sup>	<b>1,00</b>
			População (hab)	23.378		
			Área Urbanizada (km <sup>2</sup> )	9,6633		
	MA2	Iab – Abastecimento de Água	Ica – Cobertura de Abastecimento	1,00	0,86	<b>0,62</b>
			Iqa – Qualidade da Água	1,00		
			Isa – Saturação do Sistema	0,5764		
		Ies – Esgotamento Sanitário	Ice – Cobertura de Coleta	0,0	0,00	
			Ite – Esgotos Tratados	0,0		
		Irs – Resíduos Sólidos	Icr – Coleta de Resíduos	1,00	1,00	
	Isr – Saturação do Destino Final		1,00			
	MA3	Estrutura de Gestão Ambiental Pública	Questões		Resultado	Resultado
			- Equipe técnica habilitada ao licenciamento ambiental, em número adequado sobre o Meio Físico	S:1 / Ñ:0	1	<b>0,91</b>
			- Equipe técnica habilitada ao licenciamento ambiental, em número adequado sobre o Meio Biótico	S:1 / Ñ:0	1	
			- Servidores atuantes na fiscalização ambiental	S:1 / Ñ:0	1	
			- Estrutura física adequada para exercer atividades do licenciamento ambiental (veículos, equipamentos, etc.)	S:1 / Ñ:0	1	
			- Conselho Ambiental Municipal com participação da comunidade	S:1 / Ñ:0	1	
			- Fundo Municipal de Meio Ambiente com independência financeira do restante do orçamento Municipal	S:1 / Ñ:0	1	
			- Ações concretas em educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a proteção do meio ambiente na área de estudo	S:1 / Ñ:0	1	
			- Atuação efetiva no licenciamento e fiscalização ambiental de atividades potencialmente poluidoras na área de estudo	S:1 / Ñ:0	1	
			- Existência de Lei Municipal identificando áreas de interessa ambiental e restringindo o uso do solo nesses locais	S:1 / Ñ:0	1	
- Existência de Lei de controle de águas da chuva exigindo retenção temporária das precipitações			S:1 / Ñ:0	1		
- Existência de lei de incentivo a práticas visando o desenvolvimento sustentável (Ex: IPTU Verde)			S:1 / Ñ:0	0		

	MA4	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM	<b>IDHM</b>		<b>0,773</b>
IDHM Renda			0,782		
IDHM Longevidade			0,852		
IDHM Educação			0,693		

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Pela realização deste estudo foi possível perceber como a ciência se volta para o contexto ambiental em um movimento crescente. Foram encontrados diversos trabalhos de objetivos comuns ou complementares acerca do tema. Pela pesquisa foi possível propor e validar parâmetros de interesse que visam avaliar aspectos da qualidade ambiental urbana de modo objetivo e representativo. Pela revisão de referencial, percebeu-se que a gestão do espaço nas cidades vem sendo estudada globalmente sob a ótica do desenvolvimento sustentável. Inúmeras ações surgem no sentido de buscar uma forma mais adequada para a ocupação do espaço e aumentar a eficiência do metabolismo urbano.

A lógica de observação e avaliação dos aspectos ambientais atuantes nas cidades e sua reunião para formular uma metodologia inovadora, objetiva e representativa, se mostrou satisfatória como um sinalizador de uma tendência contemporânea. O distanciamento entre as pessoas e o meio ambiente urbano dificulta o reconhecimento das virtudes locais e as adversidades existentes. Sem esse conhecimento, o desenvolvimento sustentável torna-se insustentável. É necessária uma aproximação entre o desenvolvimento científico-tecnológico com a realidade local, e esta ferramenta se mostrou uma alternativa possível de facilitar o olhar do cidadão sobre o seu espaço urbano.

Pela revisão dos trabalhos científicos publicados, foi possível elencar indicadores potenciais para uma avaliação geral da qualidade ambiental urbana. A ferramenta desenvolvida se apresentou eficaz e proporcionou amplas margens de discussão dos resultados. A forma de atuação nos três meios, com indicadores objetivos, aderentes à realidade local e adaptáveis à mudanças constantes nos dados geradores, demonstra que a estratégia é meritosa. Da mesma forma, o resultado individual de cada dado coletado possui potencial de ser refinado, sempre que houver interesse em aprofundar determinado tema em busca de uma contestação ou avaliação complementar.

