

Oscar Andrés Hincapié Marín

Análise comparativa das relações entre áreas metropolitanas e bacias hidrográficas: os casos das bacias hidrográficas do rio Cali, na Colômbia, e Piraquara, na Região Metropolitana de Curitiba, Brasil



Imagem da Região Metropolitana de Curitiba. Revista COMEC (2015)



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

Campus Presidente Prudente

Oscar Andrés Hincapié Marín

Análise comparativa das relações entre áreas metropolitanas e bacias hidrográficas: os casos das bacias hidrográficas do rio Cali, na Colômbia, e Piraquara, na Região Metropolitana de Curitiba, Brasil

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Unesp, Campus de Presidente Prudente, para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Agência financiadora: CAPES

Orientação: Prof. Dr. Arthur M. Whitacker

Presidente Prudente, SP
2017

Ficha catalográfica elaborada pela Secção Técnica de Aquisição e Tratamento da informação – Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação – UNESP, Campus de Presidente Prudente

Marín, Oscar Andrés Hincapié.
M289a Análise comparativa das relações entre áreas metropolitanas e bacias hidrográficas. Os casos das bacias hidrográficas do rio Cali, na Colômbia, e Piraquara, na Região Metropolitana de Curitiba / Oscar Andrés Hincapié Marín. - Presidente Prudente : [s.n], 2017
272 f. : il.

Orientador: Arthur Magon Whitacker
Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia
Inclui bibliografia

1. Rio Piraquara. 2. Rio Cali. 3. Gestão hídrica. 4. Bacias hidrográficas. 5. Áreas Metropolitanas. 6. Planejamento territorial I. Whitacker, Arthur Magon. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Título.

Claudia Adriana Spindola
CRB-8ª/5790

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Análise Comparativa das relações entre áreas metropolitanas e bacias hidrográficas. Os casos das bacias hidrográficas dos rios Cali, na Colômbia, e Piraquara, na Região Metropolitana de Curitiba, Brasil.

AUTOR: OSCAR ANDRÉS HINCAPIÉ MARÍN

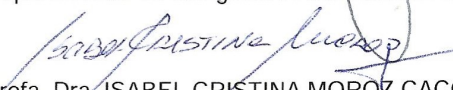
ORIENTADOR: ARTHUR MAGON WHITACKER

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em GEOGRAFIA, área: PRODUÇÃO DO ESPAÇO GEOGRÁFICO pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ARTHUR MAGON WHITACKER

Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/UNESP



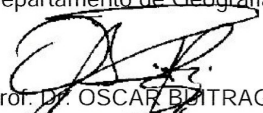
Profa. Dra. ISABEL CRISTINA MOROZ CACCIA GOUVEIA

Departamento de Geografia / FCT/UNESP/Presidente Prudente (SP)



Prof. Dr. ANTONIO CEZAR LEAL

Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/UNESP



Prof. Dr. OSCAR BOTRIGO BERMUDEZ
GEOGRAFIA / UNIVERSIDAD DEL VALLE



Profa. Dra. MARIA CRISTINA PERUSI
Unidade de Ourinhos / UNESP

Presidente Prudente, 23 de agosto de 2017

*A Maria Camila Arango Granados, a tus ojos, a nuestra historia de amor
A mi madre, Lucina Marín Torres, mi ejemplo de fortaleza y emprendimiento*

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/CNPq) do Brasil, e o seu Programa de Estudante-Convênio de Pós-Graduação (PEC-PG), pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho, FCT/UNESP, Campus de Presidente Prudente, e todos os que fazem parte dela, especialmente para Cinthia, Aline, André, Leonardo e Ivonette.

Ao meu orientador e grande amigo Dr. Arthur M. Whitacker, por sua orientação e disposição assídua, desde o começo da pesquisa.

Agradeço especialmente ao professor Dr. Antonio Cezar Leal, pelo constante apoio e motivação pessoal. Levarei comigo as palavras que melhor o representam: “Combinado meu amigo! “.

Agradeço imensamente a Lia, esposa do Cezar. Muito obrigado por me acolher na sua casa e na sua família!

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da FCT/UNESP, pela disposição às consultas e os ensinamentos dentro e fora das salas de aula.

Ao Instituto das Águas do Paraná - AGUASPARANÁ, especialmente a Marianna Sophie Roorda, pelas indicações na procura de informação.

À Companhia de Saneamento do Paraná SANEPAR, em especial ao engenheiro José Roberto da Conceição, pelo apoio institucional no fornecimento de informações.

A la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) por la disponibilización de informaciones cartográficas e hidrometeorológicas. Agradecimiento especial para el ingeniero Álvaro Calero.

Aos companheiros do Grupo de Pesquisa Gestão Ambiental e Dinâmica Socioespacial (GADIS) pelos cafés com trocas de ideias: Ana Paula, Roberta, Fernanda, Fred, Dani, Bruna, Beatriz, Wilson, Taissa, Gloria.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa Produção do Espaço e Redefinições Regionais (GASPER).

Àquelas pessoas maravilhosas que eu conheci e com as quais compartilhei momentos agradáveis durante minhas viagens pelo Brasil: Liriane Gonçalves, Larissa Pifer, Priscila Engel, Carla Hentz, Renata Cardoso, Paulo Roberto, Josué, Afonso, Chico.

Aos meus grandes parceiros brasileiros Rodrigo Vitor, Eduardo Neves e Aurélio.

A mi madre por el inconmensurable apoyo moral, económico y logístico.

A Camila por todo el amor brindado, por el apoyo y por las palabras de aliento en los momentos de mayor dificultad.

Por último y no menos importante, agradezco especialmente el apoyo emocional y profesional de mi padre, de mi hermana Diana, de Duberly, de mi sobrino Juan José y de mi primo y hermano Wilo.

A todos ustedes, que con sus actos y palabras han hecho parte activa de este proceso, muchas gracias!!

RESUMO

O crescimento demográfico e de população urbana da América do Sul se reflete no aumento de conurbações, na consolidação de áreas metropolitanas e no incremento das demandas de infraestrutura urbana e de recursos. Neste sentido, os processos eficientes de planejamento e de gestão de bacias hidrográficas, contribuem substancialmente para a consolidação e desenvolvimento de contextos de bens e serviços. Há uma estreita relação entre o desenvolvimento de áreas metropolitanas e a gestão dos sistemas hierárquicos das bacias hidrográficas. O presente trabalho apresenta uma proposta metodológica para avaliar a relação entre a funcionalidade das bacias hidrográficas e a conformação de duas áreas metropolitanas, no Brasil e na Colômbia, mediante uma análise comparativa dos arcabouços normativos e institucionais aplicados. Para isso, seguindo o modelo Pressão-Estado-Resposta, foram selecionadas três variáveis de pressão nas bacias (mudanças nas coberturas das terras, usos urbanos em fundos de vale, variabilidade climática) e quatro variáveis de estado (abastecimento de água, perda de solos, produção de serviços ecossistêmicos, estrutura ecológica da paisagem fluvial). Seguidamente, se avaliou e comparou os mecanismos de resposta normativa e institucional metropolitanos. Entre os resultados, se destaca uma abundante normativa, em ambos casos, focada na proteção das bacias com objetivos de produção hídrica, mas insuficientes para controlar as ocupações irregulares, decorrentes da especulação imobiliária das metrópoles. No caso brasileiro há uma relação mais coesiva entre a funcionalidade das microbacias abastecedoras e a projeção do desenvolvimento metropolitano, inserido em um sistema de gestão hídrico maior, concluindo-se que, o sucesso dessa integração está relacionado, entre outros fatores, com o cumprimento das funções institucionais por componentes ambientais e não por jurisdições territoriais, como no caso da Colômbia.

Palavra chave: Rio Piraquara. Rio Cali. Bacias Hidrográficas. Gestão Hídrica. Planejamento Territorial. Áreas Metropolitanas

RESUMEN

El crecimiento demográfico y de población urbana de América del Sur se refleja en el aumento de conurbaciones, en la consolidación de áreas metropolitanas y en el incremento de demandas de infraestructura y de recursos. En este sentido, los procesos eficientes de planificación y gestión de cuencas hidrográficas contribuyen substancialmente a la consolidación y desarrollo de los contextos metropolitanos mediante la provisión de bienes y servicios, es decir, hay una estrecha relación entre el desarrollo de áreas metropolitanas y la gestión de los sistemas jerárquicos de las cuencas hidrográficas. El presente trabajo presenta una propuesta metodológica para evaluar las relaciones entre la funcionalidad de las cuencas hidrográficas y la conformación de dos áreas metropolitanas, en Brasil y Colombia, mediante un análisis comparativo de las estructuras normativas e institucionales aplicadas para cada caso. Para eso, con base en el modelo Presión-Estado-Respuesta se seleccionaron tres variables de presión sobre las cuencas (cambios en las coberturas de la tierra, usos urbanos en los fondos de valle, variabilidad climática) y cuatro variables de estado (abastecimiento de agua, pérdida de suelos, producción de servicios ecosistémicos, estructura ecológica del paisaje fluvial), seguidamente se evaluaron y compararon los mecanismos de respuesta normativa e institucional metropolitana. Entre los resultados de la comparación se destaca la abundante normatividad, en los dos casos, respecto a la protección de las cuencas con objetivos de producción hídrica, pero insuficientes para controlar, por ejemplo, las ocupaciones irregulares resultantes de la especulación inmobiliaria propia de las metrópolis. En el Brasil hay una relación más cohesiva entre la funcionalidad de las microbasins abastecedoras y las proyecciones del desarrollo metropolitano, que a su vez hacen parte de un sistema de gestión hídrica mayor. Estos resultados permiten concluir que el éxito de la integración entre los dos contextos está relacionado, entre otros, con el cumplimiento de las funciones institucionales por componentes ambientales y no por jurisdicción territorial como se realiza en Colombia.

Palabras clave: Rio Piraquara. Rio Cali. Cuencas Hidrográficas. Gestión Hídrica. Planificación Territorial. Áreas Metropolitanas

ABSTRACT

The demographic and urban population growth of South America is reflected in the increase of conurbations, in the consolidation of metropolitan areas and in the increase of demands of infrastructure and resources. In this sense, efficient watershed management processes contribute substantially to the consolidation and development of metropolitan contexts through the provision of goods and services, that is, there is a close relationship between the development of metropolitan areas and the management of the hierarchical systems of the watersheds. This research presents a methodological proposal to evaluate the relationship between watershed functionality and the conformation of two metropolitan areas, in Brazil and Colombia, through a comparative analysis of the normative and institutional structures applied for each case. For that, based on the Pressure-State-Response model, three pressure variables were selected about basins (changes in land cover, urban uses in valley bottoms, climatic variability) and four state variables (supply of water, soil loss, production of ecosystem services, ecological structure of the river landscape), then the metropolitan normative and institutional response mechanisms were evaluated and compared. Among the results of the comparison, there is an abundance of normativity, in both cases, regarding the protection of watersheds with water production objectives, but insufficient to control, for example, the irregular occupations resulting from real estate speculation typical of the metropolises. In Brazil there is a more cohesive relationship between the functionality of the supplying microbasins and the projections of metropolitan development, which in turn are part of a larger water management system. These results allow us to conclude that the success of the integration between the two contexts is related, among others, to the fulfillment of the institutional functions by environmental components and not by territorial jurisdiction as it is done in Colombia.

Keywords: Piraquara River. Cali River. Watersheds. Water Management. Territorial Planning. Metropolitan Areas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Região Nino 3.4 no Oceano Pacífico Central.....	22
Figura 2. Características dos leitos dos rios	36
Figura 3. Esquema dos três pressupostos metodológicos.....	48
Figura 4. Direção da associação entre variáveis	53
Figura 5. Esquema geral de processos	60
Figura 6. Fluxograma da proposta metodológica.....	75
Figura 7. Perfil geomorfológico do Estado do Paraná.....	89
Figura 8. Infraestrutura de abastecimento SAIC	119
Figura 9. Localização da UTP de Guarituba no contexto da RMC.....	144
Figura 10. Esquema do sistema de controle de inundações da RMC	148

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Contexto da bacia hidrográfica do rio Piraquara.....	4
Mapa 2. Contexto da bacia hidrográfica do rio CALI	5
Mapa 3. Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Piraquara, PR.....	80
Mapa 4. Declividade da bacia hidrográfica do rio Piraquara, PR.....	82
Mapa 5. Geologia da bacia hidrográfica do rio Piraquara, PR.....	87
Mapa 6. Tipos de solos da bacia hidrográfica do rio Piraquara, PR	92
Mapa 7. Usos das terras da BHRP no ano 1996.....	104
Mapa 8. Usos das terras da microbacia do rio Piraquara, Junho de 2016	105
Mapa 9. Usos das terras da BHRP período 1996 - 2016	107
Mapa 10. Perda de solos na BHRP	123
Mapa 11. Unidade Territorial de Planejamento de Guarituba, ano 2016.....	146
Mapa 12. Zoneamento Ecológico e Econômico da BHRP.....	151
Mapa 13. Hipsometria da BHRC	163
Mapa 14. Declividade da bacia hidrográfica do rio Cali.....	166
Mapa 15. Geologia da bacia hidrográfica do rio Cali	169
Mapa 16. Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Cali.....	171
Mapa 17. Mapa da tipologia dos solos da bacia hidrográfica do rio CALI	173
Mapa 18. Coberturas das terras da BHRC ano 1998.....	185
Mapa 19. Coberturas das terras da BHRC no ano 2014.....	186
Mapa 20. Mapa das mudanças dos usos das terras da BHRC período 1998 - 2014	189

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. América do Sul. Países selecionados. Crescimento populacional. 1950 a 2025	31
Gráfico 2. Curva hipsométrica e diagramas de frequência altimétrica da BHRP	78
Gráfico 3. Climatologia registrada na estação Pinhais	84
Gráfico 4. Precipitações médias em estações meteorológicas da BHRP	85
Gráfico 5. Dinâmica populacional do Município de Piraquara entre 1970 e 2010....	99
Gráfico 6. Distribuição demográfica urbana e rural de Piraquara no 2016	100
Gráfico 7. Precipitação média anual em cinco estações	167
Gráfico 8. Índices de Qualidade das Águas (IQA). Cursos alto, médio e baixo do rio Cali. Período 1982 – 2006.....	197

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Cenários de gestão das águas metropolitanas	35
Quadro 2. Componentes da integração entre propriedades emergentes de bacias e desenvolvimento de áreas metropolitanas	45
Quadro 3. Variáveis teóricas, operacionais independentes e operacionais dependentes	51
Quadro 4. Descrição da metodologia PER adaptada à pesquisa	53
Quadro 5 Modelo de operacionalização das variáveis dependentes e independentes	53
Quadro 6. Matriz da estrutura biofísica das bacias hidrográficas.....	59
Quadro 7. Operacionalização da variável independente: mudanças nos doberturas das terras	62
Quadro 8. Operacionalização da variável independente: usos urbanos nos fundos de vale.....	63
Quadro 9. Operacionalização da variável independente: variabilidade climática....	64
Quadro 10. Operacionalização da variável dependente: abastecimento de água ...	66
Quadro 11. Operacionalização da variável independente: dinâmica das encostas e perdas de solos.....	67
Quadro 12. Operacionalização da variável dependente: serviços ecossistêmicos ..	70
Quadro 13. Operacionalização da variável dependente: estrutura ecológica da paisagem fluvial	71
Quadro 14. Matriz de <i>inputs</i> e <i>output</i> s.....	73
Quadro 15. Matriz de síntese de mecanismos de respostas	74
Quadro 16. Quadros de comparação.....	75
Quadro 17. Relações altimétricas das estações meteorológicas da BHRP	85
Quadro 18. Matriz da estrutura biofísica da BHRP	96
Quadro 19. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRP, Ponto 1	110
Quadro 20. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRP, Ponto 2	110
Quadro 21. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRP, Ponto 3	111
Quadro 22. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRP, Ponto 4	112
Quadro 23. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRP, Ponto 4	112
Quadro 24. Registros ENOS na região NINO 3.4 e aumentos ou diminuições de precipitações na BHRP, período 1986-2016	117

Quadro 25. Matriz de Inputs e Outputs	130
Quadro 26. Marco normativo da gestão ambiental territorial da RMC	135
Quadro 27. Matriz de respostas do tipo R1: usos urbanos em fundos de vale	149
Quadro 28. Matriz de respostas do tipo R2: mudanças nas coberturas das terras	152
Quadro 29. Matriz de respostas do tipo R3: variabilidade climática.....	157
Quadro 30. Matriz da estrutura biofísica da bacia hidrográfica do rio Cali	176
Quadro 31. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRC, ponto 1	191
Quadro 32. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRC, pontos 2 e 3.....	192
Quadro 33. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRC, Ponto 4 e 5	193
Quadro 34. Registros do fenômeno ENOS com aumentos e diminuições da precipitação na BHRC, período 1986 - 2016.....	195
Quadro 35. Avaliação do índice hidrogeomorfológico (IHG) na BHRC.....	199
Quadro 36. Avaliação do índice de qualidade ribeirinha (RQI) na BHRC	200
Quadro 37. Matriz dos inputs - outputs da BHRC	204
Quadro 38. Matriz de resposta do tipo R1: usos urbanos em fundos de vale.....	212
Quadro 39. Matriz de resposta do tipo R2: mudanças nas coberturas das terras .	213
Quadro 40. Matriz de respostas do tipo R3: variabilidade climática.....	215
Quadro 41. Estrutura dos planos estratégicos das áreas hidrográficas da Colômbia conforme o Decreto nº 1.640 de 2012.....	221
Quadro 42. Comparação do modelo de gestão hídrica de Brasil e da Colômbia...	223
Quadro 43. Comparação do contexto departamental e estadual das áreas metropolitanas de análise	228
Quadro 44. Comparação dos mecanismos de respostas diante os usos urbanos em fundos de vale	230
Quadro 45. Relação de comparação dos mecanismos de respostas perante a mudança nos usos das terras	233
Quadro 46. Relação de comparação dos mecanismos de respostas perante a Variabilidade Climática.....	234
Quadro 47. Comparação geral das áreas de estudo	236

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1. Morros à montante da BHRP, na Serra do Mar Paranaense no Município de Piraquara.....	78
Fotografia 2. Panorama da BHRP desde o Morro do Canal.....	81
Fotografia 3. Várzeas da jusante da BHRP	83
Fotografia 4. Floresta Ombrófila Mista na BHRP	93
Fotografia 5. Montante da bacia hidrográfica do rio Cali	161
Fotografia 6. Montante da microbacia hidrográfica do rio <i>Felidia</i>	161
Fotografia 7. Jusante da microbacia hidrográfica do rio Aguacatal.....	162
Fotografia 8. Jusante da microbacia hidrográfica do rio Felidia	164
Fotografia 9. Curso baixo do rio Cali no perímetro urbano.....	164

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação entre processos de pressão e impactos	50
Tabela 2. Parâmetros morfométricos da BHRP	77
Tabela 3. Hidrografia da BHRP	90
Tabela 4. Relação dos atores e atividades dentro da BHRP.....	102
Tabela 5. Coberturas das terras da BHRP nos anos 1996 e 2016.....	106
Tabela 6. Taxas de câmbio dos usos das terras da BHRP período 1996 – 2016 ..	108
Tabela 7. Comparação dos Índices de Qualidade das Águas (IQA) registrados para dois estações do rio Piraquara no período 1994 – 2016:.....	120
Tabela 8. Avaliação do índice hidro geomorfológico (IHG) na BHRP	125
Tabela 9. Avaliação do índice de qualidade ribeirinha (RQI) na BHRP.....	126
Tabela 10. Parâmetros morfométricos gerais da BHRC	160
Tabela 11. Altimetria das precipitações na BHRC.....	167
Tabela 12. Relação da população de <i>corregimientos</i> da BHRC	178
Tabela 13. Crescimento populacional da Área Metropolitana de Cali	179
Tabela 14. Relação dos atores e atividades dentro da BHRC	181
Tabela 15. Coberturas das terras da BHRC nos anos 1998 e 2014	187
Tabela 16. Taxas de câmbio das coberturas das terras da BHRC período 1998 – 2016	188

LISTA DE SIGLAS

RMC	Região Metropolitana de Curitiba
BHRP	Bacia Hidrográfica do Rio Piraquara
BHRC	Bacia Hidrográfica do Rio Cali
CVC	<i>Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca</i>
PER	Pressão, Estado e Resposta
MEI	Matéria, Energia e Informação
ZEE	Zoneamento Ecológico e Económico
TGS	Teoria Geral de Sistemas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
VC	Variabilidade Climática
POT	<i>Plan de Ordenamiento Territorial</i>
POTD	<i>Plan de Ordenamiento Territorial Departamental</i>
SIGPROM	Sistema Integrado de Gestão e Proteção aos Mananciais
UTP	Unidade Territorial de Planejamento
APA	Área de Proteção Ambiental
IQA	Índice de Qualidade das Águas
IHG	Índice Hidrogeomorfológico
RQI	Índice de Qualidade Ribeirinha
ENOS	<i>El Niño</i> Oscilação Sul
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
SIAC	<i>Sistema de Informaciones Ambientales de Colombia</i>
IDEAM	<i>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</i>
SAIC	Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba
TIN	Rede Irregular de Triângulos
MDE	Modelo Digital de Elevações
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ITCG	Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
AGUASPARANÁ	Instituto de Águas do Paraná
RUSLE	<i>Revised Universal Soil Loss Equation</i>
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná
IPEA	Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas
UPR	<i>Unidad de Planificación Rural</i>
UPU	<i>Unidad de Planificación Urbana</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.2 Pergunta da pesquisa	6
1.3 Hipótese	6
1.4 Objetivo Geral	6
1.5 Objetivos Específicos	6
1.6 Justificativas	7
1.7 Método	8
1.8 Estrutura da tese	10
2. RELAÇÕES SISTÊMICAS ENTRE BACIAS HIDROGRÁFICAS E ÁREAS METROPOLITANAS	12
2.1 Teoria Geral de Sistemas (TGS)	12
2.2 Bacias Hidrográficas: Unidades Sistêmicas Complexas	15
2.3 As Propriedades Emergentes das Bacias Hidrográficas	17
2.4 Processos hidrogeomorfológicos e socioeconômicos em Bacias Hidrográficas	19
2.5 A Bacia Hidrográfica na Gestão Integral dos Recursos Hídricos	37
2.6 Elementos da integração entre Bacias Hidrográficas e Áreas Metropolitanas	39
3. PROPOSTA METODOLÓGICA	47
3.1 Definição de Variáveis	49
3.2 Materiais, Ferramentas e Técnicas Seleccionadas	54
3.3 Procedimentos Metodológicos	55
4. RELAÇÃO BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAQUARA E A REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	76
4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BHRP	76
4.2 ANÁLISE DOS VARIÁVEIS DE PRESSÃO E ESTADO NA BHRP	98
4.3 INDICADORES DAS VARIÁVEIS DE ESTADO - BHRP	117
4.4 INTEGRAÇÃO ENTRE A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAQUARA E O PLANEJAMENTO E A GESTÃO AMBIENTAL DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	131
5. RELAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALI COM A ÁREA METROPOLITANA DE CALI	159
5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALI	159
5.2 ANÁLISE DOS PROCESSOS DE PRESSÃO E ESTADO DA BHRC	178
5.3 INDICADORES DAS VARIÁVEIS DE ESTADO - BHRC	196
5.4 INTEGRAÇÃO DO PLANEJAMENTO E GESTÃO DA BHRC NA ÁREA METROPOLITANA DE CALI	205
6 ANÁLISE COMPARATIVA	217
7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	239
8. REFERÊNCIAS	243

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas de contextos metropolitanos são unidades sistêmicas delimitadas por divisores de águas, com características hidrogeomorfológicas, que conformam uma rede de drenagem, que converge para um curso principal, ao mesmo tempo que, são espaços onde se expressam os complexos fluxos de informação, matéria e energia, entre os subsistemas sociais metropolitanos e os componentes e/ou subsistemas biofísicos da natureza (BID, 2012; GARCÍA, 2001; GWP, 2009).

No planejamento e gestão de territórios metropolitanos, essas bacias hidrográficas podem funcionar como unidades fornecedoras de recursos hídricos e de serviços ecossistêmicos¹, necessários para o suporte da vida e dos sistemas produtivos (CHRISTOPHERSON, 2012; GARCÍA, 2001; BID, 2012). Sabe-se, que por sua natureza hidrogeomorfológica, a dinâmica das bacias, evidencia relações de causa-efeito entre cursos altos e baixos (DOUROJEANNI, 2009; BIB, 2012). Neste sentido, o desmatamento e as mudanças provocadas pelas atividades de uso das terras², nos cursos médios e/ou nas montantes, de forma indevida, comprometem sistematicamente a auto-regulação hidrológica e hidráulica da bacia e, portanto, os serviços que ela fornece (PÉREZ, 1996; ORDOÑEZ, 2011; DOUROJEANNI *et al.*, 2002A; FAO, 2009).

Desde a noção sistêmica, essas bacias hidrográficas possuem propriedades emergentes, resultantes das complexas relações entre os seus componentes biofísicos, socioeconômicos e culturais, sendo constituída, portanto por vários subsistemas, todos com suas propriedades emergentes individuais, mas interagindo constantemente e conformando as grandes propriedades emergentes únicas do sistema como um todo (RODRÍGUEZ *et al.*, 2001).

¹ Serviços ecossistêmicos definidos como os benefícios que os seres humanos obtêm dos processos e componentes dos ecossistemas de uma determinada área, e que fazem explícita a relação entre sociedade e natureza (MEA, 2005; TURNER *et al.*, 2008). A avaliação dos ecossistemas do milênio ou *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA) classifica esses serviços em quatro tipos: I) de suporte; II) de fornecimento; III) de regulação; IV) culturais. Utiliza-se o conceito de “serviços ecossistêmicos” no âmbito acadêmico. Entretanto, “serviços ambientais” é o termo utilizado para descrever as mesmas relações e benefícios, mas nos âmbitos e discussões político-administrativas (BALVANERA *et al.*, 2010)

² Atividades de pastoreio, mineração, culturas de sobrevivência de populações de baixa renda e crescimento urbano, entre outras.

A produção hídrica de uma bacia é, de fato, uma propriedade emergente, resultante das complexas relações entre os seus componentes biofísicos internos e os ingressos de matéria, energia e informação, provenientes do exterior do sistema. Esses serviços e bens das bacias, integram-se ao desenvolvimento urbano e/ou metropolitano mediante práticas culturais, planejamento e gestão territorial, e mecanismos econômicos e financeiros, mas para isso devem ser consideradas as dinâmicas hidrogeomorfológicas e relações de causa-efeito entre suas montantes e jusantes (PLATT, 2009). Assim, as propriedades emergentes do subsistema natural da bacia, quando bem planejadas e gerenciadas, contribuem substancialmente para a melhora da qualidade de vida dos habitantes (subsistema socioeconômico), caso contrário, as mesmas podem representar uma série de ameaças e perigos naturais (GARCIA, 2001).

Os trabalhos de Dourojeanni (2009), e do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID, 2012), indicam que a expansão da urbanização³ representa o maior impacto e distorção nas propriedades emergentes dos subsistemas biofísicos das bacias hidrográficas. A expansão territorial urbana, e o incremento populacional, alteram as relações entre os componentes da bacia, por exemplo: o aumento das áreas impermeabilizadas por conta do avanço urbano, influem direta e indiretamente na diminuição das taxas de infiltração, no aumento do volume e velocidade do escoamento superficial, no aumento dos despejos sem tratamento, e mesmo em períodos de chuvas normais, repercutem diretamente no aumento dos picos das vazões devido à concentração das águas em canais artificiais, na potenciação dos perigos por transbordamentos, deslizamentos e nas inundações (TUCCI, 2007; DOUROJEANNI; JOURAVLEV, 1999).

Nesse sentido, o planejamento e a gestão das bacias hidrográficas em contextos metropolitanos da América do Sul, enfrentam diversos desafios devidos à transformação geral e consolidação dos modelos metropolitanos, resultado do crescimento populacional e das muitas relações econômicas, sociais e trabalhistas entre municípios e metrópoles regionais, e aos efeitos da variabilidade climática nos

³ Entende-se, para efeitos desta pesquisa, URBANIZAÇÃO como **quatro processos que tanto podem ser analisados isoladamente, quanto combinados**: 1) aumento da população urbana; 2) expansão territorial urbana, ou a extensão da superfície destinada e/ou ocupada por usos urbanos, inclusive os traçados de vias; 3) complexificação funcional dos espaços urbanos; 4) complexificação das relações entre espaços urbanos, conformando aglomerações urbanas como as áreas metropolitanas (Cf. WHITACKER, 2016).

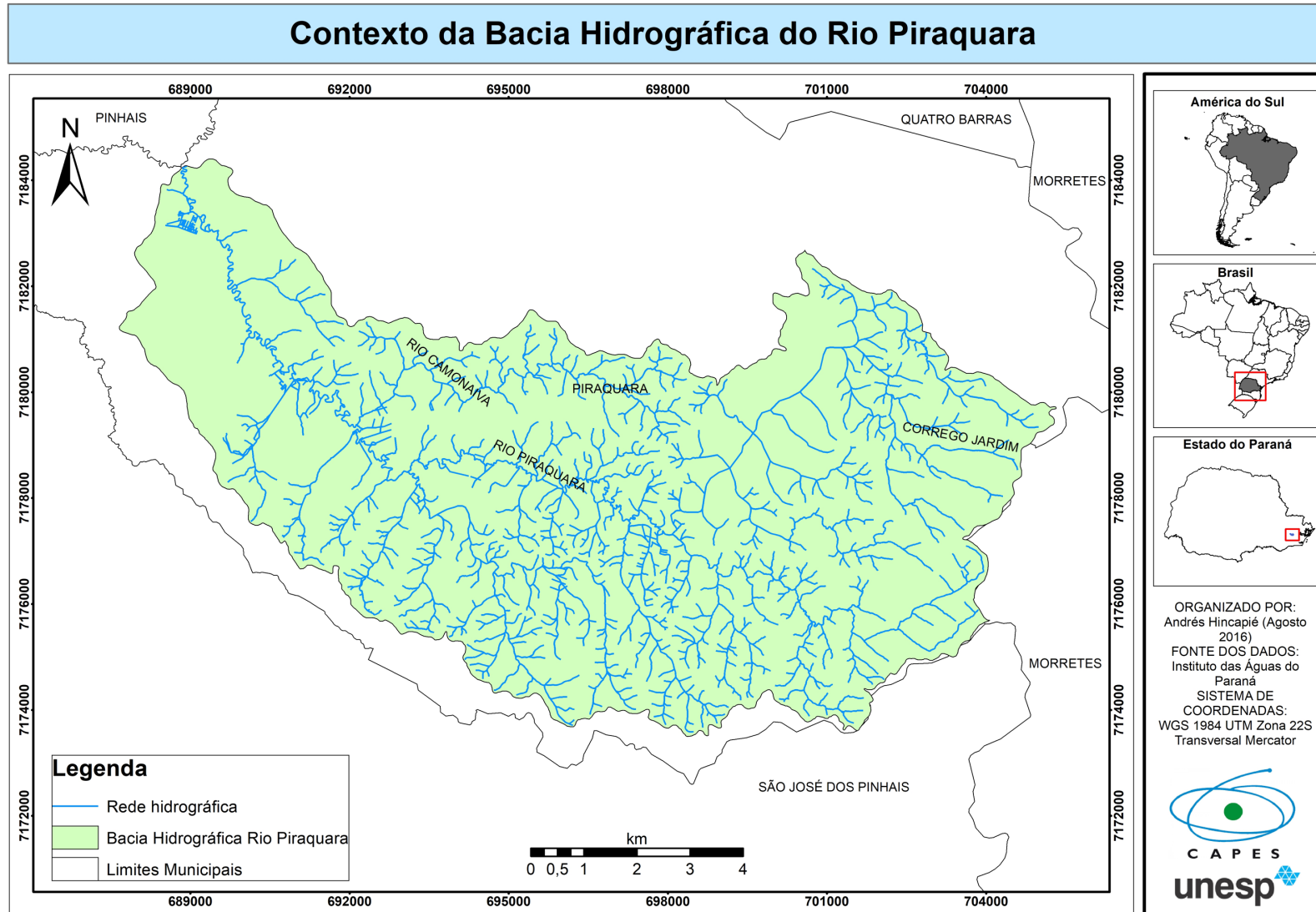
padrões de variáveis ambientais, como a precipitação, entre outros (CEPAL, 2014; MARTÍNEZ; PATIÑO, 2015).

Diante desse panorama visualiza-se uma necessidade de avaliar os caminhos do desenvolvimento dos contextos metropolitanos, ou seja, das relações Sociedade-Natureza nas bacias hidrográficas, com alcances suficientes para superar os desafios próprios da região da América do Sul. Assim, este trabalho visa identificar problemáticas territoriais da integração entre os serviços ecossistêmicos que produzem as bacias hidrográficas e o crescimento demográfico e económico característico de contextos metropolitanos em dois países da América do Sul. Para isso, a pesquisa propõe uma metodologia baseada na análise comparativa entre duas bacias hidrográficas e seus correspondentes contextos metropolitanos, fundamentada nas abordagens da Teoria Geral de Sistemas (TGS) de Bertalanffy (1968), no modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) e na aplicação integrada de técnicas e métodos de análises ambientais.

Na seleção das bacias e contextos metropolitanos de comparação e de análise, tomamos como ponto de referência e/ou baseamento empírico, a pesquisa realizada por Hincapié (2013). Nessa pesquisa foram analisados os modelos de cidade em Cali (Colômbia), na qual se encontra inserida a bacia hidrográfica do rio Cali, fornecedora de água a, aproximadamente, 20% da população da cidade de Cali. Para a seleção da segunda área de análise, foi considerada a referencia internacional de Curitiba, conforme a CEPAL (2012), que a relaciona como um modelo de desenvolvimento sustentável.

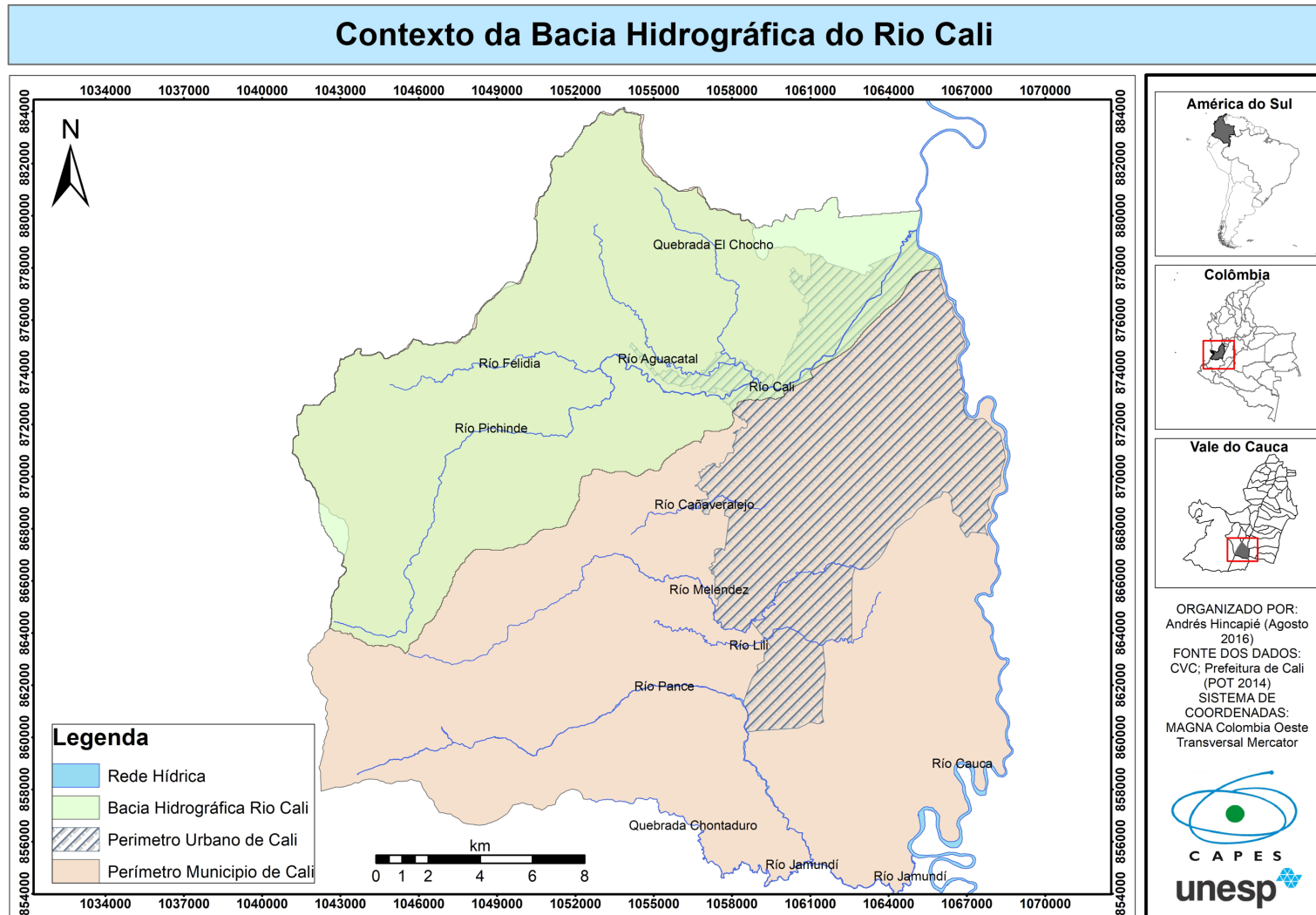
A partir dessa referência de Curitiba, selecionou-se uma bacia hidrográfica abastecedora da sua área metropolitana. Esta seleção levou-nos à escolha da microbacia hidrográfica do Rio Piraquara, que também é fornecedora de, aproximadamente, 20% da água do sistema de abastecimento metropolitano de Curitiba. Nesse sentido, o desenvolvimento deste trabalho considera as duas bacias hidrográficas de análise como componentes espaciais e dinâmicos, que se constroem, modelam e evoluem a partir da interação entre os subsistemas biofísicos e socioeconômicos de um sistema maior de natureza metropolitana. Os Mapas 1 e 2 apresentam as duas áreas de análise e comparação.

Mapa 1. Contexto da bacia hidrográfica do rio Piraquara



Fonte de dados: Instituto de Águas do Paraná, 2016. **Geoprocessamento e elaboração:** Hincapié, 2016.

Mapa 2. Contexto da bacia hidrográfica do rio CALI



Fonte de dados: CVC; Prefeitura de Cali, 2014. **Geoprocessamento e elaboração:** Hincapié, 2016.

1.2 Pergunta da pesquisa

De forma complementar à formulação da pergunta de pesquisa entende-se que as bacias hidrográficas e as áreas metropolitanas de análise e comparação, respondem de modo diferente aos estímulos do interior e do exterior do sistema. Consequentemente, a pesquisa considera a formulação de uma pergunta do tipo metodológica e qualitativa:

Quais circunstâncias e/ou processos se configuram como os principais obstáculos para uma integração coerente entre os serviços das bacias hidrográficas e o planejamento e a gestão territorial dos seus contextos metropolitanos?

1.3 Hipótese

Com o intuito de responder à pergunta de pesquisa, levanta-se a hipótese a seguir:

Os obstáculos estão associados com a intensificação e tipos de ocupação da bacia. Nesse sentido, a eficiência e efetividade da integração entre os serviços das bacias hidrográficas e o crescimento particular de uma área metropolitana depende da correspondência e sinergia que exista entre os mecanismos de respostas, normativas e institucionais, e suas diferentes escalas territoriais de implementação.

1.4 Objetivo Geral

Comparar e analisar os mecanismos normativos e institucionais do planejamento e gestão das bacias hidrográficas pertencentes a áreas metropolitanas de Curitiba e Cali, e identificar as problemáticas da integração territorial desses dois contextos: área metropolitana e bacia hidrográfica.

1.5 Objetivos Específicos

1. Analisar os componentes das estruturas biofísicas das bacias hidrográficas, nas montantes e jusantes assim como suas interconexões.

2. Quantificar o avanço das ocupações das bacias hidrográficas e analisar, desde a escala metropolitana, os processos de pressão sobre as funções nos altos e baixos cursos dos rios.
3. Identificar e analisar os mecanismos normativos e institucionais para o manejo integral das bacias hidrográficas e sua integração ao planejamento e gestão dos contextos metropolitanos.
4. Comparar os arcabouços normativos e institucionais para a integração entre: o manejo integrado de bacias hidrográficas; e o planejamento e gestão de áreas metropolitanas e, com isso, evidenciar os desafios para o desenvolvimento metropolitano.

1.6 Justificativas

A população urbana da América Latina e do Caribe, representa 80% do total dos seus habitantes, o que a torna a segunda região mais urbanizada do mundo. Segundo as projeções da CEPAL (2014), no ano 2064 haverão, aproximadamente, 652 milhões de pessoas morando nas áreas urbanas desta região, um aumento que implicará em enorme consumo de água, espaço e recursos. É preciso considerar as inter-relações entre economia, exploração de recursos naturais, degradação ambiental, crescimento populacional e expansão territorial urbana que, juntos, representam enormes desafios à gestão das cidades num contexto de ordem econômica mundial.

Perante estas dinâmicas sociais e econômicas, faz-se necessário mudar a perspectiva da escala espacial municipal e regional, para entender a urbanização também como um processo com relações em escala mundial, inclusive, apontando para debates em torno da competitividade das áreas metropolitanas, no que tange a busca por investimentos, ações e programas internacionais. Esta competitividade dependerá, substancialmente, da articulação interinstitucional e normativa, entre desenvolvimento social, crescimento econômico e urbano, e aproveitamento estratégico e sustentável dos recursos naturais.

Comparar as transformações espaciais a partir de análises de bacias hidrográficas de áreas metropolitanas, reveste-se de especial interesse para a administração pública, uma vez que interpretações e explicações sobre problemáticas comuns em contextos políticos, sociais, econômicos e ambientais diferentes, como é

o caso das duas áreas de estudo, ampliam a fronteira do conhecimento geográfico. O entendimento da intersecção entre temas atinentes à ordem mundial e à dinâmica espacial regional, outorgam à prática da geografia, um espaço na tomada de decisões governamentais importantes para o desenvolvimento da América Latina.

Em relação à bacia hidrográfica do Rio Cali, a falta de estudos e projetos de investigação sobre a dinâmica das mudanças nas paisagens locais, permite que os processos de ordenação e ocupação sejam dirigidos por ações que podem contrariar o planejamento focado ao bem comum, como por exemplo, imposições de grandes grupos econômicos, especulação de terras e informalidade, dificultando e limitando critérios para investimentos públicos e privados. Áreas já ocupadas, tanto quanto novas áreas de uso e usufruto, exigem uma constante análise e aperfeiçoamento dos instrumentos de planejamento e gestão para orientar processos de consolidação urbanos e/ou investimentos compatíveis com o potencial ambiental territorial.

Por fim, fazer uma análise comparativa utilizando os cenários institucionais e normativos, assim como a realidade da implementação de políticas ambientais urbanas, da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), pode evidenciar elementos com baixo potencial dentro do funcionamento do sistema metropolitano, que precisem repensar a sustentabilidade ou introduzir modificações tendentes à melhorias.

1.7 Método

A pesquisa aqui apresentada foi elaborada a partir de duas correntes de pensamento: o positivismo, do qual se resgatam os princípios universais da física mecânica e mediante os quais entende-se o funcionamento da dinâmica da natureza e do universo físico atuante e presente nas dinâmicas macrossistêmicas das bacias hidrográficas estudadas; e o materialismo histórico e dialético, cuja estrutura lógica ofereceu ferramentas conceituais para a análise complexa das inter-relações Sociedade-Natureza. Explicitamos, assim, que há um tempo natural e um tempo social e histórico, e dinâmicas espaciais, cujo principal determinante são as forças da Natureza e outros que se submetem às lógicas da sociedade. Implicitamente, pelo nosso entendimento das ações de planejamento e de gestão, compreendemos a submissão, direta ou indireta, efetiva ou intentada, da Natureza às lógicas da Sociedade.

Por sua vez, os princípios da Teoria Geral de Sistemas (TGS), proposta por Bertalanffy (1968) e relacionados nos trabalhos de Rodriguez e Silva (2013), foram utilizados na estruturação das análises desta pesquisa. A TGS, além de uma teoria, é concebida como uma forma de pensamento útil no entendimento das relações universais e da complexidade entre componentes das bacias. O pensamento sistêmico se afasta da metafísica. Por tanto é materialístico, holístico, integrador, e tem como fundamento a análise das relações do movimento da matéria e do pensamento, da confrontação dos contrários e, assim, da evolução do conhecimento.

Nesse sentido, entende-se o método como a forma de combinar ou organizar o conjunto de variáveis para responder aos questionamentos lógicos ou, como afirmado por Sposito (2004), o método é o caminho para chegar ao conhecimento, mas esse caminho possui ordem e medida. A seleção dos procedimentos lógicos e técnicas operacionais, que levam ao descobrimento das relações causais entre os fenômenos do objeto estudado, depende da relação do cientista com o mundo (SPOSITO, 2004).

Nesta tese, adotamos o método comparativo, baseado no pensamento sistêmico, o que permite-nos realizar inferências científicas de indução, dedução, de análise e de sínteses, a partir da analogia entre aspectos quantitativos e mudanças qualitativas do objeto de análise.

Especificamente, as experiências sobre a análise comparativa na Geografia, podem-se compreender que ocorreram desde o começo desta ciência, com os trabalhos de Alexander von Humboldt e Karl Ritter. Para Humboldt e Ritter a compreensão dos novos fatos era ajudada pela referência dos conhecimentos já adquiridos. De fato, a maior parte do debate metodológico de Ritter, era baseado na Geografia Comparada. No entanto, essa consolidação de analogias como um princípio da ciência geográfica, ocorreu com a obra *Principes de géographie humaine*, publicada por Paul Vidal de La Blache em 1895 (BRANDÃO, 2012).

Após a consolidação do espectro lablacheano na ciência, ao geógrafo norte-americano Richard Hartshorne, atribui-se o grande aporte consistente na formulação da análise epistemológica, de muito uso no campo metodológico atual. Desde a década de 1930, Hartshorne sugeriu a adoção de dois procedimentos de análise: a Geografia Idiográfica e a Geografia Nomotética. No primeiro caso, encarregada de identificar a singularidade de cada área, a partir da análise integrada dos diversos fenômenos que a constituem. O propósito do segundo, é a possibilidade da

comparação de distintas áreas. Com a comparação das integrações em distintas áreas, seria possível atingir um “padrão de variação” do fenômeno que se desejou analisar (BRANDÃO, 2012).

A respeito da consistência dos trabalhos de La Blache e Hartshorne, os precursores da *New Geography*, da primeira metade do século XX criticaram o emprego do método comparativo, argumentando que o que se chamava de geografia comparativa era realmente uma geografia sistemática.

Os cenários pós Segunda Guerra Mundial, deram um impulso forte às pesquisas direcionadas pelo método comparativo. Surgiu a necessidade, principalmente dos EE.UU., de fazer investimentos direcionados à comparação com as políticas econômicas e de desenvolvimento territorial dos países da Europa Ocidental. Estas pesquisas, foram a abertura à política comparada (GONZALES, 2008). Com a nova ordem mundial, o paradigma do neoliberalismo iniciado na década de 1970, torna-se uma realidade com reflexo em todos os campos da política e da economia, com efeito padronizador e de competição de todos os territórios e, neste contexto, a comparação ressurgiu como uma alternativa para aqueles que, conservando os princípios fundamentais, procuram a compreensão das formas de articulação das forças, nos diferentes espaços ingerenciados pelo Capitalismo (BRANDÃO, 2012).

1.8 Estrutura da tese

Esta tese divide-se em 7 capítulos: a presente introdução que este subtópico encerra, na qual, como já percorrido pelo leitor, apresentamos a situação, seleção de casos de estudo, problema de pesquisa, hipótese, objetivos, justificativa e método.

Os capítulos que seguem organizam-se em: um capítulo intitulado “Relações sistêmicas entre bacias hidrográficas e áreas metropolitanas”, referente ao marco teórico; um capítulo consistente na proposta metodológica e na descrição dos procedimentos metodológicos; um capítulo de operacionalização da metodologia na bacia hidrográfica e área metropolitana no Brasil; um capítulo referente à operacionalização da metodologia na bacia hidrográfica e área metropolitana na Colômbia; um capítulo de análise comparativa e, por último, conclusões e referências bibliográficas.

O capítulo referente ao marco teórico (capítulo 2), teve como objetivos principais, os de contextualizar a pesquisa e definir os conceitos utilizados e critérios para a comparação.

Os capítulos referentes às áreas de estudo (capítulos 3 e 4), se dividem, cada um, em três grandes componentes, que visam atender os três primeiros objetivos da tese. Esses grandes componentes são: características gerais das bacias, análise das variáveis de pressão e estado e, por fim, integração entre os serviços das bacias hidrográficas e o crescimento dos seus contextos metropolitanos.

Ao final de cada um desses componentes dos capítulos 3 e 4, há uma síntese relacionada ao cumprimento do objetivo. Por último, o presente trabalho foi organizado de modo que, o capítulo da análise comparativa (capítulo 5), responde ao cumprimento do objetivo 4 da tese.

2. RELAÇÕES SISTÊMICAS ENTRE BACIAS HIDROGRÁFICAS E ÁREAS METROPOLITANAS

Com o desenvolvimento deste capítulo, apresentamos o embasamento teórico e metodológico, que consideramos necessário e prévio à compreensão das relações sistêmicas entre subsistemas biofísicos e antrópicos em bacias hidrográficas, com influências sobre o desenvolvimento de áreas metropolitanas. Preocupamo-nos em adotar uma visão integradora, a partir da bacia hidrográfica, considerando-a como um sistema aberto totalizante, inserida em um contexto metropolitano, onde se expressam as relações entre Sociedade e Natureza, mediante trocas de energia, matéria e informação, e processos contínuos de produção de espaços urbanos.

2.1 Teoria Geral de Sistemas (TGS)

Considerando o objeto de estudo, inter-relações entre componentes biofísicos e antrópicos em um espaço delimitado geograficamente por divisores de águas, faz-se necessário, como suporte ao método, uma concepção integradora destes processos e componentes.

A Teoria Geral de Sistemas (TGS) fornece elementos conceituais, metodológicos, técnicos e científicos para o estudo de processos entre componentes individuais, quando analisados em conjunto ou quando assumidos como uma unidade com inter-relações complexas, que fazem parte de um conjunto maior (BERTALANFFY, 1968).

Com gênese na Biologia da primeira metade do século XX e pertencente à lógica matemática, a TGS transcende os campos multidisciplinares, no entendimento do mundo a partir de princípios universais de sistemas abertos, independentemente de sua natureza, componentes ou relações (BERTALANFFY, 1968; LATORRE, 1996; CHRISTOPHERSON, 2012; CHRISTOFOLETTI, 1999).