Surge esta ferramenta como um sinalizador de tendências, que pode apontar entre os três meios (físico, biótico e antrópico) quais as prioridades de ações, tendo em vista o objetivo comum de preservação do ambiente urbano para que a sociedade se integre de maneira mais efetiva com o meio ambiente local.

A avaliação da Bacia Hidrográfica do Arroio Preto proporcionou um novo olhar sobre a cidade. A forma de ocupação histórica da área contribuiu para a preservação do Cinturão Verde, que configura atualmente um esteio biodiversidade e serviços ambientais, proporcionando

ganhos para a qualidade de vida da população e servindo de floresta matriz ao vetor de regeneração natural das áreas vizinhas. A forma como a cidade se organiza, seja na ocupação como na gestão ambiental pública se mostram relevantes do ponto de vista da sustentabilidade. Porém é necessário criar meios de avaliação do funcionamento das estruturas e medidas para estimular ações voltadas à sustentabilidade. No que tange o saneamento surge a premente necessidade de resolução da questão esgoto sanitário. Este item obteve o pior desempenho entre os dados coletados e reflete os impactos ambientais observados na Bacia.

O desfecho do estudo permite abrir novas possibilidades de desenvolvimento, de modo que o conhecimento a ser gerado com a utilização da metodologia proposta sirva de catalisador para uma evolução constante da técnica, permitindo auxiliar ainda mais na gestão ambiental local. Abre-se oportunidade para o desenvolvimento de novos indicadores que possam refinar os resultados obtidos até este ponto ou até substituir eventualmente variável já utilizada.

Importante mérito a ser apontado é a estrutura simétrica na composição do IQAU, onde os três meios foram abordados de modo equilibrado. Esta premissa surge como promissor elo entre a metodologia tradicional de avaliação de impactos ambientais e a realidade consolidada das áreas urbanas contemporâneas. Seja através da aplicação e replicação pura do método ou como sinalizador de uma nova ótica de avaliação, este estudo mostrou êxito na sua proposta abrindo promissoras oportunidades de desenvolvimento da ciência.

Com a realização desta pesquisa conclui-se que é possível aproximar os processos tecnológicos e científicos de avaliação de impactos ambientais das políticas públicas de gestão. Que a ferramenta vem ao encontro de uma tendência crescente onde a gestão dos espaços urbanos utiliza por base o emprego de indicadores alinhados com o desenvolvimento sustentável. Do ponto de vista da gestão do ambiente urbano, o IQAU pode surgir como um iniciador de processos para implantação, participando de iniciativas emergentes a nível global, como por exemplo a Iniciativa Cidades Emergentes Sustentáveis (ICES) do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID, 2014), as Metas para o Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2014) ou a utilização de normas padronizadas voltadas à gestão como a NBR ISO 37.120:2017 (Desenvolvimento Sustentável de Comunidades). Ações que visam incrementar a qualidade ambiental das cidades em equilíbrio com o desenvolvimento geral da sociedade.



## 6. REFERÊNCIAS

BERTRAM, Cristine; REHDANZ Katrin. The role of urban green space for human well-being. *Ecological Economics*, Amsterdam, NL, n° 120, p. 139-152. 2015.

BID, Banco Interamericano de Desenvolvimento. *Guia metodológico Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis (ICES)*. 2014.

BRAGA, Benedito *et al.* *Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. Pearson Prentice Hall, 2005.

BRAGA, Tania Moreira *et al.* *Índices de sustentabilidade municipal: o desafio de mensurar*. Nova Economia, n° 14(3), p. 11-33. 2004.

BRASIL, Atlas. *Atlas do desenvolvimento humano no Brasil*. 2016. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/> Acesso em: 04/01/2017.

BRASIL. *Constituição Federal*: 1988. São Paulo: Lex, 1988. 206 p.

BRASIL. Lei Federal n° 12.651, de 25 de maio de 2012. Novo Código Florestal. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 18 outubro 2012.

BRASIL. *Portaria n° 2914/2011, do Ministério da Saúde*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Resolução n° 32, de 15 de outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional e dá outras providências (Publicado no DOU em 17/12/2003). 2003.

BRASIL. Lei Complementar n. 140, de 8 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. *Diário Oficial*, Brasília, 12 dez. 2011

CERETTA, Maristela Coradini. *Avaliação dos aspectos da qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena – Município de Santa Maria–RS*. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2004.

CHESHMEHZANGI, Ali; BUTTERS, Chris. *Sustainable Living and Urban Density: The Choices are Wide Open*. Energy Procedia, v. 88, p. 63-70, 2016. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216300844> >.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO – CMMAD. Organização das Nações Unidas – ONU. NOSSO FUTURO COMUM. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas. 1991.

CUNHA, D. S. A.; MARTINEZ, A. L.; NOSSA V. *Incentivos Fiscais Verdes e Tributação Extrafiscal: Estudo Sobre o IPTU Verde no Município de Vila Velha (ES) Comparativamente a Outros Municípios*. Revista Razão Contábil & Finanças 4(1). 2013

DE LA BARRERA, F., REYES-PAECKE S.; BANZHAF. E. *Indicators for green spaces in contrasting urban settings*. *Ecological Indicators* n° 62. p. 212-219. 2016.

DEPIETRI, Y.; *et al.* *The urban political ecology of ecosystem services: The case of Barcelona*. *Ecological Economics* 125: 83-100. 2016.

DO LAGO, André. A. C. *Estocolmo, Rio, Joanesburgo: o Brasil e a três conferências ambientais das Nações Unidas*. Thesaurus Editora. 2007.

EISENBERGER, Cícero N. Estudo do comportamento de um talude coluvionar urbano em Santa Cruz do Sul-RS. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003.

FLYNN, A., L; *et al.* *Eco-cities, governance and sustainable lifestyles: The case of the Sino-Singapore Tianjin Eco-City*. *Habitat International*. n 53. Pag. 78-86. 2016.

FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. *Planejamento ambiental para a cidade sustentável*. 2. ed. São Paulo: Annablume, 2001. 296 p.

GUERRA, Antonio J. T.; CUNHA, Sandra B. da (Org.). *Impactos ambientais urbanos no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 416 p.

GUIMARAES, Eliana M. A. *Trabalhos de campo em bacias Hidrográficas: caminhos de uma experiência em Educação Ambiental*. Dissertação (Pós-Graduação em Geociências - Instituto de Geociência) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). 1999.

HASENACK, H.; WEBER, E. *Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul-escala 1: 50.000*. Porto Alegre: UFRGS-IB-Centro de Ecologia 1. 2010.

HERZOG, Cecília Polacow; ROSA, Lourdes Zunino. *Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana*. Revista LABVERDE, São Paulo, n. 1, p. 92-115, sep. 2010.

IBGE. *Mapa de Biomas e de Vegetação*. Desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em 14/11/2016.

ISERNHAGEN, I.; BOURLEGAT, J. M. LE; CARBONI, M. *Trazendo a riqueza arbórea regional para dentro das cidades: possibilidades, limitações e benefícios*. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana 4(2): 117-138. 2009.

JOLY, C. A.; *et al.* *Diagnóstico da pesquisa em biodiversidade no Brasil*. Revista USP: 114-133. 2011

JOSS, S. *Eco-cities and Sustainable Urbanism*. Wright, James D. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition). Oxford, Elsevier: 829-837. 2015.

KREBS, C. J. *Ecological methodology*. New York, Harper & Row, USA, 624 p. 2013.  
LEMOS, R. C. (1973). *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Boletim técnico, EMBRAPA. 30.

LUDWIG, John A.; REYNOLDS, James F. *Statistical ecology: a primer in methods and computing*. John Wiley & Sons, 1988.

MACHADO, Maria Helena Ferreira. *Urbanização e sustentabilidade ambiental: questões de território*. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [S.l.], n. 3, p. 81, nov. 2000.