Desde a década de 1930, diversos cientistas, especialmente da Europa, elaboraram as bases experimentais e concepções da TGS (BERTALANFFY, 1968), no entanto, a construção do arcabouço desses princípios universais, coube a Ludwig Von Bertalanffy no trabalho “*Systems Theory*”, publicado pela primeira vez na década

de 1950⁴. Bertalanffy propôs um redirecionamento do pensamento científico, em um contexto em que imperava a visão reducionista e mecanicista do mundo. Assim, contrariamente ao paradigma da especialização do conhecimento e fragmentação das ciências, a TGS ofereceu outro foco, uma integração de funções e de componentes. Definiu-se então, um sistema aberto como um conjunto de elementos, com seus atributos, que podem estabelecer diferentes tipos de relacionamentos em função de um objetivo.

As relações entre os elementos de um sistema podem ser simples ou complexas, havendo dois tipos de complexidades: de detalhe e dinâmica (O'CONNOR; MCDERMOTT, 1998). A complexidade de detalhe, consiste no número de elementos e número de relacionamentos entre eles, entre maior número, maior complexidade. Na complexidade dinâmica, além das redes estabelecidas, os elementos adotam diferentes estados, podendo interagir uns com outros de diversas maneiras. O número de relações e o nível de complexidade do sistema, por cada novo elemento, aumenta de forma exponencial. Neste sentido, um sistema complexo terá elementos ou subsistemas que podem mudar de estado, e criar novas relações a cada momento, modificando dessa forma, o funcionamento inteiro do sistema. O conhecimento das relações entre os componentes dos sistemas, pode ser usado para prever os efeitos e produzir ou guiar o comportamento geral do sistema (O'CONNOR; MCDERMOTT, 1998; CAPRA, 1996).

A maioria dos sistemas não são rígidos em suas estruturas ou funcionamentos. Devido às dinâmicas e mudanças endógenas e influências exógenas, utiliza-se, por tanto, o termo “equilíbrio dinâmico”, para descrever o comportamento e adaptação dos sistemas às mudanças e ao aumento das capacidades de retroalimentação (CHRISTOPHERSON, 2012; CHURCHMAN, 1968). A retroalimentação dos sistemas funciona como “informações”, que são retornadas para o próprio sistema e podem orientar e até controlar as futuras operações dele. Se a retroalimentação não incentiva respostas no sistema, é uma retroalimentação negativa, ou seja, uma retroalimentação que causa autoregulação em um sistema natural, estabilizando o sistema. Se a informação de retroalimentação incentiva respostas no sistema, trata-

⁴ De 500 a 200 a.C. pensadores da antiga Grécia, entre eles Aristóteles, Anaxágoras e os Estóicos, já debatiam sobre o pensamento sistêmico e abarcador (Latorre, 1996).

se de uma retroalimentação positiva. Estes ciclos ou circuitos⁵ de retroalimentação, conformam a base de estudos da cibernética (CHRISTOPHERSON, 2012; BERTALANFFY, 1968; SILVESTRINI, 1998; JOHANSEN, 2000; O'CONNOR; MCDERMOTT, 1999; CHECKLAND, 1993; CAPRA, 1996; LOVELOCK, 1979; CHRISTOPHERSON, 2012).

As entradas (*inputs*), podem ser consideradas como as relações externas de um sistema com outro. Os sistemas recebem entradas, as transformam convertendo-as em saídas (*outputs*). Consequentemente, considera-se que as saídas são o resultado final do processamento que o sistema exporta para o entorno. Nesta perspectiva, os sistemas interagem de forma permanente com seu entorno e o entorno condiciona seu funcionamento. A sobrevivência dos sistemas, baseia-se na capacidade que eles têm em se adaptar às demandas do entorno. Os objetivos ou propósitos do sistema determinam seu funcionamento. Isso só é possível a partir das relações que tenham ocorrido entre os elementos do sistema, para processar as entradas, produzir saídas e interagir, segundo as demandas do entorno (CHURCHMAN, 1968; JOHANSEN, 2000).

Nesta abordagem, o complexo que representa um sistema não pode ser compreendido apropriadamente pela análise de componentes separados, e as características do conjunto não são explicáveis a partir da soma de partes isoladas. Essas propriedades do sistema, aparecem como “emergentes”, isto é, a análise integradora ou sistêmica, permite reconhecer um nível maior de propriedades únicas e surpreendentes do sistema, que não se consegue, analisando elementos funcionando de forma independente no mesmo conjunto (BERTALANFFY, 1968; CRISTOFLETTI, 1999).

A hierarquia é uma das propriedades mais importantes no pensamento sistêmico. Neste sentido, cada componente de um sistema pode ser considerado como um sistema pertencente a uma escala menor, ou seja, um subsistema. Da mesma forma, vários sistemas podem interatuar numa estrutura de maior escala e conformar um macrosistema (GARCÍA, 2001). Em diferentes níveis sistêmicos, correspondem distintos níveis de complexidade, ou seja, em cada nível, os fenômenos observados possuem propriedades que não se percebem em níveis inferiores ou

⁵ Utilizamos a palavra “circuitos” como alternativa à tradução do termo “*bucles*”, empregado no inglês.

maiores. Assim, as propriedades sistêmicas de um nível específico são as propriedades emergentes desse nível (CAPRA, 1996; MATTOS; PEREZ FILHO, 2004). As aplicações conceituais das propriedades emergentes da bacia hidrográfica, sob a noção de sistema hidrogeomorfológico aberto, serão tratadas no item 2.3 dessa tese.

O pensamento sistêmico é, então, um pensamento contextual, uma forma de perceber o mundo, onde processos são entendidos na relação dos componentes com o entorno. Logo, o pensamento sistêmico é um pensamento ambiental onde, todos e cada um dos elementos da Natureza e da Sociedade estão estreitamente relacionados em diferentes escalas, fazendo parte de um sistema maior ou macrosistema (CARSON, 1964; CAPRA, 1996; LOVELOOK, 1985).

Aplicado aos objetivos desta pesquisa, a TGS fornece um modelo de análise hierárquico das relações complexas entre os componentes das bacias hidrográficas e áreas metropolitanas, considerando para tais fins, os aspectos biofísicos próprios da superfície da Terra (hierarquia maior que inclui o ciclo hidrológico, ciclo geológico, ciclos biológicos, clima, etc.), e os componentes socioeconômicos que transformam a paisagem natural, mediante diferentes hierarquias políticas e socioambientais, que se refletem na transformação e gestão dos territórios.

2.2 Bacias Hidrográficas: Unidades Sistêmicas Complexas

2.2.1 Relações entre os componentes do sistema da bacia hidrográfica

O objeto de análise da pesquisa refere-se a microbacias ou sub bacias hidrográficas, inteiramente ou substancialmente inseridas em áreas metropolitanas. Para o caso brasileiro, escolheu-se uma microbacia com uma superfície de 102 km² e, no caso colombiano, selecionou-se uma sub bacia de 215 km² de área.

Baseando-nos, nos trabalhos de Churchman (1968), as inter-relações entre os componentes e o entorno da bacia, podem ser representadas em termos dos seguintes componentes: processos (P); recursos (R); ambiente (A); gestão (G); controle ou retroalimentação (C); objetivos (O) e; saídas ou resultados (S) (GARCIA, 2001):

$$S = S\{P[R(A, G, C), G(O, A), C]\}$$

A equação indica que os bens e serviços (*outputs*) das bacias hidrográficas (S), dependem da relação entre os seus processos (P). A quantidade e qualidade dos recursos ou estoques da bacia (R), dependem de três aspectos: 1) do nível de exploração humana (A); 2) da gestão territorial (G) e; 3) da resiliência ou respostas do sistema às mudanças, ou seja, da retroalimentação do sistema (C). A gestão territorial (G) é um resultado do planejamento operacional (O) e das respostas do ambiente natural (A) (GARCIA, 2001). Em outras palavras, a bacia hidrográfica é um sistema produtor de recursos, bens e serviços ambientais (*outputs*), que sintetiza energia, materiais e informação (*inputs*), mediante processos que interferem na gestão, nos objetivos de manejo, e que estão inseridos em um sistema hierárquico maior, com o qual ela se inter-relaciona constantemente. Este ambiente pode ser um mosaico, uma região, uma área metropolitana, um bioma ou um geossistema maior (CHRISTOPHERSON, 2012).

2.2.2 Fluxos de Matéria, Energia e Informação (MEI)

O conceito de entropia (S) permite especificar as transformações e a dispersão da energia numa bacia, sub-bacia ou microbacia hidrográfica. Para um sistema aberto e não isolado, a variação de entropia (dS) é igual à entropia gerada no seu interior (diS), mais a entropia importada do exterior (deS), associada ao fluxo de massa e de energia (PRIGOGINE, 1962, citado por RODRIGUES, 1997).

$$\begin{array}{rcl} dS & = & deS + diS \\ diS & \geq & 0 \end{array}$$

Nesta lógica, o primeiro princípio fundamental da termodinâmica, afirma que a energia é constante, mas que muda de uma forma para outra. O segundo princípio da termodinâmica, ou entropia, designa que, em processos naturais a energia só pode variar numa única direção, de uma forma de energia mais utilizável para uma forma de energia mais degradada, assim o nível de entropia presente em diferentes partes de uma bacia hidrográfica, indica o grau de desorganização, ou de desordem do sistema, mesmo que revele o trabalho realizado e o nível da “qualidade” da energia com que ela dispõe (DOUREJEANNI, 1994; HENAO, 1988).

A regulação da energia e a entropia de uma bacia hidrográfica é uma propriedade emergente de que trata esta tese, e que será tratada nos itens seguintes.

No entanto, podemos exemplificar essa qualidade, mediante os processos da morfoescultura (escoamento superficial, erosão hídrica, arraste de materiais, redes de drenagem, sedimentação, denudação). Estes processos ocorrem mediante interações dirigidas pelas mudanças de energia e aumentos da entropia. Os trabalhos realizados pela energia potencial e cinética, resultam numa estrutura física equilibrada que, em aparência é estática, mas que muda constantemente, ainda mais pelas intervenções do Homem (CHRISTOPHERSON, 2012; DOUREJEANNI 1994; HENAO 1988). O entendimento e aplicabilidade das duas equações anteriores conformam a base para a análise dos casos de estudo e comparação⁶.

2.3 As Propriedades Emergentes das Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas possuem características dos sistemas abertos, entre elas a sinergia, retroalimentação e propriedades emergentes em cada nível sistêmico, ou seja, independentemente da sua escala ou da hierarquia, na qual se encontrem (CHRISTOPHERSON, 2012; BERTALNAFFI, 1968; RODRÍGUEZ *et al.*, 2001). A respeito Earls (2009) afirma:

As bacias hidrográficas são sistemas complexos adaptativos, sistemas que têm comportamentos integrados ou emergentes que não se podem explicar a partir das propriedades dos seus componentes individuais. As bacias hidrográficas são hierárquicas e muito diversas entre elas, mas todas têm um padrão geométrico fractal comum (EALRS, 2009, p.16).

Essa auto-organização geométrica, em formas de fractais das bacias hidrográficas, depende das relações entre os gastos de energia do sistema, o trabalho realizado na formação de paisagens fluviais e a entropia gerada (CRISTOFOLETTI, 1981). Assim, uma das propriedades emergentes mais importantes do sistema hidrogeomorfológico da bacia hidrográfica é a auto-regulação da energia. Os fatores hidrológicos e geomorfológicos se combinam para ajustar as formas dos canais e dos

⁶ Devido à magnitude e sua complexidade de medição, as trocas de matéria, energia (MEI) e informação entre os componentes das bacias hidrográficas não serão relacionadas em detalhe, no entanto, utilizam-se como conceitos para entender os objetos de análise.

vales até um estado ótimo, no qual o sistema consegue minimizar ao máximo a perda de energia dos fluxos. Esse ajuste de relações entre formas geométricas dos canais, tipos de vales e taxas de dissipação de energia, se transfere de forma regular para todos os trechos do sistema fluvial, gerando assim, uma estrutura e comportamento fractal (MOLNÁR *et al.*, 1998; RODRÍGUEZ *et al.*, 2001).

Cada trecho do sistema, corresponde a um gasto mínimo de energia. Portanto, todo o sistema tem um balanço de energia por unidade de área (EARLS, 2009). Essa dissipação de energia do sistema físico, em cada trecho, gera relações intrínsecas com componentes biológicos, o que é chamado de funções ecológicas dos sistemas fluviais. Essas relações se apresentam como fractais, onde em cada trecho há uma relação ecossistêmica (VANNOTE *et al.*, 1980; HANSSON *et al.*, 1995; THORP *et al.*, 2006). Em conjunto, componentes físicos e bióticos, em diferentes escalas fractais, conformam o metabolismo do sistema, mediante o qual, se sintetiza e integra a energia, produzindo biomassa e gerando benefícios aproveitáveis. Nesse sentido, o metabolismo ecossistêmico é outra propriedade emergente das bacias hidrográficas, integradas à dinâmica da sociedade, mediante serviços ecossistêmicos e, conseqüentemente, serviços ambientais (COSTANZA *et al.*, 1997; RODRÍGUEZ *et al.*, 2001; TURNER *et al.*, 2008).

As funções biofísicas e socioeconômicas das bacias hidrográficas, são definidas a partir das propriedades emergentes (NADAL, 1993; PARRA, 1996; 1988). No âmbito de planejamento e da gestão, essas propriedades e funções das bacias, ou de trechos das bacias, podem se ajustar às diferentes visões territoriais. Apresentamos, a seguir, algumas das funções da bacia hidrográfica nos propósitos de desenvolvimento de áreas metropolitanas (CHARRIA, 2001; NADAL, 1993; CVC, 1995; DOUROJUEANNI, 1994; OEA, 1978; VARELA, 1992; PARRA, 1996; 1988):

- Uma área para coleta e fornecimento de recursos hídricos, úteis na produção agrícola e abastecimento urbano, assim como para a satisfação dos requerimentos naturais próprios do sistema fluvial;
- Armazenamento de recursos hidráulicos, para produção de energia elétrica, para regulação de vazões e/ou para assegurar o abastecimento em períodos de estiagem;

- Uma fonte de recursos naturais tangíveis e de exploração sustentável (produção agrícola e pecuária, agricultura de subsistência, exploração madeireira, mineração controlada);
- Uma fonte de recursos naturais intangíveis, isto é, uma fonte de serviços ecossistêmicos exploráveis, para o ecoturismo, sequestro de carbono, filtração do ar, regulação do clima, paisagem, lazer, práticas culturais e atividades ligadas à espiritualidade, entre outras;
- Uma rede de drenagem natural, aproveitável nas atividades urbanas, desenhos urbanos ou de saneamento;
- Uma zona de recarga de aquíferos e de eixos fluviais, com corredores ecológicos, consistentes em mata ciliar e rondas hídricas, que ligam as dinâmicas biofísicas longitudinais, com as laterais e horizontais, da montante à jusante.

2.4 Processos hidrogeomorfológicos e socioeconômicos em Bacias Hidrográficas

2.4.1 Morfometria

Os parâmetros morfométricos de uma bacia permitem identificar, *a priori*, parte da resposta hidrológica dos tempos de concentração hidráulica e da dinâmica do escoamento superficial, durante um fenômeno de precipitação. Alguns dos parâmetros utilizados serão: I) fator da forma, determinado mediante a relação da área e o quadrado da longitude, que indica a tendência da bacia aos aumentos súbitos do volume dos escoamentos. Um fator de forma superior, indica uma tendência da bacia à concentração de escoamento, de forma rápida após a precipitação; II) índice do *Gravelius* que, mediante a relação com a área de um círculo, mede a concentração do volume do escoamento. Quanto maior é o índice de Gravelius, maior será a diferença da forma da bacia com um círculo e, conseqüentemente, menor será a concentração dos volumes de escoamento; III) a declividade que, desde a morfometria, define a velocidade e tipo de escoamento, assim como a movimentação das camadas de solo e matéria (REYES *et al.*, 2010) Em síntese, os parâmetros morfométricos permitem vislumbrar parte dos processos de modelamento de

paisagens fluviais e das movimentações da matéria e energia, que influem na ocupação da bacia e, portanto, sobre o planejamento e a gestão.

2.4.2 Climatologia e Processos Atmosféricos

Os aspectos meteorológicos e climatológicos são fatores determinantes no tipo de vegetação e na formação de solos nas bacias, ambos os casos relacionados pelas escalas de tempo. Os fatores estáticos (latitude, altitude, proximidade do oceano), são responsáveis pela quantidade de energia solar que chega, e pelos fatores dinâmicos (massas de ar e frentes), responsáveis pelo ritmo da sucessão habitual dos estados atmosféricos (DANNI-OLIVEIRA, 1999).

O clima é um conceito abstrato, elaborado a partir de registros estatísticos de eventos meteorológicos, que resulta ser um fator determinante, e de longo prazo, na formação de solos e nas características dos biomas. O tempo meteorológico, adquire importância nas análises de bacias hidrográficas, portanto processos atmosféricos diários, que atuam localmente, estabelecendo relações entre o comportamento hidráulico das bacias hidrográficas e os fenômenos das precipitações pluviais máximas (JARAMILLO, 2002).

Assim, o tempo meteorológico e o clima, são resultado das interações entre radiação solar (entrada da energia solar no sistema), atmosfera (movimentos regionais), forma e movimentos da Terra (zonalidade) e características da superfície terrestre (topoclima), (DANNI-OLIVEIRA, 1999). Nesta ordem, o tempo e o clima das áreas de estudo estão condicionados por processos atmosféricos, que interagem desde três tipos de escalas geográficas: a zonal, a regional e a local. As variações do tempo meteorológico e o clima das áreas sob estudo, são produto da mudança climática, da variabilidade climática e do ritmo climático. Estas variações são consequências da taxonomia de três escalas espaciais, proposta por vários autores, para a análise de fenômenos atmosféricos; o nível macroclimático, o nível mesoclimático, e o nível microclimático (RIBEIRO, 1993).

Os processos atmosféricos do macroclima e zonalidade, incluem todas as camadas da atmosfera, ou seja, a escala macroclimática está relacionada com os aspectos de amplas áreas (grandes escalas), e de longa duração, isto é, a zonalidade. Nesta escala, define-se a circulação primária ou circulação geral da atmosfera, com destaque à Zona de Convergência dos Alísios, à Zona de Confluência Inter Tropical

(ZCIT), aos cinturões hemisférios de altas pressões nas latitudes médias, às zonas ciclônicas circumpolares, à Oscilação Sul associada ao *El Niño* e à circulação monçônica. (RIBEIRO, 1993).

Dentro do nível macro climático, ainda se encontra o clima regional, que inclui o estudo das áreas menores, isto é, de uma extensão horizontal entre 150 e 2500 quilômetros de largura. Essa classificação taxonômica, da climatologia geográfica, continua diminuindo a escala desde o mesoclima, ou clima local, passando pelo topoclima, até o microclima, que é o nível menor de análise. Contudo, a escala de análise depende do alvo do pesquisador, neste caso, a pesquisa se focará na influência dos maiores níveis sobre o comportamento da bacia, ou seja, dos processos atmosféricos macroclimáticos, da zonalidade e do clima regional (RIBEIRO, 1993).

2.4.2.1 Variabilidade Climática e Mudança Climática

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization* – WMO), a variabilidade climática, define-se como as variações nas estatísticas dos parâmetros climáticos, em todas as escalas temporais e espaciais do clima, além dos eventos climáticos individuais (WMO, 2016). Entretanto, a mudança climática é definida como uma variação estatisticamente significativa no padrão médio do clima, ou da sua variabilidade. Diferentemente da variabilidade climática, a mudança climática persiste por um período bem prolongado de décadas ou mais (WMO, 2016).

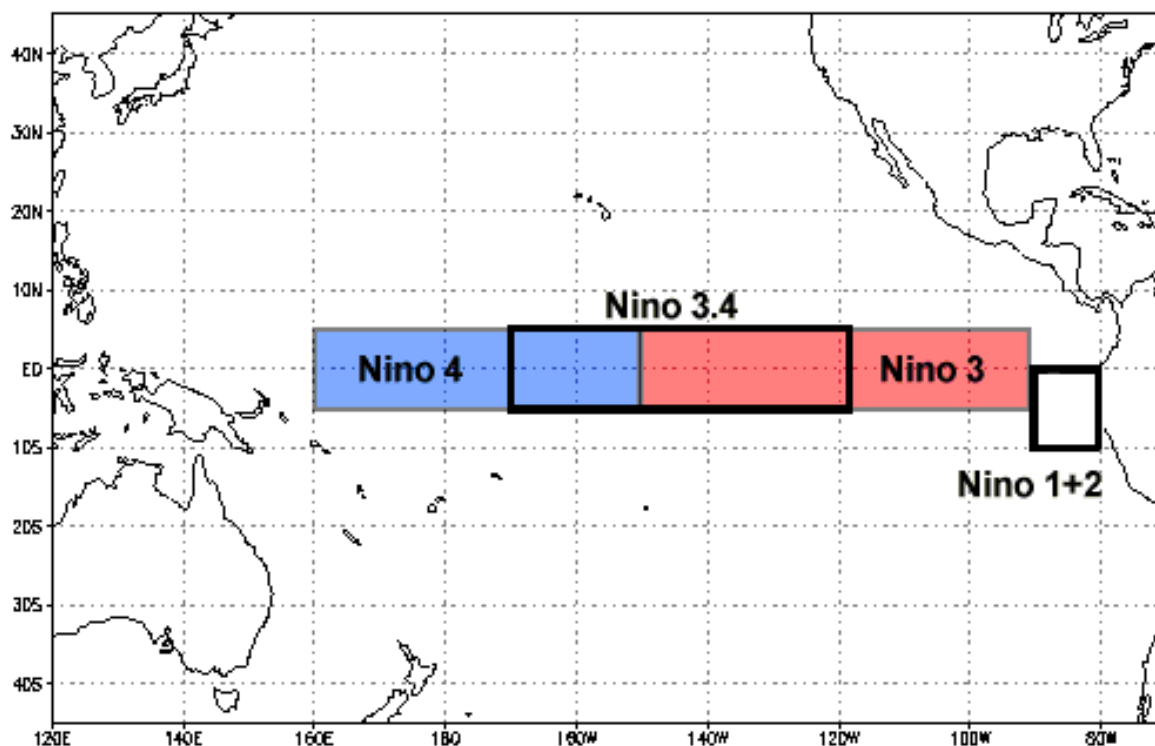
A variabilidade interanual, denominada *El Niño* Oscilação Sul, ou pela sigla ENOS, compõe-se de duas fases, a fase quente (Fenômeno *El Niño*) ou fase fria (*La Niña*). O ENOS é um dos fenômenos climáticos de maior influência nos padrões meteorológicos mundiais. Apresenta-se, simultaneamente, como um aumento da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico Equatorial e uma diminuição da intensidade dos ventos alísios (fase quente do *El Niño*), e na fase fria, ou *La Niña*, caracteriza-se pelo esfriamento da temperatura do mar no Oceano Pacífico Tropical devido ao aumento da intensidade dos ventos alísios (TEIXEIRA; MARTIN-VIDE, 2013; VAREJÃO-SILVA, 2006).

A ocorrência de um episódio ENOS na fase quente (Fenômeno *El Niño*) é confirmada só quando, durante cinco períodos de três meses consecutivos cada um, as Temperaturas da Superfície do Mar (TSM), na região “Nino 3.4” (no Pacífico

Central, entre os 5°N - 5°S e 120°-170° Oeste), apresentam registros de + 0,5 C°, superando a média mensal histórica. Por sua vez, para que haja confirmação do ENOS na fase fria (Fenômeno da *La Niña*), as TSM devem ter variações iguais ou inferiores a – 0,5 °C, registradas durante os cinco períodos consecutivos de três meses cada um (NOAA, 2016).

Os fenômenos do *El Niño* e *La Niña* são registrados mediante o índice Oceânico *El Niño* (ONI). Os dados ONI, referentes às temperaturas na região “Nino 3,4” do Oceano Pacífico Equatorial, são fornecidos pelo NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), através do site da *National Weather Center* (2017). A Figura 1 apresenta a região Nino 3.4.

Figura 1. Região Nino 3.4 no Oceano Pacífico Central



Fonte: NOAA (2017).

2.4.3 Dinâmica das encostas, perdas de solos e equilíbrio dinâmico

As dinâmicas das encostas, compostas por uma linha divisória de águas no topo e por um canal fluvial ou uma planície aluvial no fundo, favorecem a formação e perda de solos. As partes baixas favorecem os processos de acumulação de materiais e água, enquanto que nas partes médias e altas predominam os processos de

denudação e perda de materiais. Os processos relacionados à declividade, podem ser classificados em denudativos e deposicionais (JARAMILLO, 2002; SCHAETZL; ANDERSON, 2005).

Regularmente, em declividades íngremes, a gravidade e os processos erosivos geram perdas de materiais, estimulando os afloramentos rochosos e, quando a rocha fica exposta às constantes mudanças das condições meteorológicas, ocorre uma alteração física e química, e posterior fragmentação/desagregação dos materiais primários para, assim, formarem a estrutura dos solos. Deste modo, origina-se a partir da rocha e em um tempo geológico, o material térreo disponível para pedogênese de diversos tipos (JARAMILLO, 2002; SCHAETZL; ANDERSON, 2005).

Os fatores formadores de solos, descrevem-se mediante o modelo representado por cinco variáveis (SCHAETZL; ANDERSON, 2005; JARAMILLO, 2002; UNESCO, 2010):

$$S = f (C, R, O, D, T)$$

Onde:

S = desenvolvimento do solo; C = Clima; R = Rocha; O = Organismos; D = Declividade; T = Tempo

Segundo esta equação, o desenvolvimento dos solos é função do clima e dos organismos, que atuam sobre o substrato rochoso, em um processo controlado pela declividade e determinado pelo tempo. O entendimento da formação de solos, abrange uma enorme quantidade de variáveis relacionadas a cada um dos componentes da equação anterior. Por exemplo, processos geológicos e tipo de rocha (orogênese, derrames basálticos, rochas ígneas, metamórficas, sedimentares, minerais etc.), associações entre os organismos e microrganismos e as matérias do solo (artrópodes, nematódeos, anelídeos, fungos, algas etc.).

Os componentes físicos, em processos de perda de solos, relacionam-se com as dinâmicas específicas das encostas: comprimento, inclinação, exposição à radiação solar, cobertura e tipo de rocha. Junto à gravidade, determinam as perdas de solo, por exemplo. A relação entre a declividade e o comprimento de rampa, é diretamente proporcional à velocidade e a força do escoamento e arraste de materiais. Nestas variáveis físicas, interagem também a intensidade e duração das

chuvas, a estrutura molecular do solo e as formas do relevo (WINCHMEIER; SMITH, 1978; RENARD, 1996; BRUCE; WILKINSON; BRANDON, 2007).

Além das dinâmicas naturais, a intervenção antrópica nas encostas e nos relevos, conforma outro fator determinante na perda de solos. Os usos das terras, os conflitos ambientais por usos inadequados de solos e a presença ou ausência de práticas conservacionistas, são definitivas no aumento ou diminuição das taxas de perda de solos (WINCHMEIER; SMITH, 1978; RENARD, 1996). Em contexto, a erosão, degradação e ulterior perda de solos, ocorre pela relação direta de componentes físicos e sociais, antecedida pela colonização de terras, desmatamento, mudança de cobertura vegetal, avanço da fronteira agrícola, mecanização agrícola, mineração, fragmentação do sistema e impermeabilização de grandes áreas (MALAGÓN-CASTRO, 1998; ALCANIZ, 2008; PIMENTEL, *et al.*, 1995).

A importância dos solos, deve-se ao fato de eles sustentarem a vida dos ecossistemas e grande parte do desenvolvimento econômico e cultural das sociedades. Os solos são a base para a soberania alimentar e a sustentação da produtividade. A perda de solos é, por muito, um processo complexo que afeta vários aspectos fundamentais para o funcionamento dos ecossistemas naturais ligados ao desenvolvimento socioeconômico de assentamentos urbanos, além dos problemas por assoreamentos, que mudam a hidráulica dos leitos e canais fluviais naturais (velocidade, forma, área), e influem na diminuição da qualidade das águas (UNESCO, 2010; ALCANIZ, 2008).

2.4.4 Geomorfologia e modelagem das paisagens fluviais

No contexto da geomorfologia fluvial, os processos de modelagem da paisagem estão estreitamente ligados ao gasto energético e ao trabalho que a água faz sobre a litosfera (CHRISTOFOLETTI, 1981). A equação de energia de Bernoulli (1738), consequência da lei de conservação da energia, estabelece que a diferença de energia entre duas seções é igual à perda de energia no caminho percorrido entre elas pelo fluido, assim, a energia potencial é convertida, no fluxo, em energia cinética, que por sua vez, é grandemente dissipada em calor e fricção (LEOPOLD; LANGBEIN, 1962).

Quase 95% da energia de um rio é convertida em calor, devido à fricção com as paredes do perímetro úmido, durante os trabalhos de erodir e modelar a paisagem, e os 5% restantes são empregados no trabalho fluvial de transportar o material erodido (CHRISTOFOLETTI, 1981; LEOPOLD; LANGBEIN, 1962). Mediante esse gasto energético, os sistemas fluviais originam formas de relevo e contribuem para formação de solos, combinando processos denudacionais e de sedimentação (CHRISTOFOLETTI, 1981). Entre estas formas de relevo, considera-se importante destacar, no entendimento das dinâmicas das bacias hidrográficas, a sedimentação e formas do relevo nas planícies de inundação, os terraços fluviais e os vales fluviais.

2.4.4.1 Formação e tipos de vales

No intuito de identificar as características geomorfológicas dos pontos analisados em cada um dos casos de estudo (Brasil e Colômbia), consideramos relacionar seis tipos de vales extraídos e adaptados dos trabalhos de Rosgen (1996) e González, *et al.*, (2006). Esses tipos de vale descrevem as características dos cursos, segundo como eles aparecem na paisagem, podendo ser de alta montanha, nos cursos médios ou nas jusantes.

Vale Tipo I: localizado nos cursos altos das montanhas, pode-se classificar em três tipos diferentes, Tipo IA, Tipo IB e Tipo IC.

Vale Tipo IA: vale estreito com formas em “V”, de origem fluvial, cujas vertentes tem inclinações iguais ou superiores a 45°. Pertencente aos cursos altos de montanha e leitos de pequeno tamanho, mas com declividade longitudinal elevada. A sinuosidade do vale pode ser alta, como consequência das formas do relevo, mas com alguns trechos retos. A função destes trechos, é de erodir e transportar materiais por saltacão ou arraste de fundo, aproveitando a energia cinética do fluxo. Os materiais de arraste do leito, vêm das ladeiras mais próximas. As bordas são estáveis, geralmente com controle rochoso natural e cobertura vegetal, e o leito tem pouca redistribuição fluvial formando cachoeiras e/ou degraus.

Vale Tipo IB: vales em “U”, relativamente amplos, de origem glacial, mas, assim como o Tipo IA, corresponde as formas de alta montanha, com inclinações de suas vertentes igual ou superior a 45°. A declividade longitudinal desses trechos é intermediária ou baixa. A sinuosidade destes vales pode ser elevada por conta dos

processos fluviais que atuam sobre materiais soltos de origem glacial. Os materiais característicos dos leitos, são geralmente de diâmetros pequenos e vêm de sedimentos aluviais recentes, produto de glaciações. As bordas são geralmente instáveis, sem vegetação ou com distribuição irregular de árvores ou arbustos.

Vale Tipo IC: correspondente aos trechos de alta montanha, vales em forma de “U”, estreitos e confinados, com formação de canhões e/ou incisões rochosas com alta declividade e altura. A declividade longitudinal dos trechos é elevada ou intermediária e a sinuosidade pode ser elevada, em função do relevo acidentado, mas que pode ser reta e curta em alguns trechos. O material de arraste do leito é uma mistura entre coluviões e aluviões, que vêm das vertentes mais próximas e de águas de montante.

Vale Tipo II: vales relativamente abertos, cuja inclinação das ladeiras vertentes é inferior a 45°. Encontram-se em trechos altos e médios, que descem por terrenos de serras e montanhas baixas, ou nos trechos médios de rios montanhosos, onde ainda falta a configuração das planícies de inundação do curso principal. A largura deste tipo de vale é maior do que o Tipo IC, e a sinuosidade pode estar ligada ao relevo ou aos processos fluviais. Geralmente, os materiais de arraste do rio, referem-se à mistura entre aluviões e coluviões, em função da estabilidade das bordas. Há redistribuição fluvial e formação de trechos rápidos, assim como remansos.

Vale Tipo III: vales muito abertos e de largura considerável, com planícies de inundação bem definidas e com formação de terraços fluviais. Este tipo de vale, se localiza nos trechos médios e baixos de rios de maior tamanho, onde a influência pela afetação dos processos gravitacionais das ladeiras vertentes sobre os leitos é baixa. A profundidade dos leitos é menor em relação à largura, portanto o fluxo tende a se distribuir de forma uniforme por todo o leito, provocando a redistribuição de sedimentos e a criação de meandros, ligados aos processos fluviais de erosão e sedimentação. Os materiais transportados pelo rio nesses tipos de vale são dos dois tipos de origem (coluviões e aluviões), mas de diâmetro muito menor, ao ponto de o transporte ocorrer por flutuação ou dissolução.

Vale Tipo IV: vales pertencentes aos relevos planos onde os leitos são pouco encaixados, com planícies de inundação não confinadas. O rio pode serpentear sobre antigos depósitos sedimentares de origem fluvial, sobre os quais geralmente forma

várzeas ou lagoas, por conta da baixa declividade e frequente transbordamento do leito e elevação dos níveis freáticos.

2.4.5 Crescimento urbano e ocupação nas bacias hidrográficas

A maior parte da bibliografia sobre gestão de bacias hidrográficas urbanas, controle de enchentes e ciclos hidrológicos, relaciona a urbanização e o crescimento populacional como os processos mais relevantes para se considerar neste tipo de análise (TUCCI, 2007; GPW, 2009, CHOW, 1988). Como afirmado por Dourojeanni e Jouravlev (1999), não há nenhum aspecto da vida dos seres humanos ou do seu entorno, que esteja livre de afetações por conta do crescimento demográfico e da concentração urbana. A América do Sul é, conforme destacado no começo desta tese, a região com maior porcentagem de população urbana, superada só pela América do Norte. Além disso, espera-se que esta porcentagem poderá alcançar 85% para o ano de 2030 (CEPAL, 2016).

No contexto da nossa pesquisa, as afetações ao funcionamento dos sistemas bacias hidrográficas, de contextos metropolitanos, relacionam-se com o aumento das erosões, perigos e ameaças de deslizamentos, arraste de materiais, aumento de inundações urbanas, e os processos relacionados com movimentos gravitacionais. Entre os agentes geradores dessas afetações, sabe-se que se relacionam os manejos inadequados das terras às montantes, seja por urbanização ou conflitos socioambientais, por mineração ilegal, entre outros. No entanto, também com a ocupação urbana, às vezes em condição de ilegalidade, em áreas ambientalmente frágeis nas jusantes, fundos de vale ou mesmo em áreas de mananciais.

O crescimento urbano desordenado e característico da América do Sul, tem apresentado fortes impactos negativos sobre ecossistemas e áreas ambientalmente frágeis das bacias hidrográficas em contextos metropolitanos (MARTINS, 2006; TUCCI, 2005). Devido a sua rápida manifestação, esse avanço da urbanização, e consequente ocupação de diferentes espaços, não aptos em termos ambientais, não foi devidamente acompanhado pelas instituições gestoras. A geração de novos espaços, não teve o fornecimento de serviços de saúde, educação, abastecimento de água e de saneamento básico, assim como de vias de acesso e meios de transporte massivos, fatos da própria produção desigual da cidade latinoamericana (DOUROJEANNI; JOURAVLEV, 1999; RIBEIRO, 2009; 2000).

As ocupações em zonas ambientalmente não aptas para expansão urbana, como afirmado por Martins (2006), podem ser analisadas a partir da relação de oposição, que existe entre a moradia pobre e a preservação da paisagem natural. A primeira questão a analisar, é o tipo de ocupação realizada nessas áreas. A maior parte delas são ocupações irregulares, em condição de ilegalidade e com má qualidade de vida. A segunda questão a se analisar, é o cenário natural onde se acentuam, e posteriores impactos nos ecossistemas, importantes para a vida, devido à falta de infraestrutura de saneamento, drenagem e vias de acesso (MARTINS, 2006).

No espaço urbano os diferentes grupos sociais ou econômicos, nos limites de sua capacidade de articulação e força política ou econômica, disputam territórios e buscam aceder a melhores localizações e condições urbano-ambientais e afastar-se das inadequadas. Na disputa pelo espaço urbano, os mais frágeis na escala social são empurrados a confrontar-se com a natureza e a avançar sobre ela (MARTINS, 2006, p. 10).

Parte da problemática tratada por Martins (2006), deve-se à especialização do mercado imobiliário, que rejeita a faixa da população de baixa renda. No entanto, o tema da falta de moradia regular para a população de baixa renda é um assunto também ignorado pelas instituições. Nesse sentido Martins (2006) afirma:

[...] a marcante presença de assentamentos populares, precários e irregulares, nos lugares ambientalmente mais frágeis, “protegidos por lei”, interditados à edificação, desvalorizados, excluídos da produção imobiliária formal. Nesse contexto, a questão ambiental urbana é antes de tudo um problema de carência de uma política consistente de acesso à habitação de interesse social (MARTINS, 2006, p. 13).

A concentração da população urbana e o tamanho das cidades, são parte de um processo maior, relacionado às práticas do capital na produção do espaço (LEFEBVRE, 1976). A expansão urbana e, portanto, o avanço e ocupação de bacias hidrográficas na América do Sul, têm sido processos que ultrapassam a rigorosidade dos planos territoriais, dando como resultado, um ordenamento do território por defeito, influenciado pelas forças do capital. Na prática, esse ordenamento por defeito, se deve à especulação urbana e ao deslocamento de populações de baixa renda para

periferias socioeconômicas⁷, concentração de renda com infraestrutura urbana consolidada em zonas exclusivas e criação de centralidades sob o mesmo padrão.

Entender as ocupações urbanas em áreas ambientalmente não aptas, requer uma visão integral, uma vez que, enquanto processo, não é possível entendê-las de forma isolada. No âmago da problemática confluem questões econômicas, sociais, culturais, além da desarticulação institucional. Entretanto, surgem os questionamentos sobre as possíveis soluções à dicotomia do desenvolvimento econômico e a produção de espaços segregados. A esse respeito Martins (2012) afirma:

Considerando que o território tem dimensão finita e que a população urbana crescente deve acomodar-se em algum lugar, para que o espaço urbanizado não avance sobre áreas protegidas, e sobre o espaço natural de um modo geral, é necessário, de alguma forma, intensificar seu uso, superar desperdícios e democratizá-lo (MARTINS, 2006, p. 16).

Neste contexto, os efeitos das terras que mudam para uso urbano nas bacias hidrográficas são muitos, mas podem ser classificados pelo cenário onde ocorrem: I) à montante – desmatamento, perda de solo, diminuição das taxas de sequestros de carbono, perda de fauna local, mudança no regime hidrológico; II) à jusante - impermeabilização de solos, aumento das temperaturas pelo aumento da reflectância dos materiais, concentração e aumento das vazões em pontos específicos, aumento de poluentes nos escoamentos superficiais, canalização dos córregos, perda de vegetação ribeirinha, eliminação das dinâmicas de interações laterais, longitudinais e

⁷ Segundo Whitacker (2017), o termo periferia deve ser adjetivado. Para este autor o “*termo periferia geométrica*” refere-se a um “*dualismo espacial (centro-periferia)*” e “*leva a uma associação, já sedimentada em muitas análises urbanas, de identificação de uma área com um dado conteúdo social e econômico*”. Apoiando-se em Milton Santos, Whitacker (2017), complementa: “*Santos (2003), ao discutir o conceito de primazia urbana e sua identificação com as noções de centro e periferia (e lembrando que nessa obra o autor refere-se à análise regional e da rede urbana, portanto, fazemos aqui uma generalização a partir de seu escrito), adverte que: ‘A noção de periferia estava até aqui carregada da noção de distância, que constitui, de longe, o fundamento da maior parte das teorias espaciais e locacionais. A essa noção de periferia, dita ‘geográfica’, é preciso opor uma outra, a de periferia socioeconômica, se levarmos simultaneamente em consideração os lugares tornados marginais ao processo de desenvolvimento e, sobretudo, os homens rejeitados pelo crescimento. Estes homens formam a periferia social dentro do polo econômico e, se o modelo de crescimento continuar a ser o que é, estão arriscados, por longo tempo ainda, a encontrar aí sua única residência possível (SANTOS, 2003, p. 82)’. Com o objetivo de distinguir uma visão geográfica que não seja corográfica, substituímos o termo “periferia dita ‘geográfica’” pelo termo “periferia geométrica”, para marcar suas implicações e limitações*” (WHITACKER, 2017, p. 159).

verticais (pulso dos rios, planícies de inundação, enchentes, corredores hiporréicos) (TUCCI, 2007; ALAN, 2014).

2.4.5.1 O panorama do crescimento populacional na América do Sul

A pressão demográfica e o avanço da urbanização sobre as bacias hidrográficas em áreas metropolitanas na região da América do Sul, adquire uma relevância maior no âmbito deste trabalho. A CEPAL (2014), tem registrado um aumento populacional exponencial nesta região nos últimos 65 anos. Este comportamento, veio acompanhado de um aumento da porcentagem de população urbana, chegando à faixa geral de 80%, uma cifra que supera a média percentual da África e da Ásia. A estimativa é que a população urbana da América do Sul continue crescendo constantemente até o ano 2064, quando haveriam mais de 652 milhões de pessoas morando nem áreas urbanas (CEPAL, 2014).

O bloco de países da América do Sul⁸, passou de 240 milhões de habitantes em 1980 para 412,5 milhões no ano 2015, um crescimento de 71,8% em 35 anos (CEPAL, 2013). Este incremento demográfico, acompanhado da expansão de áreas construídas, tem ocorrido de forma insustentável com deterioração da qualidade dos ecossistemas, especialmente nas zonas de influência de grandes aglomerações urbanas, resultantes da polarização urbana e concentração em grandes cidades como São Paulo, Rio de Janeiro, Buenos Aires, Santiago de Chile, Lima e Bogotá D.C. (TUCCI, 2007; UNESCO, 1999).

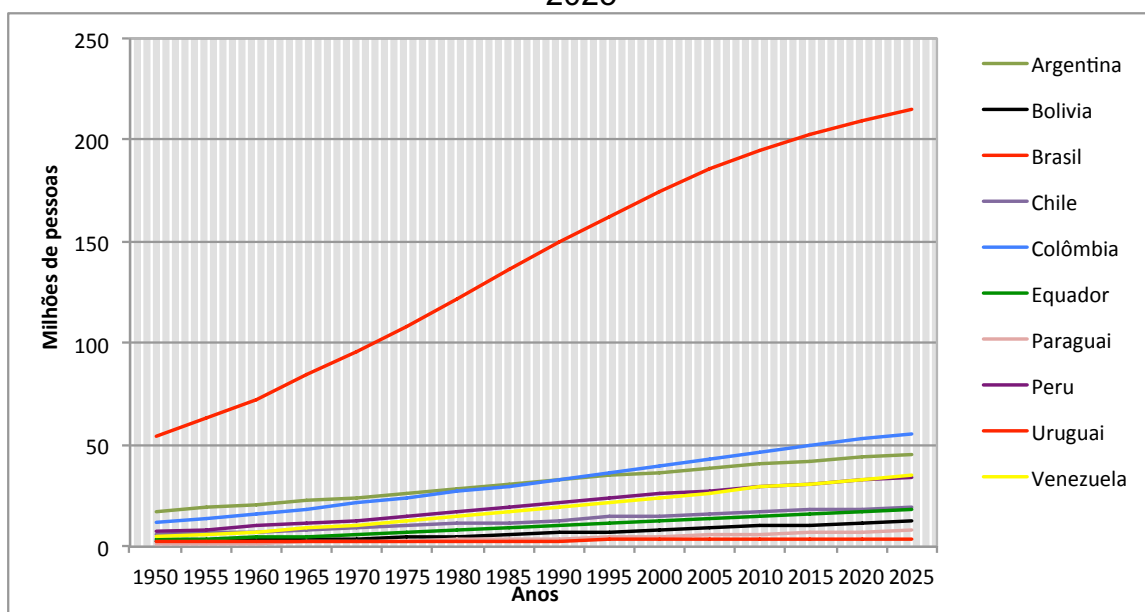
Esse incremento populacional combina-se à rarefação de infraestruturas, equipamentos e serviços urbanos, desigualdades em indicadores sociais, econômicos e ambientais, conformação de estruturas urbanas, cada vez mais complexas e, por outro lado, decorre da própria concentração do capital nestas grandes aglomerações urbanas (DE MATTOS, 2004).

No prognóstico, espera-se ainda, que o crescimento populacional projetado estará acompanhado das correspondentes demandas por água e serviços ambientais, e terão ligados, inumeráveis impactos nos complexos naturais das bacias hidrográficas e do ambiente em geral (DNP, 2014).

⁸ Não foram incluídos a Guiana, Guiana Francesa e Suriname.

O Gráfico 1, apresenta o comportamento do crescimento populacional na América do Sul. Deste grupo, destaca-se o Brasil e a Colômbia, que são, desde finais do século XX, os de maior população e os que possuem os maiores índices de crescimento demográfico. A população brasileira aumentou 66,7% em 35 anos. Por sua vez, a Colômbia, com uma população substancialmente menor, cresceu em porcentagem similar no mesmo período.

Gráfico 1. América do Sul. Países selecionados. Crescimento populacional. 1950 a 2025



Fonte de dados: (CEPAL, 2013). **Organização:** Hincapié, 2015.

No Brasil, dados comparativos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da *Comisión Económica para América Latina y el Caribe* (CEPAL) projetam que, o crescimento populacional será de 20,6% em 15 anos, passando de 173.448.346 de habitantes em 2010, para 218.330.014 de habitantes no ano 2025 (IBGE, 2013; CEPAL, 2013).

A ocupação do território nacional brasileiro consolidou-se, em termos gerais, a partir do litoral atlântico, com predomínio da densidade populacional na Região Sudeste. O aumento da produção industrial esteve ligado ao processo de urbanização e crescimento das cidades brasileiras, o que foi mais intensificado entre 1960 e 1980. Este progresso econômico da Região Sudeste do Brasil, atraiu grandes investimentos e grande parte de movimentos migratórios internos do país, além de migrações de outros países da América do Sul (BRASIL, 2009). A urbanização de áreas como São

Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Belo Horizonte, Curitiba e outras, caracterizou-se pela criação de complexas redes urbanas, compostas por áreas metropolitanas e cidades médias fornecedoras de serviços e habitação aos grandes polos de desenvolvimento industrial (ENCE, 2003; ARAUJO, 2009).

Na Colômbia, o *Departamento Administrativo Nacional de Estadística* – DANE, é o órgão encarregado de registrar o crescimento populacional e urbano, além de gerar diversas séries de dados econômicos e sociais. O DANE projeta que, para o ano 2020, a população no país será de 51 milhões de pessoas (DANE, 2005; DANE, 2015), dos quais 60% residirá na Região Andina, 21,2% na Região Atlântica, 17,3% na Região Pacífica e o restante distribuirão na Amazônia e na Orinoquia, que juntas possuem 42% do total do território (CEPAL, 2003; DANE, 2005).

Em relação à distribuição demográfica em zonas urbanas do território colombiano, o documento CONPES 3819 (DNP, 2014), identificou 34.728.900 pessoas em 2014 vivendo em áreas urbanas, sendo que destas 64,6% (22.440.037 de habitantes), distribuíam-se em 113 cidades funcionais⁹ ou aglomerações maiores que 100.000 habitantes.

Ao ritmo do crescimento demográfico do Brasil e da Colômbia, cabem, nesta pesquisa, os questionamentos relacionados às implicações do crescimento demográfico e urbano, traduzido no aumento dos consumos de recursos e demandas de espaços da população urbana da América do Sul (80% do total da população concentrada em áreas urbanas e áreas metropolitanas) e o futuro panorama das bacias hidrográficas, por conta dessa pressão nos estoques do capital natural.

2.4.6 A natureza das áreas metropolitanas brasileiras

A criação da Política Nacional de Desenvolvimento Urbano (PNDU) da década de 1970, decorreu de um momento desenvolvimentista brasileiro, quando, entre os anos 1973 e 1974, se criou uma política, que tinha o objetivo de consolidar as metrópoles, integrando, de uma forma geográfica e socioeconômica, os serviços e infraestrutura de municípios vizinhos, em função do desenvolvimento do modelo

⁹ O CONPES define as cidades funcionais como aquelas cidades receptoras de força laboral que se desloca diariamente desde cidades/municípios dormitórios.

industrial, isto é, um processo onde o Governo Federal identifica o papel fundamental que têm as grandes cidades na produção do espaço. O elemento unificador e epistemológico dessa política, é o conceito de rede, ou seja, a ligação entre os diferentes espaços urbanos (ENCE, 2003; ARAUJO, 2009).

Entre as bases para a PNDU, encontram-se a Lei Complementar N. 14 de 1973 e a Lei Complementar N.20 de 1974. Na primeira, estabeleceu-se, segundo seu Artigo 1, a constituição formal das Regiões Metropolitanas¹⁰ de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza.

A natureza das áreas metropolitanas, está ligada à mobilidade espacial, circulação de pessoas, integração das economias. Boa parte da mão de obra dos serviços da indústria nas metrópoles, dependiam, e dependem até agora, das atividades de cidades do entorno, independentemente de serem cidades pequenas ou médias. Essa integração, cria a necessidade da consolidação de sistemas de transportes metropolitanos, de planos de ações para a construção de capital fixo e infraestrutura. Ou seja, o objetivo das regiões é a integração, circulação e planejamento (FIRKOWSKI, 2013).

No âmbito dos estudos de metrópoles, assume grande relevância o conceito de movimento pendular, que é a condição básica de viagens de ida e retorno, desde cidades satélites ou dormitórios até as metrópoles, já consolidadas no setor de serviços, que atraem as populações vizinhas. Nesse sentido, cabe aqui a discussão sobre o papel das cidades médias. Muitas cidades médias que se encontram nas regiões metropolitanas brasileiras são, atualmente, as cidades que mais crescem devido, entre outras, ao aumento na recepção das atividades industriais, os preços dos terrenos para grandes empresas são melhores nessas cidades, por conta dos incentivos fiscais para novos empreendimentos industriais, e pela especulação imobiliária das grandes cidades (FIRKOWSKI, 2013; SPOSITO, 2015).