MARTINS, S. *et al.* *Potencial de regeneração natural de florestas nativas nas diferentes regiões do Estado do Espírito Santo*. Vitória: CEDAGRO. 2014.

VERDUM, Roberto (Org.); MEDEIROS, Rosa Maria Vieira. *RIMA: Relatório de Impacto Ambiental: legislação, elaboração e resultados*. Porto Alegre: UFRGS, 2006. 5ª ed. 113 p.

MORENO, J. A. *Clima do Rio grande do Sul*. Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul. N 11. Pag.49-83. 2014.

MORETTO, D. L., PANTA R. E., COSTA A. B. D.; LOBO, E. A. *Calibration of water quality index (WQI) based on Resolution n° 357/2005 of the Environment National Council (CONAMA)*. Acta Limnologica Brasiliensia 24: 29-42. 2012.

MULLANEY, J.; LUCKE T.; TRUEMAN S.J. *A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments*. Landscape and Urban Planning. n 134. Pag. 157-166. 2015.

NEUMAYER, E. *The human development index and sustainability — a constructive proposal*. Ecological Economics. N 39(1). Pag. 101-114. 2001.

NEW YORK CITY DEPARTMENT OF PARKS & RECREATION, NYC. 2015. New York City Street Tree Map, 2016. Disponível em: < <https://tree-map.nycgovparks.org/> >

NOURRY, M. *Measuring sustainable development: Some empirical evidence for France from eight alternative indicators*. Ecological Economics n 67(3). Pag. 441-456. 2008.

NORONHA, F. d. L.; MIZUSAKI A. M. P.; BRESSANI, L. A. *O mapeamento geológico-geomorfológico como uma ferramenta para obtenção de informações geotécnicas preliminares: estudo de caso na área urbana de Santa Cruz do Sul (RS, Brasil)*. Pesquisas em Geociências, Porto Alegre. Vol. 39, n. 2 (maio/ago. 2012), p. 127-145. 2012.

TIMUR, Umut Pekin. Urban Waterfront Regenerations. In: Özyavuz Murat. *Advances in Landscape Architecture*. InTech. Pag. 938. 2013.

PIMENTEL, E., DORNELLES, J. A. F., DE BORJA, I. H., PAIVA, M., DE AZEVEDO, L. O. A., LOPES, P., LOCIKS, J., GRANJEIRO, J. W., ARRUDA, M B., PINTO, W. D., FALEIRO, R., ROSETI, C. F., BASTOS, E. M., PINHEIRO, O. IBAMA: Analista Ambiental. Brasília: Ed. Vestcon. 2002. 348p.

POLETO, Cristiano (Org.). *Bacias hidrográficas e recursos hídricos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. xii, 249 p.

POSSELT, E. L., COSTA, A. B., LOBO, E. A. *Software IQADData 2015*. Registro no INPI BR 512015000890-0, Programa de Mestrado em Sistemas e Processos Industriais PPGSPI, Programa de Mestrado em Tecnologia Ambiental (PPGMTA), UNISC, 2015. Disponível em: <http://www.unisc.br/ppgspe>

RATIH, Y.; FEBRIANTO, J. Z. *Biodiversity as Part of Urban Green Network System Planning Case Study: Pontianak City*. Procedia - Social and Behavioral Sciences 227: 583-586. 2016.

RIO GRANDE DO SUL. Constituição (1989). *Constituição do Estado do Rio Grande do Sul*: 1989. Porto Alegre: Assembléia Legislativa/RS, 1989. 133 p.

RIO GRANDE DO SUL. Governo do Estado. Secretaria do Meio Ambiente. *Relatório Final do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 2002, v.1, 706p.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente - CONSEMA n° 288. Atualiza e define as tipologias, que causam ou que possam causar impacto de âmbito local, para o exercício da competência Municipal para o licenciamento ambiental, no Estado do Rio Grande do Sul. 2014.

Rossatto, D. R., M. S. F. Tsuboy and F. Frei (2008). "Arborização urbana na cidade de Assis-SP: uma abordagem quantitativa." *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, Piracicaba 3(3): 1-16.

SÁNCHEZ, L. E. (2006). *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. São Paulo, Oficina de Textos.

SANTA CRUZ DO SUL, Prefeitura Municipal de. *Plano Municipal de Saneamento Básico*. 2013. Disponível em <http://www.santacruz.rs.gov.br>, acesso em: 14/11/2016

SANTA CRUZ DO SUL. *Lei Complementar n° 335, de 03 de janeiro de 2007. Plano Diretor Municipal*.

SANTOS, R. F. *Planejamento Ambiental: teoria e prática*, 2004. Oficina de Textos – São Paulo, 184.

SÃO PAULO. ISA – Indicador de Salubridade Ambiental. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. *Manual Básico*. São Paulo, Brasil. 1999. 37 p.

SARAIVA CALDERARI, E. e A. L. FERREIRA C. MARAGNO (2013). "ÁGUAS URBANAS: UM NOVO OLHAR PARA O PLANEJAMENTO URBANO NAS CIDADES." 2013 1(2).

SCHIAVETTI, A., CAMARGO, A. F. M. (Eds.). *Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e aplicações*. Ilheus, BA: Editus. 2002. 293p.

SCHORN, L. A.; GALVÃO, F. 2006. *Dinâmica da Regeneração Natural em Três Estágios em Três Estágios Sucessionais de uma Floresta Ombrófila Densa em Blumenau, SC, BRASIL*. FLORESTA; v. 36, n. 1. 2006.

SCHUCH, M.; FIEDLER E. DE ABREU JÚNIOR; ALCAYAGA E. L. *Qualidade da água de arroios urbanos de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, com base em análises físicas, químicas e biológicas*. Bioikos; Bioikos, v. 26, n. 1. 2012.

SEIFFERT, M. E. B. *Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental*. São Paulo: Atlas, 2011. 310 p.

SEMA/UFMS-RS (2001). *Relatório Final do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul*. G. d. E. S. E. d. M. Ambiente. 1,2: 706.

SEMA/UFMS-RS. Governo do Estado. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. *Relatório Final do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 2001. 706p. v.1, 2.

SEPLAN – Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã (2014), *Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, disponível em:

[http://www.scp.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod\\_menu\\_filho=807&cod\\_menu=805&tipo\\_menu=POPULA&cod\\_conteudo=1392](http://www.scp.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod_menu_filho=807&cod_menu=805&tipo_menu=POPULA&cod_conteudo=1392). Acesso em 18/11/2016.

SILVA, D. D. PRUSKI, F. F. (Eds.). *Gestão de Recursos Hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais*. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000.

SNIS (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO). Disponível em: <[www.snis.gov.br/](http://www.snis.gov.br/)>. Acesso em: 19/12/2016.

TAYLOR, M. S.; WHEELER B. W.; WHITE, M. P., ECONOMOU T.; OSBORNE J. *Research note: Urban street tree density and antidepressant prescription rates—A cross-sectional study in London, UK.* Landscape and Urban Planning 136: 174-179. 2015.

TEIXEIRA, M. B.; NETO, A. B. C. *Vegetação*. In: IBGE. *Levantamento dos Recursos Naturais*. Rio de Janeiro: IBGE, vol. 33 cap. 4 541 – 632. 1986.

UL HAQ, Mahbub. *Reflections on human development*. oxford university Press, 1995.

VAN BELLEN, Hans Michel Van. *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005. 253 p.

VIANA, Aurimar de Paula. *Relação dos indicadores de salubridade ambiental com a saúde e sustentabilidade pública no Município de Itapemirim/ES*. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

VIETZ, G. J.; RUTHERFURD, I. D., FLETCHER T. D.; WALSH C. J.. *Thinking outside the channel: Challenges and opportunities for protection and restoration of stream morphology in urbanizing catchments*. Landscape and Urban Planning 145: 34-44. 2016.

WOO, Hyoseop. *Trends in ecological river engineering in Korea*. Journal of Hydro-environment Research n° 4. Pag 269-278. 2010.