Essa mudança nas dinâmicas metropolitanas, baseadas no crescimento e consolidação das cidades médias, cria a grande necessidade da gestão integral das águas urbanas (abastecimento, rede de drenagem, redes de esgoto), como um componente ambiental do desenvolvimento sustentável de todo o contexto

¹⁰ Utilizamos-nos no nosso trabalho do termo “área metropolitana”, fundamentados em Souza (2005); no entanto, no Brasil o termo adotado nos documentos oficiais é o de “região metropolitana”. Apenas nas passagens em que se referenciam leis e outros dispositivos oficiais, mantém-se esta última denominação nesta tese.

metropolitano. Esse manejo e gestão integral das águas urbanas e metropolitanas, requer integração entre a projeção da infraestrutura urbana, o planejamento para a ocupação e transformação do espaço urbano e a preservação das funções hidráulicas e ecológicas dos sistemas fluviais de contextos metropolitanos (TUCCI, 2005).

2.4.7 Manejo integral das águas urbanas

Conforme os trabalhos de Tucci (2007; 2005), as orientações no manejo e gestão das águas urbanas decorre dos modelos de desenvolvimento de baixo impacto ou, LDI (*Low impact development*), com maior utilização nos EE.UU. O planejamento urbano de contextos metropolitanos, sob o paradigma do desenvolvimento sustentável, confere maior relevância aos componentes relacionados à infiltração e diminuição das concentrações, e aumentos de escoamento característicos de áreas impermeabilizadas (ALLISON *et al.*, 2008; TUCCI, 2005). O tratamento consiste em recuperar a capacidade amortecedora do sistema da bacia hidrográfica à jusante, mediante diversas estratégias de infiltração ou de retenção.

Em relação à relevância deste tipo de desenvolvimento, Tucci (2005) descreve duas plataformas sobre as quais é necessário desenvolver estratégias:

- I) controlar os impactos existentes através do cenário de ações corretivas estruturais que tratam da gestão por sub-bacias urbanas; II) medidas não-estruturais que levem aos novos desenvolvimentos a utilizarem um desenvolvimento com menor impacto e sustentável (TUCCI, 2005, p. 113).

Este tipo de plataforma, implica a articulação entre os diversos planos da cidade (plano diretor, gestão de mananciais, zoneamento urbano, planos de saneamento, plano de drenagem, gestão de resíduos sólidos e controle de inundações). Nesse sentido, confere-se também a maior importância à articulação e sinergia institucional e a definição de funções e ações conforme a relação das jurisdições com os espaços ou cenários da bacia hidrográfica (TUCCI, 2005).

O chamado à articulação entre instituições e a definição de funções, ações e jurisdições, refere-se à especialização de dois tipos de cenários da gestão, conforme a definição de espaço geográfico, externo ou interno à cidade. Para resumir as relações nos dois tipos de cenários de gestão apresentamos-os no Quadro 1:

Quadro 1. Cenários de gestão das águas metropolitanas

Espaço	Domínio	Gestores	Instrumento	Característica
Bacia hidrográfica*	Estado ou governo federal	Comitês e agências	Plano de bacia	Gestão da quantidade e qualidade da água no sistema de rios que formam a bacia hidrográfica, evitando a transferência de impactos
Município ou perímetro urbano**	Município ou área metropolitana	Municípios	Plano diretor urbano, plano integrado de esgotamento; drenagem urbana; gestão de resíduos sólidos	Minimizar os impactos de quantidade e qualidade dentro da cidade, nas pequenas bacias urbanas e não transferir impactos para o sistema de rios

Fonte: Tucci, 2005.

*bacias maiores (>1000 km²); **área de abrangência do município e suas pequenas bacias de macrodrenagem (<50km²).

2.4.7.1 Componentes do manejo e gestão integral de águas urbanas

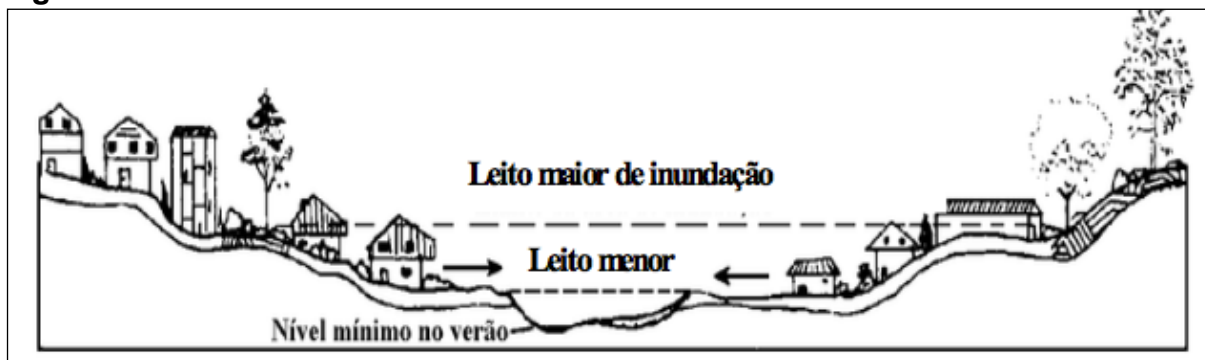
O conhecimento e o manejo técnico da hidrodinâmica da bacia hidrográfica é de vital importância para a integração entre os processos de ocupação urbana e a sustentabilidade ambiental. Entre esses componentes da gestão de águas, no âmbito de contextos urbanos e/ou metropolitanos, podemos destacar: os sistemas de monitoramento dos corpos hídricos superficiais, dentro e fora do perímetro urbano; o tratamento para o controle das inundações ribeirinhas, a gestão da drenagem urbana e; os desenvolvimentos de baixo impacto (TUCCI, 2005).

Os débitos de margens plenas ou *bankfull discharge*, é o termo utilizado na geomorfologia fluvial para descrever o débito que preenche, na medida justa, os canais fluviais e acima do qual ocorrerá transbordamento para as planícies de inundação (CRISTOFOLETTI, 1981). A afirmação anterior nos introduz nas dinâmicas fluviais, em fundos de vale e nos tipos de leitos, que podem existir na jusante de rios, e que devem ser considerados nos processos de expansão urbana, devido ao perigo que representam para os ocupantes destas áreas. A esse respeito, existem o leito vazante, o leito menor e o leito maior periódico ou sazonal, os quais variam em largura, conforme as dinâmicas temporais e trabalhos realizados pelos sistemas fluviais (erosão, transporte e sedimentação), que definem as magnitudes das inundações. Em alguns casos, pode existir um leito maior excepcional, ocupado pelas águas dos

períodos de retorno mais extensos (CHOW, 1988; CRISTOFOLETTI, 1981, TUCCI, 2007).

As inundações nos leitos maiores, são processos naturais que fazem parte do ciclo hidrológico das bacias hidrográficas, no entanto, os riscos e ameaças por inundação podem ser exacerbados pela ocupação indevida em fundos de vales, leitos maiores e/ou planícies de inundação. A Figura 2, representa estes tipos de ocupações junto às características dos leitos dos rios, em trechos com formação de vales amplos do tipo III ou IV, que foram descritos em itens anteriores.

Figura 2. Características dos leitos dos rios



Extraído de: Tucci, 2005.

Conforme os trabalhos de Tucci (2005; 2007), há dois tipos de medidas, estruturais e não estruturais¹¹, para o controle de inundações em contextos urbanos, que se relacionam diretamente com o manejo das terras às montantes das bacias hidrográficas. Entre o conjunto de medidas estruturais, incluem-se as obras de regulação hidráulica (diques, canais artificiais, lagoas de armazenagem, revestimentos, superfícies filtrantes etc.). Este tipo de estrutura se combinam com soluções e medidas não estruturais, como a delimitação de uma estrutura ecológica urbana, planos urbanos rigorosos com restrições à ocupação de áreas de proteção ambiental, aprofundamento da educação ambiental, formulação dos planos de poupança de águas, programas de aproveitamento de águas das chuvas e retenção

¹¹ As medidas estruturais entendem-se como obras da engenharia civil enquanto que as não estruturais são entendidas como o treinamento social e cultural perante as ameaças e riscos por inundação.

pluviométrica domiciliar, entre outras ¹² (TUCCI, 2007; 2005; 2000), aos que acrescentaríamos, a produção da cidade a partir de ditames de equidade e justiça social.

2.5 A Bacia Hidrográfica na Gestão Integral dos Recursos Hídricos

2.5.1 O manejo setorizado de bacias hidrográficas

As primeiras políticas públicas especializadas no manejo de bacias hidrográficas no contexto do continente americano, foram introduzidas desde a Europa no começo do século XX, e formuladas sob a visão técnica e de princípios da engenharia hidráulica, com a perspectiva de produção elétrica em usinas e explorações florestais, com desenvolvimento econômico a partir dos recursos naturais. Neste contexto, o termo manejo de bacias indicava a adequação dos usos das terras e a manipulação dos recursos naturais para controlar vazões, prevenir as inundações, atenuar os processos de sedimentação e evitar prejuízos em lavouras, infraestruturas e na população (BID, 2012; SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002; DOUROJEANNI; JOURAVLEV; CHÁVEZ, 2002).

Este tipo de política setorizada, de manejo de bacias, fundamentou-se em princípios econômicos sob os quais se criou, na década de 1930, a *Tennessee Valley Authority* (TVA), um reconhecido exemplo mundial que integrou os esforços e interesses territoriais de vários estados dos EE.UU., através de uma entidade federal administradora de recursos hídricos (DOUROJEANNI; JOURAVLEV; CHÁVEZ, 2002). A TVA gerenciou e disponibilizou a água da bacia hidrográfica do rio Tennessee, mediante a construção de hidroelétricas, obras de regulação hidráulica, barragens e distritos de irrigação que sustentaram enormes projetos de desenvolvimento agrícola e industrial (FAO, 2009; BID, 2012; DOUROJEANNI; JOURAVLEV; CHÁVEZ, 2002; YAMAMURA; IWASA, 1984).

O sucesso da TVA no manejo setorizado de bacia hidrográfica, motivou a criação de diferentes entidades de bacia hidrográfica em vários países da América do Sul, entre eles: *Corporación Autónoma del Valle del Cauca* (CVC), na Colômbia em 1954; *Corporación del Río Santa*, no Peru e; a *Comissão do Vale do Rio São Francisco*

¹² Consideramos desnecessário relacionar e descrever completamente estes dois tipos de medidas para o controle de inundações; no entanto, grande parte da nossa pesquisa apoia-se, de forma teórica e técnica, nos conteúdos e postulados dos trabalhos de Tucci (2007; 2005).

(CVSF), no Brasil, na mesma época (DOUROJEANNI; JOURAVLEV; CHÁVEZ, 2002). Contudo, embora criassem-se instituições para a administração da água, estas não tinham as faculdades ou responsabilidades como órgãos gestores encarregados de políticas, planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos sob a concepção integradora (CEPAL, 2000).

2.5.2 Visão sistêmica e integradora na gestão de recursos hídricos

Lanna (1993) definiu a gestão integrada de recursos hídricos como uma atividade analítica, focada na criação de princípios e diretrizes, e materializada em documentos orientadores e normativos, na conformação de estruturas gerenciais e orientações para tomada de decisões, com o objetivo principal de promover o inventário, uso, controle e proteção dos recursos hídricos. Por sua vez, o gerenciamento de recursos hídricos abrange um conjunto de ações governamentais, refletidas através de leis e marcos normativos, e a configuração administrativa adotada na organização do Estado para gerir os recursos hídricos. Há, portanto, uma diferença entre as definições de manejo e gestão. A gestão é um conceito de máxima abrangência que inclui a participação social, a ingerência do setor particular, o marco normativo e o modelo de gerenciamento. Entretanto, o gerenciamento é considerado uma atividade do governo relacionado à administração.

De forma similar, o conceito de gestão integral de recursos hídricos (GIRH) é bem diferente da noção de manejo integrado de bacias hidrográficas. A GIRH envolve os aspectos políticos, socioeconômicos e institucionais para o uso e conservação dos recursos hídricos, ao passo que o manejo integral de bacias hidrográficas é um componente da GIRH, que consiste, principalmente, em aspectos técnicos relacionados ao uso e aproveitamento sustentável da água e recursos naturais ligados à bacia hidrográfica (DRAKE; HOGAN, 2013; SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002).

Neste sentido, diversos autores consideram a bacia hidrográfica como a unidade hidrológica, nacional e espacial, que integra o gerenciamento e a gestão dos recursos hídricos, em função da topografia e relevo, adequada para a implementação das políticas hídricas (AGUIRRE, 2001; GUERRERO, 2007; SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002; FAO, 2009; GWP, 2009; DOUROJEANNI; JOURAVLEV; CHÁVEZ, 2002; GWP, 2000; SMITH, 2006). Entre algumas razões que sustentam a afirmação estão:

- A água flui conforme as características da superfície e não conforme os limites administrativos;
- Cerca da metade da população mundial mora nos cursos baixos de bacias hidrográficas e sua subsistência depende da água doce e dos serviços ecossistêmicos que fornecem as bacias;
- A GIRH, mediante bacias hidrográficas, fornece um planejamento dos recursos com enfoque ecossistêmico;
- A gestão a partir de bacias hidrográficas amortece conflitos por usos e garante o fornecimento de vazões para habitantes à jusante;
- A produção de alimentos e o fornecimento mundial de água doce dependem, majoritariamente, das vazões que produzem as bacias hidrográficas.

Para exemplificar o conceito de GIRH, inclui-se a regulamentação entre a oferta e a demanda hídrica, sendo que considera-se duas categorias de análise: o sistema natural e o sistema humano, dentro de um contexto da variabilidade hídrica no tempo e no espaço. As duas categorias merecem atenção, cada uma tem dinâmicas e necessidades diferentes, que podem ser combinadas pela GIRH. Neste caso particular, o desenho e preços de tarifas ajudam a ponderar tanto as demandas reais, como os investimentos efetivos em infraestrutura (GWP, 2000).

Em síntese, a GIRH abrange todos, ou pelo menos a maioria, dos aspectos relacionados aos usos e dinâmicas da água. Assim, integra, sob critérios de qualidade e quantidade, o manejo das águas superficiais e subterrâneas, junto aos interesses dos usuários à montante e à jusante das bacias, tudo em um marco político e de desenvolvimento econômico que considera, em termos econômicos, a importância das águas (GWP, 2000).

2.6 Elementos da integração entre Bacias Hidrográficas e Áreas Metropolitanas

Como tem sido descrito, os sistemas funcionam através de hierarquias, assim, o planeta Terra funciona sistemicamente, mediante inter-relações entre camadas de diferentes escalas, desde a planetária até as regionais e locais, isto é, camadas de ordem global, como atmosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera, até paisagens locais.

Da mesma forma, o planejamento e a gestão do território fazem parte de um esquema em varias escalas, pertencente aos sistemas socioeconômicos e culturais, que também tem representações desde o nível global até os níveis mais locais ou comunitários, passando pela conformação de governos nacionais e regionais ou estaduais. Neste sentido, a Conferência das Nações Unidas do Rio de Janeiro em 1992 (Rio-92), sobre meio ambiente e desenvolvimento, é o ponto de referência para descrever o funcionamento dos sistemas sociais com foco na sustentabilidade e no planejamento, e na gestão dos territórios, com aproveitamento racional dos recursos naturais (ONU, 2016).

Com a Rio-92, consideram-se as externalidades de processos produtivos e o crescimento econômico *per capita* deixa de ser, pelo menos em tese, um objetivo isolado e primordial dentro do capitalismo, logo, é preciso preservar o meio ambiente e não só gerar riquezas (GROSS, 2009). Neste sentido, tem se oficializado o conceito de desenvolvimento sustentável, formulado na declaração sobre meio ambiente e desenvolvimento e, como complemento, tem se formulado o marco de ação da Agenda 21 e da Agenda 21 Local, para promover o desenvolvimento sustentável, desde a escala maior até a local urbana. Seguidamente, à formulação dos oito “Objetivos do Desenvolvimento do Milênio”, do ano 2000, reforça-se a premissa de garantir a sustentabilidade e cuidado do meio ambiente (Objetivo 7). As Nações Unidas redirecionaram, no ano de 2015, esses objetivos para “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS”, que constam de 17 objetivos e 169 metas, com um prazo de 15 anos para o seu cumprimento (ONU, 2017).

Assim, a premissa do desenvolvimento sustentável relaciona o componente ambiental com o modelo de crescimento econômico e urbano dentro da economia capitalista. Sob essas diretrizes mundiais dos finais do século XX e começo do XXI, foi criada e/ou atualizada, a maioria dos arcabouços normativos e institucionais ambientais de diversos países, sendo a conferência do Rio-92, o cenário político definitivo para a integração entre as propriedades emergentes das bacias hidrográficas e o desenvolvimento urbano e metropolitano¹³ (ONU, 2016).

¹³ Mesmo que na conferência de Estocolmo em 1972, organizada pelas Nações Unidas, declararam-se as bases do pensamento ambiental atual e sua inclusão na política pública internacional mediante 26 princípios universais, foi em Rio-92 onde se declarou a necessidade imperante de adotar normativas rigorosas para combinar o crescimento econômico com a preservação do meio ambiente, esse novo

Essa mudança no paradigma da produtividade na escala mundial e a inclusão da dimensão ambiental ao modelo de desenvolvimento econômico capitalista, deve-se, dentre outros, ao entendimento de um modelo fundamental na ideia da dicotomia entre Natureza e Sociedade. Os intentos de dissipação desse “apartheid humano/natureza”, mediante as políticas internacionais da ONU, especificamente iniciativas como as do UN-Habitat e GEOcidades, estiveram baseadas nos processos de aprendizagem sobre o uso da terra e a visão de que as leis da natureza não estão derogadas e/ou restritas dentro dos limites das cidades. Pelo contrário, quanto maior for o grau em que se refletem as dinâmicas da natureza nas práticas do uso das terras, mais seguras, mais saudáveis e mais sustentáveis serão as comunidades urbanas resultantes (PLATT, 2009).

Neste sentido, a urbanização foi cada vez mais reconhecida como um agente perturbador, que modifica os padrões naturais, mas que não apaga o seu entorno físico e natural. A natureza está ligada ao metabolismo urbano. O traçado urbano que se integra com as dinâmicas da natureza deve ser um axioma de cumprimento multiescalar no processo de urbanização (PLATT, 2009). Para o autor:

“... a cidade, o campo e as suas transições devem ser vistos como um sistema único e em evolução dentro da natureza, ao igual que cada praça, parque ou prédio individual dentro desse tudo maior, assim, a natureza dentro do contexto urbano deve ser cultivada, como um jardim ao lugar de ser ignorada ou sometida” (PLATT, 2009).

O planejamento urbano e/ou metropolitano, que integra a dinâmica da natureza requer incluir o movimento da cidade, conforme os seus serviços ecossistêmicos, ou seja, os benefícios da natureza para a sociedade humana (rural ou urbana) em formas tais, como a purificação da água, o armazenamento de cheias, a recarga de aquíferos, a formação de solo e o sequestro de carbono, entre outros (ALLISON *et al.*, 2008). Considerando que esses serviços ecossistêmicos, ocorrem na dinâmica da natureza e que são estruturalmente alterados pela dinâmica da sociedade. No caso de materializada pela urbanização, pode ser necessária a implementação de substitutos tecnológicos custosos tais como: infraestrutura para controle de enchentes e prevenção de inundações, construção de plantas de tratamento de águas residuais,

acondicionamento do ar e produção de fertilizantes artificiais (TUCCI, 2007; PLATT, 2009).

Os maiores desafios enfrentados em uma possível transição à sustentabilidade, ocorrem na escala local, pois é quando os sistemas pequenos, como as bacias hidrográficas de contextos urbanos/metropolitanos, assumem a maior relevância (ALLISON, *et al.*, 2008; PLATT, 2009). Embora modestas nas áreas de drenagem e fluxo médio, as bacias hidrográficas locais contêm, tipicamente, um conjunto complexo de elementos hidrológicos e ecológicos, incluindo cabeceiras, canais, bancos, planícies de inundação, aquíferos, lagos e lagoas, zonas húmidas, habitats bióticos aquáticos e ribeirinhos.

Como as grandes bacias hidrográficas, as fontes de água urbanas devem ser vistas como sistemas físicos integrados, cujo ótimo funcionamento depende da interação de elementos hidrológicos, químicos e ecológicos. Além disso, as bacias hidrográficas da área metropolitana, tendem a ser mais urbanizadas quanto mais longe se vai rio abaixo. Assim, à medida que as condições da corrente se agravam cumulativamente na direção da jusante, aumenta o tamanho da população afetada e a totalidade dos custos econômicos devido a essa deficiência (PLATT, 2009; TUCCI, 2007).

Entretanto, Tucci (2007; 2005), no contexto das políticas de controle de inundações, afirma que há dois tipos de inundações (ribeirinhas e da drenagem urbana), que podem se manifestar de forma combinada nos contextos metropolitanos. A gestão e controle desses dois tipos de inundações se desenvolvem em duas grandes linhas: a primeira é aquela realizada propriamente no nível da bacia hidrográfica, cuja gestão é realizada desde uma perspectiva externa à cidade e focada na conservação, preservação dos ecossistemas, do melhoramento da qualidade da água e da regulação hídrica. Trabalho que é realizado, geralmente, mediante planos de bacia. No segundo caso, o tratamento e/ou manejo de bacia, foca-se no controle de inundações, dos transbordamentos, das orientações e técnicas para manter e melhorar a eficiência da drenagem, das infiltrações urbanas, dos sumidouros e, em termos gerais, das dinâmicas hidráulicas e hidrológicas da bacia hidrográfica, no perímetro urbano. Esse último tipo de gestão e planejamento é realizado mediante o Plano Diretor de Drenagem Urbana (TUCCI, 2007; 2005).

Em resumo, as bacias hidrográficas urbanas são complexos mosaicos geográficos de diversidade física, ecológica, política e socioeconômica. A produção do espaço urbano altera os regimes naturais de escoamento, a qualidade da água, a saúde biológica e os valores socioculturais, com a consequente perda de serviços ecossistêmicos. Em vez de respostas técnicas restritas a problemas específicos, como inundações ou poluição hídrica, a gestão holística de bacias hidrográficas urbanas, hoje procura integrar uma ampla gama de metas, meios e participantes. Em complemento, consideramos que as bacias hidrográficas locais e regionais, são unidades geográficas ideais para o experimento de novas estratégias institucionais, técnicas e culturais para alcançar uma medida de sustentabilidade.

2.6.1 Componentes da integração entre os serviços das bacias hidrográficas e os contextos metropolitanos

Por fim, a integração entre os serviços e/ou propriedades emergentes das bacias hidrográficas e os contextos urbanos e metropolitanos, é uma perspectiva da integração entre a dinâmica da natureza e a dinâmica da sociedade (mesmo que tomando uma parcela dessa integração, ou seja, a dos subsistemas naturais com os subsistemas artificiais). Na prática, a integração entre essas propriedades emergentes e o desenvolvimento dos contextos metropolitanos é proposta mediante componentes e estratégias tendentes a manter o equilíbrio e a estabilidade do sistema fluvial, permitindo alterações de baixo impacto e se realizando mediante o tratamento administrativo e institucional de variáveis que incluem: controle dos usos das terras; controle de inundação; drenagem; conformação da estrutura ecológica; entre outros (ALLISON, H. *et al*, 2008; TUCCI, 2007; PLATT, 2009). A relação dos componentes da integração é apresentada no Quadro 2.

A integração de bacias hidrográficas às dinâmicas das áreas metropolitanas é reconhecida internacionalmente sob o conceito de “*Integrated Urban Watershed Management*” (IUWM). O IUWM é uma proposta de planejamento, execução e gestão de longo prazo, a partir de bacias hidrográficas urbanas, consistente numa série de princípios de aceitação internacional, que visam fornecer ao planejamento e gestão urbana, uma resposta ao rápido crescimento urbano-populacional, às demandas de

água e serviços, e para melhorar a resistência das bacias, perante a mudança climática (GWP, 2012; PLATT, 2009).

Neste contexto, os objetivos da IUWM são: assegurar o acesso da população à água potável, saneamento, infraestrutura e serviços; fazer o manejo eficiente das águas pluviais, das águas residuais, da drenagem urbana e da poluição de escoamentos; controlar as doenças ou epidemias ligadas à água e reduzir o risco de perigos relacionados com a água, incluindo inundações, secas e deslizamentos de terra; considerando-se que tudo deva ser feito de modo integrado (GWP, 2012). Para isso, a IUWM exige a criação de um contexto institucional em que os atores públicos e privados possam trabalhar juntos, apoiados por estruturas legislativas e políticas coerentes.

Quadro 2. Componentes da integração entre propriedades emergentes de bacias e desenvolvimento de áreas metropolitanas

Cenário	Componentes	Estratégias	Programas ou Ações pontuais
Fora do perímetro urbano (montante)	Abastecimento de água	Melhoramento da qualidade da água	Bioengenharia ribeirinha; reflorestamento
		Disponibilidade e acessibilidade hídrica	Programas de pagamentos por serviços ambientais
	Gestão de riscos naturais	Implementação e atualização dos SIGs Controle da erosão	Zoneamento; modelamento e monitoramento dos riscos; programas de assistência técnica rural; bioengenharia
	Produtividade primária	Agroecologia	Programas de assistência técnica rural
		Mineração sustentável	Planos de manejo ambiental
	Controle dos usos das terras	Zoneamento ecológico e econômico	Fiscalização, seguimento e controle da autoridade ambiental e/ou territorial
		Proteção das faixas laterais dos rios (APP)	Fiscalização, seguimento e controle da autoridade ambiental e/ou territorial
		Normatividade sobre o zoneamento e/ou uso de terras em propriedades particulares	Cadastros rurais
	Conectividade ecológica, serviços ecossistêmicos e biodiversidade	Áreas de proteção e conservação permanente	Declaratória formal de áreas de conservação mediante decretos municipais ou estaduais; conformação de sistemas de áreas de conservação e proteção; pesquisas e cadastros de espécies
	Saneamento ambiental	Gestão integral de resíduos sólidos	Classificação, coleta, transporte, recuperação e aproveitamento de resíduos sólidos rurais
		Controle dos despejos e poluentes líquidos	Soluções de tratamento individuais ou para pequenas populações (ETEs individuais)
Perímetro urbano	Controle inundações	Medidas estruturais	
		Medidas não estruturais	
	Conectividade ecológica	Corredores ecológicos	Recuperação de áreas verdes e/ou parques urbanos de interesse para a conectividade ecológica
		Áreas de Proteção Permanente (APP)	Recuperação e controle dos usos de terras nas faixas de rios conforme estabelecido pela lei específica
	Utilização pública e sensibilização	Parques lineais e/ou aquáticos	
		Educação ambiental	
	Saneamento ambiental	Gestão integral de resíduos sólidos	Classificação, coleta, transporte, recuperação e aproveitamento de resíduos sólidos urbanos
		Controle dos despejos e poluentes	Sistema de estações de Tratamento de Esgotos Municipais ou metropolitanas (ETEs)
	Desenvolvimento urbano de baixo impacto		

Fonte: Allison *et al*, (2008); Tucci (2007); PLATT (2009). **Organização:** Hincapié, 2017.

Na prática, o manejo integrado de bacias hidrográficas em contextos metropolitanos requer, além das fases do diagnóstico no cenário urbano, a identificação e cruzamento de atores e objetivos, abrangendo nestes, os atores que compõem o marco institucional e do qual fazem parte instituições públicas e particulares (GWP, 2012). Por fim, a integração de bacias hidrográficas às áreas metropolitanas necessita de uma política e marco legislativo e normativo, que permita a participação da sociedade civil, da identificação de processos (biofísicos e socioeconômicos) próprios em cada curso da bacia hidrográfica, da identificação dos atores e suas funções institucionais, da definição dos objetivos para as bacias hidrográficas no marco da gestão metropolitana, e de um plano de longo prazo, que integre os três elementos anteriores, junto ao sistema de monitoramento, metas e indicadores de gestão (GWP, 2012; PLATT, 2009).

3.PROPOSTA METODOLÓGICA

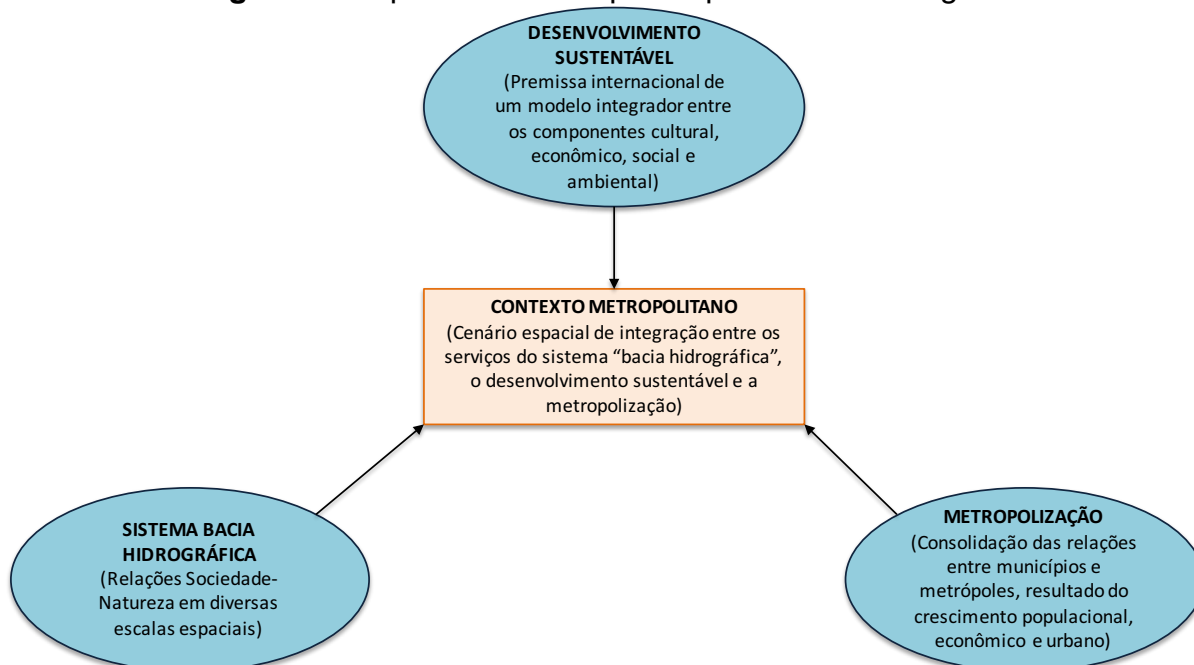
A proposta metodológica da pesquisa foi desenhada para abranger as dinâmicas de um contexto metropolitano, no qual se inserem os componentes naturais e antrópicos de uma microbacia e/ou sub-bacia hidrográfica. Parte-se de três pressupostos: 1) o conceito de desenvolvimento sustentável¹⁴, assumido em nossa tese como uma premissa de caráter internacional, baseada nos princípios estabelecidos na convenção das Nações Unidas da Rio 92, e que procura conduzir as nações para um modelo de desenvolvimento integrador; 2) a metropolização, como o aumento dos fluxos e das relações entre municípios e cidades polos, e como uma forma de expansão urbana que extravasa os limites de grandes cidades; 3) o conceito da bacia como um sistema utilizado para entender as relações Sociedade – Natureza, em diversas hierarquias sistêmicas e escalas espaciais. As relações desses três conceitos, se materializam espacialmente em um cenário geográfico, neste caso, em um contexto metropolitano. O esquema da Figura 3, apresenta esses três pressupostos.

Neste sentido, a nossa proposta metodológica adota elementos da metodologia Pressão-Estado-Resposta (PER), do Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente (PNUMA), utilizada para a realização de diversas avaliações como as do

¹⁴ Nesta pesquisa utiliza-se o conceito de desenvolvimento sustentável como uma referência internacional de um modelo que tenta guiar o crescimento das áreas metropolitanas analisadas. O conceito utilizado consiste na integração de quatro dimensões: social, econômica, ambiental e cultural, as quais, levariam à sociedade para uma melhor qualidade de vida, mediante o crescimento econômico com exploração de recursos, sem ultrapassar a resiliência dos processos da natureza e com forte mediação das práticas culturais locais. Esse modelo corresponde com a definição do Relatório Brundland de 1987, adotada pelas Nações Unidas, no princípio 3 da declaração de Rio/92: “desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazer as suas próprias necessidades”. Nesse sentido, o artigo 3 da Lei nº 99 de 1993, que cria o Sistema Nacional Ambiental da Colômbia (SINA), define o desenvolvimento sustentável como: “*el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades*”. Entretanto, a Lei nº6.938 de 1981 do Brasil relaciona nos seus artigos 2 e 4: “*A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana*” e “*A Política Nacional do Meio Ambiente visará à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico*”. Conforme as definições anteriores, na normatividade ambiental de ambos países, há uma relação direta entre crescimento econômico, preservação de estoques e funções naturais e melhoramento da qualidade de vida.

programa “GEOCidades”. Além disso, a nossa pesquisa adota pautas metodológicas do trabalho de Schiavetti e Camargo (2002).

Figura 3. Esquema dos três pressupostos metodológicos



Elaboração: Hincapié, 2017.

A nossa proposta concebe-se como exposto a seguir:

1. Fundamentação teórico-metodológica do tema da pesquisa e identificação dos critérios de comparação (funções do sistema);
2. Descrição da estrutura da bacia, a partir dos componentes biofísicos;
3. Análise do funcionamento do sistema, a partir das relações entre componentes biofísicos e socioeconômicos;
4. Avaliação dos modelos de decisões, conforme normativas de gestão territorial e ambiental;
5. Comparação dos modelos de decisões.

Nos parágrafos seguintes, descreve-se o arcabouço da abordagem lógica utilizada para a conformação da proposta metodológica.

3.1 Definição de Variáveis

Mais uma vez afirmamos que as bacias hidrográficas funcionam como sistemas hidrogeomorfológicos abertos, que, desde a visão da nossa pesquisa, funcionam como elementos ou componentes de um sistema maior e metropolitano. Nesse sistema metropolitano maior, as propriedades emergentes das bacias hidrográficas se inter-relacionam com os componentes, funções e relações complexas dos subsistemas cultural, econômico, político e social. Assim, afirmamos que o contexto metropolitano é o sistema de maior hierarquia em nossa pesquisa, que possui funções de evoluir e de se desenvolver a partir da harmonização entre os seus componentes. Por fim, a dinâmica desses contextos metropolitanos demanda espaços e recursos como água, alimentos, materiais, entre outros, e, para que o desenvolvimento seja sustentável, esses contextos precisam se abastecer de fontes, preferivelmente, próximas.

Ao serem concebidas como sistemas, as bacias hidrográficas fornecem esses bens e serviços, de forma total ou parcial, mediante propriedades emergentes. O desafio das entidades gestoras e/ou gerenciadoras deve-se à integração dessas propriedades emergentes, com a satisfação de necessidades na forma do desenvolvimento sustentável.

Neste sentido, o desenvolvimento sustentável dos contextos metropolitanos, requer o alcance de vários propósitos de gestão. Esses propósitos de gestão constituem parte do foco da nossa análise e foram relacionados no Quadro 2, que trata sobre os componentes da integração entre propriedades emergentes e desenvolvimento de áreas metropolitanas. Nesta pesquisa temos selecionado quatro propósitos de gestão metropolitana:

- Abastecimento de água;
- Dinâmica das encostas e perda de solos;
- Serviços ecossistêmicos;
- Estrutura ecológica da paisagem fluvial.

Seguidamente, esta pesquisa adota os processos de pressão, como as atividades antrópicas e/ou naturais, que alteram as dinâmicas funcionais dos sistemas

hidrogeomorfológicos. Por sua vez, os impactos referem-se à medida, intensidade e/ou magnitude das afetações (OLLERO, 2009).

Nesse sentido, os trabalhos para a avaliação da estrutura e funcionamento das bacias hidrográficas, mediante um índice hidrogeomorfológico (IHG), propostos por Ollero (2009), mostram parte das possíveis relações entre processos de pressão e os impactos sobre os componentes das bacias hidrográficas. A Tabela 1, apresenta essas relações entre pressões, impactos e parâmetros do IHG, que servirão de base para a seleção das variáveis de análise desta pesquisa.

A Tabela 1 (relação entre processos e impactos), o Quadro 2 (componentes da integração) e o item 2.4, nos proporcionaram as orientações para a identificação e operacionalização das variáveis de pressão da pesquisa, assim como dos elementos conceituais para a avaliação de impactos, durante os trabalhos de campo e coleta de informações. A partir desses três aspectos (Quadro 2, Tabela 1 e item 2,4), foram selecionadas três variáveis de pressão, a serem analisadas e operacionalizadas nesta pesquisa:

- Mudança nas coberturas das terras;
- Usos urbanos nos fundos de vale;
- Variabilidade climática.

Tabela 1. Relação entre processos de pressão e impactos

	Qualidade Funcional			Qualidade do Curso			Qualidade Ribeirinha		
	Naturalidade regime vazão	Disponibilidade e mobilidade de sedimentos	Funcionalidade da Planície de inundação	Naturalidade do traçado e da morfologia frontal	Continuidade e naturalidade do leito e dos processos longitudinais e laterais	Naturalidade das margens e da mobilidade lateral	Continuidade longitudinal das ribeiras	Largura da faixa ribeirinha	Estrutura, naturalidade e conectividade transversal
Usos dos solos da bacia									
Embalses e reservatórios									
Açudes									
Urbanização na bacia									
Prédios em zonas inundáveis									



Impacto direto e intenso



Impacto indireto e moderado



Impacto indireto e leve

Usos de solos em zonas inundáveis									
Canalização									
Pontes									
Incêndios florestais									
Revestimentos das margens									
Retificação									
Dragagem									

Fonte: Ollero, 2009.

A magnitude das interferências geradas nos propósitos de gestão, depende da intensidade dos processos de pressão, da resposta natural da bacia e de mecanismos de resposta institucional e normativa. Nesta ordem de ideias, entende-se, que entre os propósitos de gestão e os processos de pressão, há relações de associação. Consequentemente, entendemos que há dois tipos de variáveis envolvidas nestas relações de associação: as variáveis independentes e as variáveis dependentes. Por fim, o tipo dessa associação, sendo só numa direção, não implicaria relações de reciprocidade entre os dois tipos de variáveis.

Assim, a pesquisa requer, determinar o nível de pressão das variáveis selecionadas, determinar os impactos nos propósitos de gestão e, analisar essa associação. A forma como ocorre essa integração, ou não integração, converte-se na variável teórica da nossa pesquisa. A natureza descritiva desta pesquisa, não se foca em caracterizar as relações determinísticas ou de proporcionalidade entre as variáveis. O Quadro 3, apresenta a relação das variáveis operacionais e teóricas a utilizar durante a pesquisa.

Quadro 3. Variáveis teóricas, operacionais independentes e operacionais dependentes

Variáveis Operacionais Independentes	Variáveis Operacionais Dependentes	Variáveis Teóricas
- Mudanças nas coberturas das terras - Usos urbanos nos fundos de vale - Variabilidade climática	- Abastecimento de água - Dinâmica de encostas e perdas de solos - Serviços ecossistêmicos - Estrutura ecológica da paisagem fluvial	- Integração entre os serviços das bacias hidrográficas e o desenvolvimento metropolitano - Nível de informação dos impactos e respostas

		dos sistemas de gestão de bacias hidrográficas • Perda da qualidade dos serviços ecossistêmicos e impactos do crescimento urbano populacional sobre as bacias hidrográficas de áreas metropolitanas
--	--	---

Elaboração: Hincapié, 2017.

Do Quadro 3, consideramos necessário destacar que a combinação dessas variáveis tenta abranger a maior parte da dinâmica biofísica e socioeconômica dentro da bacia, isto é, processos na montante, cuja gestão é externa ao perímetro urbano e à cidade, e processos no interior do perímetro urbano. Para ambos os casos, existe um planejamento e gestão diferenciados na escala espacial, na normatividade, na temporalidade de execução dos planos e, possivelmente na institucionalidade.

Consideramos que as variáveis que atuam com maior intensidade no exterior do perímetro urbano são: a dinâmica de encostas e perdas de solos; as mudanças nas coberturas das terras; o abastecimento de água e; os serviços ecossistêmicos. Por sua vez, identificamos que as variáveis com maior atuação no perímetro urbano são: usos urbanos nos fundos de vale e eixos fluviais; estrutura ecológica da paisagem fluvial e; variabilidade climática. Nesses dois últimos casos, a variável pode ter efeitos em ambos os cenários, dentro e fora do perímetro urbano.

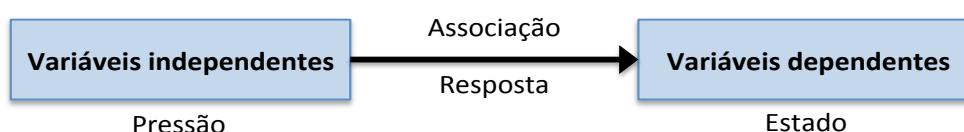
A sequência lógica, utilizada para analisar as associações entre variáveis independentes e variáveis dependentes, segue as abordagens da metodologia Pressão-Estado-Resposta (PER), do Programa das Nações Unidas para O Meio Ambiente (PNUMA), cujo baseamento é o diagrama geral da sequência *inputs - process - outputs*. A sequência lógica da metodologia PER, procura fazer uma análise qualitativa e/ou quantitativa das variáveis operacionais de pressão. Neste caso das variáveis independentes. Determinar os impactos ou estados de afetação do sistema (variáveis dependentes), e, por último, avaliar a resposta normativa e institucional, frente à situação encontrada. A essência da metodologia PER, é adaptada para os fins da nossa pesquisa e apresenta-se de forma sintetizada no Quadro 4.

Quadro 4. Descrição da metodologia PER adaptada à pesquisa

Pressão:	refere-se às variáveis independentes: mudanças nos usos das terras; usos urbanos em fundos de vale; variabilidade climática
Estado:	refere-se aos impactos negativos gerados pelos processos de pressão sobre os propósitos de gestão: abastecimento de água; dinâmica das encostas e perdas de solos; serviços ecossistêmicos; estrutura ecológica da paisagem fluvial
Resposta:	refere-se nesta pesquisa às políticas, planos, programas e projetos, junto às atividades e/ou ações que conformam o arcabouço normativo e institucional utilizado pelas administrações das áreas metropolitanas para prever, enfrentar e minorar os impactos e integrar os bens e serviços da bacia hidrográfica no desenvolvimento dessas áreas metropolitanas

Fonte: PNUMA, 2008. **Elaboração:** Hincapié, 2017.

A análise das “associações entre variáveis”, foi desenvolvida mediante este esquema de processos. A Figura 4 apresenta o esquema de funcionamento da sequencia lógica da PER:

Figura 4. Direção da associação entre variáveis

Elaboração: Hincapié, 2017.

A operacionalização das variáveis independentes e dependentes foi realizada nos itens dos procedimentos metodológicos, seguindo o modelo apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 Modelo de operacionalização das variáveis dependentes e independentes

Nome da variável:	
Descrição da medição da variável:	
Cenário de ação da variável:	
Insumo 1:	
Fonte dos dados do insumo 1:	
Descrição dos instrumentos utilizados na coleta:	
Insumo 2:	
Fonte dos dados do insumo 2:	
Descrição dos instrumentos utilizados na coleta:	
Descrição do cálculo da variável:	
Periodicidade da medida ou observação:	
Unidade de medida ou observação:	

Elaboração: Hincapié, 2017. **Adaptado de:** Quiroga, 2009.

3.2 Materiais, Ferramentas e Técnicas Seleccionadas

- a. Seleccionarou-se duas bacias hidrográficas de contextos metropolitanos, em países diferentes (Bacia Hidrográfica do Rio Piraquara, no Brasil, e Bacia Hidrográfica do Rio Cali, na Colômbia).
- b. Foram seleccionadas quatro imagens do conjunto de satélites *Landsat*: duas da versão *Landsat 5*, a imagem LT52200781996109CUB00, do ano 1996, pertencente à bacia do rio Piraquara e a imagem LT50090581998140XXX02, do ano 1998, da região de Cali. Também foram seleccionadas duas imagens da versão *Landsat 8*. A imagem LC80090582014200LGN00, do ano 2014, pertencente a Cali e LC82200782016164LGN00, do ano 2016, da região de Piraquara. As duas imagens foram utilizadas para comparar os usos das terras. Além disso, foram seleccionadas duas imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), como insumos para as análises morfométricas de cada caso de estudo. O projeto da NASA para a geração das imagens de radar SRTM, teve por objetivo a obtenção de um Modelo Digital de Elevações (MDE), em escala planetária. Nesta pesquisa, as imagens SRTM são utilizadas para obter as características topográficas e geomorfológicas das bacias, assim como os parâmetros morfométricos a partir do MDE.
- c. Foram coletados e utilizados, dados e informações cartográficas junto às suas memórias descritivas, relacionadas à topografia, geologia, geomorfologia, hidrografia, solos, vegetação e uso das terras. Para o caso brasileiro, estas informações foram coletadas dos *sites* da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto de Águas do Paraná, da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), do Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG). No caso colombiano, este tipo de informações foi fornecido pela *Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca* (CVC), após prévia solicitação formal.
- d. Os insumos dos pontos “b” e “c”, imediatamente anteriores, foram integrados às técnicas de geoprocessamento de imagens e informações geográficas do software ArcGis 10.2.

- e. Na análise da influência do fenômeno ENOS, na resposta hidrológica das bacias hidrográficas de estudo, foi necessário coletar informação meteorológica (precipitação pluviométrica e temperatura), com históricos de 30 anos para cada caso de estudo. Estas informações foram obtidas no Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), na Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e no Instituto de Águas do Paraná (AGUASPARANÁ). Na Colômbia as informações foram obtidas diretamente na *Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca* (CVC). Os dados obtidos, foram analisados utilizando as ferramentas estatísticas do programa Excel.
- f. Por último, foi necessária a coleta de informações relacionadas aos marcos normativos e institucionais inerentes às estruturas de planejamento e de gestão de áreas metropolitanas e de bacias hidrográficas de cada país, o que foi obtido mediante visitas às instituições encarregadas.

3.3 Procedimentos Metodológicos

A descrição dos procedimentos, que conformam os eixos da proposta metodológica do item 3, se faz com o intuito de responder à pergunta “como” fizemos a pesquisa e apresentar o complemento do que apontamos anteriormente, sobre o método comparativo. Os procedimentos estiveram focados no baseamento técnico, necessário para analisar as funcionalidades das bacias, as interferências dos processos de pressão e os processos de planejamento e gestão de bacias hidrográficas em áreas metropolitanas. Tais procedimentos são descritos nos tópicos seguintes.

3.3.1 Fundamentação teórico-metodológica do tema da pesquisa e identificação dos critérios de comparação (funções do sistema).

A fundamentação teórica visa contextualizar a pesquisa nos enunciados da Geografia e das Ciências da Terra, assim como incorporar o pensamento sistêmico ao objeto de estudo. Nesse sentido, este item está organizado em função da busca e relação bibliográfica de fatos teórico-científicos sobre bacias hidrográficas, áreas metropolitanas, planejamento e gestão do território, além de bases conceituais e

teóricas sobre a construção do espaço geográfico. A partir da fundamentação teórica, definimos as variáveis de comparação.

Por tratar-se de análises em microbacias, os usos das águas em grandes rios, como a navegabilidade, o abastecimento aos distritos de irrigação e a produção de energia, mediante usinas elétricas, não são considerados no objetivo desta pesquisa.

A fundamentação teórica é um processo contínuo, que confronta a teoria com os resultados da coleta e processamento de informações, portanto, este tema fez parte de um processo que se somou aos demais durante toda a pesquisa, que culminou nesta tese.

3.3.2 Descrição da estrutura da bacia a partir dos componentes biofísicos

O objetivo deste item, foi obter informações sobre o estado atual dos casos de estudo em termos da estrutura do sistema. Uma fase prévia ao entendimento do funcionamento e resposta da bacia, aos diferentes tipos de interações. Esta fase foi realizada segundo os procedimentos listados a seguir.

Elaboração de bases cartográficas

Para elaboração dos mapas de base (topografia, hidrografia, geologia, geomorfologia etc.), foi necessário o geoprocessamento, no software ArcGis, das imagens SRTM 22-X-D, obtidas da EMBRAPA e SRTM N03W077.SRTMGL1, no *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), que abrangem as áreas dos rios Piraquara e Cali, respectivamente. A partir das imagens e com as ferramentas *3D Analysis tools*, *Spatial Analysis Tools* e *Conversion*, entre outras, foram obtidas as curvas de nível a cada 10 m, geração do TIN e identificação das divisórias de águas. Também se obteve o Modelo Digital de Elevações (MDE), os mapas hipsométrico, da rede de drenagem, de sombreamento do relevo, e de declividade.

Os diferentes arquivos de extensão shp (*shapefiles*), utilizados na definição de limites administrativos municipais, estaduais e nacionais, foram descarregados de servidores *online* e *sites* de diferentes órgãos, entre eles: Agência de Águas do Paraná, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Agência Nacional de Águas (ANA), Ministério de Ambiente da Colômbia e CVC.

Análise de variáveis climatológicas

O trabalho de representação da estrutura biofísica das bacias, sob análise, iniciou-se, em ambos os casos, com a descrição das variáveis climatológicas (temperaturas, precipitações, movimentos de ar, influência de eventos atmosféricos globais e regionais), com influência nas áreas de estudo, considerando-se, para efeitos que estes processos representam, o ingresso de matéria e energia no sistema. No caso brasileiro, a descrição foi feita a partir dos dados meteorológicos fornecidos pela SIMEPAR e a ANA. A SIMEPAR, forneceu uma série histórica de dados diários de precipitação e de temperaturas (médias, máximas e mínimas), das estações Curitiba e Pinhais, pertencentes ao período de 1997 até 2016.

Os respectivos climogramas, foram criados a partir da organização e representação gráfica de dados em tabelas do *software* Excel. Com o histórico de dados diários, fornecidos pela ANA, para o período de 1986 até 2016, foram elaborados, da mesma forma, os gráficos da precipitação média mensal das estações meteorológicas Piraquara e Mananciais da Serra, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Piraquara (BHRP). O mesmo procedimento foi feito para a área da bacia hidrográfica do rio Cali, com os dados de precipitações registrados nas estações meteorológicas: *Peñas Blancas, Yanaconas, Teresita, San Pablo e San Luis*.

Análise e descrição da geologia

A geologia da BHRP, no caso do Brasil, foi descrita a partir da carta geológica da mesma área, em escala 1:20.000, fornecida pelo Instituto das Águas do Paraná (IAP), via *online*, e representada segundo os processos de geoprocessamento do ponto 1 no ArcGis 10.2. No caso da Colômbia, as informações cartográficas e descritivas, foram obtidas das bases de dados do *Instituto Colombiano de Geología y Minería* (INGEOMINAS), disponíveis na URL do *Servicio Geológico Colombiano* (sgc.gov.co).

Descrição dos padrões geomorfológicos

O primeiro e segundo táxon geomorfológico (morfoestruturas e morfoesculturas) das bacias sob estudo, foram identificados segundo a metodologia proposta por Ross (1992), e mediante geoprocessamento no *software* ArcGis. Para a identificação destes

táxons seguiram-se os procedimentos do manual de cartografia geomorfológica, proposto por Silva e Rodrigues (2009).

Identificação e descrição da morfometria

Em relação às características morfométricas das áreas de estudo, estas foram obtidas como exposto a seguir.

- a. Os parâmetros de Área (A), Perímetro (P), Longitude (L), Largura (W), cota menor e cota maior, foram obtidos mediante o uso de diversas ferramentas do *software* ArcGis, a partir da imagem SRTM, geoprocessada para cada caso.
- b. Os fatores adimensionais da Forma (F), Gravelius (G) e alongamento (I), foram encontrados a partir dos parâmetros do item anterior (a) e segundo as equações relacionadas em Reyes (2010) e Tucci (2009).
- c. Para o desenho da curva hipsométrica foi necessário relacionar as curvas de nível com a cota média, áreas entre curvas e porcentagem das áreas correspondentes do total da área. A curva hipsométrica, utiliza os valores das cotas médias no eixo das ordenadas (y) *versus* a porcentagem da área acumulada no eixo das abscissas (x). O diagrama da frequência altimétrica é desenhado a partir das altitudes *versus* a porcentagem das áreas correspondentes.
- d. A altitude média das bacias hidrográficas foi obtida mediante o método “altitude-área”, representado pela equação:

$$Em = \frac{\sum A_i * e_i}{A_t}$$

Onde:

A_1 = Área correspondente à faixa entre curvas
 e_i = cota média
 A_t = Área total

- e. A declividade média também foi obtida do geoprocessamento das imagens SRTM em ArcGis. Obtiveram-se, também mediante ferramentas de ArcGis, a longitude do curso principal, a declividade do curso principal e a densidade da drenagem.

Descrição dos tipos de solos

A descrição dos tipos de solos, foi realizada a partir da adaptação dos materiais fornecidos pelo Instituto de Águas do Paraná (IAP). Neste processo, foram coletadas as informações cartográficas e descritivas procedentes das instituições encarregadas das duas áreas de análise.

Matriz da estrutura biofísica

Com todos os elementos anteriores, elaborou-se uma matriz onde são relacionados, segundo os espaços de cada bacia hidrográfica (curso alto ou baixo), os elementos da estrutura biofísica do sistema. Esta matriz é apresentada no Quadro 6 a seguir.

Quadro 6. Matriz da estrutura biofísica das bacias hidrográficas

Cenário da bacia	Inter-relações maiores	Componentes	Descrição qualitativa	Descrição quantitativa	ID
Montante					
Jusante					

Elaboração: Hincapié, 2017..

Com a matriz do Quadro 6, procuramos resumir os comportamentos dos componentes biofísicos mais importantes do sistema. A célula das “inter-relações maiores”, refere-se aos componentes macrosistêmicos da Terra. A célula dos “componentes”, refere-se à mistura que pode ocorrer entre esses componentes nas escalas das bacias de análise. Por fim, a célula “ID”, refere-se a uma identificação desses conjuntos de componentes, para indicar a continuidade numa segunda matriz (matriz dos *inputs e outputs*) e terceira matriz (matriz mecanismos de respostas), com as quais tenta-se ligar a hierarquia das bacias com os sistemas da Terra.

3.3.3 Análise do funcionamento do sistema a partir das relações entre componentes biofísicos e socioeconômicos

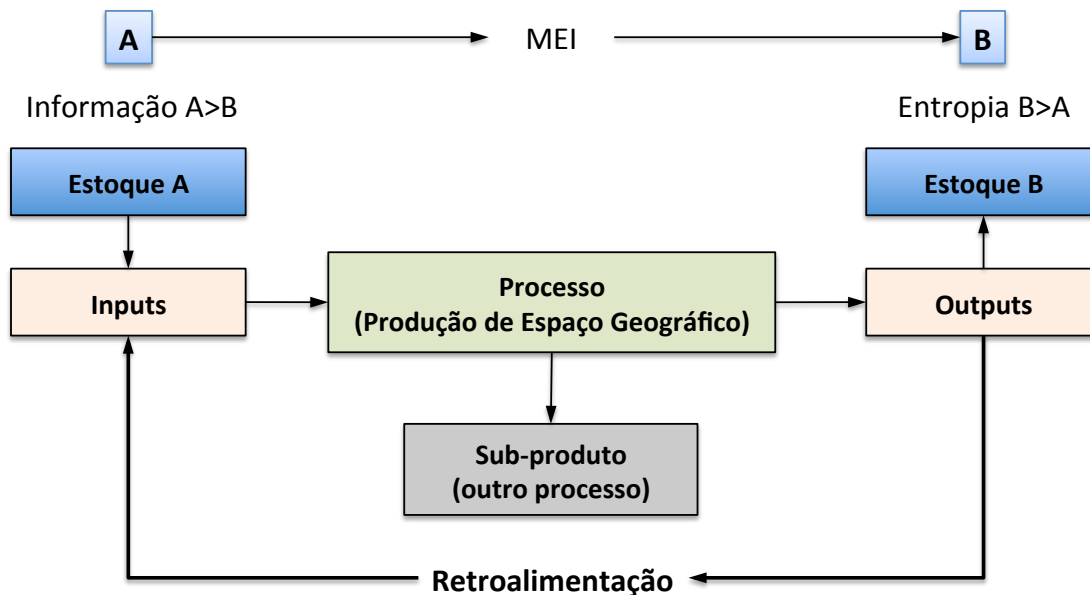
Este item é concebido a partir das relações *inputs-processes-outputs*. Os *inputs* (variáveis independentes), vêm acompanhados de estoques (todos os elementos, tanto biofísicos, como socioeconômicos da bacia, e cuja sinergia produz propriedades emergentes). A associação das variáveis, ou conjunto de respostas, podem ser entendidas como os processos e podem ter subprodutos ou subprocessos.

Finalmente os *outputs*, nesta pesquisa, representam, os propósitos de gestão do contexto metropolitano.

Neste esquema, como em todo processo na natureza, há troca de Matéria, Energia e Informação (MEI), entre o estado inicial (A) e o estado final (B), assim como uma retroalimentação (reciclagem) de B para A. Durante os processos, a informação, como a medida de incerteza, é sempre maior no começo e a entropia geral do processo, será maior no final.

Consideramos que o processo maior da bacia é, finalmente, a produção de espaço geográfico, resultante dessa integração entre os bens e serviços resultantes das propriedades emergentes das bacias (matriz biofísica), e os propósitos de gestão (intervenções socioeconômicas). Aplica-se a noção de produção de espaço, segundo as abordagens de Lefebvre (1970), de Milton Santos (1996) e de Corrêa (2014). Estas abordagens sobre o espaço geográfico e o modelo de processos nas bacias hidrográficas simplifica-se no esquema da Figura 5.

Figura 5. Esquema geral de processos



Elaboração: Hincapié, 2017.

3.3.3.1 Descrição de indicadores dos processos de pressão

A descrição destes indicadores, refere-se à operacionalização das variáveis independentes (ver Quadro 3). Apresentam-se nos seguintes parágrafos algumas questões importantes para o entendimento dos procedimentos metodológicos.

Descrição de fatores socioeconômicos

As informações sobre infraestrutura, população, e atividades econômicas ligadas as terras, entre outras, foram obtidas desde sites oficiais do IBGE, Prefeitura do Município de Piraquara, Prefeitura de Curitiba, Agencia Nacional de Águas (ANA) do Brasil, Instituto de Águas de Paraná, Comité da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu, prefeitura de Cali e CVC. Este item se faz com o intuito de descrever o fator populacional na ocupação das bacias hidrográficas. A descrição inclui um quadro com a identificação dos atores principais, com presença e algum grau de poder sobre o território nas bacias hidrográficas de análise. Esta descrição se considera importante para a análise da distribuição e usufruto da água por atividade e/ou tipo de usuário e a organização institucional para definir esses usos e quantidades.

Mudanças nos usos das terras

Os usos das terras foram identificados e representados cartograficamente para cada área, mediante o tratamento de imagens *Landsat 5* e *8* no ArcGis. Para tais fins, foi utilizada a ferramenta *Image Classification*, que faz uma primeira classificação por máxima verossimilhança e a partir das assinaturas radiométricas das imagens. A ordem do procedimento foi: composição das bandas 1 a 6; recorte da bacia; combinação de bandas e cores 4R, 3G, 2B (cor natural); fusão com a banda 8 (pancromática); ativação do *Image Classification*; marcação dos polígonos segundo as coberturas identificadas; geração do mapa preliminar (*raster*); conversão de *raster* para polígono; cálculo de áreas segundo as coberturas. Fez-se, uma primeira classificação de imagens para obter diferentes usos e, mediante trabalho em campo, essas coberturas foram corroboradas segundo marcação com GPS, descrição do local com preenchimento de formulários e registros fotográficos. Para a confecção do mapa final, foi utilizado o Manual Técnico do Uso das Terras do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística IBGE (2013).

O geoprocessamento das imagens de satélite *Landsat 5* e *Landsat 8*, permitiu comparar, mediante o algoritmo “*raster to polygon*”, a área ocupada por atividades urbanas durante os períodos analisados (20 anos para Piraquara e 16 anos para Cali). A área da bacia do rio Piraquara foi analisada com imagens dos anos 1996 (*Landsat 5*) e 2016 (*Landsat 8*), enquanto a área da bacia do rio Cali, devido à constante nubosidade e dificuldade na obtenção de imagens nítidas, foi comparada mediante imagens dos anos 1998 (*Landsat 5*) e 2014 (*Landsat 8*). O Quadro 7 descreve a operacionalização desta variável e o seu indicador.

Quadro 7. Operacionalização da variável independente: mudanças nos doberturas das terras

Nome da variável:	Mudanças nas coberturas das terras
Descrição da medição da variável:	Mede de forma quantitativa o crescimento urbano, devido aos processos históricos de ocupação da bacia, assim como as mudanças nos usos das terras. Utiliza-se como um indicador para inferir qualitativamente sobre a transformação do espaço, a afetação das condições naturais e de possíveis alterações nos padrões hidrológicos e de drenagem das bacias.
Cenário de ação da variável:	A análise da variável está focada nas mudanças dos usos das terras que afetam, especialmente, a dinâmica das montantes das bacias.
Insumo 1:	Imagens de satélites. Ano das imagens em ambas bacias, 2016.
Fonte dos dados do insumo 1:	Satélite <i>LandSat 8</i>
Descrição dos instrumentos utilizados na coleta:	Coleta de dados secundários obtidos diretamente do servidor do conjunto de satélites <i>Landsat</i> . Disponibilização dos dados no site: https://www.usgs.gov .
Insumo 2:	Imagens de satélite dos anos 1996 (Brasil) e 1998 (Colômbia).
Fonte dos dados do insumo 2:	Satélite <i>LandSat 5</i>
Descrição dos instrumentos utilizados na coleta:	Coleta de dados secundários obtidos diretamente do servidor do conjunto de satélites <i>Landsat</i> . Disponibilização dos dados no site: https://www.usgs.gov .
Descrição do cálculo da variável:	Combinação e Geoprocessamento das bandas das imagens do <i>Landsat 8</i> e <i>Landsat 5</i> no programa Arcgis 10,2; identificação/confirmação aleatória das coberturas das terras mediante combinação trabalho de escritório e trabalho de campo; marcação das firmas radiométricas das coberturas identificadas com o trabalho de campo;

	geração automática dos usos de solos mediante ArcGis 10,2. Esses usos das terras foram classificados em cinco (5) categorias de análise: • Cobertura hídrica (rios, córregos, lagoas, etc). • Coberturas artificiais com construções (ruas, prédios, área urbana). • Coberturas artificiais sem construções (atividades de mineração aberta, como as pedreiras; atividades que expõem as camadas de rochas). • Coberturas naturais e seminaturais (florestas e zonas de transição vegetal). • Culturas e pastagem (solos expostos, culturas temporárias e permanentes, pastagem, campo, outros).
Periodicidade da medida ou observação:	20 anos no caso do Brasil e 16 anos no caso da Colômbia
Unidade de medida ou observação:	Área medida em hectares, da ocupação por urbanização e mudanças dos usos de terras, nas 5 categorias de análise, em ambas as bacias hidrográficas, nos períodos de 20 anos e 16 anos.

Elaboração: Hincapié, 2016. **Adaptado de:** Quiroga, 2009.

Usos urbanos nos fundos de vale

Quadro 8. Operacionalização da variável independente: usos urbanos nos fundos de vale

Nome da variável:	Usos urbanos nos fundos de vale
Descrição da medição da variável:	Esta variável mede o número e magnitude das intervenções urbanas, que mudam de forma negativa a dinâmica natural dos leitos e eixos fluviais (correnteza, direção do fluxo, variação da geometria do canal). Entre essas intervenções incluem-se: ocupações urbanas nos leitos menores; estrangulamentos do canal principal por conta de infraestrutura urbana (pontes, túneis, passo de ruas, etc.). Esta variável permite coligar sobre um urbanismo compatível, ou não, com a dinâmica hidráulica dos eixos fluviais (geometria de canais, conforme os cursos da bacia, áreas de infiltração e recarga de aquíferos nos eixos fluviais, sinuosidade dos cursos nos fundos de vale, controle de inundações).

Cenário de ação da variável:	Variável focada aos cursos baixos, jusantes e fundos de vale.
Insumo 1:	Planilhas de identificação do número e magnitude das intervenções urbanas aos leitos e eixos fluviais.
Fonte dos dados do insumo 1:	Trabalho de campo para a coleta de informações, prévio desenho das planilhas no Excel.
Descrição dos instrumentos utilizados na coleta:	O desenho das planilhas de Excel foi elaborado a partir dos conteúdos do livro “Gestão das Inundações Urbanas” do autor Carlos E. M. Tucci (2007). O desenho contém os seguintes campos: • Endereço da intervenção; • Tipo de intervenção (ocupação do leito, túneis, canalização/tubulação, revestimento do canal, desvio da vazão, câmbio na geometria do canal, despejos da rede de esgotos); • Descrição do entorno da intervenção e dos possíveis efeitos sobre a dinâmica do leito e/ou dos eixos fluviais; • Magnitude da intervenção numa escala 1 para 3, com base no ponto anterior onde: 1 = baixo; 2 = médio; 3 = forte.
Descrição do cálculo da variável:	Mediante trabalho de escritório e usando o Google Earth Pro foram identificados previamente as intervenções e os possíveis efeitos negativos. Posteriormente o trabalho de campo registrou de forma mais detalhada o tipo e a magnitude das intervenções. Foram preenchidas as matrizes de Excel junto aos registros fotográficos.
Periodicidade da medida ou observação:	Sem periodicidade, somente uma medida atual.
Unidade de medida ou observação:	Número e magnitude das intervenções

Elaboração: Hincapié, 2016. **Adaptado de:** Quiroga, 2009.

Variabilidade climática

A descrição da operacionalização e o indicador da variável, se realiza conforme o Quadro 9.

Quadro 9. Operacionalização da variável independente: variabilidade climática

Nome da variável:	Variabilidade climática
--------------------------	--------------------------------

Descrição da medição da variável:	Mede a existência da influencia que têm os fenômenos de variabilidade climática sobre os aumentos ou diminuições de precipitação pluviométrica no sistema hidrológico das bacias de análise, o que conseqüentemente influi sobre as respostas hidrológica e a ocorrência de episódios prolongados de chuvas e/ou períodos prolongados de secas em cada uma.
Cenário de ação da variável:	A variável, em função da temporalidade em que se manifestar, exerce pressão e/ou gera impactos nas montantes mesmo que nas jusantes. Nas montantes, a pressão maior se relaciona com períodos de estiagem e conseqüentes diminuições na disponibilidade hídrica para abastecimento. Nas jusantes e/ou nos perímetros urbanos é geradora de impactos por inundações.
Insumo 1:	- Estudos concluentes sobre os efeitos da variabilidade climática na oferta hídrica e/ou disponibilidade hídrica da bacia. - Dados de precipitação mensal, num período de 30 anos, das estações meteorológicas presentes na bacia ou com influencia de medição sobre a bacia.
Fonte dos dados do insumo 1:	Publicações revistas especializadas com aplicação sobre a área de estudo. Coleta de dados: No Brasil: Aguas do Paraná, SIMEPAR. Na Colômbia: CVC e IDEAM
Descrição dos instrumentos utilizados na coleta:	Dados secundários coletados diretamente na instituição fornecedora mediante solicitações formais. Os dados receberam tratamento estatístico no programa Excel.
Insumo 2:	Registros históricos do fenômeno ENOS, no período de análise de 30 anos.
Fonte dos dados do insumo 2:	NOAA (<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>)
Descrição dos instrumentos utilizados na coleta:	Dados secundários coletados diretamente no site da instituição fornecedora. (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)
Descrição do cálculo da variável:	No Excel, os dados das precipitações mensais do insumo1 foram organizados em colunas por anos para calcular os valores da média, da variância, o do desvio padrão. Os valores das precipitações acima ou abaixo da média, do período de 30 anos, foram comparados com os registros do fenômeno ENOS nas fases frias e quentes, utilizando para isso a função “SE” do Excel.
Periodicidade da medida ou observação:	A identificação dessa influencia se fez com base nos registros de ocorrência do ENOS.

Unidade de medida ou observação:	Existência ou não, da influencia ao ENOS através dos aumentos ou diminuições de precipitações das bacias hidrográficas em relação aos registros do fenômeno ENOS nas fases frias ou quentes.
---	--

Elaboração: Hincapié, 2016. **Adaptado de:** Quiroga, 2009.

3.3.3.2 Descrição e indicadores de estado

Os procedimentos e indicadores dos estados, pertencentes à metodologia PER, descrita no ponto 3,1, são apresentados, mediante a operacionalização de variáveis dependentes nos Quadros 10 a 13.

Abastecimento de água

Quadro 10. Operacionalização da variável dependente: abastecimento de água

Nome da variável:	Abastecimento de água
Descrição da medição da variável:	Mede as relações entre vazões, qualidade das águas e usos das águas (vazão para abastecimento e vazão ecológica). A variável permite coligar sobre o nível de afetação da bacia, os impactos dos processos antes descritos, a qualidade de água da fonte, o manejo das quantidades nos tempos de estiagem e a necessidade de tratamentos para as águas de abastecimento.
Cenário de ação da variável:	A variável não tem distinção entre montante e jusante, o tipo de abastecimento pode mudar a localização em dependência da fonte. Assim, a fonte pode ser a condensação da humidade do ar; o mar; subterrânea; de corpos superficiais nos cursos altos da bacia ou mesmo superficial nos cursos baixos.
Insumo 1:	Vazão média obtida por dados das vazões num período de 30 anos.
Fonte dos dados do insumo 1:	No Brasil: Aguas do Paraná; SIMEPAR; SANEPAR. Na Colômbia: CVC
Descrição dos instrumentos utilizados na coleta:	Dados secundários coletados diretamente na instituição fornecedora mediante solicitações formais. Os dados receberam tratamento estatístico no programa Excel.
Insumo 2:	Custo unitário do tratamento por metro cúbico de água (\$/m ³); Número de usuários do sistema de abastecimento (pessoas); Porcentagem da vazão para abastecimento durante períodos normais (%) (m ³ /s); Porcentagem da vazão para abastecimento durante secas (%) (m ³ /s);
Fonte dos dados do insumo 2:	Obtidos diretamente nas ETAs (Estação de Tratamento de Águas)

Descrição dos instrumentos utilizados na coleta:	Solicitação formal nas instituições fornecedores. No Brasil: SANEPAR. Na Colômbia: EMCALI EICE ESP
Descrição do cálculo da variável:	Calcula-se o consumo médio por habitante em períodos normais e compara-se com o consumo durante secas: Consumo médio /pessoa = Vazão média / número de usuários Comparam-se os dados com os dos padrões de consumo nacionais Comparam-se os dados com os custos de tratamento
Periodicidade da medida:	Medida atual
Unidade de medida ou observação:	m ³ /habitante e vazões para abastecimento

Elaboração: Hincapié, 2016. **Adaptado de:** Quiroga, 2009.

Dinâmica de encostas e perdas de solos

As dinâmicas e perdas de solos, foram incluídas nas afetações por erosão, transporte e sedimentação de matérias na qualidade das águas, assoreamento de córregos, atividades de manutenção e controle de enchentes. A operacionalização desta variável independente se apresenta no Quadro 11.

Quadro 11. Operacionalização da variável independente: dinâmica das encostas e perdas de solos

Nome da variável:	Dinâmica de encostas e perdas de solos
Descrição da medição da variável:	A variável calcula de forma teórica a perda de solos da bacia utilizando a equação universal para a perda de solos RUSLE. A determinação quantitativa dos índices de perda de solos por unidade de área é utilizada de forma qualitativa para inferir sobre a intensidade e/ou estado de afetação da bacia por conta da erosão de tipo laminar, e a suscetibilidade da bacia aos possíveis processos de movimentação de massas.
Cenário de ação da variável:	A análise da variável é focada às montantes ou nas zonas das bacias com maiores declividades.
Insumos:	Informações para os cálculos de cada uma das variáveis (Intensidade da precipitação; tipo de solos; declividade; largura da rampa).
Fonte dos dados dos insumos:	As informações topográficas das bacias foram obtidas a partir de imagens de radar SRTM e geoprocessamento em ArcGis 10,2 (curvas de nível, declividade, largura média das rampas). As informações sobre tipos de solos e chuvas foram obtidas desde as instituições encarregadas do monitoramento

	ambiental em cada caso de análise. No Brasil: Agência de Águas do Paraná (intensidade das precipitações), Instituto de Terras Cartografia, e Geologia do Paraná (tipos de solos). Na Colômbia: CVC. As imagens SRTM foram obtidas desde o site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (https://www.usgs.gov).
Descrição dos instrumentos utilizados na coleta:	Informações de monitoramento hídrico e de recursos físicos assim como imagens de radar, todas, coletadas diretamente das instituições fornecedoras através de solicitação ou mediante acesso aos sites oficiais (https://www.usgs.gov).
Descrição do cálculo da variável:	O cálculo teórico da variável foi realizado utilizando a equação universal modificada da perda de solos RUSLE, cujo modelo foi desenvolvido por Renard <i>et al.</i>, (1997) a partir da equação original USLE de Wischmeier e Smith (1978). As variáveis que compõem a RUSLE são: $A = R.K.L.S.C.P$ A = perda média anual do solo por erosão /unidade de área – tempo ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$); R = fator erosividade da chuva ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$); K = erodibilidade do solo ($t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}$); L = comprimento de rampa (adimensional); S = fator declividade (adimensional); C = fator manejo de solos (adimensional); P = fator práticas conservacionistas (adimensional) Essas variáveis da equação RUSLE foram calculadas e integradas no ArcGis 10,2 mediante a ferramenta “<i>raster calculator</i>”.
Periodicidade da medida ou observação:	O cálculo é feito para o período recente, no ano 2016.
Unidade de medida ou observação:	Toneladas de solos /ha*ano

Elaboração: Hincapié, 2017. **Adaptado de:** Quiroga, 2009.

Neste ponto, foram utilizadas a ferramenta “*raster calculator*” de ArcGis e consistiu no cálculo teórico segundo a equação mundial da perda de solos ou *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE), e seguindo trabalhos de Klim (2014), Ashiagbor *et al.*, (2013) e Amsalu (2014). Os procedimentos foram:

1. Recorte das imagens SRTM;
2. Geração curvas de nível a cada 10m;
3. Geração do modelo TIN a partir das curvas de nível de 10 m;
4. Criação do MDE a partir do TIN (tamanho dos pixels = 30 m);

5. Correção do *raster* MDE mediante a ferramenta *Hydrology/fill* de ArcGis;
6. Utilização das ferramentas *Hydrology/flow direction* e *Hydrology/accumulation*;
7. Geração do *raster* das declividades;
8. Cálculo do fator L para o qual:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad m = \frac{F}{(1+F)} \quad F = \frac{\sin \beta / 0,0896}{3(\sin \beta)^{0,8} + 0,56}$$

Onde:

λ = projeção horizontal do comprimento da rampa (metros);

β = declividade do terreno (graus)

9. Cálculo do fator S: aqui o ângulo beta é assumido como o ângulo médio de todos os *grids* na direção de maior declividade

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10,8 \sin \beta_{(i,j)} + 0,03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0,09 \\ 16,8 \sin \beta_{(i,j)} - 0,5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0,09 \end{cases}$$

10. Cálculo do fator R, segundo trabalhos de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992):

$$EI = 68,730 \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,841}$$

Onde:

EI = média mensal do índice de erosão expressado em: MJ.mm/ha.h

p = Precipitação média mensal em mm

P = Precipitação média anual em mm

O valor do fator R (EI), foi calculado para cada estação meteorológica com influencia nas áreas de estudos e interpolados, em cada caso, para toda a bacia hidrográfica utilizando a ferramenta “*spline*” do ArcGis.

11. Os valores dos fatores K e C, foram adaptados da bibliografia, especialmente do trabalho de Bertoni e Lombardi Neto (2008). Aos *shapesfiles* sobre usos das terras, assim como o *shapefile* dos tipos de solos, foram adicionados estes

valores (K e C). Os *shapefiles* finais, foram convertidos para formato *raster*, mediante algoritmo *conversion/to raster/ polygon to raster*.

12. Por fim, obteve-se o valor das taxas de perdas de solos, mediante a multiplicação dos valores de todos os fatores da equação RUSLE, mediante a ferramenta “*raster calculator*”.

Serviços ecossistêmicos

Quadro 12. Operacionalização da variável dependente: serviços ecossistêmicos

Nome da variável:	Serviços ecossistêmicos
Descrição da medição da variável:	Mede o estado de conservação dos biomas e/ou dos ecossistemas da bacia hidrográfica que fornecem serviços ecossistêmicos. A diminuição de áreas permite coligar sobre os impactos secundários dos modelos de desenvolvimento extrativista presentes na bacia e a falta de gestão ou institucionalidade.
Cenário de ação da variável:	Considera-se que a variável se expressa nos cenários fora do perímetro urbano.
Insumo 1:	Imagens de satélite do ano 1996
Fonte dos dados do insumo 1:	Imagens do satélite LandSat 5.
Descrição dos instrumentos utilizados na coleta:	Dados secundários. Foram obtidos inicialmente pela NASA mas liberados para diferentes usos. Utilizam-se estas imagens por ser de livre acesso através do site: https://www.usgs.gov .
Insumo 2:	Imagens de satélite do ano 2016.
Fonte dos dados do insumo 2:	Imagens do satélite LandSat 8
Descrição do cálculo da variável:	Calculam-se as áreas destinadas aos usos de conservação e a porcentagem destas áreas sobre o global das bacias.
Periodicidade da medida ou observação:	20 anos
Unidade de medida ou observação:	Avanço ou retrocesso medido como porcentagem das Áreas (ha) destinadas a este tipo de usos.

Elaboração: Hincapié, 2016. **Adaptado de:** Quiroga, 2009.

Estruturas ecológicas e paisagem fluvial

Por fim, apresenta-se no Quadro 13, o modelo para a operacionalização da variável relacionada à estrutura ecológica e paisagem fluvial. Destacamos como de muita relevância esta variável em nossa pesquisa, uma vez que ela é uma representação da integração dos componentes, relações e comportamentos do sistema fluvial, no perímetro urbano e na construção do espaço urbano.

Para a operacionalização desta variável concebe-se a bacia hidrográfica como um sistema hidrogeomorfológico. Nesse sentido, utilizam-se dois tipos de indicadores: o indicador da qualidade hidrogeomorfológica do sistema ou índice IHG, proposto nos trabalhos de Ollero (2009), e o índice da qualidade das ribeiras (*Riparian Quality Index* - RQI), proposto por González *et al.* (2006).

O índice IHG, está composto por três parâmetros e cada parâmetro está composto por outros três indicadores (ver Tabela 1). No entanto, esse IHG foi adaptado para as necessidades da pesquisa, utilizando-se só dois desses parâmetros: I) valoração da qualidade funcional do sistema fluvial e; II) valoração da qualidade do leito. Por sua vez, o índice RQI está composto por sete variáveis, relacionadas todas à valoração da condição ecológica das ribeiras; I) continuidade longitudinal; II) largura da ribeira; III) composição e estrutura da vegetação ribeirinha; IV) regeneração vegetal; V) condição das bordas; VI) conectividade transversal; VII) permeabilidade e grau de alteração do relevo.

Quadro 13. Operacionalização da variável dependente: estrutura ecológica da paisagem fluvial

Nome da variável:	Estrutura ecológica da paisagem fluvial
Descrição da medição da variável:	Os indicadores dos índices propostos têm como propósito a medição de dois aspectos da estrutura ecológica relacionada aos eixos fluviais dos rios: I) a qualidade hidrogeomorfológica do sistema fluvial no trecho urbano e II) a condição ecológica das ribeiras. Além disso, a variável propõe identificar o número de projetos de integração entre as características ecológicas dos eixos fluviais, especificamente das áreas de preservação permanente e formação de corpos hídricos superficiais como lagoas, com o planejamento urbano da cidade e a construção de espaço.
Cenário de ação da variável:	A análise da variável está focada à expressão espacial no perímetro urbano, portanto, relaciona-se estreitamente com a gestão da cidade e os componentes de integração urbana.

Insumo 1:	Imagens de satélite, de escalas maiores que as do conjunto Landsat
Fonte dos dados do insumo 1:	As imagens foram extraídas desde o Google Earth Pro devido, entre outras razões, ao acesso simples e gratuidade das imagens e à facilidade do manejo do programa.
Descrição dos instrumentos utilizados:	Informações cartográficas secundárias obtidas diretamente do programa Google Earth Pro
Insumo 2:	Planilhas de campo para a identificação e medição das variáveis que compõem os dois índices propostos assim como para a identificação do número de estruturas ou projetos que integrem este tipo de características ao funcionamento da cidade (parques lineais em áreas de proteção permanente, outras atividades de lazer e conservação).
Fonte dos dados do insumo 2:	Trabalho de campo
Descrição dos instrumentos utilizados na coleta:	O desenho das planilhas de Excel para trabalho de campo foi elaborado a partir das variáveis propostas nos trabalhos de Ollero (2009) e González (2006).
Descrição do cálculo da variável:	Mediante trabalho de escritório e usando o Google Earth Pro, foram identificados, previamente, as estruturas de manejo hídricos com integração urbana. Posteriormente, o trabalho de campo registrou de forma mais detalhada os tipos de projetos e critérios descritos. Foram preenchidas as matrizes de Excel junto aos registros fotográficos.
Periodicidade da medida ou observação:	Sem periodicidade, medição atual.
Unidade de medida ou observação:	As avaliações foram feitas conforme os índices propostos.

Elaboração: Hincapié, 2017. **Adaptado de:** Quiroga, 2009.

Devido aos resultados quantitativos, da aplicação dos índices relacionados no Quadro 13, classificam-se em níveis qualitativos, e considerando que a nossa tese faz uma adaptação própria desses índices, propomos, baseados nos trabalhos originais (OLLERO, 2009; GONZÁLEZ, 2006), as seguintes classificações.

Para o Índice Hidrogeomorfológico (IHG): I) de 0 a 12 pontos: qualidade muito ruim; II) de 13 a 24 pontos: qualidade ruim; III) de 25 a 36 pontos: qualidade aceitável; IV) de 37 a 48 pontos: qualidade boa e; V) de 49 a 60 pontos: qualidade muito boa. Por sua vez, as avaliações para cada um dos componentes dos parâmetros funcionam de forma diferente do que a somatória global do IHG, por tanto propomos a seguinte

classificação individual: I) de 0 até 10 pontos: ruim; II) de 11 até 20 pontos: aceitável; III) de 21 até 30 pontos: boa.

Para a avaliação das condições ecológicas mediante o índice de qualidade ribeirinha (RQI): I) de 10 a 39 pontos: muito pobre; II) de 40 a 59 pontos: pobre; III) de 60 a 79 pontos: aceitável; IV) de 80 a 99 pontos: boa; V) de 100 a 120 pontos: muito boa.

3.3.3.3 Matriz de pressões e impactos

Por fim, com as informações (ID), geradas na matriz sobre a estrutura biofísica (primeira matriz), assim como com a identificação dos processos de pressão (variáveis independentes), e os estados dos propósitos de gestão metropolitana, selecionados teoricamente (variáveis dependentes), cria-se a segunda matriz do Quadro 14, com a qual procuramos ligar e/ou relacionar os conteúdos anteriores.

Quadro 14. Matriz de *inputs* e *outputs*

Variáveis independentes (Input)	Valor indicador	Componentes biofísicos	Associações entre inputs e outputs	ID2 (identificação da resposta)
Variável n				Rn
Variáveis dependentes (Output)	Valor indicador	Componentes biofísicos	Associações entre inputs e outputs	ID3 (identificação da gestão)
Variável n				Gn

Elaboração: Hincapié, 2017.

O entendimento das relações do Quadro 14, é possível a partir da formulação de uma pergunta de associação. Por exemplo: como se manifesta a relação entre variabilidade climática (variável independente) e o impacto no abastecimento de água? (Associações entre *inputs-outputs*). As respostas a este tipo de pergunta, nos dirige às análises comparativas do planejamento, gestão e, por fim, à integração, ou não, das propriedades emergentes das bacias hidrográficas, no desenvolvimento dos contextos metropolitanos.

3.3.4 Avaliação dos modelos de decisões conforme normativas de gestão territorial e ambiental

Para a avaliação dos mecanismos de resposta, em cada caso, é preciso a revisão dos arcabouços normativos e institucionais, relacionados aos dois tipos de

variáveis. Neste sentido, o presente item focou-se na análise e descrição das estruturas normativas de planejamento e gestão, de bacias hidrográficas e de áreas metropolitanas, e de suas ligações. A busca e registro de informações para a descrição da matriz anterior, efetuou-se segundo os seguintes critérios:

- Estrutura do governo;
- Conteúdos das políticas ambientais nacionais;
- Conteúdos da política hídrica (leis das águas), marco normativo;
- Identificação de instrumentos de gestão ambiental e urbana;
- Estrutura e governança metropolitana, regulação de atividades econômicas, órgãos de controle, institutos territoriais.

Com as descrições anteriores, sobre arcabouços normativos e institucionais e, a partir do Quadro 14, realizou-se as análises dos mecanismos de respostas por cada uma das variáveis independentes. Gerou-se quatro tipos de respostas: R1, R2, R3 e R4, correspondentes às quatro variáveis de pressão selecionadas. A sistematização da revisão desses mecanismos de respostas foi realizada conforme o Quadro 15.

Quadro 15. Matriz de síntese de mecanismos de respostas

ID respostas e gestões	Descrição das respostas, integrações ou ações de gestão e planejamento
R1, R2... Rn	
G1, G2... Gn	

Elaboração: Hincapié, 2017.

3.3.5 Comparação dos modelos de decisões

Finalmente, a fase de comparação dos casos de estudo, teve como objetivo integrar os resultados acima relacionados, e responder à pergunta de pesquisa, mediante quadros comparativos que integram os tipos de funcionalidade das bacias, os processos de planejamento e gestão, e os mecanismos de integração metropolitana em cada caso de estudo.

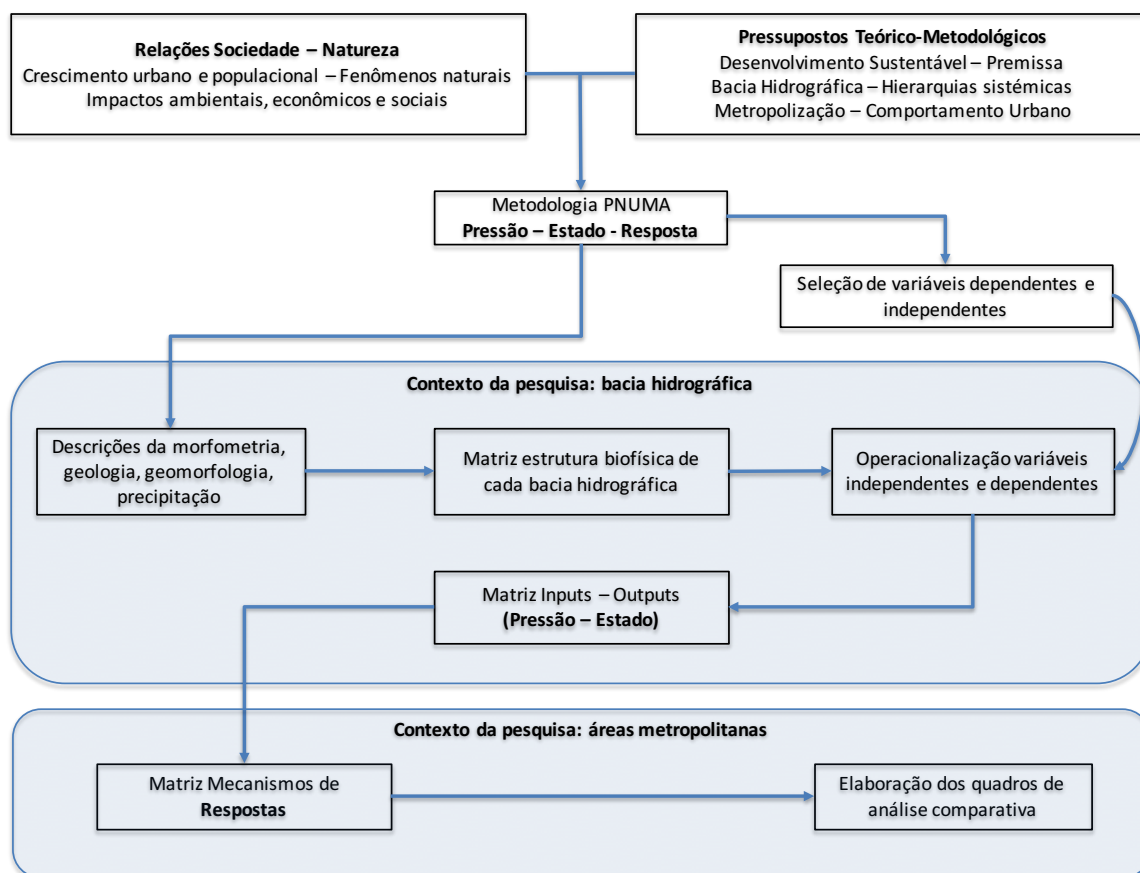
Em termos práticos, elaborou-se quadros comparativos, baseados nos critérios propostos e analisados durante todo o trabalho, isto é, nas relações de associação entre processos interferentes, funcionalidades de bacias hidrográficas e processos de planejamento e gestão. O Quadro 16, apresenta o exemplo dos quadros propostos.

Quadro 16. Quadros de comparação

Critério de comparação	Região Metropolitana de Curitiba	Área Metropolitana de Cali
R1		
R2		
Rn		

Elaboração: Hincapié, 2017.

A elaboração de todas as matrizes, com os seus respectivos identificadores (ID), tentam ligar as relações ambientais desde o nível maior (macrosistema planetário), com os componentes das bacias hidrográficas em dois cenários (montante e jusante), e por fim, com o planejamento e a gestão. Por isso é importante que o leitor preste atenção às relações que existem entre as matrizes inicial e final. A figura 6 a seguir, apresenta-se o fluxograma metodológico, no qual se incluem a seleção de variáveis, a sequencia das matrizes e a diferenciação dos cenários, onde é aplicada a metodologia, isto é, bacias hidrográficas e áreas metropolitanas.

Figura 6. Fluxograma da proposta metodológica

Elaboração: Hincapié, 2017.

4. RELAÇÃO BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAQUARA E A REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BHRP

4.1.1 Contexto e Descrição da Área de Estudo

A microbacia hidrográfica do Rio Piraquara (BHRP) tem uma área de 102,21 km². Encontra-se na vertente ocidental da Serra do Mar, no primeiro planalto paranaense, dentro do município de mesmo nome, localizado na zona leste da Região Metropolitana de Curitiba (RMC). O Mapa 1, representa a localização da bacia nos contextos continental, nacional e municipal.

O rio Caiguava é o maior tributário do rio Piraquara, que em conjunto possuem uma vazão média de 1740 l/s, a qual é utilizada nas represas Barragem Piraquara I e Barragem Piraquara II (SANEPAR, 2013). O abastecimento público de, aproximadamente 50% da população, pertencente à Região Metropolitana de Curitiba (RMC), depende da produção hídrica do município de Piraquara (COMEC, 2001).

A microbacia hidrográfica do Rio Piraquara (BHRP), localiza-se inteiramente no município de mesmo nome e, junto às microbacias do Rio Iraí e do Rio Iraizinho, conforma as nascentes do Alto Iguaçu, que logo atravessa a zona leste da conurbação de Curitiba, se converte no rio Iguaçu e percorre todo o Estado do Paraná, em direção ao terceiro planalto paranaense, até atingir o rio Paraná (PARANÁ, 2015).

4.1.2 Morfometria da Microbacia Hidrográfica do Rio Piraquara

A tipologia da rede de drenagem é dendrítica de quarta ordem. Segundo a classificação de Horton (1945), o valor do fator de forma (F), indica que, quando comparada com um retângulo, a BHRP tem pouca tendência à acumulação de cargas pelo escoamento superficial. A ação das águas com os tipos de rochas das camadas litosféricas, definem e modelam este tipo de formas. O índice de alongamento maior à unidade indica que é uma bacia relativamente alongada. Enquanto que o índice de compacidade de Gravelius (relações entre a área e perímetro da bacia com a área de um círculo), indica que a BHRP tem uma forma oval oblonga. Os parâmetros morfométricos da BHRP são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros morfométricos da BHRP

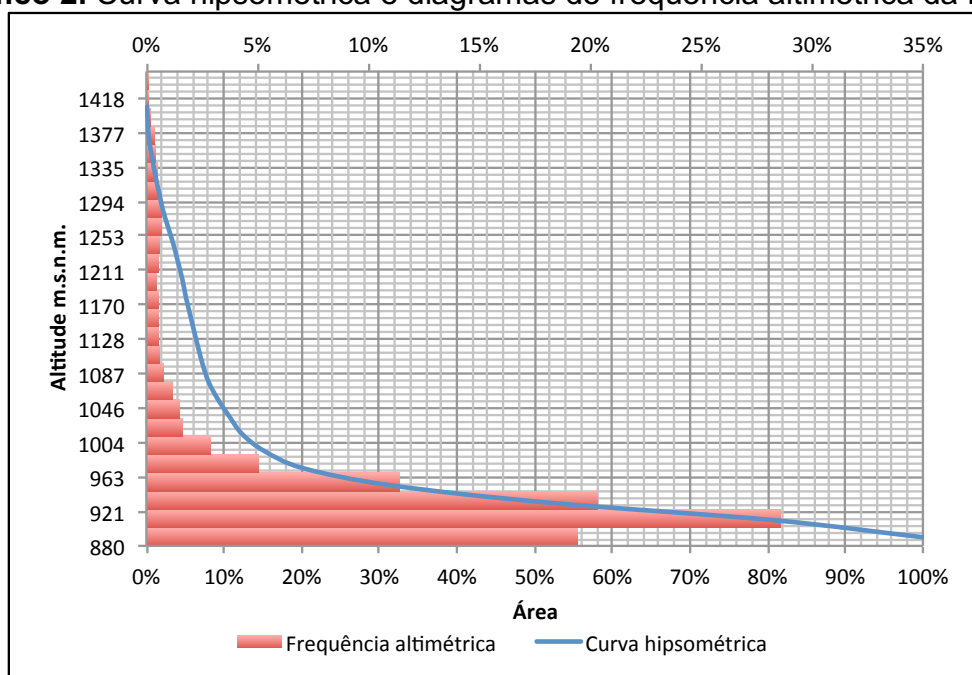
Parâmetro	Quantidade	Unid.
Área (A)	102,21	km ²
Perímetro (P)	55,85	km
Longitude (L)	17,89	km
Largura da bacia (W) ($W=A/L$):	5,71	km
Cota menor	880	m.s.n.m.
Cota maior	1438	m.s.n.m.
Altura	558,19	m
Fator de forma (F)	0,32	N.A.
Índice de prolongamento (I)	3,13	N.A.
Índice de Gravelius (K)	1,56	N.A.
Densidade da rede de drenagem	3,6	km/km ²

Elaboração: Hincapié, 2017.

A baixa declividade e forma alongada, tipo retangular, fazem com que a BHRP tenha, em termos gerais, tenha uma alta capacidade para dissipar a energia potencial e cinética das precipitações pluviais que, junto com as coberturas vegetais de zonas de proteção permanente da Serra do Mar, contribuem para baixas taxas de erosão, favorecendo também taxas mais prolongadas de infiltração da água na terra.

4.1.2.1 Relações de Área e Elevação

Mediante o método de “Área - Elevação”, utilizado na elaboração da curva hipsométrica, determinou-se uma altitude média de 950,8 m.s.n.m. na BHRP, isto é, 50% da área da bacia, encontra-se acima deste valor, e a outra, 50% abaixo. A altitude média, a curva hipsométrica e o diagrama de barras das frequências altimétricas da BHRP, apresentados no Gráfico 2, permitem inferir que a maior parte da área da BHRP (mais de 80%), se concentra nas cotas entre 880 até 980 m.s.n.m. Consequentemente, menos de 20% da área, encontra-se em zonas íngremes, que começam em torno de 1.100 m.s.n.m., pertencentes aos morros de origem plutônica da Serra do Mar.

Gráfico 2. Curva hipsométrica e diagramas de frequência altimétrica da BHRP

Elaboração: Hincapié, 2017.

A forma da curva hipsométrica da BHRP, segundo a classificação de Stralher (1957), indica um estado posterior ao equilíbrio dinâmico, mas em constante e gradual movimentação. A Fotografia 1 apresenta, em contexto, parte das características topográficas e declivosas dos morros da Serra do Mar paranaense, a montante da microbacia do rio Piraquara.

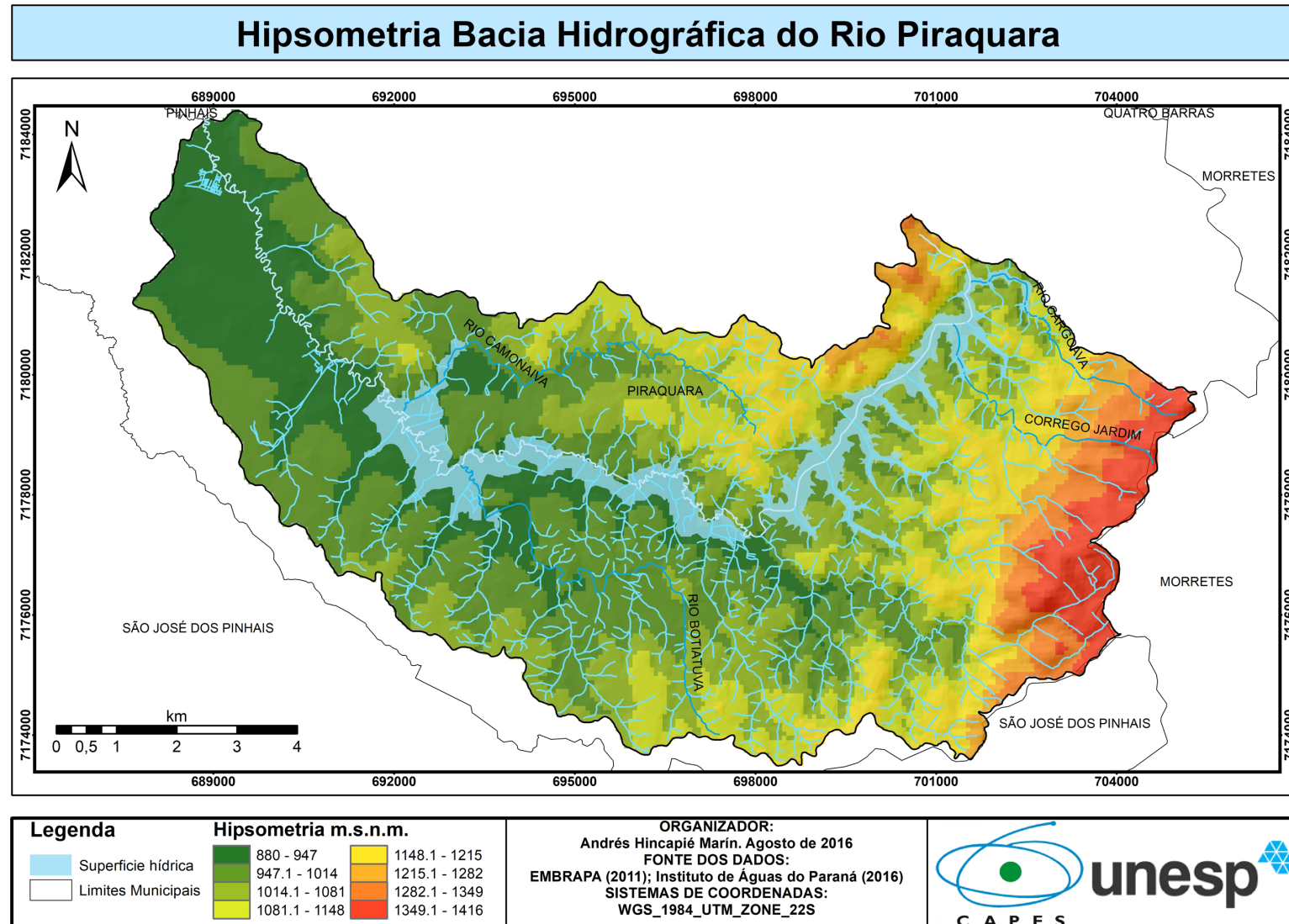
Fotografia 1. Morros à montante da BHRP, na Serra do Mar Paranaense no Município de Piraquara

Fonte: Acervo pesquisa. Autoria Hincapié, 2017.

A ação das forças endógenas da bacia é fraca e de pouca relevância para o sistema, enquanto que a ação das forças exógenas é, aparentemente, maior, fazendo com que o sistema tenha uma tendência maior à formação de morros alongados e pouco declivosos, com grandes camadas e depósitos sedimentares nos fundos de vale. O Mapa 3 e a Fotografia 2 mostram, de forma complementar, essas relações hipsométricas.

A Fotografia 2, foi tirada em direção sudeste – noroeste, desde o Morro do Canal, localizado na zona marcada com vermelho do Mapa 3. A Fotografia mostra a rápida variação da declividade entre montante e jusante, as vertentes dos morros do fundo da Fotografia, os morros alongados e pouco declivosos da parte média e baixa da bacia, o espelho lagunar das represas Piraquara I e Piraquara II, e a abundante vegetação da Mata Atlântica.

Mapa 3. Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Piraquara, PR



Fonte de dados: EMBRAPA, 2011; Instituto de Águas do Paraná, 2016. **Geoprocessamento e elaboração:** Hincapié, 2016.

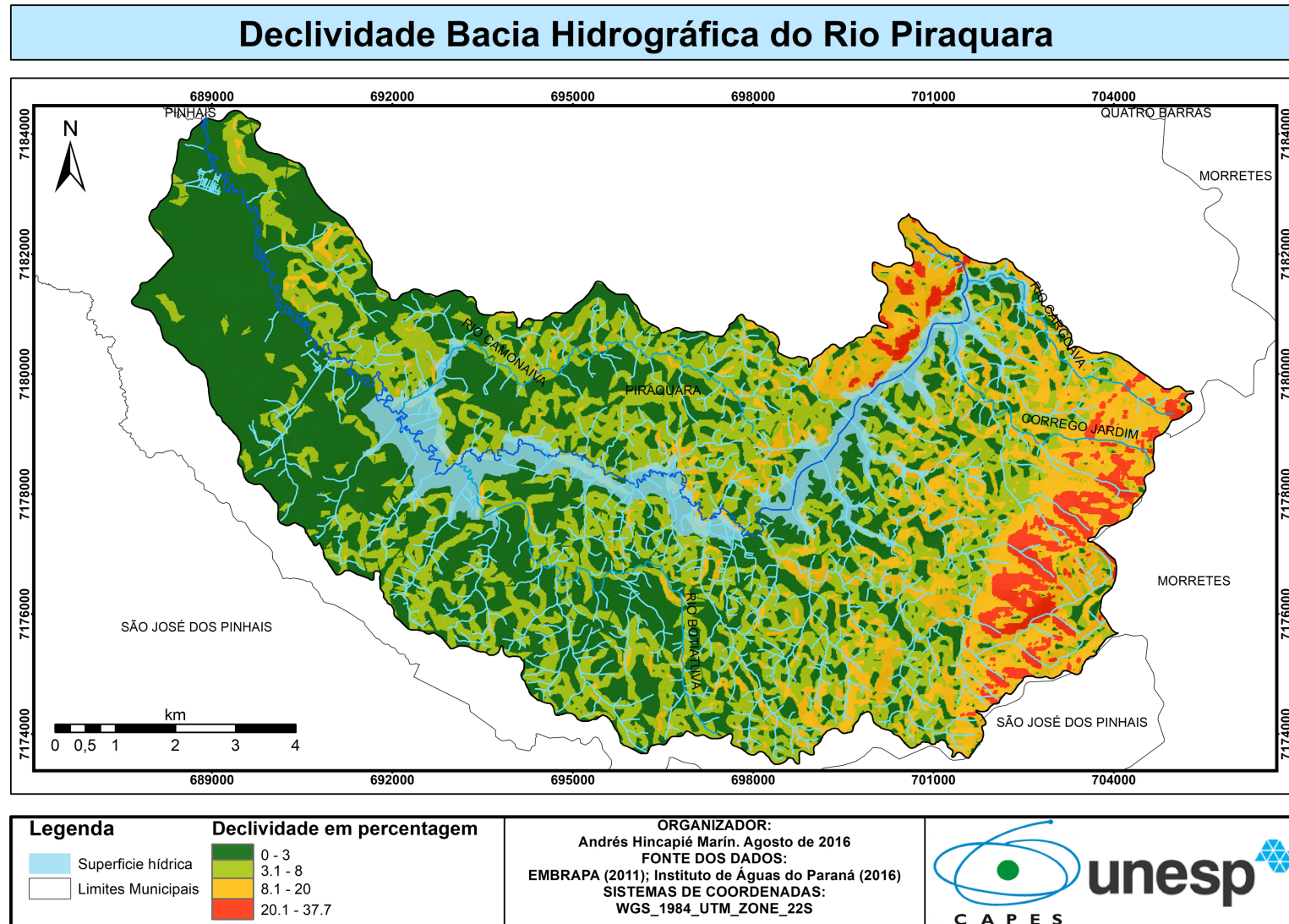
Por último, o gradiente da declividade, relaciona-se direta e proporcionalmente com a velocidade e concentração do escoamento superficial, assim como com a taxa de infiltração. Entre maior declividade, mais velocidade do fluxo e menor taxa de infiltração, a declividade média da BHRP, calculada no ArcGis 10.2, mediante o método de *Alvord*, assume um valor de 7,2%. Conforme as classificações de Tucci (2009), a declividade da BHRP, indica uma topografia medianamente acidentada. Segundo a classificação proposta pelo IBGE (2009), a bacia hidrográfica do Rio Piraquara possui um tipo de declividade fraca (Fa), entre 3% e 8%. O Mapa 4, proporciona uma visão das declividades em valor de porcentagem, para as áreas da BHRP.

Fotografia 2. Panorama da BHRP desde o Morro do Canal



Fonte: Acervo pesquisa. Autoria Hincapié, 2017.

Mapa 4. Declividade da bacia hidrográfica do rio Piraquara, PR



Fonte de dados: EMBRAPA, 2011; Instituto de Águas do Paraná, 2016. **Geoprocessamento e elaboração:** Hincapié, 2016

A Fotografia 3, é um registro dos fundos de vale, à jusante da microbacia do rio Piraquara, que fazem parte também das várzeas do Alto Iguaçu. Nota-se as baixas declividades da zona, vales muito amplos e formação da vegetação herbácea e arbustiva características das várzeas.

Fotografia 3. Várzeas da jusante da BHRP



Fonte: Acervo pesquisa. Autoria Hincapié, 2017.

4.1.3 Aspectos Meteorológicos e Climáticos

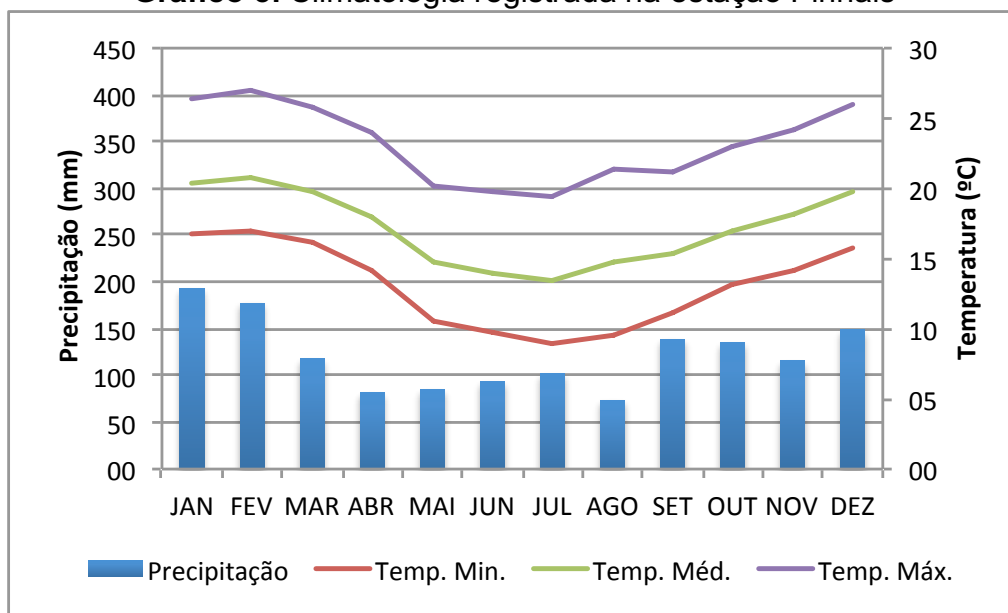
Em relação à influência geográfica da zonalidade global, a BHRP encontra-se localizada na faixa dos 25°S, próxima ao Trópico de Capricórnio, abaixo da linha que limita a zona tropical da zona temperada do Sul. Embora esta seja uma faixa de luminosidade temperada, sua proximidade com o Oceano Atlântico, apenas separado pela Serra do Mar, confere-lhe características diferentes do clima propriamente temperado (MENDONÇA, 2001).

A precipitação pluviométrica média anual da BHRP é de 1866 mm. O Gráfico 3, apresenta o comportamento das temperaturas e precipitações médias durante um ano na estação meteorológica Pinhais.

Nesta região de análise, os sistemas atmosféricos intertropicais e polares travam confrontos, mas há predominância de uns sobre outros em função do aumento ou diminuição da energia solar disponível. Nos verões, o ar quente das massas Tropical Continental e Tropical Atlântica determina, de forma geral, o aumento das

temperaturas. Nos invernos, as temperaturas do ar são influenciadas pela passagem das massas polares atlânticas. Os movimentos de translação da terra influenciam a quantidade de entrada de energia e, portanto, sua disponibilidade para o sistema (DANNI-OLIVEIRA, 1999; MENDONÇA, 2001).

Gráfico 3. Climatologia registrada na estação Pinhais



Organização: Hincapié, 2017. A partir de dados da SIMEPAR (período de dados: 1.997 – 2.016).

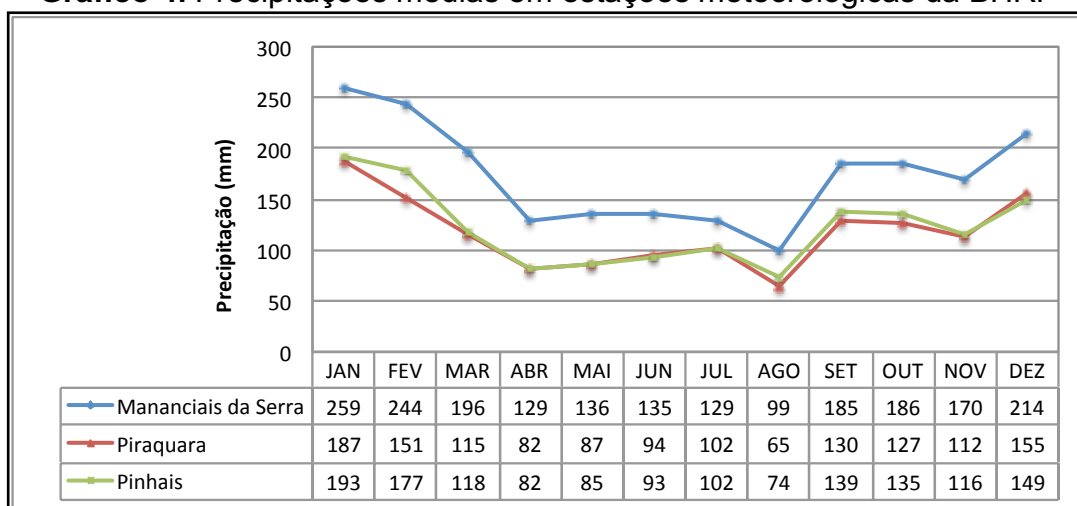
Segundo o Gráfico 3, a jusante da BHRP, apresenta um comportamento hidroclimatológico mono-modal, com aumento de temperaturas e precipitações em setembro, alcançando maiores valores entre dezembro e janeiro. Nos meses de abril até setembro, há diminuição de temperaturas. Julho e agosto, tem sido os meses com os registros de temperaturas mais baixas e de menor precipitação. Durante este período, as temperaturas são afetadas pela diminuição da entrada de energia solar e pela predominância dos sistemas atmosféricos polares, que introduzem massas de ar frias e secas (DANNI-OLIVEIRA, 1999).

Entre os aspectos mesoclimáticos de menor escala, que interferem na característica climática local da BHRP, destaca-se, além da proximidade com o Oceano Atlântico, a localização na borda oriental do Primeiro Planalto Paranaense, sua altitude média de 900 m.s.n.m., a barreira geográfica natural da Serra do Mar e sua topografia de transição entre serra e planalto (IPPUC, 2012).

O Gráfico 4 apresenta o comportamento das precipitações médias de três

estações meteorológicas: Mananciais da Serra; Pinhais; e Piraquara. Estas duas últimas estão localizadas nas zonas baixas da bacia. Por sua vez, a distribuição altimétrica das precipitações pluviométricas na bacia se comportam, segundo os registros da ANA e do SIMEPAR, do modo representado no Quadro 17.

Gráfico 4. Precipitações médias em estações meteorológicas da BHRP



Organização: Hincapié, 2017. A partir de dados da SIMEPAR (período de dados: 1997 – 2016) e do Instituto de Águas do Paraná (período de dados: 1986 – 2016).

A montante da bacia, encontra-se na borda oriental da Serra do Mar, isto é, sua área se distribui desde o leste em direção oeste até atingir o Rio Iguaçu (Alto Iguaçu). Desde os morros cristalinos da Serra do Mar, o sistema hidrológico da bacia já é afetado pelas precipitações orográficas. Estas características de mesoclima e topoclima, fazem da bacia um espaço de reserva hídrica aproveitado para o abastecimento da RMC.

Quadro 17. Relações altimétricas das estações meteorológicas da BHRP

Estação	m.s.n.m.	Registros Mínimos e Máximos	Média
Mananciais da Serra	979	2,2 – 541,2	154,12
Piraquara	900	1,5 – 466,7	116,6
Pinhais	887	0,4 – 483,6	121,9

Elaboração: Hincapié, 2017.

Conforme a classificação de Koeppen, a BHRP localiza-se na região climática do tipo Cfb, possui um clima temperado (ou subtropical) úmido, mesotérmico, sem estação seca, com verões frescos e invernos com geadas frequentes e ocasional precipitação de neve (IPPUC, 2012a). Na classificação de Arthur Stralher, a BHRP encontra-se no clima subtropical úmido, este último abaixo do Trópico de Capricórnio.

Pelo Zoneamento Bioclimático Brasileiro, estabelecido pela norma brasileira 15220 de 2005 – Parte 3, Curitiba se encontra na Zona Bioclimática 1, que é a mais fria das oito zonas climáticas brasileiras e corresponde a apenas 0,8% do território nacional (ABNT, 2005).

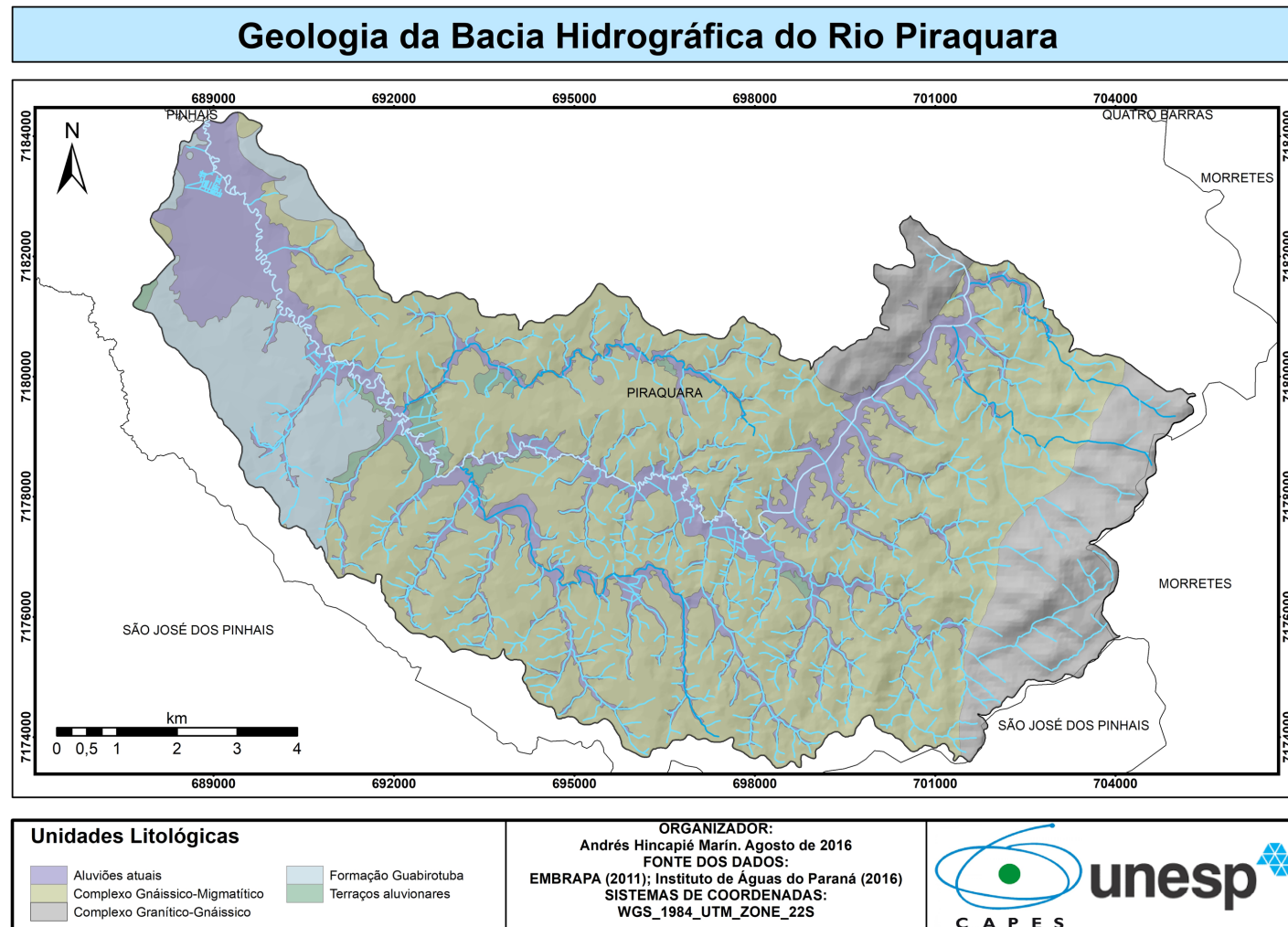
4.1.4. Geologia

A carta geológica da bacia hidrográfica do rio Piraquara em escala 1:20.000, fornecida pelo Instituto das Águas do Paraná (IAP), relaciona cinco tipos de processos geológicos e mostra a influência do tempo geológico na formação do baseamento atual da área de estudo. Essas formações geológicas são combinadas com o relevo local, obtidos a partir da imagem SRTM SG-22-X-D e apresentados no Mapa 5.

Segundo o Mapa 5, há dois grandes tipos de processos geológicos na área da BHRP, um destes grupos está composto pelos complexos Gnáissico-Migmatítico e Granítico-Genáissico, de origem proterozóica, com rochas ígneas de natureza vulcânica e plutônica. O outro grande conjunto geológico está composto pela Formação Guabirotuba, uma extensa rede de depósitos sedimentares do Cenozóico, dispersos ao longo da bacia do Alto Rio Iguaçu, e pelos terraços aluvionares e os aluviões atuais. Esses últimos, correspondem aos processos sedimentários de formação recente (1,8 milhões de anos aproximadamente), mas utilizados atualmente para a exploração e produção de areia e brita (MINEROPAR, 2001).

O município de Piraquara destaca-se, além da produção hídrica para abastecimento da RMC, pela produção de brita. Há vários empreendimentos de exploração de recursos minerais deste tipo, alguns abandonados (Pedreira de Piraquara), mas outros em atividade como a pedreira “Boscardin”. Essa última exploração, encontra-se por fora da BHRP, ao norte do município Piraquara (MINEROPAR, 2001).

Mapa 5. Geologia da bacia hidrográfica do rio Piraquara, PR



Fonte de dados: Instituto de Águas do Paraná, 2016; EMBRAPA, 2011. **Geoprocessamento e elaboração:** Hincapié, 2016

4.1.5 Geomorfologia

4.1.5.1 Morfoestruturas da microbacia do Rio Piraquara (primeiro táxon)

A morfoestrutura, constitui-se na base que sustenta o relevo (ROSS, 1992, SILVA; RODRIGUES, 2009). Neste sentido, no intuito de identificar o primeiro táxon, os cinco tipos de rocha do Mapa 5 (Geologia), podem ser classificados pelo tempo geológico e processos de formação em dois grupos: as do Proterozóico e as do Quaternário. As rochas da era Proterozóica são ígneas e metamórficas, complexos de origem plutônico, resistentes à denudação, formados a mais de dez quilômetros abaixo da superfície (TEIXEIRA, 2001), ao passo que as formações do período Quaternário, são de natureza sedimentar e tem idades bem mais recentes, pertencentes à época holocênica.

Estes pressupostos, sobre mega configurações geológicas e natureza das rochas, convertem-se no primeiro insumo para o entendimento das morfoestruturas da BHRP, assim como para o entendimento de processos em escalas maiores. Os trabalhos de Paraná (2006), mostram as distinções em relação à idade geológica, para todo o estado do Paraná na escala 1:250.000. As diferenças geológicas permitem classificar a bacia do Rio Piraquara em dois tipos de morfoestruturas:

- Cinturão Orogénico do Atlântico (COA);
- Bacias sedimentares Cenozoicas e Depressões tectónicas.

Cinturão Orogénico do Atlântico (COA)

O Cinturão Orogénico do Atlântico (COA) tem natureza poliorogénica. Sua gênese, relaciona-se a ciclos geotectónicos acompanhados de sedimentação, metamorfismo, falhamentos e dobramentos. Essa longa evolução geológica, culminou na cratonização da Plataforma Sul-Americana. O Cinturão Orogénico do Atlântico (COA) abrange o Planalto Atlântico, que se caracteriza por um conjunto de serras com pouco mais de 1.000 km de extensão (PARANÁ, 2006).

Bacias sedimentares cenozóicas e depressões tectónicas

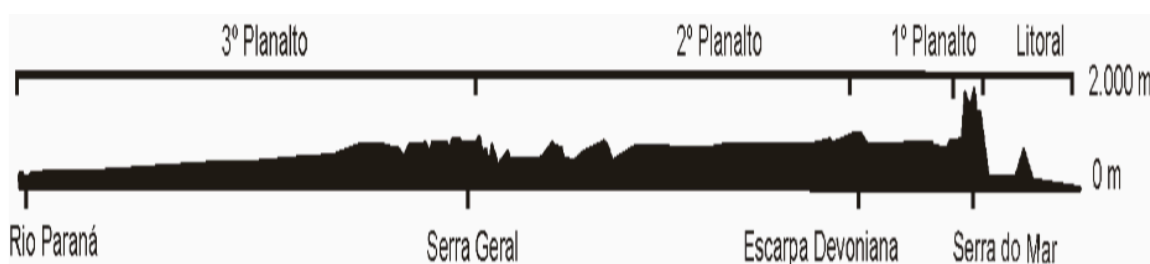
As morfoestruturas das bacias sedimentares, têm associado, como fator principal de formação, a tectônica recente, e apresentam formas de grabens e semigrabens, com preenchimento continental. Dentro desta classificação, as planícies

fluviais originaram-se pela deposição de origem fluvial (PARANÁ, 2006).

4.1.5.2 Morfoesculturas da Microbacia do Rio Piraquara (segundo táxon)

Em um nível taxonômico maior de morfoestruturas, o estado do Paraná é reconhecido pelos três planaltos no interior, que se apresentam em degraus que descem ligeiramente em direção Leste-Oeste, até o curso do Rio Paraná. Ao contrário, no leste do estado, acima do nível do Primeiro Planalto, encontra-se a Serra do Mar, o acidente orográfico mais importante do estado, constituído pelo soerguimento do complexo cristalino e que representa uma mudança rápida e íngreme em direção à orla litorânea (MAACK, 1968). A figura 7 apresenta o perfil do Paraná, segundo o trabalho de Maack (1968).

Figura 7. Perfil geomorfológico do Estado do Paraná



Fonte: Maack, 1968.

No caso da bacia do rio Piraquara, a denudação do complexo granítico é ainda muito mais lenta do que as formações sedimentares, o que explicaria a formação de morros com declividades íngremes da Serra do Mar e, ao contrário, a formação de planaltos com declividades muito baixas, por processos de acumulação nas bacias sedimentares.

Para o caso em estudo, há três padrões altimétricos: um deles representado pelas grandes extensões das planícies fluviais numa faixa que vai desde os 880 até aproximadamente os 950 m.s.n.m.; outro padrão representado por planaltos (951 até os 1150 m.s.n.m.); e um outro conjunto de formações, caracterizadas pelas elevações e morros da Serra do Mar, que vão desde os 1.151 até os 1.438 m.s.n.m.

Os três conjuntos de padrões altimétricos, refletem rugosidades diferentes e concorrem, segundo Paraná (2006), aos três táxons da segunda ordem da bacia Piraquara, um deles (planícies) próprio à unidade Bacias Sedimentares Cenozóicas e Depressões Tectônicas e os outros (Primeiro Planalto Paranaense e Serra do Mar),

pertencentes à unidade morfoestrutural do Cinturão Orogénico do Atlântico.

A climatologia e a geologia próprias da bacia hidrográfica, entendida como condicionantes na formação geomorfológica das paisagens da BHRP, fornecem-lhe geoformas adequadas para a exploração de serviços ambientais como atividades geoturísticas, agropecuárias e de urbanização, na prática, isto é formação de morros, baixa declividade característica do Primeiro Planalto Paranaense, amplos fundos de vale e terraços formados pela deposição de materiais aluvionares, entre outros.

4.1.6 Hidrografia

O curso principal do rio da bacia hidrográfica de estudo, o Rio Piraquara, nasce a partir do Riacho Caiguava. O Rio Caiguava nasce nos 1.400 metros de altitude, nos morros da Serra do Mar, e até confluir no Rio Piraquara seus trechos são declivosos. Os rios Piraquara e Caiguava, se juntam nos 930 m.s.n.m., aproximadamente, desde esse ponto o rio tem uma queda de 50 metros em relação ao ponto mais baixo da bacia (880 m.s.n.m.), onde o Piraquara desagua no Rio Iraí. Destaca-se que há, além do rio principal do Piraquara, mais três córregos importantes, que contribuem para vazão do rio principal: Botiatuva, Camonaiva e Jardim. A Tabela 3 mostra os dados mais representativos da rede de drenagem da BHRP.

Tabela 3. Hidrografia da BHRP

Descrição	Valores
Longitude do Rio Piraquara (rio principal)	34,38 km
Longitude do rio Caiguava (rio secundário)	5,14 km
Longitude do rio Botiatuva (rio secundário)	9,73 km
Longitude do rio Camonaiva (rio secundário)	9,06 km
Longitude do córrego Jardim (rio secundário)	5,2 km
Longitude da rede hidrográfica sem incluir os rios principais	304,3 km
Longitude total da rede hidrográfica da BHRP	367,8 km

Organização: Hincapié, 2016. A partir da imagem SRTM e das informações do IAP (Instituto das Águas do Paraná).

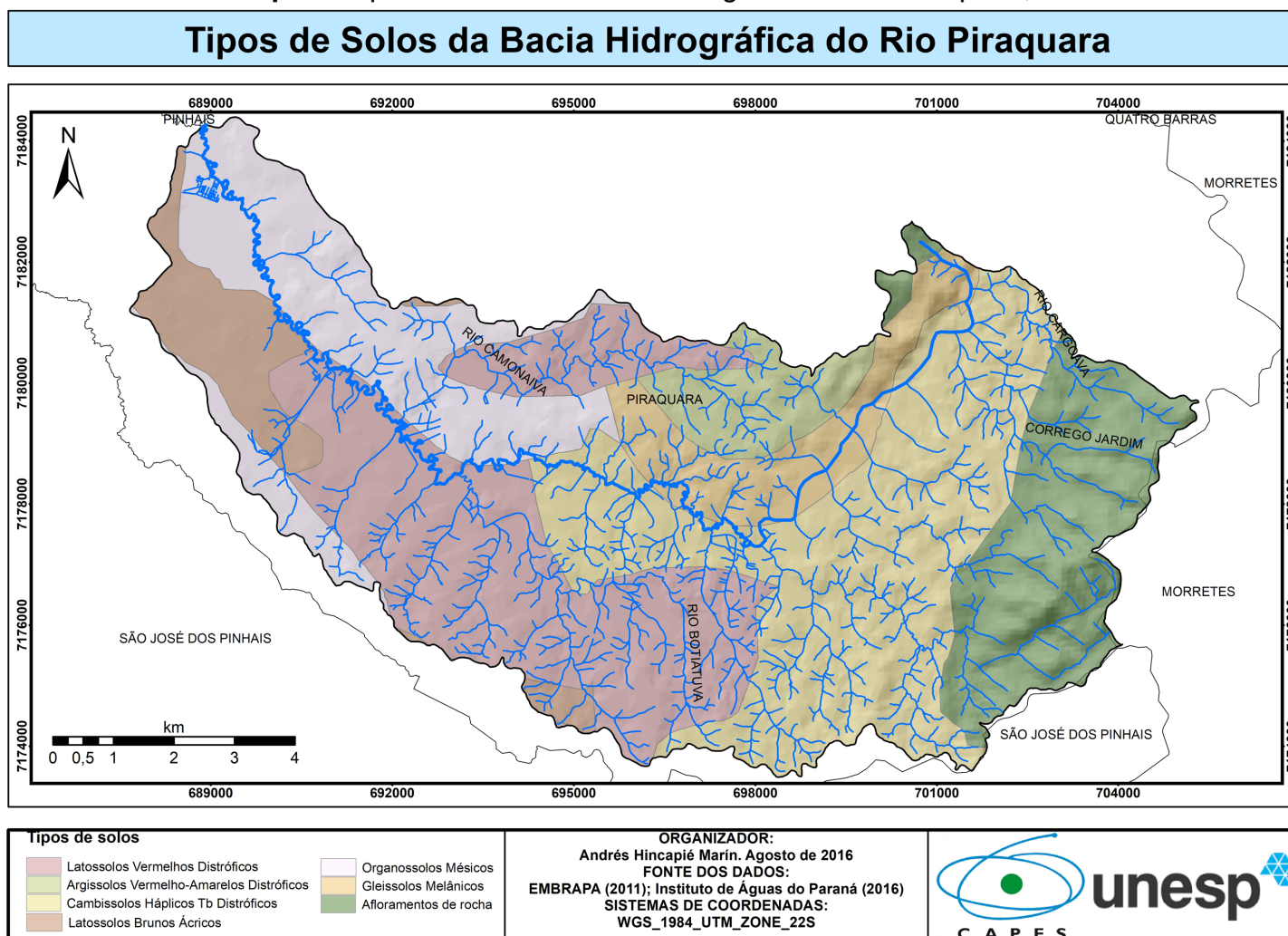
4.1.7 Tipologia dos Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Piraquara

O Mapa 6, mostra uma prevalência de Cambissolos Háplicos na montante, além dos afloramentos da rocha plutônica da Serra do Mar. Na zonas altas da bacia encontram-se, em menor proporção, Gleissolos e Argissolos Vermelhos. Nas áreas à jusante, predominam os Organossolos e os Latossolos.

Em relação aos conceitos e significados ambientais destes tipos de solos, o trabalho de Lima (2012), define que os Cambissolos, que imperam na montante, são solos, geralmente, pouco espessos, próprios de relevos inclinados. São susceptíveis à erosão, portanto, quando combinados com áreas declivosas, devem ser destinados à preservação. O mesmo acontece com os Argissolos, estes apresentam acúmulos de argila no horizonte B, ocupam regularmente estes relevos declivosos também susceptíveis à erosão. Outro tipo de solo, presente nas montantes da bacia, são os Gleissolos Melânicos, que se encontram perto dos corpos de água e dos reservatórios e têm a característica de estarem saturados em função da lamina de água da represa. Esta característica limita os seus usos para atividades urbanas, por sua instabilidade e para atividades agrícolas, devido a sua baixa fertilidade (LIMA, 2012).

Na jusante da BHRP, os Latossolos ocupam os relevos planos, são profundos, bastante intemperizados, geralmente de fertilidade limitada, mas com estabilidade perante riscos por erosão. Estas características lhes fornecem grande capacidade para suportar obras civis e usos urbanos. Por último, os Organossolos ocorrem, principalmente nas várzeas dos rios, apresentam altos conteúdos de matéria orgânica, pelo acúmulo de restos vegetais, têm uma enorme importância para o desenvolvimento de ecossistemas fluviais, devido a sua capacidade de reter água durante períodos de chuva, ajudando aos aquíferos e lençóis freáticos à entrega de água durante a estiagem. Os Organossolos devem ser preservados por sua grande importância para os corredores ecológicos, conformados pelos eixos fluviais (LIMA, 2012).

Mapa 6. Tipos de solos da bacia hidrográfica do rio Piraquara, PR



Fonte de dados: ITC, 2008; EMBRAPA, 2011; 2015; Instituto de Águas do Paraná, 2016. Geoprocessamento e elaboração: Hincapié, 2016.

4.1.8 Biodiversidade e Zonas de Vida

A zona da BHRP é reconhecida pela sua riqueza hídrica e sua diversidade em espécies florestais e faunísticas do bioma da Mata Atlântica. Segundo relatório RIMA da SANEPAR (2002), no limite leste da bacia, perto dos morros que compõem os paredões da Serra do Mar, as montanhas são recobertas por Floresta Atlântica e percebe-se a presença de espécies, que indicam a sua transição com a Floresta de Araucária em função da diminuição da altitude. A Mata Atlântica abarca diferentes tipos de formações florestais, onde se destaca, na Serra do Mar do Estado do Paraná, a Floresta Ombrófila Densa, caracterizada pela presença de árvores de porte médio e grande, nos quais se encontram associações com lianas (cipós) e epífitas em abundância, e a Floresta Ombrófila Mista, que possui uma mistura florística entre as quais se encontram gêneros Australásicos (*Drymis*, *Araucaria*) e Afro-Asiáticos (*Podocarpus*), com fisionomia fortemente marcada pelo predomínio da *Araucária Angustifolia* (pinheiro), nos estratos superiores (Ministério de Meio Ambiente do Brasil, 2010).

Fotografia 4. Floresta Ombrófila Mista na BHRP



Fonte: Acervo pesquisa. Autoria Hincapié, 2017.

A Fotografia 4, mostra a transição entre floresta atlântica e a floresta de Araucária no sopé do morro do Canal, perto da Serra do Mar Paranaense. No primeiro

plano a Fotografia 4, mostra a vegetação do vale, consistentes em herbáceas e alguns arbustos. No segundo plano, a Fotografia contém uma colina aplainada, com uma mistura da floresta de araucárias e a floresta de mata atlântica. No fundo da Fotografia, se destacam as formações geológicas da Serra do Mar, que conformam a montante da bacia hidrográfica do rio Piraquara.

Em relação à presença de plantas classificadas com o *status* de "raras", a SANEPAR (2002) já identificou na BHRP, duas espécies florestais deste tipo: pinheiro-do-paraná (*Araucária Angustifolia*) e espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*), esta última muito associada ao desenvolvimento de floresta de Araucária. Essas espécies, embora ameaçadas, não se encontram em perigo de extinção. Em relação à diversidade de espécies de fauna terrestre o RIMA do SANEPAR (2012), identificou na área da bacia BHRP, 68 espécies pertencentes a 54 gêneros, 22 famílias e 8 ordens de mamíferos, que correspondem a aproximadamente, 45% das espécies, registradas no Paraná, e 14% registradas no território brasileiro (SANEPAR, 2002), entre eles, encontram-se os felinos puma, jaguatirica, gatos-do-mato, também bugios, pacas, lontras e veados. Todas estas espécies, encontram-se em situação de ameaça. Outras espécies presentes na BHRP, não ameaçadas, mas vulneráveis pela caça clandestina e destruição do hábitat são capivara, tatu, quati e macaco-prego, para citar alguns.

Sobre as aves, a SANEPAR (2002), tem registros sobre a presença de 301 espécies de aves, distribuídas em 49 famílias distintas na BHRP. Esta identificação faz parte dos trabalhos de campo do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), para o reservatório Piraquara II, além de pesquisas já elaboradas na área. A identificação da fauna das aves está determinada pela migração estacionária. Os estudos relacionam que o ambiente com maior número de espécies é o florestal (162 espécies de aves), seguido das formações ciliares (103 espécies) e, por fim, as Capoeiras (SANEPAR, 2002).

Conforme trabalhos do Ministério de Meio Ambiente do Brasil (2010) e Watzlawick *et al.*, (2003), as florestas ombrófilas mistas do Paraná tem um enorme potencial de fixação ou redução das emissões de carbono, o que de fato já está sendo aproveitado na exploração deste tipo de mercados mediante iniciativas particulares como as da organização não-governamental "*The Nature Conservancy*", que em associação com empresas do setor automobilístico do Paraná adquirem áreas na Serra

do Mar paranaense cujo destino é a conservação.

4.1.9 Matriz da Estrutura Biofísica da bacia hidrográfica

A matriz da estrutura biofísica, propõe-se em função de apresentar os resultados do objetivo 1 da tese e, como uma forma de organizar as informações para as análises subsequentes. Assim, a matriz proposta no Quadro 18, tem como propósito a sistematização lógica do conjunto de relações macro-sistêmicas e as ulteriores micro-sistêmicas (impactos).

Em síntese, a BHRP encontra-se numa área de transição da zona tropical do Sul à zona temperada, onde predomina um clico de chuvas mono-modal com precipitações pluviais acentuadas entre setembro e fevereiro, possuindo uma forma alongada e retangular. A montante da bacia tem as formações geológicas do Proterozóico, morros plutônicos da Serra do Mar, com zonas íngremes e características físico-bióticas, que confluem na formação de dois tipos de floresta da Mata Atlântica, com potencial de produção hídrica, reserva da biodiversidade e fixação de carbono, assim como a presença de morros declivosos com interesse turístico.

A bacia tem cursos médios e baixos com a maior parte da área em zona de declividade fraca e muito fraca, com uma morfometria que contribui para dissipar naturalmente a energia cinética das vazões, com formações aluvionares do Cenózoico na jusante (formação Guabirotuba). A função da jusante se complementa com a presença de Latossolos, que são solos intemperizados e de alta estabilidade, mesmo que Organossolos, próprios das várzeas, com importância para o desenvolvimento de ecossistemas fluviais em fundos de vale, mas também para atividades agropecuárias relacionadas com áreas de inundação e várzeas.

Quadro 18. Matriz da estrutura biofísica da BHRP

Espaço da bacia	Interações maiores	Componentes	Descrição quantitativa	Descrição qualitativa	ID1
Área total	Terra-Atmosfera; Água + sistemas meteorológicos; solos ecossistemas biomas	Tempo geológico, geologia e climatologia	Fator de forma de 0,32; área de 102km ² ; índice de alongamento de 3,13; índice de Gravelius de 1,56; declividade média de 7,2%; altitude média nos 950 m.s.n.m., e o 80% da área da BHRP fica entre os 880 e 980 m.s.n.m.	Pouca tendência à acumulação de cargas por escoamento, é uma bacia relativamente alongada; o índice de Gravelius indica uma bacia oval oblonga. A baixa declividade e a forma alongada, quase retangular, fazem que a BHRP tenha, em termos gerais, uma alta capacidade para dissipar a energia potencial e cinética das precipitações pluviais intensas. A curva hipsométrica, segundo a classificação de <i>Stralher (1957)</i> , indica um estado posterior ao equilíbrio dinâmico, na fase de maturidade, de forças endógenas fracas ou de pouca relevância para o sistema. As relações de área-elevação dizem que o 80% da área da bacia fica nos relevos aplainados do Primeiro Planalto Paranaense com declividades de entre 3 e 8%.	A
Montante	Terra - Atmosfera	Geomorfologia e geologia	Três grandes padrões altimétricos de três morfoesculturas identificadas: planícies fluviais (880 – 950), planalto (951 – 1150), montanhas e morros da Serra do Mar. Define-se à altimetria da jusante desde os 880 até os 930, e montante desde os 930 m.s.n.m. até os 1418	Acima dos 1150 m.s.n.m., aproximadamente, as formas do relevo da Serra do Mar e parte do Planalto, desde os 960 m.s.n.m. elevam-se sobre os complexos granítico-gnássico e gnássico-magmático da montante, a maioria das áreas tem declividades fortes, entre 20% e 37%, a rocha plutônica possui uma estrutura resistente à meteorização o que explicaria a presença dos afloramentos da rocha granítica e as formas e características dos morros da Serra como o Morro do Canal e Morro do Vigia.	B
	Água e sistemas meteorológicos	Geomorfologia clima e meteorologia	Montanhas e morros da Serra do Mar; clima subtropical; precipitação máxima – média de 241 mm em janeiro e mínima – média de 85 mm em agosto.	A altitude da Serra do Mar influi diretamente sobre as precipitações orográficas onde os registros de quantidades de precipitação são maiores do que na jusante, a água arrastada pelos sistemas tropicais atlântico e continental descarregam com maior intensidade nos meses de novembro até fevereiro.	C
	Terra – Atmosfera + solos, ecossistemas	Geomorfologia e pedologia	Presença de dois tipos de solos: Cambissolos Háplicos e Gleissolos Melânicos além dos afloramentos de rocha.	As formas do relevo das montanhas e morros da Serra do Mar possuem declividades fortes, entre 20% e 37% constituem zonas de perda, suscetíveis à erosão, produzem solos pouco espessos, por tanto, com alto conteúdo de argila e alta capacidade reter água nos níveis superficiais (Argissolos).	D

Espaço da bacia	Interações maiores	Componentes	Descrição quantitativa	Descrição qualitativa	ID1
	as e biomas.				
Jusante	Terra - Atmosfera	Geomorfologia e geologia	Planícies fluviais (880 – 950) e planalto (951 – 1150); Formação Guabirotuba, terraços aluvionares e sedimentos do quaternário.	Predominam as geoformas de planícies e do Primeiro Planalto Paranaense sobre depósitos aluviais e sedimentos recentes da formação Guabirotuba do Quaternário, com declividades muito fracas (0% - 3%) e fracas (3% - 8%). A formação sedimentara à jusante e à foz fazem com que a formação de meandros seja muito nutrida; os canais têm predisposição ao assoreamento devido às baixas velocidades do fluxo.	F
	Água e sistemas meteorológicos	Geomorfologia clima e meteorologia	Planícies fluviais e planaltos; clima subtropical; precipitação máxima – média de 193 mm em janeiro e mínima – média de 74 mm em agosto.	Comparações entre as estações meteorológicas de Pinhais e Mananciais da Serra têm demonstrado taxas menores de precipitações pluviométricas na jusante da bacia. No entanto, nesta parte há influência das precipitações ciclônicas continentais e geadas geralmente nos meses de junho a setembro.	G
	Terra – Atmosfera; solos, ecossistemas e biomas.	Geomorfologia e pedologia	Altitudes entre 880 m e 1100 m, Organossolos Mésicos, Latossolos Brunos e Latossolos Vermelhos	A baixa velocidade do fluxo devido às declividades fracas e muito fracas facilitam estimulam a formação de Latossolos profundos e estáveis. Os Organossolos das várzeas e planícies de inundação se caracterizam por possuir camadas grossas de material aluvionar e solos hidromórficos mas que podem sustentar a base para o funcionamento dos corredores ecológicos.	H

Elaboração: Hincapié, 2017.

4.2 ANÁLISE DOS VARIÁVEIS DE PRESSÃO E ESTADO NA BHRP

4.2.1 População

As informações sobre população e demografia na bacia, são escassas, no entanto, a população que mora propriamente na BHRP, está conformada pelos habitantes da colônia italiana da Nova Tirol, dos habitantes da aldeia Araçai, pertencentes à etnia Guarani, habitantes do bairro Guarituba à jusante da bacia, e moradores do conjunto de chácaras e sítios de lazer, localizados nas bordas dos reservatórios, alguns deles funcionando como segundas residências (EMATER, 2013; IBGE, 2013).

Nova Tirol, na parte centro-norte da bacia, é uma colônia originada pela vinda de imigrantes europeus, principalmente italianos, que chegaram na região aos finais do século XIX. Atualmente, Nova Tirol é um conjunto de, aproximadamente, 96 unidades residenciais, entre chácaras e casas de campo, nas quais se mantem práticas agropecuárias de sustento (EMATER, 2013; IBGE, 2013).

Na parte centro-leste, está a população de indígenas da etnia Guarani. Moram na aldeia Araçai, situada na Estrada da Barragem da Sanepar, próximo ao reservatório Caiguava. Estima-se, que na aldeia habitam 18 famílias, com aproximadamente 90 pessoas dedicadas, basicamente, à agricultura de sustento familiar (GLOBO, 2017). Ao Sul da bacia, está o Jardim Diguimabri, um conjunto de chácaras e sítios dedicados a atividades agrícolas. No norte, encontram-se os bairros Jardim Isis (abrange a empresa Promicel Fungicultura) e Jardim dos Estados 3, esse último abrange a empresa Tecnoplanta Ltda.

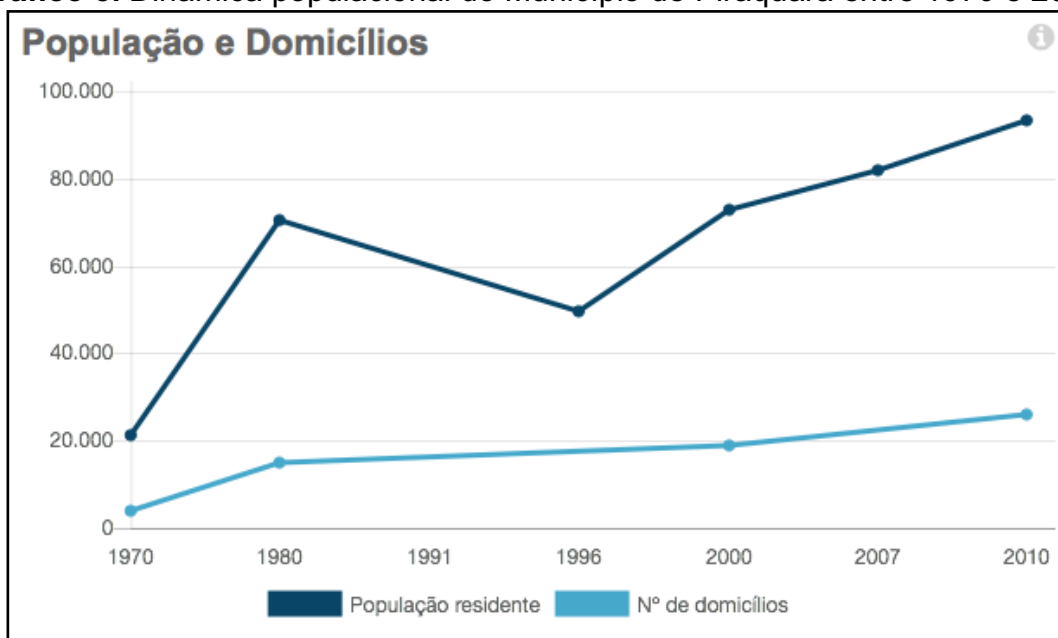
Por fim, nas jusantes da bacia encontram-se os bairros: Chácara Águas Claras (conjunto de chácaras de lazer), Planta Terezinha, Jardim Guarani, Jardim Monte Líbano, Jardim Primavera, Jardim Esmeralda e os bairros Guarituba, Jardim Caiçara, Jardim Itebere, Planta Jardim Tarumá. Destaca-se, o Guarituba como um bairro de populações de baixa renda, que se localiza perto da foz do rio Piraquara, ocupando áreas ameaçadas por inundações.

A população da BHRP está ligada, principalmente, à estrutura populacional de Piraquara. Segundo afirmações de Costa Pellizzaro *et al.*, (2008), por sua importância hídrica, a área municipal tem sido foco de diversas regulamentações que restringem a ocupação de terras perante a forte pressão populacional devido à proximidade com

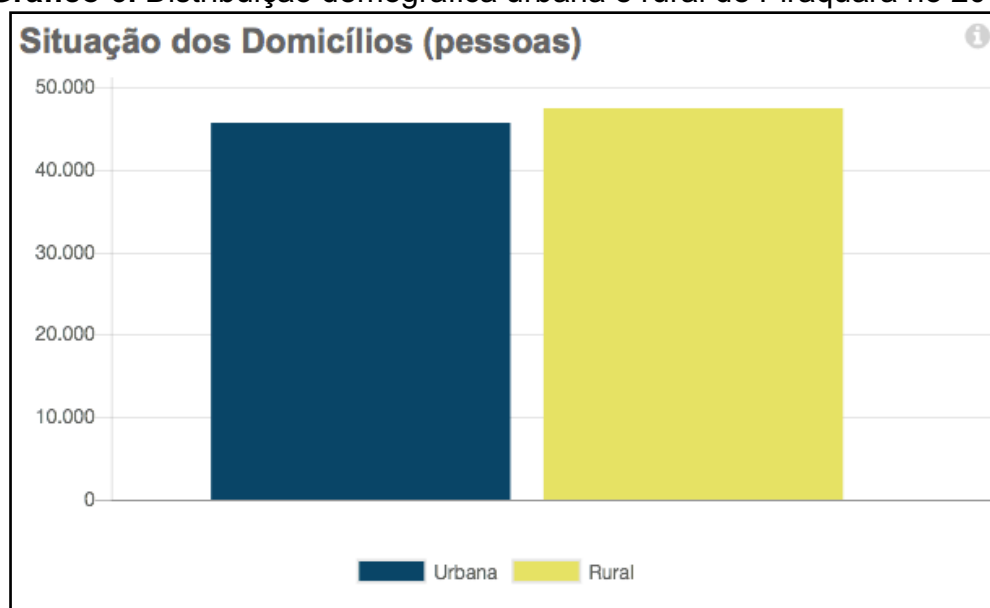
Curitiba. Essa pressão foi observada no aumento de ocupações informais nos cursos médios da bacia do Rio Piraquara, tanto como na aparição de custosos empreendimentos urbanos nas áreas de preservação natural o que, ao final, veio aumentar a demanda de serviços públicos e comerciais, assim como equipamentos urbanos e comunitários (PELLIZZARO *et al.*, 2008).

Conforme dados do IBGE (2017), estima-se que no ano de 2016, o município tinha 106.132 habitantes, uma densidade demográfica de 467,45 hab/km² e quase a metade da população na zona rural. Os Gráficos 5 e 6, representam a dinâmica demográfica de Piraquara.

Gráfico 5. Dinâmica populacional do Município de Piraquara entre 1970 e 2010



Fonte: IBGE (2017a).

Gráfico 6. Distribuição demográfica urbana e rural de Piraquara no 2016

Fonte: IBGE (2017b).

A partir dos dois gráficos anteriores, sabe-se que no município de Piraquara, houve uma ocupação que se pode classificar em três períodos destacáveis. O primeiro, de 1970 até 1980, é um período de crescimento muito rápido da população residente, a população passou, aproximadamente, de 20.000 a 70.000 pessoas. Um segundo período de diminuição de residentes, que passou dos 70.000 em 1985 a 50.000 em 1996. No terceiro período, o atual, se mantém condições de crescimento constante, desde finais dos anos 1990, chegando em 2016 quase a 100.000 residentes. Essa população de residentes, se distribui uniformemente entre domicílios urbanos e rurais, no entanto, a população da conurbação Guarituba é considerada nesses registros como população rural.

Os dados populacionais do crescimento de Piraquara são decorrentes dos processos de mudança econômica Estadual dos anos 1970 e da intensificação do uso das terras da RMC. No Paraná houve uma mudança na estruturação produtiva, iniciada nos anos 1960, com a localização industrial em Curitiba e seu entorno acompanhada da implementação de planejamento urbano na cidade polo. Destaca-se desse processo a instalação da Cidade Industrial de Curitiba (CIC) e a Refinaria Presidente Bernardes, em Araucária. A promulgação oficial da Região Metropolitana de Curitiba para a mesma década de 1970, somada à instalação da infraestrutura industrial e urbana, propiciaram a vinda de grandes grupos empresariais, o

crescimento significativo de Curitiba, também a conformação de ocupações irregulares e seu deslocamento para áreas da periferia metropolitana, que extravasaram os limites de Curitiba, acrescentando a expansão do núcleo urbano central (MOURA, 2010).

A concentração urbana e populacional da jusante da bacia de Piraquara se insere numa problemática territorial e ambiental maior, de tipo metropolitano, ligada geograficamente à dinâmica das ocupações da bacia do Alto Iguaçu. Essa bacia do Alto Iguaçu, abrange 37% da área de um conjunto de dezoito municípios, mas que concentra 96% da população dessas cidades, isto é, quase 3,5 milhões de habitantes (PREFEITURA DE PIRAQUARA, 2014).

Como apontado por Maroni (2011), o conjunto dos 18 municípios, têm alguns fatores em comum, que ameaçam a qualidade ambiental da bacia do Alto Iguaçu, entre os quais: ocupações regulares em áreas de proteção e áreas de mananciais, ocupações irregulares em zonas de risco por inundação e áreas de manancial, diminuição das matas ciliares e passivos ambientais nas áreas de ocupação irregular, decorrentes da falta de infraestrutura, mas que responde ao que o planejamento é focado e/ou associado aos interesses imobiliários, e mesmo a lei proíbe investimentos em áreas irregulares.

Em conjunto, os municípios que fazem parte da bacia do Alto Iguaçu, apresentam passivos de investimentos em infraestrutura de saneamento de mais de duas décadas. Resolver esses passivos, resulta extremadamente caro para municípios com economias limitadas como Piraquara (PREFEITURA DE PIRAQUARA, 2014). Entretanto, para resolver o problema dos passivos, os municípios devem procurar recursos de ordem estadual e federal segundo os mecanismos estabelecidos na Lei nº 11.445 de 2007, que trata sobre planos de saneamento, aspectos que serão tratados no final do capítulo.

4.2.2 Identificação dos Atores da BHRP

O planejamento e a gestão de bacias, implicam considerar as dinâmicas, causas e efeitos relacionados aos usos das águas ao longo da bacia. Neste sentido, relaciona-se na Tabela 4, os atores da bacia, as atividades econômicas mais relevantes e sua distribuição geográfica dentro da bacia.

Tabela 4. Relação dos atores e atividades dentro da BHRP

ATORES	ATIVIDADES	LOCALIZAÇÃO
Institucionais		
COMEC	Integração da BHRP à RMC	Toda a bacia
SEMA	Gestão integral do Recurso Hídrico	Toda a bacia
Comitê da Bacia do Alto Iguaçu	Gestão e Manejo Integral das nascentes da bacia Alto Iguaçu.	Toda a bacia
Instituto Ambiental do Paraná	Administração do Parque Estadual Pico do Marumbí. Preservação das nascentes.	Montante
Instituto de Águas do Paraná	Administração da APA Piraquara. Preservação das nascentes.	Montante
EMATER	Fornecimento de assistência técnica rural	Toda a bacia
Prefeitura de Piraquara	Legislação, fiscalização, investimentos e preservação dos mananciais.	Toda a bacia
Usuários da água		
SANEPAR	Coleta e tratamento para abastecimento de água à RMC através dos reservatórios Piraquara I e II; manutenção dos reservatórios, e da infraestrutura. Saneamento básico da RMC.	Curso médio e foz
Associação Agroecológica e Turística de Piraquara	Agricultura, pecuária, comercio	Curso médio e jusante
Empresa Tecnoplanta Ltda.	Grande usuário da água. Produção de batata, alho, semente de batata e semente de alho	Jusante
Conjunto de chácaras e sítios	Agricultura, pecuária, lazer	Curso médio
Sociedade civil		
Nova Tirol	Agricultura e pecuária familiar, comércio, serviços, práticas culturais relacionadas à Terra	Curso médio
Bairro Jardim dos Estados	Habitação, moradia	Jusante
Aldeia Alçara	Agricultura familiar, práticas culturais ligadas à Terra	Montante
Empresa Promicel Fungicultura	Grande usuário da água	Jusante
Bairros à jusante da bacia, do lado da PR 415 (Guaritoba, Jardim Caiçara, Jardim Itebere, Planta Jardim Tarumá)	Moradores em risco de inundações	Jusante, foz

etc)

Elaboração: Hincapié, 2017.

4.2.3 Mudanças nas coberturas das terras da BHRP

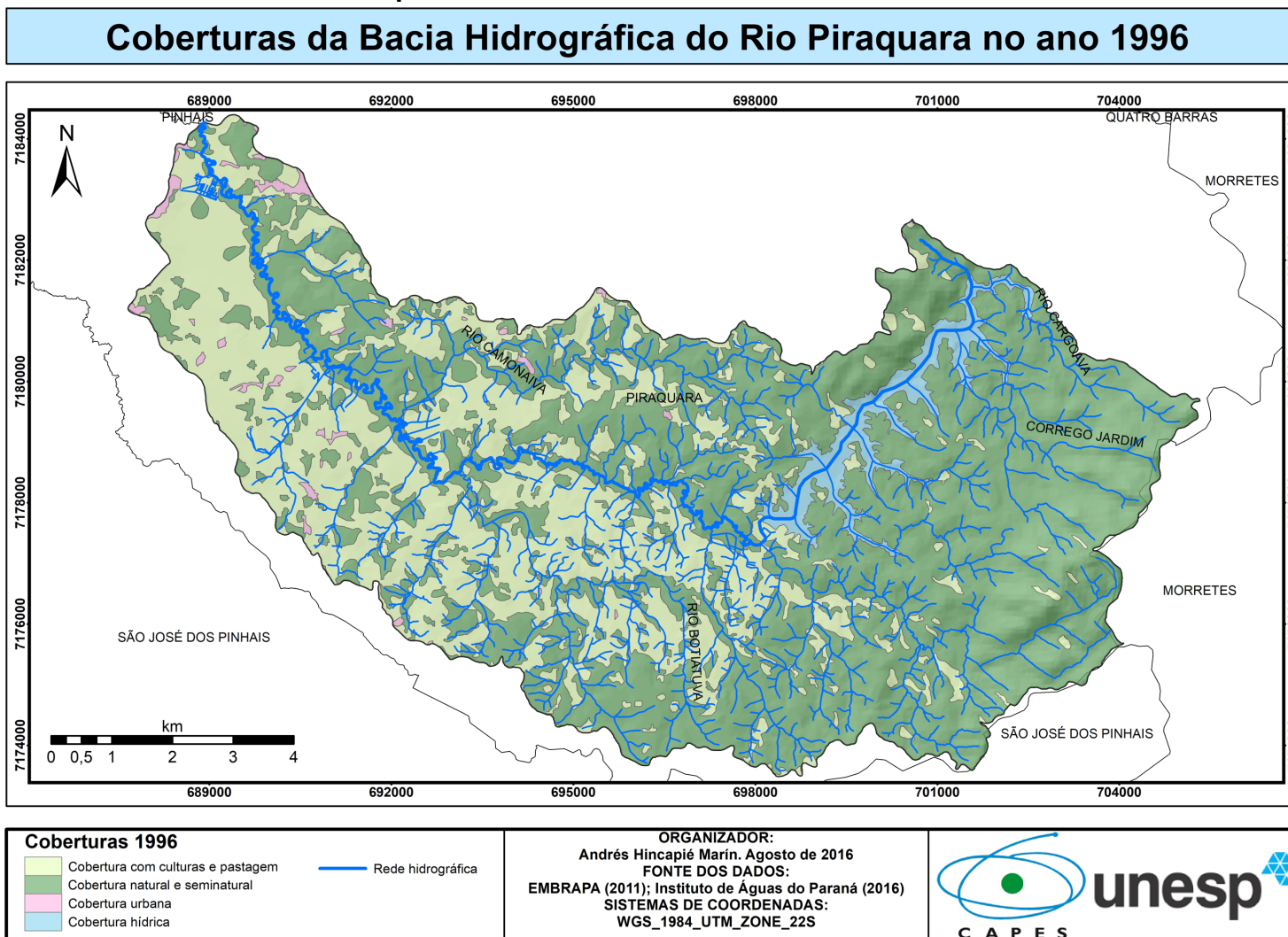
A BHRP encontra-se localizada na borda entre o Primeiro Planalto Paranaense e a Serra do Mar em sentido leste – oeste. As nascentes dos rios Caiguava e Piraquara, fazem parte do sistema hídrico e florestal de montanha do Parque Estadual Pico do Marumbí e da Área de Preservação Ambiental de Piraquara.

Os impactos e afetações da mudança das terras e processos de crescimento urbano, são analisadas mediante a comparação desses usos em um período de vinte (20) anos, entre 1996 e 2016. Como indicado nos procedimentos metodológicos, as coberturas das terras, foram classificadas em 5 categorias de análise. O Mapa 7 mostra os usos das terras no ano 1996.

Nota-se, que no ano 1996, primeiro ano de análise, a bacia do rio Piraquara conservava suas condições naturais, ou seja, áreas majoritariamente dedicadas à cobertura vegetal da Mata Atlântica. Não existia a barragem do Piraquara II, e sua construção representou uma perda de vegetação pristina. Nesse mesmo ano, as coberturas referentes à ocupação urbana representavam somente algumas manchas nas jusantes.

Entretanto, no ano 2016, a destinação de terras para projetos de armazenagem hídrico (Piraquara I e Piraquara II), ocupava quase 8% do total. Houve aumento do tamanho das coberturas com usos destinados a áreas urbanizadas, nas partes baixas da bacia e para culturas, aos redores do reservatório Piraquara II. No entanto, a cobertura mais importante das terras da BHRP continua sendo a natural, com forte foco na produção de serviços ecossistêmicos de regulação do ciclo hídrico, que por sua vez permite a coleta e disponibilização de recursos hídricos para o abastecimento da RMC. Esses tipos de usos se combinam com uma grande restrição de atividades maior, relacionadas à produção de leite e/ou de gado, por conta da forte legislação sobre preservação dos mananciais da RMC (EMATER, 2013). O mapa 8, representa as coberturas das terras no ano 2016 e, seguidamente a Tabela 5, relaciona as quantidades de áreas das coberturas da BHRP nos diferentes anos.

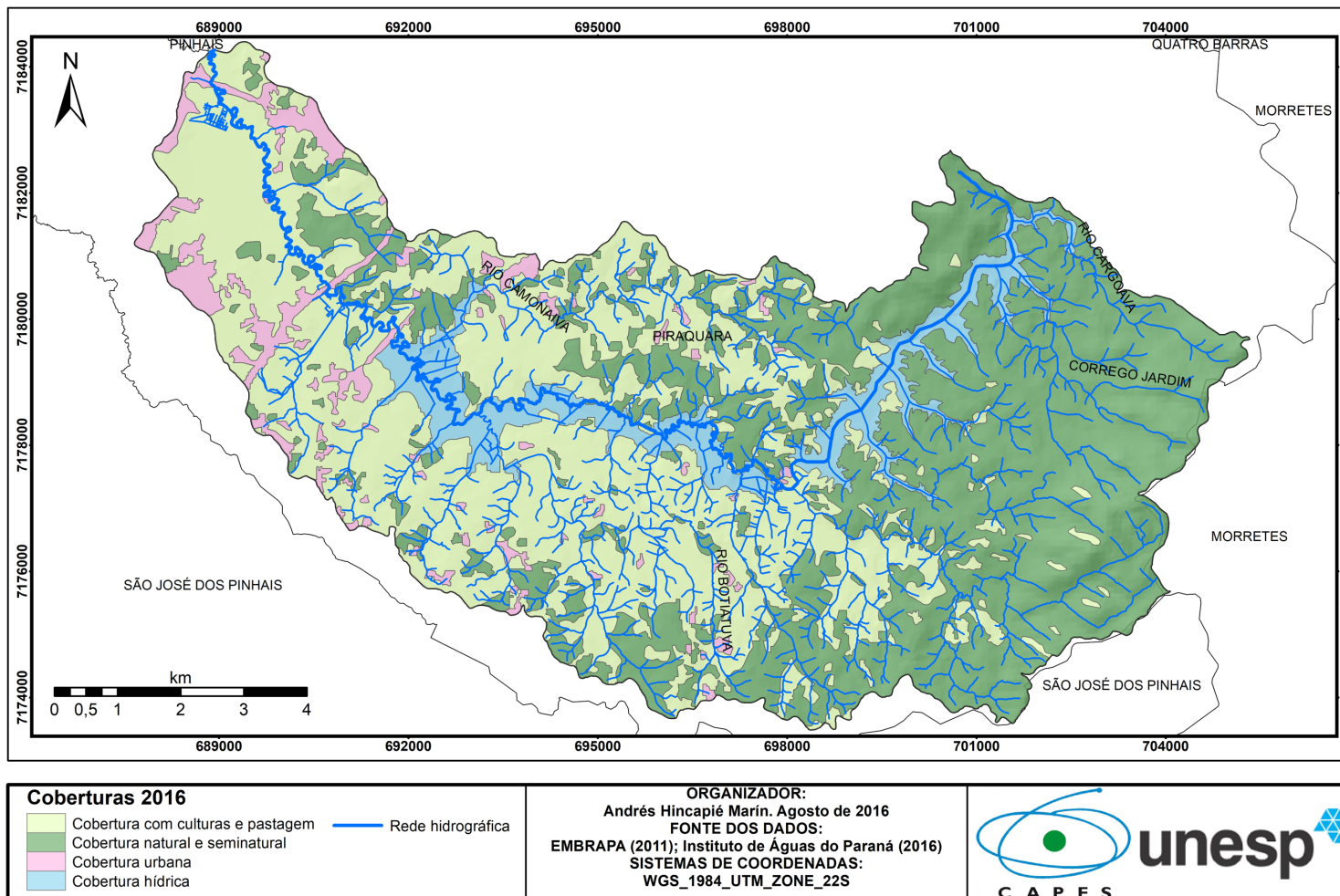
Mapa 7. Usos das terras da BHRP no ano 1996



Fonte de dados: EMBRAPA, 2011; Instituto de Águas do Paraná, 2016. **Geoprocessamento e elaboração:** Hincapié, 2017. A partir da imagem Landsat 5 LT52200781996109CUB00.

Mapa 8. Usos das terras da microbacia do rio Piraquara, Junho de 2016

Coberturas da Bacia Hidrográfica do Rio Piraquara no ano 2016



Fonte de dados: EMBRAPA, 2011; Instituto de Águas do Paraná, 2016. **Geoprocessamento e elaboração:** Hincapié, 2017. A partir da imagem Landsat 8 LC82200782016164LGN00.

Tabela 5. Coberturas das terras da BHRP nos anos 1996 e 2016

Tipo de cobertura	Área (km ²)		Aumento / Diminuição	
	1996	2016	km ²	%
Cobertura hídrica	3,47	7,88	+4,41	+127
Cobertura natural e seminatural	64,15	45,88	-18,27	-28,4
Cobertura artificial com construções	0,73	4,49	+3,76	+515
Cobertura com culturas e pastagem	33,84	43,94	+10,1	+29,8

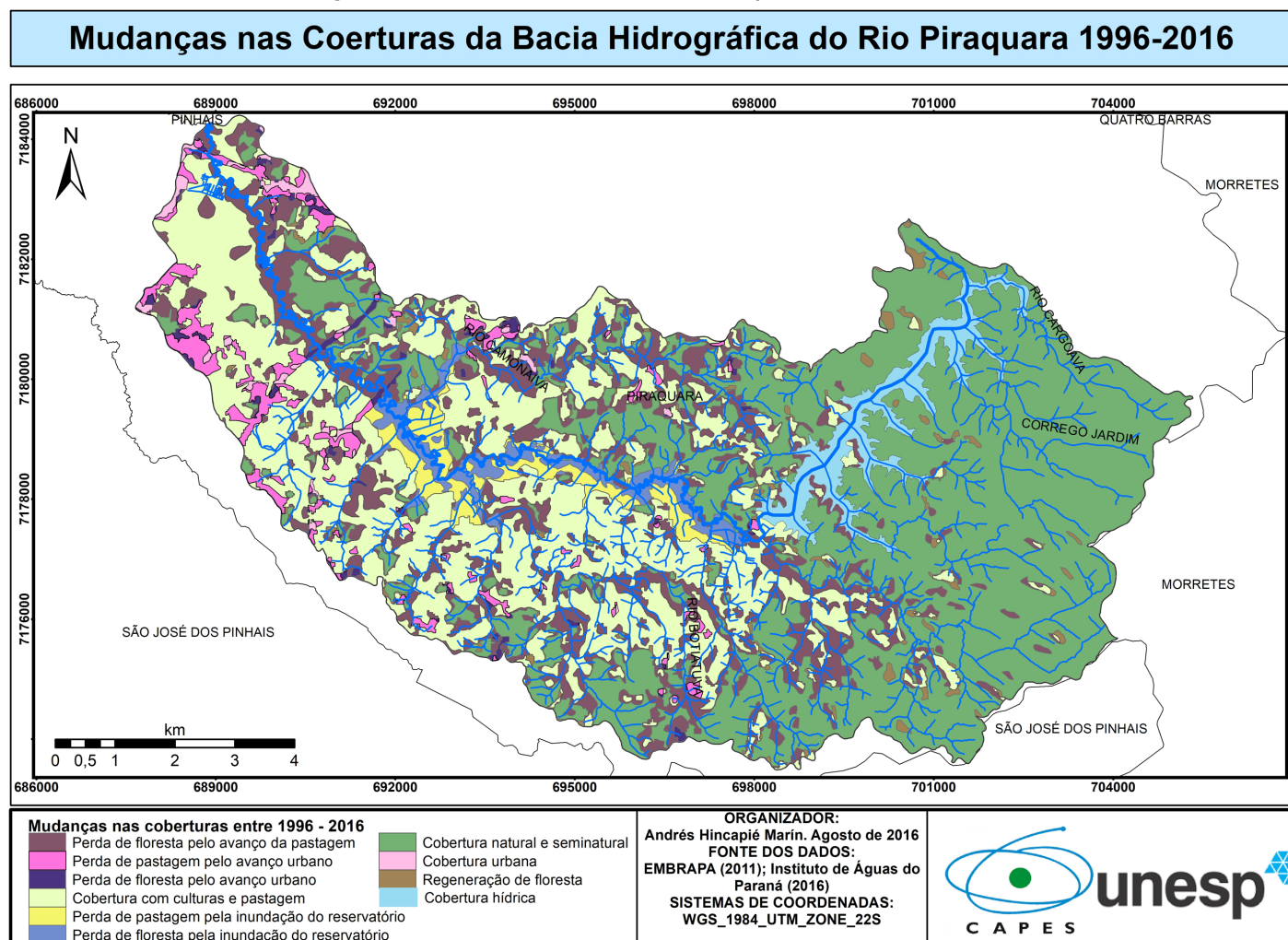
Organização: Hincapié, 2017. A partir das imagens *Landsat 5* LT52200781996109CUB00 e *Landsat 8* LC82200782016164LGN00.

A comparação dos Mapas 7 e 8, permite determinar as partes da bacia afetadas pelos diversos processos de ocupação. O Mapa 9 e a Tabela 6, representam esses processos mediante taxas de câmbio de usos das terras no interior da BHRP, entre o período 1996 e 2016.

A comparação das coberturas da BHRP nos dois anos, 1996 e 2016, permite observar que durante esse período houve uma perda de 16,38 km² de coberturas de florestas de mata atlântica e/ou florestas de araucárias, que mudaram para culturas e pastagens. Nesse sentido, esse tipo de atividade agropecuária ocupa no ano 2016 42,92% da área, principalmente no curso médio da bacia. Apesar da existência de uma Área de Proteção Permanente (APA), se observa um avanço do desmatamento, desde as áreas de cursos menores e baixos, onde predominam as atividades de culturas e pastagem. Por sua vez, o crescimento urbano foi de 3,86 km².

Entre as atividades econômicas representativas da BRHP, se destacam a venda de serviços ecossistêmicos municipais produzidos pela bacia, isto é, filtração do ar e produção hídrica, para o abastecimento da Região Metropolitana de Curitiba. Embora, haja um avanço de áreas para usos agropecuários, estes tipos de atividades são limitados, e não se apresentam como relevantes para o crescimento econômico.

Mapa 9. Usos das terras da BHRP período 1996 - 2016



Fonte de dados: EMBRAPA, 2011; Instituto de Águas do Paraná, 2016. **Geoprocessamento e elaboração:** Hincapié, 2017. A partir das imagens Landsat 5 LT52200781996109CUB00 e Landsat 8 LC82200782016164LGN00.

Tabela 6. Taxas de câmbio dos usos das terras da BHRP período 1996 – 2016

Usos 1996	Usos 2016	Mudança	Área (km ²)	Área (%)
Cobertura natural e seminatural	Cobertura natural e seminatural	Sem mudança	44,52	43,56
Cobertura natural e seminatural	Cobertura hídrica	Perda de cobertura natural e seminatural por conta da inundação da barragem Piraquara II	2,26	2,21
Cobertura natural e seminatural	Cobertura com culturas e pastagem	Perda de cobertura natural e seminatural por conta das culturas e pastagens	16,38	16,02
Cobertura natural e seminatural	Cobertura urbana	Perda de cobertura natural e seminatural por conta da urbanização	1,02	0,99
Cobertura Urbana	Cobertura Urbana	Sem mudança	0,64	0,62
Cobertura com culturas e pastagem	Cobertura natural e seminatural	Ganho de cobertura natural e seminatural por regeneração natural.	1,36	1,33
Cobertura com culturas e pastagem	Cobertura hídrica	Perda de culturas e de pastagem por conta da inundação da barragem Piraquara II	2,15	2,1
Cobertura com culturas e pastagem	Cobertura com culturas e pastagem	Sem mudança	27,55	26,9
Cobertura com culturas e pastagem	Cobertura Urbana	Perda de culturas e de pastagem por urbanização	2,84	2,77
Cobertura hídrica	Cobertura hídrica	Sem mudança	3,47	3,39
Total			102,19	100

Organização: Hincapié, 2017. A partir das imagens Landsat 5 LT52200781996109CUB00 e Landsat 8 LC82200782016164LGN00.

A forte legislação ambiental, que restringe os usos de terras diferentes da conservação ambiental e produção de serviços ecossistêmicos do município de Piraquara, suscita questionamentos sobre os indicadores de crescimento econômico e a situação das condições de vida dos residentes neste município. Nesse sentido, os dados de PIB do ano 2010 para a RMC, mostram que o município de Piraquara é um dos mais pobres do conjunto de 13 municípios, que conformam o Núcleo Urbano Central (NUC). Piraquara registrou um PIB *per capita* de R\$ 5.869,16 que é quase oito vezes menor que o seu município vizinho, o Pinhais (R\$ 38.347), e incomparável com os PIB *per capita* de Curitiba, Araucária e São José dos Pinhais, os municípios mais ricos do NUC (R\$ 30.400; R\$103.777 e R\$51-960 respectivamente). Embora Curitiba tenha indicadores econômicos muito altos, os municípios da periferia de Curitiba têm indicadores econômicos e sociais muito baixos. O PIB *per capita* da RMC é inferior à média nacional, regional sul e estadual (IBGE, 2012; IPEA, 2013).

4.2.4 Dinâmicas Urbanas em Fundos de Vale

Como dinâmicas urbanas nos fundos de vale e nos eixos fluviais considera-se, para efeitos desta pesquisa, processos que exercem pressão sobre a estrutura ecológica e o funcionamento hidrogemomorfológico dos ambientes fluviais nas jusantes. Entre essas funções sistêmicas, encontram-se as de depositar materiais de aluvião, reduzir a velocidade do fluxo, enquanto o perímetro molhado do canal aumenta, criação de leitos maiores, terraços aluviais e planícies de inundação. Geralmente a dinâmica urbana pode modificar a paisagem fluvial, desconsiderando as funções hidráulicas e ecossistêmicas das jusantes, o que de fato cria conflitos sociedade – natureza, ao aumentarem perigos e riscos por inundações.

A jusante do Rio Piraquara, juntamente com os rios Irai e Iraizinho, conformam o curso da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, cujo leito maior tem uma declividade longitudinal e transversal muito baixa, não superior a 3%, uma característica que faz as cheias escoarem lentamente e faz com que a lâmina de água crie e ocupe várzeas em grande extensão e por vários dias, nos períodos chuvosos (TUCCI, 2000).

Com apoio de imagens do Google Earth Pro da área de análise, identificou-se diferentes pontos a serem corroborados em campo, entre eles: a ocupação nos fundos de vale e nos eixos fluviais da bacia do Alto Iguaçu, que inclui a jusante da bacia Piraquara. O percurso e as planilhas de Excel, para preenchimento nesse trabalho de campo, baseou-se na Tabela 1 (relação dos processos de pressão e impactos na bacia). Os quadros 21 até 25, apresentam os resultados do trabalho de campo, e os seus indicadores conforme modelo de operacionalização expostos no capítulo da proposta metodológica. As informações desses quadros têm a seguinte ordem: 1) endereço da intervenção; 2) tipo de intervenção; 3) descrição da intervenção e dos possíveis efeitos; 4) magnitude da intervenção.

Quadro 19. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRP, Ponto 1

Ponto 1

1. Rua BR 116 sobre o rio Piraquara (25°28'49" S 49°06'11" W, 887 m.s.n.m.).
2. Ponte Passo sobre o leito principal do rio Piraquara em caixa de concreto.
3. Há mudança na relação entre área da seção molhada e velocidade do fluxo. Afetações sobre a continuidade longitudinal das ribeiras. Afetações sobre a continuidade e naturalidade do leito. Durante períodos de retorno o fluxo, neste ponto, é susceptível ao estrangulamento, mudança de regime laminar para turbulento e represamento.
4. A estrutura impacta de forma indireta e moderada a qualidade do leito e a qualidade das ribeiras.



Fonte: Acervo da pesquisa. Elaboração Hincapié (2017)

Quadro 20. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRP, Ponto 2

Ponto 2

1. Rua PR 415 sobre o rio Piraquara (25°27'05" S 49°07'17" W, 881 m.s.n.m.).
2. Vertedouro e ponte.
3. O vertedouro afeta a qualidade funcional do sistema fluvial, especificamente a relacionada à naturalidade do regime da vazão. Igual que no ponto as duas estruturas geram afetações sobre a continuidade longitudinal das ribeiras, afetações sobre a continuidade e naturalidade do leito. Possíveis estrangulamentos, represamentos e transbordamentos durante períodos de retorno maiores.
4. O vertedouro impacta de forma indireta e moderada a qualidade funcional da vazão enquanto que a ponte impacta, de forma indireta e moderada, a qualidade do leito e a qualidade das ribeiras.



Fonte: Acervo da pesquisa. Elaboração Hincapié (2017)

Quadro 21. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRP, Ponto 3**Ponto 3**

1. PR 415 (25°26'55" S 49°07'50" W, 880 m.s.n.m.)
2. Ocupação urbana em fundo de vale e planícies de inundação. Ocupação localizada antes da tomada das águas para o abastecimento da RMC.
3. Urbanismo não planejado com afetações nas planícies de inundação e ocupando áreas do manancial da RMC. População exposta aos riscos por inundação.
4. Mesmo não ocupando o leito, há impacto indireto e moderado sobre a qualidade funcional das planícies de inundação e um impacto forte sobre a qualidade das águas utilizadas para abastecimento.



Fonte: Acervo da pesquisa. Elaboração Hincapié (2017)

Quadro 22. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRP, Ponto 4

Ponto 4

1. Rua BR 415 sobre o rio Piraquara. (25°26'40"S 49°08'36"W, 889 m.s.n.m.)
2. Ponte.
3. Afetações sobre a continuidade longitudinal das ribeiras. Afetações sobre a continuidade e naturalidade do leito.
4. Impacto indireto e de magnitude moderada sobre a qualidade do leito.



Fonte: Acervo da pesquisa. Elaboração Hincapié (2017)

Quadro 23. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRP, Ponto 4

Ponto 5

1. Rua do bairro Nova Tropical na UTP Guarituba (25°26'58" S 49°09'26" W, 876 m.s.n.m.)
2. Ocupação urbana em fundo de vale e planícies de inundação.
3. Urbanismo não planejado com afetações nas planícies de inundação e ocupando áreas do manancial da RMC. População exposta aos riscos por inundação.
4. Impacto indireto e de magnitude moderada sobre a qualidade funcional das planícies de inundação.



Fonte: Acervo da pesquisa. Elaboração Hincapié (2017)

As áreas em fundos de vale e cursos maiores dos eixos fluviais da bacia do Alto Iguaçu, que inclui a jusante da bacia Piraquara, têm sido ocupadas por populações de baixa renda (bairros do Guarituba). Essa inferência assenta-se nos seguintes dados: as vias de acesso das áreas urbanas ocupadas, embora sejam ortogonais, não estão asfaltadas; estas vias não possuem redes de microdrenagem, nem redes de esgotos; algumas ocupações ficam na área entre o leito do Rio Iguaçu e o canal paralelo, pertencente ao sistema de controle hidráulico, isto é, ocupam o leito do rio; as casas são de diversos materiais, mas em sua maioria são construídas com materiais de baixo custo, como tábuas de madeira.

Dados do Plano Diretor de Drenagem para a bacia do rio Iguaçu na RMC (IAP, 2002), no Tomo 4,16, pertencente à bacia do rio Iraí, mostram relações entre: curvas de intensidade, duração, frequência, resposta hidrológica da bacia em um período de retorno de dez a vinte cinco anos, áreas de inundação e usos de solo. Ou seja, ocupação de zonas de inundação. Especificamente o mapa CA 5/47, deste plano diretor de drenagem, apresenta a ocupação de Guarituba nas planícies de inundação à jusante da BHRP, onde foram registrados os dados do ponto 5 (ver Quadro 23).

As informações do Plano Diretor de Drenagem da bacia do rio Iguaçu e as informações coletadas no trabalho de campo, apresenta-nos um trecho do rio principal da bacia (desde o sopé da barragem Piraquara II até o canal de entrada na ETA Iraí), com intervenções estruturais de regularização de vazões (barragens), pontes, vertedouros e ocupações irregulares nos fundos de vale em áreas de inundação. As estruturas tipo ponte ou vertedouro, geram afetações funcionais do sistema fluvial (regime da vazão, transporte de sedimentos), ao tempo que geram afetações do tipo ecológico na continuidade longitudinal e lateral das ribeiras. A maioria dos impactos gerados no trecho analisado, são do tipo moderado e indireto (conforme a proposta da tabela 1). Entretanto, identificou-se ocupações irregulares em fundos de vale, em áreas de várzeas, com alta alteração dos padrões de drenagem e ocupação de planícies de inundação.

4.2.5 Variabilidade Climática (VC)

No Brasil a variabilidade climática está muito influenciada pela presença de episódios ENOS (Fenômeno *El Niño* Oscilação Sul) no Oceano Pacífico Tropical (MARENGO, 2006; KUCHARSKI *et al.*, 2008; GRIMM *et al.*, 2000). Embora, haja

também outras variações do clima global, que podem influenciar a VC no Nordeste, Centro e Sul do país, entre elas, a Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation - PDO*), do Atlântico (*North Atlantic Oscillation - NAO*) e a variabilidade interanual do Atlântico Tropical e do Atlântico Sul (MARENGO, 2006).

Para o Sul e Sudeste do Brasil, a ocorrência de um episódio ENOS, na fase quente, tem influência significativa, particularmente no trimestre de dezembro até fevereiro, no aumento de precipitações pluviais. Por sua vez, nas regiões Norte e Nordeste, ocorre uma diminuição nos volumes pluviométricos (KUCHARSKI *et al.*, 2008; SOARES *et al.*, 2008).

No caso específico do Estado do Paraná, o trabalho de Teixeira e Marin (2013), mostraM relações diretas entre os aumentos da precipitação e o índice *El Niño* Oscilação Sul (ENOS 3.4) na fase quente. Nesse trabalho, foram utilizados os registros pluviométricos totais mensais, de 21 estações meteorológicas, da base de dados do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), correspondentes ao período histórico de análise entre 1976 e 2011. Mediante a função do coeficiente de correlação de Pearson, os autores consideram que no Paraná, o máximo pluviométrico está fortemente influenciado pelo iENOS 3.4, defasagens DJF (Dezembro-janeiro-Fevereiro), o que produz precipitações em maior intensidade e frequência do que a normal, três meses depois da ocorrência, ou seja, no trimestre de março, abril e maio (TEIXEIRA; MARIN, 2013).

Sobre a influência de outros fenômenos diferentes ao ENOS, Marengo (2006), afirma que a VC do Sul e Sudeste do Brasil é fortemente influenciada pela NAO (*North Atlantic Oscillation*) e as dinâmicas interanuais do Atlântico, refletindo-se em aumentos das chuvas e vazões de rios.

“Se *El Niño* aumentar em frequência ou intensidade no futuro, o Brasil ficará exposto a secas ou enchentes e ondas de calor mais frequentes. Porém, a incerteza de que estas mudanças aconteçam ainda é grande e alguns extremos do clima podem acontecer independentemente da presença do *El Niño* ou *La Niña*. “(MARENGO, 2006, p.26).

Por fim, em relação a influência da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), sobre a variabilidade espaço temporal das chuvas no Paraná, Nascimento e Sant’Anna Neto

(2015), afirmam que a participação da ODP é, estatisticamente, considerada fraca para os totais de chuva e moderada-fraca para os números de dias com chuva (NASCIMENTO; SANT'ANNA, 2015).

4.2.5.2 Comportamento mensal da precipitação pluvial da BHRP entre 1986 e 2016

A análise dos fenômenos da VC, assume relevância no planejamento e gestão dos processos sistêmicos da bacia, relacionados à disponibilidade hídrica, controle de erosão, controle dos picos de vazões e controle de inundações, entre outros. Nesse sentido, os registros da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) sobre as variações das temperaturas da superfície do mar, na região Nino 3.4, durante o período de análise de 1986 a 2016, mostram que o fenômeno do El Niño teve ocorrência nos anos: 1986, 1987, 1991, 1994, 1997, 2002, 2004, 2006, 2009 e 2015. Destes episódios, os de maior intensidade apresentaram-se nos anos 1997-1998 e 2015-2016. Por sua vez, o fenômeno da La Niña (ENOS fase fria), teve ocorrência nos anos: 1988, 1995, 1998, 1999, 2000, 2007, 2010, 2011 e 2016. Destes, os episódios de maior intensidade ocorreram nos anos: 1988-1989; 1998-2001 e 2010-2011.

Conforme o modelo de operacionalização desta variável, se realizou um tratamento estatístico descritivo simples, dos registros históricos de precipitação pluvial, de três estações meteorológicas em um período de análise entre 1986 e 2016. Das estações meteorológicas utilizadas nas análises, uma se localiza no interior da bacia (estação Mananciais da Serra, à montante), e duas fora da bacia, à jusante (estações Piraquara e Pinhais).

A seguir, apresenta-se, no Quadro 24, os registros do ENOS, assim como os aumentos ou diminuições de precipitações na BHRP. Os registros do ENOS, estão indicados mediante o número em cada célula, onde cor azul representa a fase fria (Niña) e a cor vermelha representa a fase quente (Niño), lembrando que, para que o ENOS (El Niño) seja registrado, a temperatura da superfície do mar (TSM), na região Nino 3.4, deve apresentar um aumento de 0,5° durante 5 períodos trimestrais, por sua vez La Niña deve registrar uma diminuição das TSM no mínimo em 0, 5°. Os aumentos ou diminuições de temperaturas se representam de forma qualitativa, com as cores

de cada célula, nas quais, a cor azul indica que na média, as três estações meteorológicas registraram precipitações acima da média. Por sua vez, a cor laranja indica que houve diminuições de precipitações, abaixo da média mensal. Não há cores nas células nem nos números em registros que não apresentam a ocorrência do ENOS.

Apesar de não haverem dados conclusivos, é possível apontar coincidências entre os registros do La Niña, com a diminuição de precipitações e os registros do El Niño, com o aumento do volume das precipitações. Exemplo disso, ocorre nos anos 1999; 2007, com registros abaixo da média, com ocorrência de La Niña em 2009; 2015, quando foram registrados aumentos de precipitação e ocorrência do El Niño. Vislumbra-se aqui, a possibilidade da realização de estudos mais aprofundados sobre essa relação.

Os registros pluviométricos das estações meteorológicas, analisadas no Quadro 24, mostram que, embora haja algumas coincidências, as ocorrências do ENOS, registradas na região El Niño 3,4 do Oceano Pacífico, não influem significativamente sobre o comportamento hidrológico da BHRP, isso é, as ocorrências do ENOS nas fases frias e/ou quentes, não incidem notavelmente no aumento ou na diminuição das precipitações da BHRP. No entanto, embora não tenha sido achada uma afetação direta do ENOS, no comportamento hidrológico da bacia sob estudo, há outros fenômenos que, como apontado por Marengo (2006), podem estar relacionados com aumentos ou diminuições nas precipitações pluviométricas da BHRP.

Quadro 24. Registros ENOS na região NINO 3.4 e aumentos ou diminuições de precipitações na BHRP, período 1986-2016

ANO	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1986	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	0.9	1	1.1
1987	1.1	1.2	1.1	1	0.9	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4	1.2	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.8	-1.2	-1.2	-1.1	-1.2	-1.4	-1.7	-1.8
1989	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1	0.8	0.5	0.2	0	-0.1	-0.1	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.9	1
1995	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1	-0.9
1996	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.6	1	1.4	1.7	2	2.2	2.3	2.3
1998	2.1	1.8	1.4	1	0.5	-0.1	-0.7	-1	-1.2	-1.2	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-1	-0.9	-0.9	-1	-1	-1	-1.1	-1.2	-1.4	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
2002	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0	0	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	1
2007	0.7	0.3	0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	1	1.2	1.3
2010	1.3	1.1	0.8	0.5	0	-0.4	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.4
2011	-1.3	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8
2012	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.2
2013	-0.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.5	-0.6	-0.4	-0.2	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.6
2015	0.5	0.4	0.5	0.7	0.9	1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.2	2.3
2016	2.2	1.9	1.5	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.5	-0.7	-0.8	-0.8	-0.7

Elaboração: Hincapié, 2017. A partir dos registros ENOS (NOAA, 2017) e registros do SIMEPAR.

4.3 INDICADORES DAS VARIÁVEIS DE ESTADO - BHRP

4.3.1 Qualidade das águas para o abastecimento da RMC

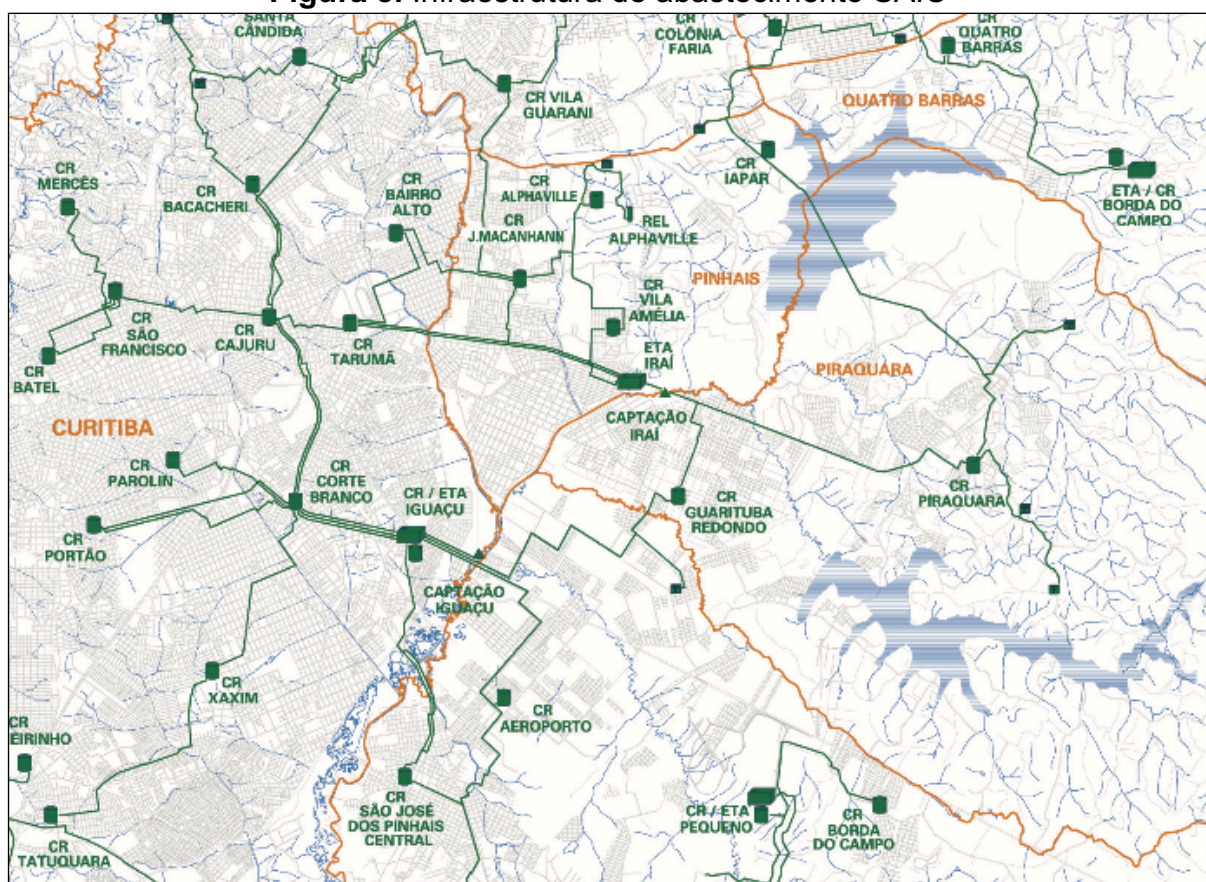
O Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana (SAIC), sob a direção da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), possui uma capacidade instalada para tratar e abastecer uma média de 9495 l/s. Para isso, o SAIC depende da disponibilidade hídrica de cinco grandes mananciais: Bacia do Alto Iguaçu; Bacia do Médio Iguaçu; Bacia do Ribeira; Bacia

Litorânea e Aquífero Karst. Na bacia do Alto Iguaçu encontram-se os mananciais do Altíssimo Iguaçu (PARANÁ, 2013).

Conforme a classificação de mananciais do Paraná (2013), o Altíssimo Iguaçu, representa o manancial de maior aporte ao abastecimento da RMC. Esses mananciais são: barragem da bacia hidrográfica do rio Iraí (bacia de captação de 113km³, com capacidade de armazenamento de 51,3hm³; regularização de 1520 l/s); barragem do Piraquara I (bacia de captação de 27km²; com capacidade de armazenamento de 22,5hm³ e regularização de 600 l/s) e; barragem do Piraquara II (bacia de captação de 58km²; com capacidade de armazenamento de 20,5hm³ e regularização de 1140l/s). Em conjunto, a vazão dos três reservatórios é conduzida até a Estação de Tratamento de Águas (ETA) do sistema Iraí.

A ETA do Iraí funciona com uma capacidade de 2600 l/s. Após o sistema Iraí, os mananciais do Altíssimo Iguaçu, junto com os rios Iraizinho, Palmital, rio Pequeno, rio Itaqui, e rio do Meio e Atuba, fornecem as vazões para o sistema de tratamento ETA do Iguaçu, que tem capacidade de 3300 l/s. Em conjunto, as microbacias do alto Iguaçu fornecem 62% da água de abastecimento da Região Metropolitana de Curitiba. A Figura 8, apresenta parte do SAIC, com especial foco nas barragens de Piraquara e a localização da ETA Iraí na área do Guarituba.

A qualidade das águas tem estreita relação com as mudanças nos usos das terras. Nesse sentido, acredita-se que o avanço da ocupação das terras, vinculadas à urbanização do Guarituba, tenha efeitos negativos na qualidade das águas da ETA Iraí, isto é, possíveis aumentos de sólidos suspensos totais, aumento da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) e/ou da Demanda Química do Oxigênio (DQO), devido ao aumento de esgotos e falta de infraestrutura de saneamento. Da mesma forma, a mudança de coberturas florestais para atividades agropecuárias, influi no aumento de nutrientes e sólidos totais nas barragens do Piraquara I e II, devido ao material arrastado pelo escoamento, à utilização de fertilizantes artificiais e aos processos de erosão.

Figura 8. Infraestrutura de abastecimento SAIC

Fonte: SANEPAR (2013).

Para o caso específico da BHRP, os registros históricos da qualidade das águas, apresentados pelo Instituto das Águas do Paraná (ANA, 2017), indicam que as águas do Rio Piraquara, nos lugares monitorados, têm uma qualidade entre razoável e boa. Os registros históricos destes monitoramentos, se apresentam na Tabela 7, feita a partir do portal da qualidade das águas da Agência Nacional da Água (ANA, 2017):

Tabela 7. Comparação dos Índices de Qualidade das Águas (IQA) registrados para dois estações do rio Piraquara no período 1994 – 2016:

Parâmetros / unidade de medida	Ano 1994		Ano 2000		Ano 2005		Ano 2010		2012	2014
	AI41	AI16	AI41	AI16	AI41	AI16	AI41	AI16	AI41	AI16
Turbidez (UNT)	14	3,9	14	6	18	15	6,4	6	5	1
Temperatura (°C)	19,5	15	25	16,2	14,6	16,9	19,2	15,7	20	14
Oxigênio Dissolvido (mg/l O ₂)	7,2	8,1	5,9	9,6	6,9	9,3	7,8	6,7	7,1	8,7
Potencial Hidrogeniônico (pH)	6,9	7,0	7,1	6,8	6,8	7,4	6,4	7,4	7,6	7,2
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/l O ₂)	1	1	<1	1,5	4	2	2,5	<2	2	3,6
Nitrogênio Kjeldahl (mg/l N)	0,54	0,37	1,13	0,21	0,35	0,41	0,44	0,39	0,53	0,47
Fosfatos totais (mg/l P)	0,05 8	0,01 8	0,05 6	0,08 4	0,02 4	0,02 5	0,03 3	0,03	0,034	0,026
Resíduo total (mg/l)	82	63	99	23	62	40	41	30	190	28
Coliformes fecais (NMP/100 ml) (valores em milhares)	28	5	0,5	0,5	13	13	11	7,9	13	11
IQA	61,5	67,4	70,7	73,9	57,8	63,6	63,8	63,4	63,4	63,5

Fonte dos dados: Instituto das Águas do Paraná <<http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioQualidadeAgua.do?action=carregarInterfaceInicial>>.

AI41 = Estação Ponte PR 415 (25° 27' 02" S; 49° 07' 16" OE); AI16 = Estação Estrada BR 277 PR 415 (25° 29' 22" S; 49° 05' 25" OE).

Nota 1: O IQA foi calculado a partir da metodologia estabelecida pela ANA disponível no site: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>.

Nota 2: Procurou-se a utilização de dados registrados nos mesmos períodos dos anos, além, pra evitar alterações nos dados por dissolução das chuvas. Não foram considerados dados com chuvas acontecidas 48 horas antes da amostragem.

Entre os parâmetros da equação de cálculo dos IQA, proposta no *site* da Agência Nacional de Águas (ANA), sabe-se que os coliformes têm o maior peso (0,15). Nesse sentido, embora a bacia seja muito bem conservada na montante e o parâmetro da DBO tenha valores baixos, os altos valores de coliformes, registrados nas amostras da jusante (estação ponte PR 415), permitem-nos inferir que, de fato, há atividades que impactam na qualidade hídrica desse trecho da bacia. Essas atividades, poderiam estar relacionadas com as ocupações do Guarituba, com atividades relacionadas à produção animal (gado) e a falta da cobertura total das redes de saneamento básico de esgotos.

Os monitoramentos dos reservatórios do Rio Piraquara, por meio do Índice de Qualidade das Águas dos Reservatórios (IQAR), apresentados pelo Instituto Ambiental do Paraná, nos relatórios dos anos 2003 e 2008, apontam que a qualidade

das águas do reservatório do Rio Piraquara obteve uma melhora entre os anos 1999 a 2008. Neste último ano, o reservatório foi classificado como “moderadamente degradado”, com um IQAR de 3,2. Esse valor indica que o reservatório seja compatível com os limites estabelecidos para reservatórios destinados ao abastecimento público¹⁵. Segundo o IAP, a bacia de contribuição do reservatório Piraquara I, encontra-se numa área pouco urbanizada, portanto, o aporte de nutrientes é baixo (IAP, 2009).

4.3.2 Dinâmica de Encostas e Perdas de Solo

A dinâmica das encostas, assume muita importância quando somada à variabilidade climática e à mudança dos usos das terras. A ocupação das áreas da bacia e o tipo de atividade desenvolvida, são determinantes maiores na perda de solos, nos assoreamentos dos rios, na mudança dos perfis dos rios, nos gradientes de sedimentação e em termos gerais, dos movimentos de massa (deslizamentos, solifluxão, reptação, fluxos de massa, queda de pedras, desmoronamentos etc.).

O processo relacionado à erosão laminar, é apresentado no contexto desta pesquisa, mediante o cálculo teórico da perda dos solos, utilizando a equação RUSLE. Na obtenção do valor da perda de solos, foi necessário gerar diferentes mapas, em formato *raster*, que representaram, por exemplo, o cálculo do fator LS.

No caso específico da BHRP, os valores do “Fator LS”, foram obtidos mediante o geoprocessamento, descrito nos procedimentos metodológicos. Os valores do *raster*, pertencentes ao “Fator R” (erosividade das precipitações IE30), foram obtidos a partir do *shapefile*, com informações das três estações meteorológicas disponíveis para a área de estudo (Mananciais da Serra, Piraquara e Pinhais). Para cada estação foi calculado o fator R, segundo indicado na equação proposta por Lombardi e Moldenhauer (1992):

$$EI30 = 68,730 (p^2/P)^{0,841}$$

¹⁵ Os resultados dos parâmetros, assim como os IQARs obtidos para o reservatório Piraquara encontraram-se, no momento deste estudo, no site:
http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/boletins/RELATORIO_AGUA/relatorio_RESERVATORIOS_2005_2008.pdf

Onde:

p = Precipitação média mensal

P= Precipitação média anual

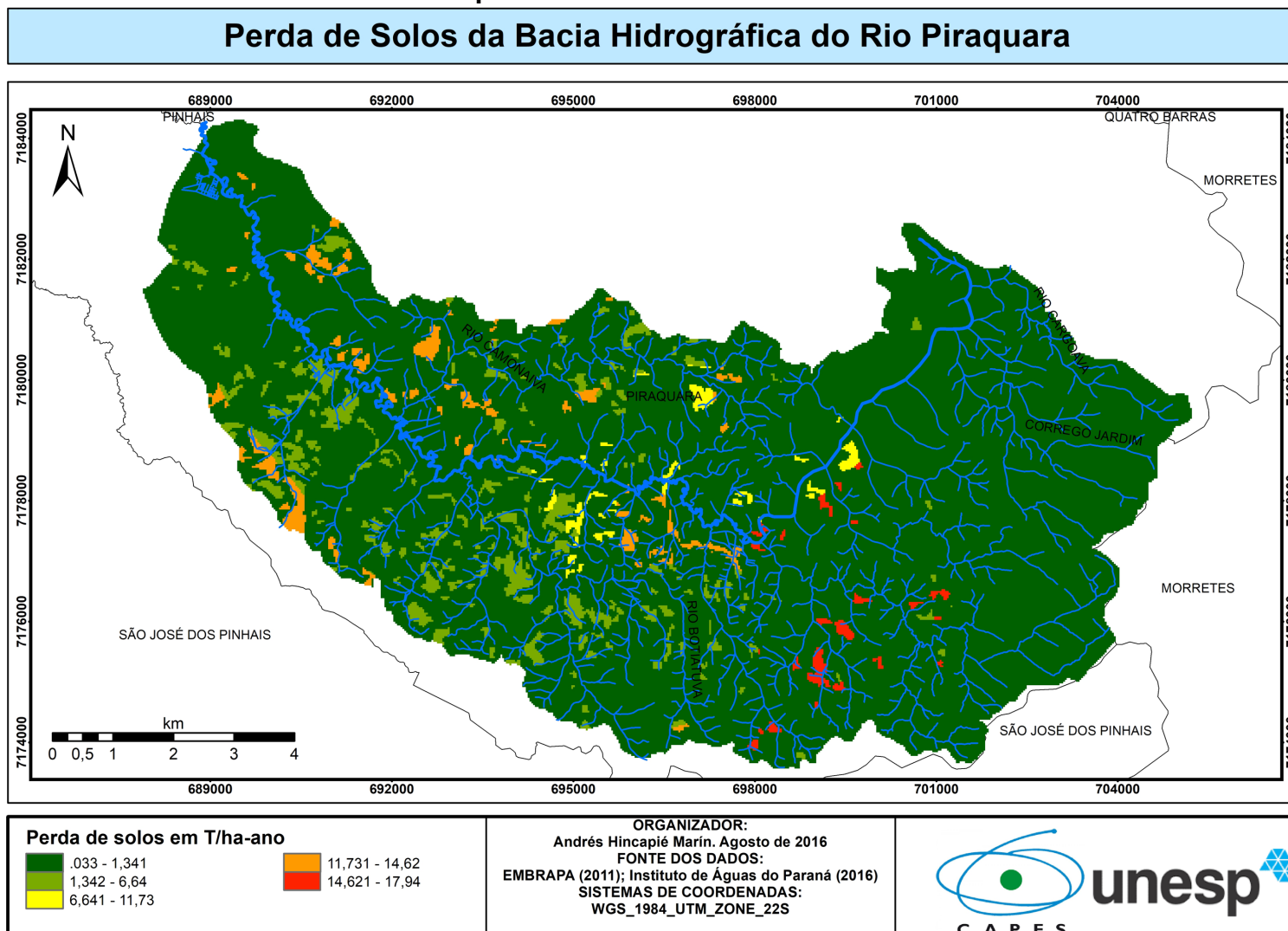
Esses valores do fator “R”, foram interpolados para toda a área da BHRP mediante a utilização da ferramenta “*spline*” do ArcGis 10,2.

Os valores relacionados ao “Fator C”, referentes a cada tipo de cobertura e usos das terras da BHRP, foram obtidos teoricamente dos trabalhos de Bertoni e Lombardi (2008).

Por fim, foram utilizados os valores de erodibilidade dos solos brasileiros (Fator K), relacionados nos trabalhos de Silva e Alvares (2005).

Todos os valores, dos diferentes componentes utilizados para o cálculo da equação RUSLE da BHRP, foram integrados na ferramenta “*raster calculator*” do *software* ArcGis, obtendo-se como resultado final um mapa *raster* com os valores da perda de solos em toneladas / ano. O Mapa 10 apresenta o cálculo dos valores da equação RUSLE, aplicada de forma teórica para a BHRP.

Mapa 10. Perda de solos na BHRP



Fonte de dados: EMBRAPA, 2011; Instituto de Águas do Paraná, 2016. Geoprocessamento e elaboração: Hincapié, 2017.

Conforme o Mapa 10, as taxas de perdas de solo da bacia são muito baixas, mais de 90% da área da bacia, tem perdas de até 6 toneladas por hectare ao ano. As maiores perdas se encontram localizadas nas áreas de pastagem e solos expostos, associados à zona de inundação da represa Piraquara II. Os baixos valores de perda de solos decorrem de vários fatores; a declividade média da bacia é muito fraca (entre 0 e 3%); a cobertura florestal com mata atlântica é de quase 50% da área da bacia, especialmente à montante; há controle da cinética das vazões mediante duas barragens; sua localização latitudinal em zonas temperadas e seu posicionamento em sentido Leste-Oeste, influi para uma baixa taxa de meteorização.

4.3.3 Serviços ecossistêmicos

A diminuição de serviços ecossistêmicos, fornecidos a partir das relações ecológicas dos ecossistemas, representados nas áreas de proteção florestal e áreas naturais na montante da BHRP, foi relacionada à diminuição das áreas com coberturas naturais e seminaturais. A referencia para este indicador, foi extraída do quadro comparativo das mudanças nos usos das terras (ver Tabela 6) assim, para o ano 1996, a área deste tipo de usos foi de 64,15 km² e no ano 2016, foi de 45,88 km². A perda total foi de 18,27 km², ou seja, uma perda do 17,87%, destes usos em um período de vinte anos. A perda tem a ver com o ganho de área, por conta da barragem de Piraquara II (2,26km²), pela expansão urbana, mas em maior proporção por conta das lavouras, culturas temporárias e atividades de campo.

Esses serviços ecossistêmicos da bacia, são importantes frente a avaliações econômicas e seu aproveitamento, mediante programas de pagamentos por serviços ambientais.

4.3.4 Estrutura ecológica e paisagem fluvial

Conforme o modelo proposto para a operacionalização desta variável, a primeira fase da avaliação consistiu na aplicação do índice hidro geomorfológico (IHG) adaptado, que mede de forma simultânea a qualidade funcional do sistema fluvial e qualidade do leito (Tabela 8). A segunda fase desta avaliação, consiste na determinação do índice de qualidade ribeirinha em inglês *Riparian Quality Index* (RQI) (Tabela 9). As duas avaliações foram aplicadas no trecho compreendido entre a saída

do fluxo, desde a segunda barragem do Piraquara (Piraquara II) até a entrada do fluxo, na estação de tratamento de águas (ETA), perto à ponte sobre a Rodovia PR 415.

Tabela 8. Avaliação do índice hidro geomorfológico (IHG) na BHRP

Parâmetro	Descrição	Pontos
Naturalidade do regime da vazão.	As barragens Piraquara I e II geram alterações muito importantes na vazão que invertem o regime natural fazendo com que o fluxo tenha uma correnteza permanente.	0
Disponibilidade e mobilidade de sedimentos	Em mais de 75% da bacia antes do setor avaliado, há retenção dos sedimentos. A baixa declividade do trecho (entre 0 e 3%) gera dificuldades na movimentação de sedimentos influenciando na formação de bancos no leito maior.	3
Funcionalidade das planícies de inundação	As planícies de inundação estão modificadas pelo traçado da rua PR 415 e pelas ocupações irregulares do Guarituba. Estas modificações alteram os processos de transbordamentos de forma pontual e reduzem a funcionalidade natural.	7
Qualidade funcional do sistema: ruim		10
Naturalidade do traçado e da morfologia do leito	O trecho não apresenta mudanças fortes, mas o traçado da rua PR415 influenciou nas pequenas retificações, mas essas afetações são menores que 10% da longitude do trecho e considera-se que não alteraram a morfologia do leito.	10
Continuidade e naturalidade do leito e dos processos longitudinais e verticais	Embora o leito do rio Piraquara, no trecho avaliado, seja contínuo e que seus processos hidro geomorfológicos longitudinais e verticais sejam naturais e, por isso, funcionais, as duas pontes da rua PR 415 representam obstáculos menores que alteram a continuidade do leito.	9
Naturalidade das bordas e da mobilidade lateral.	O leito do rio, no trecho avaliado, é completamente natural, e tem a capacidade de movimentar-se lateralmente. No entanto, o trecho apresenta sintomas de uma dinâmica lateral limitada por conta dos controles hidráulicos das barragens Piraquara I e II que alteram a qualidade funcional do sistema.	8
Qualidade do leito: boa		27
Valor final índice da qualidade hidro geomorfológica do trecho avaliado: boa		37

Elaboração: Hincapié, 2017. **Adaptado de:** Olleva, 2009.

A maior afetação na avaliação final do índice IHG, deve-se à perda da naturalidade do regime da vazão, resultado das barragens Piraquara I e II. Em contexto, as barragens têm as funções de normalização de vazões e de

armazenagem, no entanto, esses objetivos antrópicos geram conflitos com as condições ecológicas do sistema fluvial. Por sua vez, a aplicação do índice do estado ecológico das ribeiras, índice RQI, precisa considerar os tipos de vale de cada ponto de avaliação ao longo do trecho. Para efeitos da avaliação, consideramos que o trecho se classifica como vale do tipo IV.

Tabela 9. Avaliação do índice de qualidade ribeirinha (RQI) na BHRP

Parâmetro	Descrição	Pontos
Continuidade longitudinal da vegetação ribeirinha natural	Estado: ótimo. Mais de 75 % da longitude ribeirinha contem vegetação arbórea e arbustiva, associada ao rio, conformando um corredor denso. No entanto, as zonas próximas à UTP do Guarituba, apresentam desflorestamento nas áreas de proteção permanente que interrompem a continuidade longitudinal.	18
Dimensões de largura ribeirinha com vegetação natural associada ao rio	Estado: ótimo. As larguras das ribeiras têm dimensões maiores aos 50m e apresentam vegetação arbórea e arbustiva, associada ao rio.	20
Composição e estrutura da vegetação ribeirinha	Estado ótimo. Na borda: a maior parte do trecho, apresenta mata ciliar e de galeria muito densa, com alturas superiores aos 3m, com vegetação climatófila muito pouco intervinda. Atrás da borda: floresta natural densa que cobre mais de 75% da longitude do trecho avaliado.	20
Regeneração natural da vegetação ribeirinha	Estado: bom. As matas ciliares e de galeria apresentam exemplares de diversas idades, no entanto, a regeneração está levemente ameaçada pela regulação das vazões.	12
Condição das bordas	Estado regular. Este parâmetro considera-se em estado regular, devido ao fato de que o sistema, na maioria das vezes não apresenta enchentes, mas ao contrário, há uma vazão constante que limita o desenvolvimento da vegetação associada às subidas e descidas dos níveis da lâmina fluvial.	8
Conectividade lateral da ribeira com o leito	Estado regular. Da mesma forma que é afetado o parâmetro anterior, a regularização de vazões tem efeitos contrários no parâmetro de conectividade lateral. As restrições de enchentes geram pequenas elevações das bordas,	14

Parâmetro	Descrição	Pontos
	espaços que são ocupados por espécies herbáceas, às vezes alóctones.	
Permeabilidade e grau de alteração do relevo e do solo ribeirinho.	Estado ótimo. Os solos das ribeiras não apresentam compactação, nem impermeabilização, o que mantém as condições ótimas para a infiltração. O relevo das bordas encontra-se em estado natural.	20

Elaboração: Hincapié, 2017. **Adaptado de:** Olleva, 2009.

A jusante foi analisada desde a perspectiva da conectividade ecológica, que possa oferecer o trecho avaliado e suas ribeiras. O trecho também, se analisou desde a potencialidade de ligação com outros elementos ecológicos da estrutura ambiental da área metropolitana. As condições ecológicas, avaliadas para esse tipo de conectividade, obtiveram resultados de “muito boa”, conforme a classificação proposta no capítulo dos procedimentos metodológicos, entanto que a qualidade hidrogeomorfológica obteve um valor de “boa”.

4.3.5 Matriz de inputs e outputs

O presente item foi dirigido ao cumprimento do objetivo dois da nossa pesquisa. Assim, no que diz respeito à área de estudo da bacia do Brasil, podemos afirmar o seguinte (Quadro 25):

A demografia do município de Piraquara, teve um crescimento notavelmente acelerado durante os anos 1970 a 1980, ligado ao crescimento do conjunto de municípios, que conformam o núcleo central urbano da Região Metropolitana de Curitiba. O crescimento que ainda continua, só que com taxas menores, está relacionado com a instalação de infraestrutura industrial nos municípios de Araucária e São José dos Pinhais e aos processos de metropolização, planejamento urbano e consolidação de Curitiba como um polo econômico. A consolidação da ocupação da bacia, se apresenta como uma concentração à jusante, nos fundos de vale e zonas de várzea do rio Alto Iguaçu.

Sobre usos e mudanças das terras a montante destaca-se; I) abundante cobertura vegetal e conservação do bioma de Mata Atlântica. A análise das imagens de satélite, mostram uma taxa relativamente baixa de desflorestamento; II) a

construção da represa Piraquara I, no ano inicial do período analisado (1996) e a construção recente da barragem Piraquara II, cuja área de inundação abarcou parte da floresta atlântica/araucária; III) os usos das terras para culturas e pastagens avançou pouco mais de 10 km², durante o período analisado, ou seja, quase 10% da área da bacia em 20 anos. Entretanto, houve também um aumento das dinâmicas de ocupação urbana nos fundos de vale, em áreas de mananciais, algumas delas podendo ser irregulares devido à localização e o tipo de materiais de baixo custo.

A BHRP tem uma influencia muito baixa dos fenômenos de variabilidade climática do ENOS, entretanto, há outros tipos de eventos de variabilidade climática que não foram operacionalizados, mas que poderiam estar relacionados com os comportamentos hidrológicos da bacia de Piraquara, entre eles a Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation - PDO*), a Oscilação do Atlântico Norte (*North Atlantic Oscillation - NAO*) e a variabilidade interanual do Atlântico Tropical e do Atlântico Sul (MARENGO, 2006).

Ficou evidente, que as condições ecológicas dos trechos baixos avaliados, são boas e apropriadas para a conectividade com outros componentes da estrutura ecológica da bacia, como os de tipo lateral. Além disso, há uma qualidade funcional hidrogeomorfológica do trecho boa, lembrando que o trecho começa na saída do reservatório Piraquara II. No entanto, se fosse o caso de avaliar a qualidade funcional de todo o sistema da bacia, o resultado seria o de uma estrutura ecológica ruim, devido aos embalses e/ou reservatórios gerarem inumeráveis impactos ambientais negativos nas fases de construção e operação. Por exemplo, as barragens impedem a passagem de nutrientes necessários para o desenvolvimento dos ecossistemas fluviais; impedem a migração de peixes e, portanto, afetam a sua reprodução; o preenchimento do embalse, gera uma perda dos habitats de espécies endêmicas; a matéria orgânica das coberturas vegetais inundadas é decomposta por microorganismos anaeróbios gerando gases, como metano, que depois são liberados para atmosfera, contribuindo para aquecimento global, entre outros.

A bacia apresenta baixas taxas de perda de solos, o que se relaciona com a morfometria da bacia, que tem forma alongada, declividade baixa, grandes áreas no primeiro planalto paranaense e florestas densas nos cursos altos e médios.

A qualidade das águas do rio Piraquara, não apresenta uma diminuição considerável nos pontos avaliados. Os valores do IQA, se mantiveram aceitáveis no

período de análise. Entretanto, há um alto conteúdo de coliformes e nutrientes, que poderiam estar relacionados com algumas das atividades agropecuárias do curso médio e/ou com a insuficiência da cobertura dos serviços de saneamento, especificamente, de coleta dos esgotos nos trechos mais baixos.

Por fim, houve uma diminuição dos serviços ecossistêmicos, medidos a partir dos estoques. Nesse sentido, a bacia perdeu 28,4% dos seus estoques (18,27 km²), devido entre outras razões, à área de inundação da barragem II.

Os propósitos de gestão, propostos para a avaliação na presente tese (abastecimento de água, perdas de solos, serviços ecossistêmicos e estrutura ecológica), são analisados à luz das 4 variáveis de pressão junto com os resultados da matriz de estrutura biofísica, esta nova matriz é chamada de “matriz *inputs - outputs*”.

Quadro 25. Matriz de Inputs e Outputs

<i>Inputs</i>	Valor indicador	Componente s biofísicos	Associações entre inputs e outputs	ID2
Pressão demográfica	Crescimento populacional, Pressão moderada e indireta	F, I	Processo de ocupação concentrada na jusante da bacia	R1
Mudança nos usos das terras	Avanço da urbanização: 3,86 km ² ; avanço de atividades agropecuárias: 10,1 km ² ; Mudança total: 13,96 km ² (não inclui área da represa Piraquara II) Pressão baixa	A, H, I	I) variável com cenário de ação na montante da bacia; II) há uma associação com a perda dos estoques naturais das florestas da bacia; III) associação direta com aumentos das taxas de perdas de solos; IV) variável associada com o crescimento económico e populacional da bacia e/ou do município	R2
Dinâmicas urbanas nos fundos de vale	5 tipos de intervenções consideradas. Pressão indireta e de magnitude moderada	F, I	I) variável com cenário de ação na periferia do município de Piraquara; II) variável relacionada com as modificações às estruturas ecológicas e funcionamento hidrogeomorfológico do rio; III) variável relacionada com a perda da qualidade hídrica da vazão de entrada na ETA Iraí	R3
Variabilidade climática	Fenômeno ENOS sem influencia sobre aumentos ou precipitações na BHRP. Sem pressão.	A, B, C, D, E, F, G, H	I) variável com cenário de ação em toda a bacia; II) Diminuição de quantidade hídrica para abastecimento. III) Aumento dos riscos por inundações	R4
<i>Output</i>	Valor indicador	Componente s biofísicos	Associações entre inputs e outputs	ID3
Abastecimento de água	Sem perda da qualidade hídrica registrada no IQA. Sem diminuição da disponibilidade em termos quantitativos devido às barragens Impacto leve	C, I	Variável sem influência da variabilidade climática ENOS. Variável sob pressão das ocupações do Guarituba. Bacia sob pressão pelos aumentos nos consumos de água da RMC	G1
Dinâmica das encostas e perdas de solos	Baixas taxas de perda de solos Impactos baixos	A, B, C, D	Variável sob influencia direta das mudanças nos usos das terras, da morfometria e da geomorfologia. Associação direta com a perda da qualidade da água. Associação direta como assoreamento de rios e sedimentação das barragens Piraquara I e II	G2
Serviços ecossistêmicos	Diminuições da área específica = 18,27 km ² (28,4%) Impacto moderado	E	Variável sob a influencia das dinâmicas econômicas ligadas à terra	G3
Estrutura ecológica	Condições ecológicas das ribeiras são boas. Qualidade Hidrogeomorfológica boa Impactos moderados e indiretos	F, G, H, I	Variável sob pressão das as dinâmicas urbanas em fundos de vale; Infraestrutura de controle de inundações e ocupações irregulares.	G4

Elaboração: Hincapié, 2017.

4.4 INTEGRAÇÃO ENTRE A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAQUARA E O PLANEJAMENTO E A GESTÃO AMBIENTAL DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Neste capítulo, objetiva-se, descrever a integração dos serviços da Bacia Hidrográfica do Rio Piraquara (BHRP) ao desenvolvimento sustentável da RMC. Para isso, a nossa tese propõe relacionar o conteúdo das duas matrizes anteriores (matriz da estrutura biofísica e matriz de *inputs - outputs*), com o marco institucional e normativo, criado para o planejamento e gestão de bacias no âmbito de áreas metropolitanas no Estado do Paraná.

Embora não iremos fazer, nesse item, uma análise aprofundada das políticas de gestão integral de recursos hídricos atuantes na BHRP, é necessário considerar a estrutura desse sistema sobre a área estudada. O primeiro nível de referencia hierárquica do Brasil, sobre recursos hídricos, é a Política Nacional de Gestão Recursos Hídricos (Lei nº 9.433 de 1997), com o seu Plano Nacional de Recursos Hídricos e os seus instrumentos de gestão complementares, que serão analisados no último capítulo da tese. O segundo nível hierárquico, para considerar é a Política Estadual de Recursos Hídricos do Paraná (Lei Estadual nº 12.726 de 1999). O terceiro nível, em nossa classificação, refere-se aos instrumentos de planejamento e gestão da Política Estadual de Recursos Hídricos (plano estadual de recursos hídricos; plano de bacia hidrográfica; enquadramento dos corpos de águas; outorgas; cobranças; monitoramento e sistema de informações). As hierarquias da gestão hídrica, se combinam com os instrumentos de gestão territorial e ambiental, para gerenciar os serviços da bacia e integrá-los aos propósitos da região metropolitana.

4.4.1 Inclusão da dinâmica de ocupações da BHRP no plano da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu

Os planos de bacia dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) do Brasil, encontram-se, de forma geral, estreitamente focados na disponibilidade hídrica, em termos de quantidade e qualidade de grandes bacias hidrográficas¹⁶ e à sua

¹⁶ Refere-se regularmente a áreas maiores aos 1000km² mas a conformação destes CBH pode variar em função da magnitude da bacia permitindo-se áreas menores.

distribuição entre usuários da água, Estado e sociedade civil, isto é, no intuito de garantir, de forma sustentável, os usos e aproveitamentos dos recursos hídricos. Este tipo de plano, tem como meta conciliar interesses e demandas hídricas dos atores envolvidos no usufruto, planejamento, gestão e habitação da bacia hidrográfica, incluindo os gastos hídricos necessários para o funcionamento ótimo do sistema fluvial, o que se logra mediante a concertação deliberativa e a definição de diferentes instrumentos de gestão, entre os que se encontram as outorgas, as licenças, instrumentos económicos e sistemas de monitoramentos entre outros.

Os planos de bacias hidrográficas, se realizam em escalas menores, entre 1: 500.000 e 1:200.000, nos quais se incluem diretrizes e delimitações de usos de solos, por atividades económicas, ligadas aos grandes consumos de água, sejam agropecuários, industriais de produção energética, etc. (COMEC, 2017).

A resolução Estadual nº 49 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Paraná, define 16 bacias hidrográficas e 12 unidades geográficas de gerenciamento de recursos hídricos. A bacia hidrográfica do rio Iguaçu, conforme o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná, divide-se em três unidades geográficas de gerenciamento: Alto Iguaçu, Médio Iguaçu e Baixo Iguaçu. Na unidade do Alto Iguaçu, encontra-se inserida a micro bacia do rio Piraquara. O comitê da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu foi instituído pelo Decreto Nacional nº 5.878 de 2005.

O plano da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, inclui os aspectos quantitativos e qualitativos da BHRP, assim como as projeções de crescimento populacional, cenários e tendências do uso e ocupação de solos, e atividades económicas esperadas e, por fim, estratégias setoriais para a gestão dos seus recursos hídricos. Sob este contexto, o plano da bacia do Alto Iguaçu, propõe restrições às cargas poluidoras da BHRP, enquadramento de cursos de água, segundo os usos e a normatividade estadual e federal, e a determinação de metas progressivas de qualidade da água.

Em relação ao enquadramento dos corpos hídricos superficiais de domínio do Estado do Paraná, o Comitê da Bacia Hidrográfica (CBH) do Alto Iguaçu e afluentes do Ribeira, tem promulgado a Resolução nº 4 de 2013, na qual se considera o rio Piraquara em três tipos de enquadramentos: I) na área de interesse especial turístico de Marumbí classifica-se na classe 1; II) fora da área de Interesse Especial Turístico Marumbí até o limite da Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual de

Piraquara enquadra-se na classe 2; III) A jusante do limite da APA Estadual de Piraquara até sua foz enquadra-se na classe 3.

O relevante destes enquadramentos de corpos hídricos e do plano da bacia do Alto Iguaçu, em nossa pesquisa, é que são os instrumentos, mediante os quais o CBH do Alto Iguaçu, se relaciona e se articula de forma sistêmica com diferentes hierarquias territoriais da RMC. De um lado, atua coordenadamente com a COMEC na coesão das funções de diferentes instituições estaduais, com foco na gestão hídrica (qualidade e quantidade) das microbacias do Alto Iguaçu, e de outro lado, compõe uma peça de um sistema maior de gestão e planejamento hídrico, em escala estadual, pertencente à bacia hidrográfica do rio Iguaçu.

4.4.2 Inclusão da dinâmica de ocupações da BHRP no Plano de Desenvolvimento Integrado da RMC

A Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC), formulou no ano 2006, a atualização do Plano de Desenvolvimento Integrado (PDI) da Região Metropolitana de Curitiba que, de fato, é o instrumento de planejamento maior para a gestão e execução das políticas públicas de desenvolvimento metropolitano. O PDI trás uma proposta de ordenamento territorial, assim como uma proposta para a atualização do arranjo institucional.

O primeiro PDI da RMC, elaborado pela COMEC no ano 1978, demarcou as suas diretrizes, conforme a visualização de condicionantes topográficas e biofísicas representadas: a leste pelos relevos declivosos da Serra do Mar e pelo uso de suas bacias hidrográficas, como áreas de mananciais de água para abastecimento público; a norte, pelo relevo fortemente ondulado e; ao sul pelas várzeas do Rio Iguaçu, o que indicava a região oeste como a mais apta para a expansão urbana da metrópole (COMEC, 2006).

O PDI de 1978, já previa a preservação de mananciais a leste do núcleo urbano central, que inclui o município e a bacia do rio Piraquara e vislumbrava-se, junto com outras nascentes do Alto Iguaçu, o conjunto de fontes hídricas para o abastecimento da RMC. No entanto, naquelas datas a COMEC ainda não contava com um arcabouço jurídico e normativo robusto para a inteira implementação.

O PDI de 2006, traz uma proposta de ordenamento territorial, sustentada na

estrutura jurídica, normativa e institucional do Estado do Paraná, mais consolidada do que na primeira versão. Essa proposta é organizada em duas linhas estratégicas. A primeira linha estratégica da proposta é a proteção, conservação e preservação do meio ambiente e se estrutura em três diretrizes: I) a consolidação da Lei Estadual nº 12.248 de 1998, sobre o Sistema Integrado de Gestão e Proteção dos Mananciais da RMC (SIGPROM), ainda mais devido à rigurosidade do SIGPROM, nas restrições aos usos dos solos; II) a regulamentação rigorosa das exigências legislativas federais (Lei Federal nº 6.766 de 1979), referentes ao parcelamento urbano e licenciamento ambiental, devido a essa lei federal, que trata sobre parcelamentos de solo, no passado não considerar especificidades relativas às áreas de manancial; e III) a consolidação do aparato legal e instrumentos existentes de proteção, conservação e preservação ambiental. Este último relacionando as áreas de conservação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, instituído pela Lei Federal n.º 9.985, de 18 de Julho de 2000. Por fim, a segunda linha estratégica abrange o ordenamento da expansão e do crescimento urbano (COMEC, 2006).

4.4.3 A ocupação da bacia do rio Piraquara na Região Metropolitana de Curitiba

O município de Piraquara faz parte do Núcleo Urbano Central (NUC) da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), dentro do município de Piraquara, e encontra-se completamente na Bacia Hidrográfica do Rio Piraquara, tanto a bacia, como o município, são elementos do sistema de gerenciamento territorial metropolitano.

A Região Metropolitana de Curitiba (RMC), criada mediante a Lei Complementar Federal nº 14 de 1973, foi inicialmente constituída por 14 municípios. No ano 2011, após varias modificações, a Lei Complementar Federal n.º 139 de 2011, estabeleceu a sua última conformação, com a integração de 29 municípios. A RMC, portanto, ocupa uma área de 16.581,21 km², que se estende, atualmente, desde o limite estadual, a norte, com o Estado de São Paulo e a Sul, com o limite estadual do Estado de Santa Catarina, à Serra do Mar, a Leste e interior do Estado do Paraná, a Oeste. (COMEC, 2012, IPEA, 2013). A RMC, tinha,

no ano 2015, uma população aproximada de 3.502.790 de habitantes, concentrando 31,37% da população total do Estado do Paraná (IBGE, 2015).

O Núcleo Urbano Central (NUC) da RMC, é constituído por 14 municípios, que formam uma grande e única metrópole, onde está concentrada a maior parte da população na RMC. O núcleo abrange uma superfície de, aproximadamente, 1250 km², e cuja população, no ano de 2012, alcançava 93% do total da RMC (IPEA, 2013). Os municípios que compõem o NUC são: Almirante Tamandaré, Araucária, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Campo Magro, Colombo, Curitiba, Fazenda Rio Grande, Itaperuçu, Pinhais, Piraquara, Quatro Barras, Rio Branco do Sul e São José dos Pinhais (COMEC, 2017).

A função da coordenação da RMC é promover as políticas territoriais específicas, articular as funções de diversos órgãos ou instituições e assessorar as prefeituras, na elaboração dos planos diretores de municipais (IPEA, 2013). Os serviços e/ou propriedades emergentes da BHRP, constituem funções de interesse comum, desde a perspectiva metropolitana, o que se reflete em conteúdos normativos, relacionados com os usos dos solos e com a gestão de recursos hídricos. O Quadro 26, apresenta de maneira sintética, a normatividade relacionada à gestão e planejamento dos usos de solos e a gestão ambiental metropolitana da RMC.

Quadro 26. Marco normativo da gestão ambiental territorial da RMC

Função	Instrumentos Legais / Oficiais	Instrumentos associados
Conformação e estruturação institucional da RMC	Lei Complementar Federal nº 14 de 1973. Criação da Região Metropolitana de Curitiba (RMC); Lei Complementar Federal nº 139 de 2011. Estabelece a conformação da RMC com 29 municípios; Lei Estadual nº 6517 de 1974. Criação da Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba – COMEC; Decreto Estadual nº 6.384 de 2006. Vinculação da COMEC à Secretaria Estadual de Desenvolvimento Urbano; Lei Complementar Estadual nº 111 de 2005; Funcionamento das Regiões Metropolitanas do Estado do Paraná.	
Saneamento Básico: (abastecimento, esgoto, limpeza pública, drenagem)	Lei Federal nº 11.445 de 2007: estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Leis Municipais Lei nº 10257 de 2001. Política Urbana.	Plano de saneamento por município. Plano Diretor Municipal

Função	Instrumentos Legais / Oficiais	Instrumentos associados
Uso do solo metropolitano	Uso do solo metropolitano Lei Federal nº 6.766 de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências; Decreto Estadual nº 5.911 de 1989: Dispõe sobre aprovação do plano diretor de manejo florestal o documento que integra o presente decreto; Lei Estadual nº 12.248 de 1998: Cria o Sistema Integrado de Gestão e Proteção dos Mananciais da RMC; Decreto Estadual nº 2.520 de 2004: Define critérios para anuência de loteamentos populares ou de interesse social na RMC, e dá outras providências; Lei Federal nº 12.587 de 2012: Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana.	Plano Diretor de Mineração da RMC SIGPROM (UTP, APA)
Recursos Hídricos e proteção ambiental	Lei Federal nº 6.938 de 1981: Política Nacional do Meio Ambiente e SISNAMA; Lei Estadual nº 8.935 de 1989: Dispõe sobre requisitos mínimos para as águas provenientes de bacias mananciais destinadas a abastecimento público e adota outras providências; Lei Federal nº 9.433 de 1997: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; Lei Estadual nº 12.248 de 1998: Cria o Sistema Integrado de Gestão e Proteção dos Mananciais da RMC Decreto Estadual nº 387 de 1999: Instituído o Sistema de Manutenção, Recuperação e Proteção da Reserva Florestal Legal e Áreas de Preservação Permanente Lei Estadual nº 12.726 de 1999: Cria o Sistema estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos; Decreto Estadual nº 2.377 de 2000: Aprovado o Regulamento do Fundo de Preservação Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba - FPA-RMC Lei Federal nº 9.985 de 2000: Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências; Decreto Estadual nº 6.194 de 2012: Declara as Áreas de Interesse de Mananciais de Abastecimento Público para a Região Metropolitana de Curitiba e dá outras providências; Lei Federal nº 12.651 de 2012: Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (Código Florestal).	Outorgas, enquadramentos, cadastro, licenças.

Fonte: IPEA, 2013. **Adaptação:** Hincapié, 2017.

Os diferentes planos supracitados, fornecem uma estrutura complexa, com diversos patamares de planejamento e de gestão, ambiental e territorial. Nessa estrutura, é que se articulam e combinam os serviços da BHRP à RMC. Assim, o plano da bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu, volta-se à gestão hídrica, conforme planos de bacia e enquadramentos abrangendo o contexto da RMC. O PDI foca-se,

no ordenamento territorial da RMC, objetivando direcionar o desenvolvimento urbano e econômico da região conforme as condicionantes territoriais de natureza biofísica e topográfica. O SIGPROM, composto por Áreas de Proteção Ambiental (APAs) e Unidades Territoriais de Planejamento (UTPs), centra-se na orientação rigorosa e detalhada da ocupação dos solos, das áreas de mananciais da RMC e, como iremos analisar, das zonas de transição urbana.

4.4.4 Marco Institucional da gestão metropolitana e ambiental da RMC

A Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano (SEDU) e a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA), são os órgãos de maior relevância política e institucional estadual, que envolvem os temas relacionados à integração direta, entre propriedades emergentes (regulação hídrica, regulação microclimática, diversidade ecológica, produção de energia, entre outras) de bacias hidrográficas e desenvolvimento integral da RMC.

A SEDU, promove as políticas para o desenvolvimento urbano do Estado do Paraná, mas essas políticas se operacionalizam, mediante as diferentes coordenadorias metropolitanas que, por sua vez, funcionam como integradoras das funções de diversas instituições estaduais, através dos Planos de Desenvolvimento Integrado (PDI). Nesse sentido, o arranjo institucional para a gestão metropolitana da RMC, compõe-se, no nível maior da SEDU e em níveis hierárquicos menores, de três instâncias: Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC), a Secretaria Municipal de Assuntos Metropolitanos de Curitiba (SMAM), e a Associação de Municípios da Região Metropolitana de Curitiba (ASSOMECA) (IPEA, 2013).

A Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, foi instituída pela Lei Estadual n.º 6517/74, no contexto da Política Nacional de Desenvolvimento Urbano da década de 1970, como o órgão encarregado de articular as instancias de gestão, associadas à governabilidade da RMC. Após varias alterações, desde a sua criação, a COMEC se transformou em uma autarquia com personalidade jurídica de direito público e autonomia administrativa e financeira, e patrimonial (Lei Estadual nº 11.027 de 1994), vinculada, mediante Decreto Estadual nº 6.384 de 2006, à Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano (SEDU) (IPEA, 2013).

Embora as alterações acontecidas no arcabouço administrativo, o processo decisório da COMEC, continua sendo o mesmo desde que foi instituída.

Essa instância, responsável pelo processo decisório da COMEC, conforme o Artigo 5 a Lei Estadual nº 6517 de 1974, se compõe do conselho deliberativo e do conselho consultivo. O Artigo 7 da proferida lei, descreve as competências da COMEC. Entre essas competências, consideramos destacável, para efeitos desta pesquisa, o Artigo 5, que trata sobre “Coordenar os serviços comuns de interesse metropolitano, empreendidos pelo Estado e municípios da região”. Cabe nessa descrição, o esclarecimento dos serviços comuns de interesse metropolitano a esse respeito, a Lei Complementar Estadual nº 111 de 2005, no seu Artigo 3 diz:

a) planejamento, global ou setorial, das questões territoriais, ambientais, sociais, econômicas e institucionais; b) execução de obras e a implantação, operação e manutenção de serviços públicos; c) financiamento da implantação, operação e manutenção de obras e serviços, bem como sua remuneração e recuperação de custos; d) supervisão, controle e avaliação da eficácia da ação pública metropolitana.

Por fim, o planejamento e a gestão da área metropolitana de Curitiba é realizada segundo a Lei Complementar Estadual nº 111 de 2005. O Artigo 8, desta lei, descreve os instrumentos para a gestão e planejamento de cada região metropolitana de Paraná:

- I Plano Diretor de cada Região Metropolitana;
- II Planos e Programas Setoriais;
- III Plano Diretor de Informações para o planejamento;
- IV Legislação urbanística e ambiental;
- V Normas, padrões e critérios relativos ao controle urbano e a manutenção da qualidade ambiental;
- VI Planos plurianuais;
- VII Diretrizes orçamentárias;
- VIII Orçamento anual;
- IX Política fiscal e tributária;
- X Convênios, acordos, consórcios, contratos multilaterais e outros instrumentos voltados à cooperação intermunicipal e intergovernamental;

XI Fundo de Desenvolvimento de cada Região Metropolitana.

A Secretaria Municipal de Assuntos Metropolitanos de Curitiba (SMAM), é outra instância relevante de gestão e planejamento urbano e metropolitano da RMC, junto ao Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC). Os dois fornecem as orientações, para promover as políticas de planejamento urbano de Curitiba, como o plano diretor com o qual, finalmente, se geram pautas na expansão e/ou contração urbana e populacional do NUC da RMC.

Por sua vez a SEMA é a entidade encarregada de formular as políticas e diretrizes do Sistema Estadual de Gestão Ambiental e dos Recursos Hídricos, mesmo que da execução de políticas relacionadas ao controle da erosão, do saneamento ambiental, da gestão de resíduos sólidos, da biodiversidade, conservação de florestas, mapeamento e produção agrária-fundiária, e dos programas de gerenciamento costeiro. A SEMA, funciona mediante quatro coordenadorias, cada uma com responsabilidades sobre a formulação de diretrizes de diferentes temas de ação: Coordenadoria de Recursos Hídricos e Atmosféricos – CRHA, Coordenadoria de Biodiversidade e Florestas – CBIO, Coordenadoria de Resíduos Sólidos – CRES e Coordenadoria de Mudanças Climáticas) (SEMA, 2017).

As instituições que apoiam tecnicamente a gestão da SEMA, funcionam como autarquias, que trabalham de forma combinada: Instituto Ambiental do Paraná (IAP), Instituto de Terras, Cartografia e Geologia (ITCG) e Instituto das Águas do Paraná (SEMA, 2017). Apresenta-se, a seguir, uma descrição das instituições mais importantes que fazem parte deste marco institucional da gestão ambiental do Paraná.

Instituto Ambiental do Paraná (IAP)- Tem como missão a proteção, conservação e controle ambiental estadual. Na prática é encarregado do licenciamento ambiental (formulação de termos de referência, licenças, cadastro de consultores ambientais, gestão do uso e manejo de fauna silvestre); do monitoramento ambiental (ar, solos, água, resíduos sólidos, acidentes ambientais, inventários etc.); da fiscalização ambiental (controle e vigilância do cumprimento de normas ambientais); do manejo, administração e sinergia das unidades de conservação e; do monitoramento florestal (cadastro ambiental rural, recomposição

de áreas degradadas) (SEMA, 2017).

Instituto de Terras, Cartografia e Geologia (ITCG)- O ITCG é a instituição encarregada da rede geodésica e, portanto, da geração e fornecimento de informações cartográficas oficiais do Estado do Paraná (mapeamento sistemático do Estado, solos, geologia, geomorfologia, vias, infraestrutura etc.), da elaboração do cadastro territorial rural e de sua estatística imobiliária, da elaboração e atualização do zoneamento ecológico-econômico e de realizar pesquisas relacionadas à dinâmica fundiária, agrária e de geociências entre outras funções (SEMA, 2017).

Instituto das Águas do Paraná- este instituto, conforme a Lei nº 16.242 de 2009, é o órgão executivo e gestor do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Paraná e, portanto, está encarregado de executar a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), por meio dos instrumentos de gestão proferidos na Lei estadual nº 12.726 de 1999. Entre outras responsabilidades, ao Instituto das Águas do Paraná (IAP) lhe competem: o monitoramento da qualidade e quantidade dos recursos hídricos estaduais; o planejamento e execução dos programas de proteção e; a conservação dos recursos hídricos, assim como da execução de projetos, para o controle da erosão e das inundações no Estado do Paraná (SEMA, 2017).

O IAP é a instituição encarregada da implantação do Plano Estadual de Recursos Hídricos, da elaboração e execução dos planos de bacias hidrográficas, do funcionamento dos comitês de bacias e de gerir o fundo estadual de recursos hídricos. A fiscalização do serviço de saneamento básico estadual, também é responsabilidade do Instituto das Águas do Paraná, ou seja, a definição de critérios e vistoria do abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (SEMA, 2017).

Além das instituições anteriores, a Secretaria Estadual da Agricultura e do Abastecimento, o Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) e a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), são órgãos, que também compõem o arcabouço da gestão ambiental do Paraná. O EMATER, na prática, é o instituto encarregado do assessoramento técnico e da execução de políticas do setor rural, enquanto que o SANEPAR é a empresa de serviços públicos, encarregada do abastecimento de água potável e do saneamento

ambiental do Estado do Paraná.

4.4.5 Mecanismos de resposta do tipo R1: usos urbanos nos fundos de vale

A variável foca-se no perímetro urbano, na pressão urbana sobre fundos de vale, de contextos metropolitanos, que afeta especialmente as funções ecológicas e estruturas ecológicas relacionadas aos corpos hídricos.

O Município de Piraquara, deve sua importância no arranjo sistêmico metropolitano de Curitiba, para compreender centenas de nascentes na Serra do mar, que fornecem 50% da água para abastecimento da população dessa região metropolitana (SANEPAR, 2013).

Devido à preservação das funções hídricas, o município tem sido, desde a década de 1970, objeto de fortes restrições à ocupação, utilizando-se, nessa tarefa, de diversas camadas de legislação ambiental de caráter estadual, metropolitana e municipal, que se sobrepõem com o intuito de antecipar a ocupação regular e irregular do crescimento urbano. Em consequência, e como afirmado por Maricato (2002) e Prestes (2016), o Município de Piraquara, passou a conformar parte do grupo de cidades brasileiras, onde o condicionamento e restrições ao mercado imobiliário geram ocupações em áreas ambientalmente frágeis, de baixo valor monetário e criando mercados ilegais de terras.

Em Piraquara, se misturaram uma série de fatores, que provocaram o aparecimento dos bairros do Guarituba, à jusante da BHRP, considerada a maior ocupação irregular da RMC, com uma população que supera os 40.000 habitantes (PRESTES, 2016). Dentre esses fatores, conforme Prestes (2016), destacam-se a forte atração migratória, gerada pela industrialização do distrito de Pinhais e sua dinâmica econômica, o elevado crescimento populacional na zona leste da RMC, na década de 1980, a localização próxima às áreas consolidadas de Curitiba, os parcelamento inadequado do solo, nas antigas chacras de Guarituba, a escassez de programas habitacionais, para a população de baixa renda e a legislação ambiental restritiva para a expansão urbana regular.

Os trabalhos de Firkowski e Pereira (2010), afirmam que as ocupações do Guarituba, nas várzeas do Alto Iguaçu, sobre planície aluvial, com baixa capacidade de drenagem, podem ser consideradas como parte das faixas

“periurbanas” da RMC ou também, conforme Torres (2004), referem-se às “fronteiras urbanas”, uma área que não possui as características próprias do rural, mas que nem se percebem como urbano, e sim como um espaço de intermediação em áreas ambientalmente frágeis, onde a moradia irregular é causante de conflitos e degradação ambiental, devido à ausência de infraestrutura de saneamento, assim como a outros tipos de conflitos, relacionados à informalidade do acesso à terra.

Com tudo, a ocupação de Guarituba é tratada através de instrumentos jurídicos e urbanísticos, principalmente do programa de aceleração do crescimento e os projetos prioritários de investimento, que tem como objetivo combinar as ações urbanísticas com a preservação de mananciais. Neste sentido, após a conversão do distrito de Pinhais em município, no ano de 1992, que deixou o município de Piraquara com arrecadação tributária menor, houve implicações no aumento da situação de precariedade socioambiental e intensificação dos processos de invasão em áreas públicas.

A resposta da COMEC, diante desses desafios, que envolveram as altas pressões demográficas, no fornecimento de serviços ambientais e de abastecimento para a RMC, foi a combinação e integração de diversas ferramentas jurídicas e funções institucionais, com o objetivo de conciliar a necessidade das áreas para crescimento urbano, com a preservação dos mananciais da RMC, mediante a criação do Sistema Integrado de Gestão e Proteção aos Mananciais da RMC – SIGPROM.

O SIGPROM é, então, um arcabouço legal, técnico e institucional específico, para a proteção das áreas desses mananciais, do qual participaram a SANEPAR, o Instituto Ambiental do Paraná – IAP e a extinta Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA). A Lei de Proteção aos Mananciais da RMC ou Lei Estadual nº 12.248 de 1998, é a base jurídica, criada para dar suporte técnico e normativo institucional ao SIGPROM (COMEC, 2017). A respeito Prestes (2016) afirma:

A Lei Estadual nº 12.248/1998 muda o paradigma da restrição total de ocupação em áreas de proteção e cria mecanismos legais que possibilitam a regularização das ocupações consolidadas; restringe a ocupação de áreas ambientalmente frágeis; e orienta novas implantações e parcelamentos do solo. Na região de transição “entre áreas com pressão urbana e áreas de maior restrição ambiental” o planejamento e gestão deverão ser compartilhados

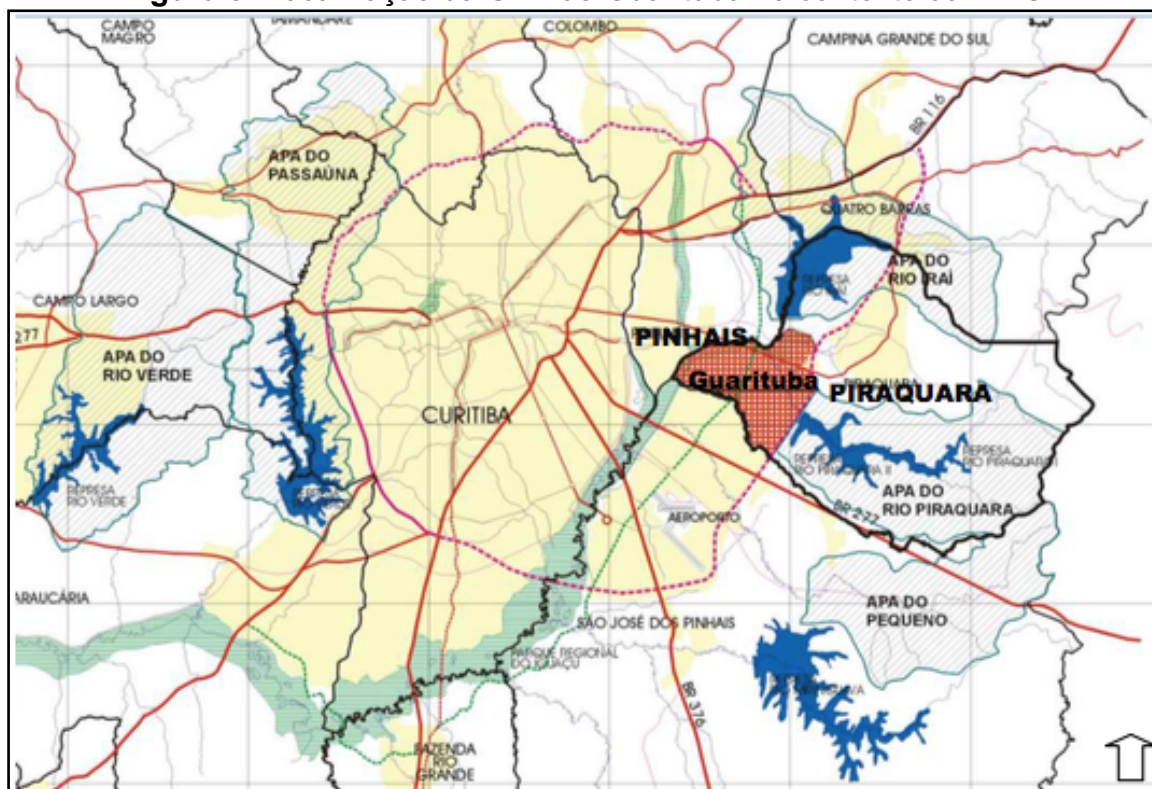
entre Estado e municípios via instrumento da Unidade Territorial de Planejamento-UTP.

No marco do SIGPROM, criaram-se, então, diversos instrumentos de planejamento, como: as Unidades Territoriais de Planejamento (UTPs), o Conselho Gestor dos Mananciais, o Fundo de Preservação Ambiental, e integraram-se outros como as declaratórias das Área de Proteção Ambiental (APAs).

As Áreas de Proteção Ambiental, são unidades de conservação, previstas pela Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação, e que possuem como principal objetivo conciliar o desenvolvimento econômico e a proteção ambiental. Entretanto, as Unidades Territoriais de Planejamento (UTP's), são áreas que funcionam como espaços de transição entre áreas urbanas consolidadas, e áreas de restrição ambiental (APAs, e/ou áreas rurais), ou de interesse de proteção de mananciais. Assim, as UTPs funcionam como amortecedores da pressão por ocupações nas sub-bacias, contribuintes dos mananciais de interesse da RMC (COMEC, 1998).

Foi mediante esta lei, que a conglomeração do Guarituba foi declarada uma UTP, mediante Decreto Estadual nº. 809/1999, delimitando um perímetro de 31,59 km², detalhado na Lei Municipal nº. 445/1999. Dessa forma, a dinâmica de ocupação da BHRP, nos fundos de vale, integra-se ao planejamento territorial da RMC, através da UTP do Guarituba, que ocupa toda a jusante do Rio Piraquara. No entanto, junto a Guarituba existem outras quatro UTPs regulamentadas por legislação estadual, correspondentes às cinco áreas com maior pressão por ocupação, sobre as áreas de interesse de proteção de mananciais: Pinhais, Guarituba, Itaqui, Quatro Barras e Campo Magro. A Figura 9, extraída de Prestes (2016), apresenta a localização da UTP de Guarituba, à jusante da BHRP e no contexto da RMC.

Figura 9. Localização da UTP de Guarituba no contexto da RMC



Fonte: Prestes (2016).

No primeiro decreto, que definiu a UTP do Guarituba, se estabeleceram três grandes grupos de usos: os usos para ocupação orientada; os usos para consolidação urbana e; a restrição à ocupação. As zonas de ocupação, orientadas, correspondem às faixas de transição entre densidades de ocupação. As zonas de consolidação urbana, permitiam um maior adensamento populacional, tanto que as zonas de restrição de ocupação estavam vinculadas às margens hídricas e eixos fluviais do rio Piraquara, que são áreas destinadas à preservação ambiental. Neste último caso, a legislação municipal estabeleceu uma divisão de restrições aos usos assim:

- a) Setor de Preservação: correspondente a faixa de preservação permanente e de recuperação de 30m ao longo dos Rios Iraí, Itaqui e Piraquara; b) Setor de Conservação: correspondente a faixa adicionada ao Setor de Preservação destinada a implantação de atividades de recreação, lazer e soluções de drenagem, sendo essa faixa no mínimo de 30m para o Rio Itaqui; 70m para o Rio Piraquara, e para o Rio Iraí este setor estende-se até a faixa de domínio da Rodovia PR-415 e o traçado do Canal Extravaso do Iguaçu (PIRAQUARA, 1999).

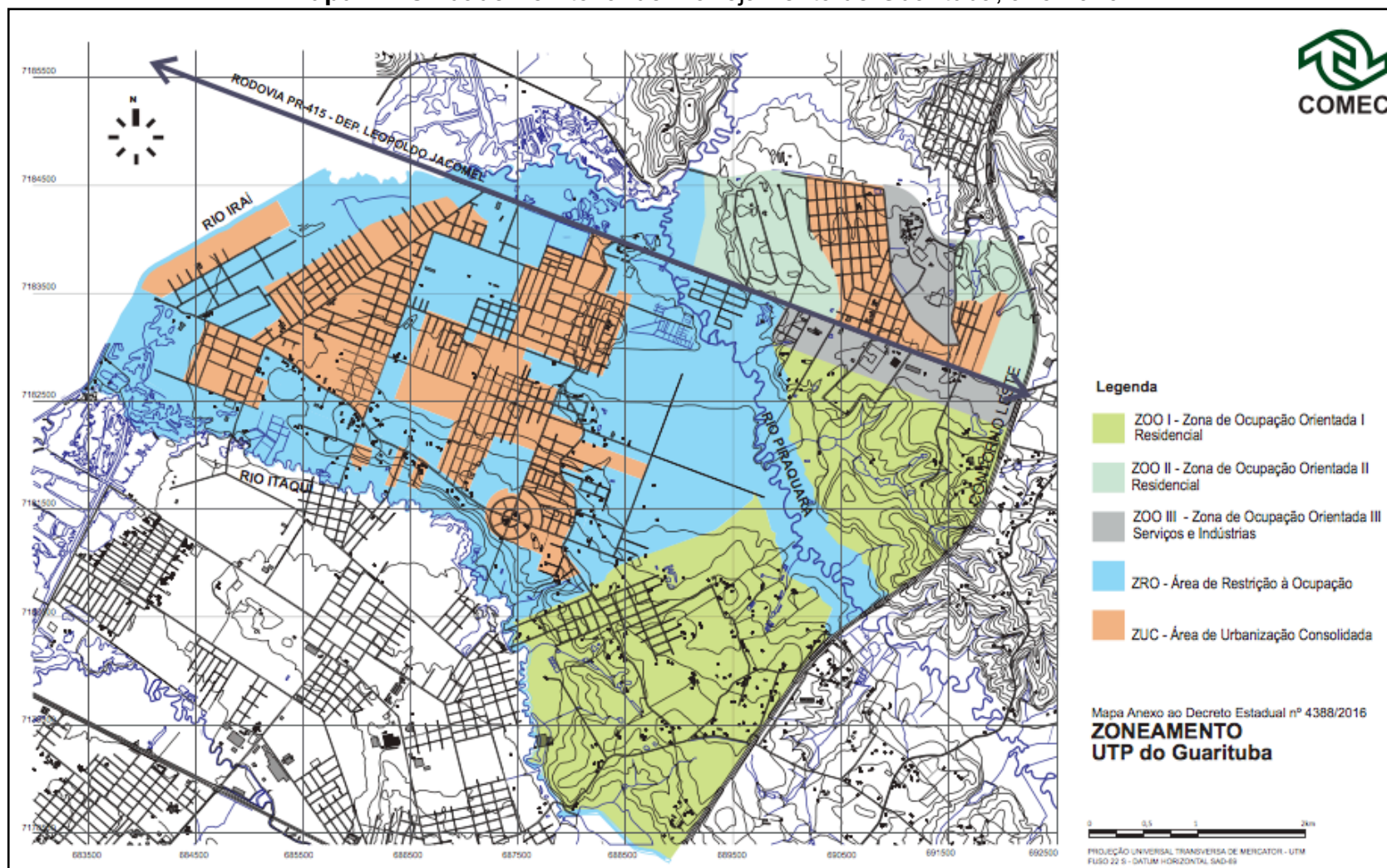
A categoria das áreas de restrição à ocupação, conforme o trabalho de Prestes (2016), também pode incluir:

I - As faixas de drenagem dos corpos d'água conforme definidas em legislação própria; II - As áreas cobertas por matas; III - As áreas com declividades superiores a 30%; IV - As áreas sujeitas à inundação; V - As áreas de preservação permanente definidas em legislação federal e estadual; VI - As áreas de recarga do aquífero. Além de outras áreas de interesse que podem ser incluídas mediante aprovação prévia do Conselho Gestor dos Mananciais da RMC e através de Decreto Estadual (PRESTES, 2016. p, 5).

Posterior ao primeiro Decreto, que estabeleceu a UTP de Guarituba, o conteúdo deste foi atualizado com os Decretos nº 6.314 de 2006 e 4.388 de 2016, conforme aumentaram as dinâmicas de ocupação e as necessidades de organização do território, ainda mais as relacionadas com as frequentes inundações, comuns nas planícies aluviais, questões que também foram tratadas mediante a formulação do plano diretor de drenagem da bacia do alto Iguaçu, que abrange todo o leste da RMC.

A última versão do plano de Guarituba (Decreto nº 4.388 de 2016), apresenta uma grande evolução a respeito do primeiro, portanto, essa última versão trata das necessidades do zoneamento com mais rigorosidade, para integrar com os planos municipais, incluindo nessa fase a regularização fundiária e as intervenções físicas, para a consolidação das urbanizações desse setor, ou seja, para a instalação de redes de abastecimento, de macrodrenagem e de redes de energia elétrica, adequação do sistema viário principal e provisionamento de equipamentos comunitários de esporte e lazer (PRESTES, 2016). O Mapa 11, representa a última atualização do zoneamento da UTP de Guarituba.

Mapa 11. Unidade Territorial de Planejamento de Guarituba, ano 2016



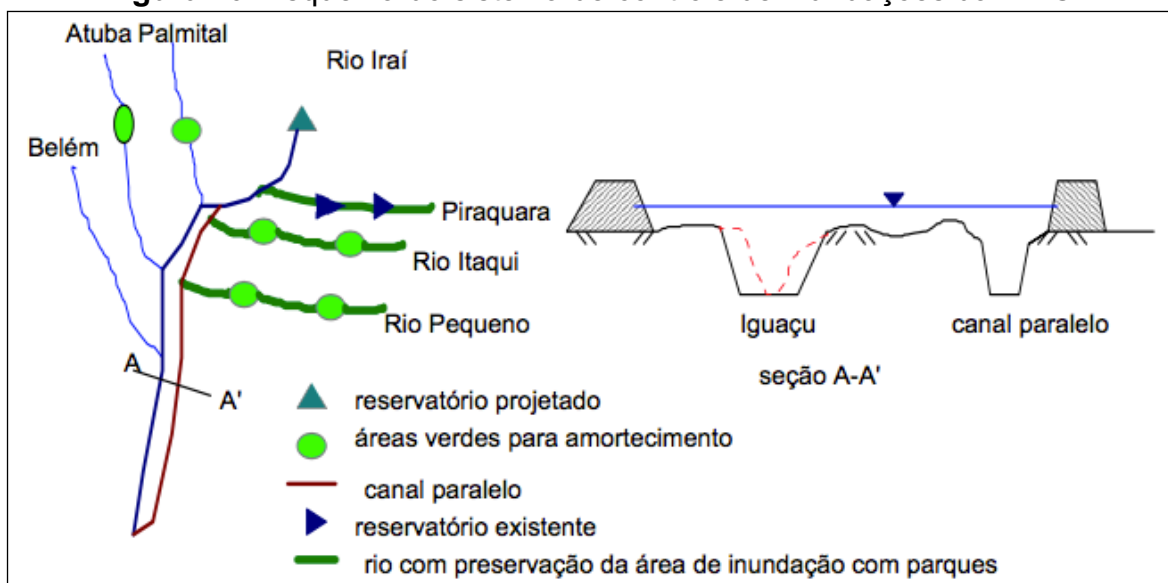
Fonte: Instituto de Águas do Paraná (2016).

4.4.5.1 A BHRP no contexto da gestão de inundações e do Plano Metropolitano de Drenagem

A jusante da BHRP é parte integral do curso do Alto Iguaçu, caracterizado pela baixa declividade longitudinal e transversal e pela formação de várzeas inundáveis. O planejamento e gestão, realizados pela COMEC, focadas no controle de inundações, no Alto Iguaçu, tem se realizado em diferentes etapas e mediante a mistura de varias alternativas de controle (TUCCI, 2007).

Tucci (2007), foi o autor encarregado de assessorar a implementação das medidas de controle de inundações no Alto Iguaçu, conforme descrito por ele (TUCCI, 2007). Após a implementação de medidas emergenciais foram realizados: o zoneamento das áreas de controle de inundações e a definição das cotas de inundação com o intuito de definir regras de construção e ocupação; a construção de reservatórios nos rios Iraí e Piraquara com dois propósitos envolvidos – a) para abastecimento de água e, b) como amortecedores de enchentes no sistema de regulação hidráulica; confinamento do escoamento com diques e ampliação da capacidade de escoamento, o que é realizado com a modificação e ampliação da calha do leito natural e a construção de canais paralelos ao leito maior.

Nesse último caso, o canal paralelo cumpre também a função de criar uma barreira para evitar o avanço das ocupações. Os usos propostos por Tucci (2007), para as áreas entre os canais paralelos é o da implementação de parques lineares e urbanos. Por fim, o sistema de controle de inundações, se complementa com o Plano Diretor de Drenagem Urbana, mediante o qual, espera-se, criar a regulamentação técnica para a construção de novos empreendimentos. A seguir, a Figura 10 representa uma das funções da bacia de Piraquara, no sistema de controle de enchentes do Alto Iguaçu, na Região metropolitana de Curitiba.

Figura 10. Esquema do sistema de controle de inundações da RMC

Fonte: Tucci (2007)

A infraestrutura do plano de drenagem da RMC, formulado no ano 2006, consiste numa combinação de medidas estruturais de controle e medidas não estruturais, precedidas por simulações hidrodinâmicas, modelagem das linhas de inundação e avaliações das capacidades do sistema. Entre as medidas de controle estruturais, o plano de drenagem relaciona:

- Lagoas de inundação;
- Substituição de estruturas de travessias dos rios sob vias públicas;
- Melhora das condições de escoamento dos canais;
- Diques de proteção de áreas urbanas sob riscos de enchentes;
- Aterro de áreas urbanas sob riscos de enchentes.

As medidas não estruturais, propostas pelo plano de drenagem da RMC atuam de forma dispersa, mas com efeitos pontuais sobre o controle de enchentes e inundações. Trata-se de medidas dirigidas ao melhoramento das infiltrações e das retenções das vazões residenciais, geradas pela precipitação, isto é, iniciativas de desenvolvimento urbano de baixo impacto (*low impact development*).

Por último, a ligação do plano de drenagem da RMC com o município e a bacia do rio Piraquara, realiza-se mediante o Plano de Saneamento Municipal. Assim, os componentes de drenagem do plano de saneamento, convertem-se em um outro instrumento de planejamento, de nível municipal, que se combina com os

conteúdos do Plano Metropolitano de Drenagem da RMC. Esses Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), são formulados conforme a Lei Federal de Saneamento Básico nº 11.445 de 2007, que obriga todas as prefeituras a formularem os seus respectivos planos, no intuito de acender aos recursos federais para projetos de saneamento. O Quadro 27, apresenta a matriz dos mecanismos de respostas da variável R1, referente aos usos urbanos nos eixos fluviais nos fundos de vale da BHRP:

Quadro 27. Matriz de respostas do tipo R1: usos urbanos em fundos de vale

Descrição das respostas, integrações ou ações de gestão e planejamento
Forte pressão por avanço de ocupações urbanas irregulares nos fundos de vale durante as décadas de 1970 até 1990. Ocupação urbana irregular em áreas de mananciais. <u>Implementação e aplicação de instrumentos normativos de nível estadual, metropolitano e municipal.</u> <u>Implementação de instrumentos de planejamento:</u> 1. Criação e delimitação da UTP de Guarituba, pertencente ao SIGPROM, 2. Zoneamento da UTP em três grupos de ocupações: ocupação orientada; usos para consolidação urbana e; restrição à ocupação; 3. Regularização de prédios 4. Formulação do plano de cidade e dos planos de abastecimento e de saneamento municipal; 5. Plano de drenagem metropolitano; <u>Implementação de medidas estruturais:</u> 1. Infraestrutura de saneamento na UTP Guarituba; Obras de canalização e retificação do rio Alto Iguaçu

Elaboração: Hincapié, 2017.

4.4.6 Mecanismos de resposta do tipo R2: mudanças nas coberturas das terras

Em relação à mudança nas coberturas das terras, à montante da BHRP, nos propósitos de abastecimento de água e na estrutura ecológica, na exploração de

serviços ecossistêmicos e na exploração de produtos/recursos tangíveis, é necessário descrever como parte da área da BHRP foi declarada uma APA, através do Decreto Estadual nº 1.754, de 2 de maio de 1996, em função de proteger interesses constitucionais relacionados à água. No ano 2002, a APA de Piraquara foi atualizada, mediante o Decreto Estadual nº 6.706, de 2002, que incluiu o instrumento de Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE), delimitando-se uma área de 8.881 hectares, dentro do município de Piraquara. O ZEE da APA de Piraquara define, de forma similar à UTP de Guarituba, zonas de urbanização consolidada, zonas de ocupação orientada, zona da represa, zona de preservação da represa, zona de preservação de fundo de vale, zona de conservação de vida silvestre e zonas de uso agropecuário. O Mapa 12, apresenta o ZEE da APA de Piraquara.

Parte desta APA, pertence ao Parque Estadual Pico do Marumbí, que foi criado pelo Decreto nº 7.300 de 1990 e ampliado pelo Decreto nº 1.531 de 2007, constituindo-se em uma zona de reserva, com área de 8.745,45 há, e que abrange os municípios de Piraquara, Quatro Barras e Morretes (IAP, 2017).

As APAs criadas na RMC, com base na Lei Estadual nº 12.248 de 1998, são unidades de conservação ambiental de maior restrição aos usos das terras, do que as UTPs e visam a proteção das áreas contribuintes das represas Piraquara I e Piraquara II. Junto à APA da BHRP, existem outras quatro APAs, instituídas na RMC (Irai, Pequeno, Passaúna e do Verde), no entanto, somente as do Piraquara, Irai, e do Passaúna, possuem seus planos ambientais aprovados através do Zoneamento Ecológico Econômico (COMEC, 2001, p.52).

Da descrição anterior, referente a APA Piraquara, na montante e UTP de Guarituba na jusante, nota-se que a totalidade da área da BHRP, é incluída pelo SIGPROM, por meio de dois instrumentos de planejamento anterior, a parte da média bacia e da montante, fazem parte do zoneamento ecológico e econômico da APA de Piraquara, entretanto a jusante da bacia, área de nossa análise é objeto da organização territorial de atividades da UTP do Guarituba. Por sua vez, a bacia também é objeto de outros tipos de planejamento, em diferentes escalas territoriais. Por exemplo, por fazer parte das nascentes do Rio Alto Iguaçu, a BHRP é tratada como um componente do Sistema Estatual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, através dos planos do Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) do Alto Iguaçu. Os mecanismos de resposta, perante as mudanças nas coberturas das terras da BHRP, são apresentados no Quadro 28:

Quadro 28. Matriz de respostas do tipo R2: mudanças nas coberturas das terras

Descrição das respostas, integrações ou ações de gestão e planejamento	
Bacia em excelente estado de conservação.	
<u>Implementação de instrumentos de planejamento:</u>	
I.	Criação da área de conservação estadual do Pico do Marumbí Decreto nº 7.300, de 24/9/1990.
II.	Inclusão de objetivos de preservação e produção hídrica na formulação do Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu.
III.	Formulação do PDI da RMC com foco especial na proteção dos mananciais da Serra do Mar para abastecimento da RMC
IV.	Criação da APA de Piraquara (zoneamento ecológico e econômico);
V.	Implementação de normativa (estadual e municipal) e programas de Pagamento por Serviços Ambientais em áreas dos reservatórios da bacia do rio Piraquara

Elaboração: Hincapié, 2017.

4.4.7 Mecanismos de resposta do tipo R3: variabilidade climática

A variabilidade climática, como apontado no item da definição de variáveis, pode perturbar diferentes objetivos de gestão, seja no cenário externo ao perímetro urbano (períodos de estiagem no abastecimento de água) ou no perímetro urbano

mesmo (precipitações pluviométricas causantes de inundações).

Devido à sua importância no âmbito político, consideramos necessário abordar o tema da variabilidade climática e da mudança climática, desde as esferas políticas maiores até as relacionadas com projetos e/ou obras de controle, mitigação ou adaptação, no contexto da região metropolitana de Curitiba e, especialmente, na bacia hidrográfica do rio Piraquara.

Como apontado em itens anteriores, os episódios de variabilidade climática do ENOS, não têm influência sobre o comportamento hidrológico da BHRP, no entanto, espera-se que haja resposta institucional e normativa, de planejamento e gestão, focadas na variabilidade climática e na mudança climática, e que envolva as instituições encarregadas do abastecimento de água e do controle de inundações urbanas, isto é, da SANEPAR, da Secretaria de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente SEMA. Neste sentido, a SEMA criou a Coordenadoria de Mudanças Climáticas e Qualidade Atmosférica (CRES). A CRES é a instituição encarregada de articular as ações específicas do Estado, em matéria de variabilidade e mudança climática.

No Brasil, a Lei nº 12.187 de 2009, institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima e estabelece seus princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos. O Artigo 6 dessa lei, estabelece que esses instrumentos são:

- I - o Plano Nacional sobre Mudança do Clima;
- II - o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima;
- III - os Planos de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento nos biomas;
- IV - a Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, de acordo com os critérios estabelecidos por essa Convenção e por suas Conferências das Partes;
- V - as resoluções da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima;
- VI - as medidas fiscais e tributárias destinadas a estimular a redução das emissões e remoção de gases de efeito estufa, incluindo alíquotas diferenciadas, isenções, compensações e incentivos, a serem estabelecidos em lei específica;
- VII - as linhas de crédito e financiamento específicas de agentes financeiros públicos e privados;
- VIII - o desenvolvimento de linhas de pesquisa por agências de fomento;

IX - as dotações específicas para ações em mudança do clima no orçamento da União;

X - os mecanismos financeiros e econômicos referentes à mitigação da mudança do clima e à adaptação aos efeitos da mudança do clima que existam no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e do Protocolo de Quioto;

XI - os mecanismos financeiros e econômicos, no âmbito nacional, referentes à mitigação e à adaptação à mudança do clima;

XII - as medidas existentes, ou a serem criadas, que estimulem o desenvolvimento de processos e tecnologias, que contribuam para a redução de emissões e remoções de gases de efeito estufa, bem como para a adaptação, dentre as quais o estabelecimento de critérios de preferência nas licitações e concorrências públicas, compreendidas aí as parcerias público-privadas e a autorização, permissão, outorga e concessão para exploração de serviços públicos e recursos naturais, para as propostas que propiciem maior economia de energia, água e outros recursos naturais e redução da emissão de gases de efeito estufa e de resíduos;

XIII - os registros, inventários, estimativas, avaliações e quaisquer outros estudos de emissões de gases de efeito estufa e de suas fontes, elaborados com base em informações e dados fornecidos por entidades públicas e privadas;

XIV - as medidas de divulgação, educação e conscientização;

XV - o monitoramento climático nacional;

XVI - os indicadores de sustentabilidade;

XVII - o estabelecimento de padrões ambientais e de metas, quantificáveis e verificáveis, para a redução de emissões antrópicas por fontes e para as remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa;

XVIII - a avaliação de impactos ambientais sobre o microclima e o macroclima.

Os artigos 11 e 12 dessa lei, inferem sobre a compatibilização da PNMC com as políticas públicas e programas governamentais, e a mitigação de emissões de gases de efeito estufa, com uma projeção de redução de 36,1%, até o ano 2020. Seguidamente, o Decreto nº 7.390 de 2010, regulamenta esses artigos 6, 11 e 12, da Lei nº 12.187 de 2009. O conteúdo desse decreto, estabelece, de forma detalhada, as metas e propósitos da política, indicando: a formulação de planos de ação e controle e seus prazos de cumprimento (Artigos 3 e 4) e a projeção de emissões nacionais de gases do efeito estufa (artigo 5), com detalhamento metodológico, composto por projeções relacionadas a mudança nos usos das terras, energia, agropecuária e processos industriais. O detalhamento

metodológico desse decreto estabelece, na projeção de redução de emissões de gases de efeito estufa, relacionado à mudança nos usos das terras, uma projeção de emissões por desmatamento da Mata Atlântica de 79,11 milhões de tonCO₂eq.

Na esfera política estadual do Paraná, a Lei nº 17.133 de 2012, institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima. O artigo 4, cria o comitê intersecretarial de mudanças climáticas, encarregado de formular as diretrizes e roteiros para a redução de emissões de gases de efeito estufa e da adaptação. Esse comitê, é presidido pelo secretário estadual de meio ambiente, assim como a coordenação da formulação do Plano Estadual sobre Mudança climática, sob responsabilidade da coordenadoria de mudanças climáticas. Consequentemente, o Decreto nº 9.085 de 2013, institui a Lei nº 17.133 de 2012, outorgando à Lei, as orientações para a formulação do plano estadual de mudança climática, assim como a definição de dois anos, como prazo para elaboração desse plano (artigo 10).

Entretanto, o Estado do Paraná, através da Lei nº 16.019 de 2008, tem instituído o Fórum Paranaense de Mudanças Climáticas Globais, que se apoia, em termos administrativos, na Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, e cujo objetivo, é promover a articulação das ações de enfrentamento das mudanças climáticas, de nível nacional e local. Para isso, o Fórum visa envolver o maior número possível de atores (particulares, públicos, estaduais, civis etc.), na formulação e execução de políticas, planos e ações de adaptação e mitigação à mudança climática.

No contexto deste Fórum, foram criados os programas: I) Bioclima Paraná; II) Coopercarbono e; III) Estradas com Araucárias, sendo que esse último se encontra como um projeto. Entretanto, programa Bioclima Paraná é o programa mais consolidado, e foi criado pelo decreto nº 4.381 de 2012, e desenvolvido, segundo o seu artigo 3, com base em três componentes principais:

- a) Conservação e Recuperação da Biodiversidade: a conservação da biodiversidade por meio do planejamento da paisagem, da proteção de remanescentes de vegetação natural, recuperação de ecossistemas e ambientes naturais, manejo de espécies de especial interesse para a conservação, criação e implementação de Unidades de Conservação e conservação de Áreas Estratégicas para a Biodiversidade no Paraná.
- b) Mudanças Climáticas: Contribuir para a economia de baixo carbono e para a adaptação aos impactos das Mudanças Climáticas.
- c) Incentivos à Conservação e a Recuperação

ambiental: Desenvolver mecanismos de incentivo, inclusive financeiros, voltados à conservação da biodiversidade, priorizando a valorização dos remanescentes florestais nativos e a recuperação para formação de corredores ecológicos em áreas estratégicas para conservação.

Por fim, o artigo 4 desse decreto, estabelece os instrumentos do programa: o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS-Ecológico); SISLEG; o mercado regional e mercado voluntário de carbono; e o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Consequentemente, a Lei Estadual nº 17.134, de 2012, como complemento do programa Bioclima Paraná, institui os PSA, segundo quatro modalidades: I) biodiversidade; II) unidades de conservação; III) recuperação da vegetação nativa, captura, fixação e estoque de carbono; IV) conservação de recursos hídricos.

Por sua vez, o município de Piraquara, com o intuito de encarar os desafios das VC e MC, promulgou a Lei Municipal nº 1405 de 2014 e o Decreto Nº 4.808 de 2016, sobre pagamentos por serviços ambientais. Sob esse contexto, a SEMA tem implementado os PSA para os proprietários do entorno da Barragem de Piraquara I.

Neste sentido, e voltando para o primeiro parágrafo deste item, as respostas institucionais no cenário externo ao perímetro urbano obedecem, no nível nacional, ao propósito de redução de emissões de CO₂, por diminuição de desmatamento da Mata Atlântica, proposta no Plano Nacional de Mudança do Clima e no programa Estadual Bioclima Paraná e suas iniciativas, focadas no pagamento de serviços ambientais, por conservação de recursos hídricos e manejo integral da bacia hidrográfica, orientada à manutenção constante de vazões e segurança da disponibilidade hídrica e às ações e projetos próprios da lei municipal de Piraquara, para o pagamento de serviços ambientais aos proprietários do entorno das barragens de Piraquara I e Piraquara II.

Em relação às afetações da VC, no abastecimento de água, destaca-se as duas barragens do Rio Caiguava (Piraquara I), a barragem Piraquara II e obras hidráulicas complementares, para o abastecimento público da RMC. O reservatório do rio Caiguava ou Piraquara I, foi construído no ano 1979, tem uma área inundada aproximada de 3,3 km² e possui uma vazão de 600 l/s.

A construção desta primeira barragem, tinha os propósitos de regularizar as

vazões, controlar as enchentes e seus impactos sobre Curitiba, e ao mesmo garantir o abastecimento nos períodos de estiagem. A segunda barragem do rio Piraquara, tem uma área de inundação de, aproximadamente, 5,5 km². Em conjunto, as barragens Piraquara I e II, possuem capacidade para produzir uma vazão constante de 1740 l/s (SANEPAR, 2013). Na área de influencia das barragens, encontra-se o Centro de Educação Ambiental Mananciais da Serra (CEAM) da Sanepar, utilizado como um complemento institucional para o desenvolvimento de atividades de educação ambiental.

As afetações da VC, por possíveis inundações nas áreas urbanas do núcleo urbano central de RMC, são objeto de gestão, por meio dos instrumentos de planejamento do plano de drenagem da RMC. Essas respostas, se apresentam no Quadro 29. No entanto, embora as obras não correspondam diretamente a uma resposta frente aos fenômenos ENOS, de fato funcionam como um sistema de respostas e de gestão frente à variabilidade climática procedente de outros fenômenos meteorológicos:

Quadro 29. Matriz de respostas do tipo R3: variabilidade climática

Descrição das respostas, integrações ou ações de gestão e planejamento
Sem influência da variabilidade climática do ENOS sobre a disponibilidade hídrica da BHRP.
<u>Implementação de instrumentos de planejamento e gestão consistentes em:</u>
I. Criação da APA de Piraquara (zoneamento ecológico e económico);
II. Implementação de normativa (estadual e municipal) e programas de Pagamento por Serviços Ambientais em áreas dos reservatórios da bacia do rio Piraquara.
III. Plano de macrodrenagem da RMC
<u>Implementação de medidas estruturais consistentes em:</u>
I. Construção das barragens Piraquara I e Piraquara II (reservatórios e regularização das vazões);
II. Obras de macro e micro drenagem que incluem soluções estruturais (canais paralelos, diques, outros) e não estruturais para o controle das enchentes e inundações, como parte do plano de drenagem metropolitano.

Elaboração: Hincapié, 2017.

O presente item procura relacionar, o cumprimento do objetivo 3, pertencente à área de estudo do Brasil. Nesse sentido, o manejo integrado da microbacia do rio Piraquara, como unidade sistêmica, tem se focado à produção hídrica. Leis e instrumentos de planejamento, têm se especializado em cumprir essa função, desde dois cenários: o de planejamento territorial urbano, e o cenário da gestão hídrica e ambiental.

Em relação à estrutura territorial urbana, sabe-se que a Região Metropolitana de Curitiba (RMC), foi estabelecida oficialmente na década de 1970, junto à sua coordenação (COMEC), e consequente Plano de Desenvolvimento Integrado (PDI). Dentro da RMC, tem se conformado o Núcleo Urbano Central (NUC), composto de 14 municípios e que se configura como uma aglomeração metropolitana de, aproximadamente, 3,2 milhões de habitantes. A conformação da estrutura urbana do NUC, é decorrente das iniciativas e processos históricos de planejamento urbano do Instituto de Pesquisas de Planejamento Urbano de Curitiba.

Por sua vez, a normatividade para a gestão hídrica ambiental, tem se especializado na forte restrição aos usos das terras da bacia do rio Piraquara e do território do município Piraquara, com o intuito de promover a produção hídrica. O SIGPROM, instrumentos de planejamento territorial, se especializou nas relações entre a dinâmica da natureza e a dinâmica da sociedade em dois cenários à montante e à jusante. Na montante da bacia, atua a APA Piraquara, e à jusante, a UTP de Guarituba. As dinâmicas de ocupação irregular do Guarituba, à jusante, são combinadas com o planejamento e gestão do plano de drenagem da zona leste da RMC. Todos os instrumentos de planejamento territorial e de gestão ambiental supracitados, se combinam com o planejamento e gestão integral da bacia hidrográfica do Rio Alto Iguaçu e, em escala superior, com os objetivos de gestão integral hídrica do rio Iguaçu.

5. RELAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALI COM A ÁREA METROPOLITANA DE CALI

5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALI

5.1.1 Contexto e Descrição da Área de Estudo

A sub bacia Hidrográfica do Rio Cali, tem uma área de 215,4 km², uma vazão média anual de 3600 l/s¹⁷ (CVC, 2015), encontra-se localizada na vertente oriental da Cordilheira Ocidental da Colômbia, na zona oeste-sul desse país, em um intervalo de altitude que varia entre os 3.823 m.s.n.m., nas nascentes no Alto del Buey, e 937 m.s.n.m, na foz sobre o Rio Cauca. A área da bacia é compartilhada entre os municípios de Santiago de Cali (95,27 %) e Yumbo (4,73 %). Cerca de 65% desta área, está protegida pela jurisdição do *Parte Nacional Natural Farallones de Cali*. O Mapa 2 representa a localização geográfica da BHRC no contexto municipal, nacional e continental.

A cidade de Cali, se insere na área metropolitana de Santiago de Cali que, embora ainda não esteja formalizada pelo Estado, funciona de fato, sob as características e comportamentos próprios de um processo de metropolização que abrange os municípios de *Palmira, Yumbo, Jamundi, Florida, Pradera, Candelaria, Santander de Quilichao, Puerto Tejada e Villa Rica* e cuja população é, aproximadamente, 2,9 milhões de habitantes. Estes municípios, além de funcionarem como dormitórios, abastecem a área metropolitana de serviços, mão de obra e produtos agrícolas (MARTÍNEZ; PATIÑO, 2015; EL PAÍS, 2015).

5.1.2 Morfometria da Microbacia Hidrográfica do Rio Cali

A BHRC está conformada por cinco micro bacias: Aguacatal (60,06 km²), Pichindé (59,46 km²), Felidia (45,83 km²), zona média (17,07 km²) e zona baixa (32,54km²) (CVC, 2006). Conforme trabalhos de Montoya e Escobar (1998), a BHRC, tem uma elevação média de 2111 m.s.n.m. e uma declividade média de 29,07%.

¹⁷ Registros pertencem ao ponto de captação do sistema de aqueduto, na jusante do rio Cali

A Tabela 10, apresenta alguns valores morfométricos da bacia hidrográfica do rio Cali. O valor do fator (F) da bacia, refere-se à forma de retângulo. O índice de alongamento maior à unidade indica sobre uma bacia alongada e o índice de compacidade de Gravelius, sugere que a BHRC tem uma forma oval redonda para oval oblonga.

Tabela 10. Parâmetros morfométricos gerais da BHRC

Parâmetro	Quantidade	Unidade
Área (A)	215,4	km ²
Perímetro (P)	116,5	km
Longitude (L)	67,8	km
Largura da bacia (W) ($W=A/L$):	27,2	km
Cota menor	937	m.s.n.m.
Cota maior	3823	m.s.n.m.
Altura	2886	m
Fator de forma (F)	0,46	-
Índice de alongamento (I)	1,5	-
Índice de Gravelius (K)	1,27	-
Densidade da rede de drenagem	3,6	km/km ²
Sinuosidade	1,2	-

Organização: Hincapié, 2017. A partir da imagem SRTM No. N03W077.SRTMGL1

5.1.3 Hipsometria e declividade da BHRC

A hipsometria e a declividade da bacia (Mapas 13 e 14), mostram áreas de planícies muito menores, quando comparadas com as áreas topográficas acidentadas da montante. As diferenças de altitudes e dos padrões altimétricos, entre a cordilheira e o vale, influenciam a dinâmica local das encostas e cinética das águas, nos processos de formação e perda de solos, na remoção de materiais e no modelamento das paisagens da bacia.

A Fotografia 5, registrada na zona de maior altitude da BHRC, nas coordenadas 03°24.503N – 76°41.352W, aos 3394 m.s.n.m., pertence à área das nascentes do rio Pichindé, ao sudoeste da bacia, sob jurisdição do Parque Nacional Natural Farallones de Cali. O rio Pichindé é um dos maiores afluentes do rio Cali. Como aspectos importantes da Fotografia, destacam-se: as áreas íngremes, a espessa camada de nuvens, que é uma característica constante na área; a declividade maior que 20% e; a abundante vegetação de “*bosque de niebla*” abastada em arbustos lenhosos (fundo da fotografia).

Fotografia 5. Montante da bacia hidrográfica do rio Cali



Fonte: Averno da pesquisa. Autoria Hincapié, 2017.

Segundo a classificação de Stralher (1957), a bacia hidrográfica do rio Cali encontra-se em um estado de equilíbrio do “Tipo B”, no qual as forças endógenas e exógenas, exercem uma constante transformação da paisagem fluvial. A Fotografia 6, representa uma fração das montantes do rio Cali, dos tipos de coberturas vegetais e dos vales em “V”.

Fotografia 6. Montante da microbacia hidrográfica do rio *Felidia*



Fonte: Averno da pesquisa. Autoria Hincapié, 2017.

Os cursos médios das microbacias de *Pichindé* e *Felidia*, se caracterizam

pelas formações de vales em “V”, muito sinuosos, com declividades longitudinais relativamente baixas, mas com vertentes íngremes, que apresentam declividades maiores que 20%. A Fotografia 6, foi registrada nas coordenadas E00713129 – N00873534, aos 2027 m.s.n.m., desde um ponto do curso médio em direção à jusante da microbacia do rio *Felidia*, um afluente que ao combinar-se com o rio *Pichindé* forma o curso principal do rio Cali. Destaca-se, o relevo íngreme e a redução da cobertura natural e seminatural, para usos relacionados à agricultura de subsistência e também os loteamentos, chácaras, pastagem, pecuária e ocupações irregulares, dispersas nas duas vertentes.

As Fotografias 7 e 8, mostram os cursos da jusante do rio Cali, em trechos antes da entrada no Vale do Rio Cauca, onde predominam paisagem sem coberturas vegetais, solos expostos, afloramentos de rocha e vegetação herbácea.

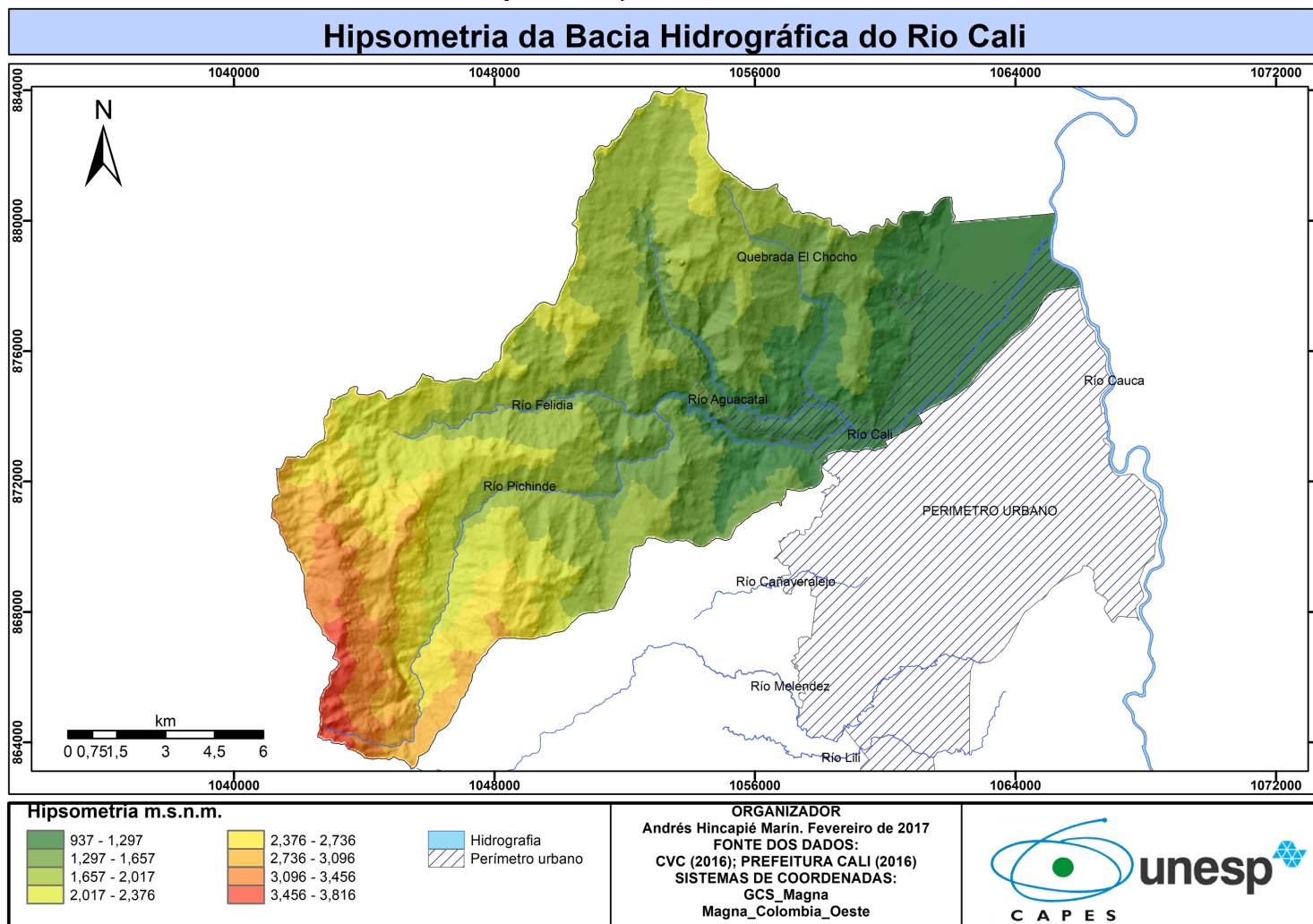
Fotografia 7. Jusante da microbacia hidrográfica do rio Aguacatal



Fonte: Averno da pesquisa. Autoria Hincapié, 2017.

O registro da Fotografia 7, foi realizado no curso baixo do rio *Aguacatal*, afluente do rio Cali, nos 1633 m.s.n.m., nas coordenadas E00719765 N00877451. Mostra-se, no plano de fundo, a cidade de Cali e a planície aluvial do rio Cauca.

Mapa 13. Hipsometria da BHRC



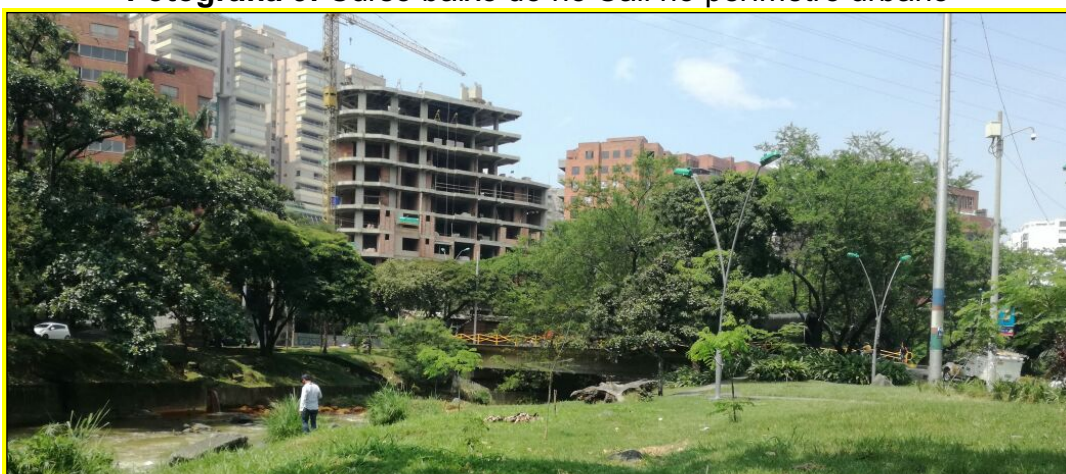
Base de dados: CVC, 2016; Prefeitura de Cali, 2016. **Elaboração:** Hincapié, 2017.

Fotografia 8. Jusante da microbacia hidrográfica do rio Felidia

Fonte: Averno da pesquisa. Autoria Hincapié, 2017.

A Fotografia 8, mostra a paisagem montanhosa da jusante do rio *Felidia*, aos 1776 m.s.n.m. (E00717115 N00875231). Este ponto do registro da fotografia, tem, ao fundo, a cidade de Cali, no Vale do rio Cauca, chácaras ou segundas residências que, de fato, contribuem para a consolidação da zona como de interesse turístico.

A entrada do rio Cali, no vale, é referência da mudança na dinâmica fluvial do leito. Há maior sedimentação dos materiais extraídos na montante e formação de leques aluviais. A Fotografia 9, apresenta parte do curso baixo do rio no perímetro urbano, no trecho do oeste da cidade de Cali, com a elevação de diques, os terraços artificiais e os empreendimentos urbanos de alto padrão, nas antigas planícies de inundação.

Fotografia 9. Curso baixo do rio Cali no perímetro urbano

Fonte: Averno da pesquisa. Autoria Hincapié, 2017.

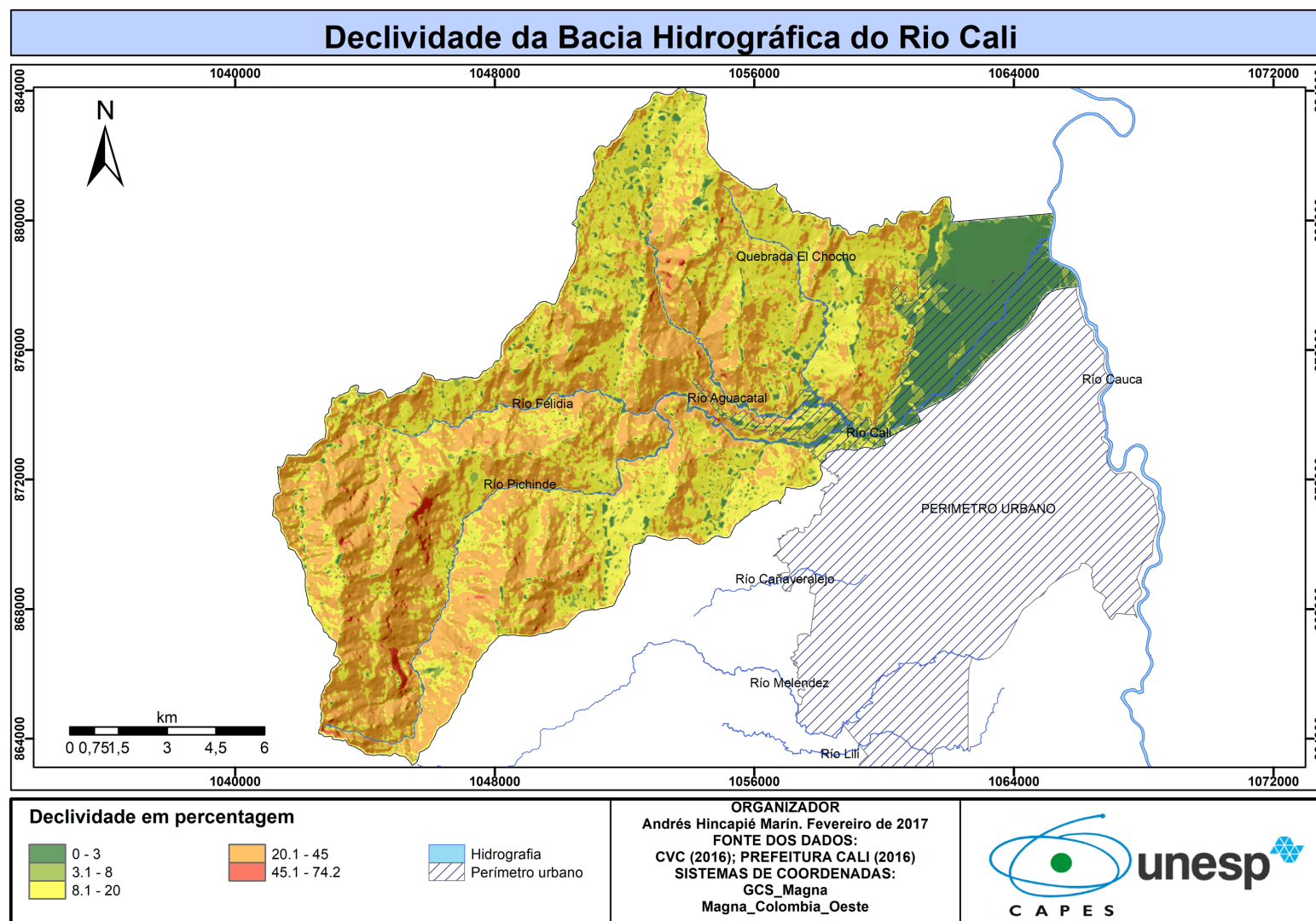
Conforme o Mapa 14, relacionado à declividade, mais de 80% da área da bacia, se encontra com declividades acima dos 8%. A forte declividade da bacia, se configura como um desafio para a gestão de riscos e ameaças por deslizamentos e movimentos de massa.

5.1.4 Aspectos Meteorológicos e Climáticos

Segundo a informação, relacionada no Atlas Climático da Colômbia (IDEAM, 2005), a posição estratégica da Colômbia, na faixa tropical, faz com que seu território, receba as maiores proporções de energia que o Sol transfere para a Terra. É justamente nos trópicos, onde se absorve a maior parte da energia solar, que é então transferida para a atmosfera, configurando, desse modo, no mecanismo que determina o deslocamento de ar entre as regiões equatoriais e polares, mediante uma circulação meridional.

Por sua posição equatorial, a Colômbia é influenciada pela convergência de ar dos hemisférios norte e sul. Esses padrões resultam em um clima regional sob influência forte da Zona de Confluência Intertropical (ZCIT). No entanto, a penetração de ar, depende da época do ano e da localização da alta do Pacífico Sul. Devido ao fluxo convergente, a ZCIT é uma determinante máxima da formação constante de nuvens e das estações de chuvas na Colômbia, à medida que passa através de várias regiões do país. Por exemplo, a ZCIT, junto ao movimento planetário gerador dos verões nos hemisférios norte e sul, faz com que os efeitos das precipitações cheguem dois meses atrasados no país, determinando, assim, o ciclo hidrológico bimodal na região Andina e na maior parte da Colômbia, entre elas na BHRC (IDEAM, 2005).

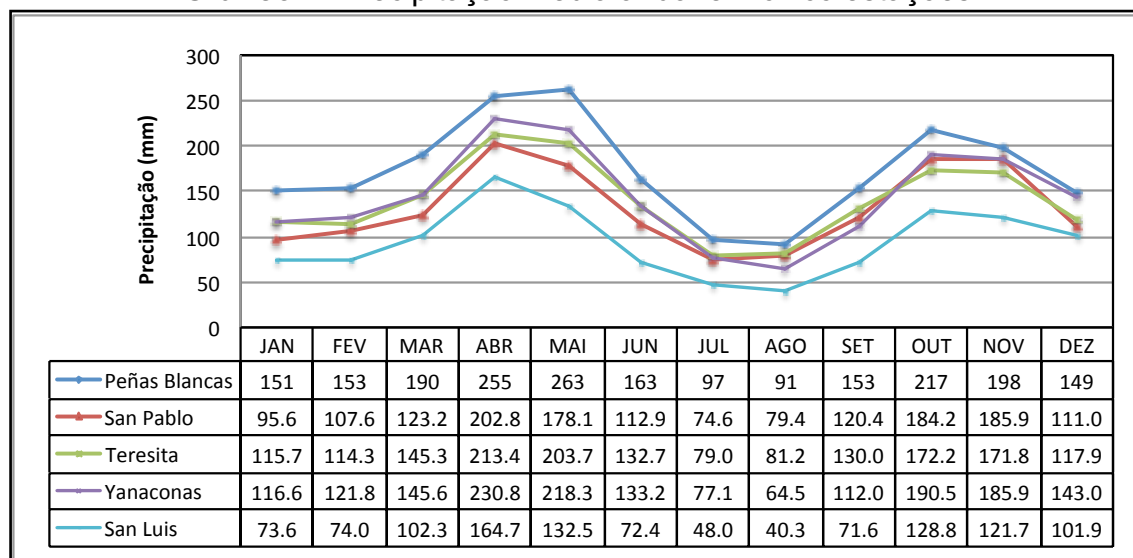
Mapa 14. Declividade da bacia hidrográfica do rio Cali



Base de dados: CVC, 2016; Prefeitura de Cali, 2016. **Elaboração:** Hincapié, 2017.

Na BHRC, a precipitação média anual é de 2042 mm, cujos valores oscilam entre 3600 mm na montante e 1200 mm na jusante (MONTROYA, 1998). Conforme medições realizadas pela CVC, instituição encarregada da rede de monitoramento hidro meteorológico do Vale do Cauca, apresenta-se no Gráfico 7, os padrões de precipitação pluviométrica média anual, em cinco estações localizadas na BHRC no período entre 1986 e 2016:

Gráfico 7. Precipitação média anual em cinco estações



Fonte: Registros históricos de precipitação e temperatura fornecidos pela CVC, 2015

Conforme o Gráfico 7, a BHRC apresenta um comportamento hidrológico bimodal com maior volume de precipitação no primeiro período do ano, compreendido entre março, abril e maio, entretanto o período mais seco se apresenta entre os meses de julho, agosto e setembro. Conforme Montoya (1998), 80% da área da BHRC, encontra-se acima dos 1.600 m.s.n.m., essa distribuição altimétrica de precipitações pluviométricas ilustra-se na Tabela 11.

Tabela 11. Altimetria das precipitações na BHRC

Estação	m.s.n.m.	Registros Mínimos e Máximos	Média
Peñas Blancas	2158	830,2 - 3011	2107,7
Yanaconas	1730	131 - 3079	1425,2
Teresita	1950	1106 - 3825	1796,4
San Pablo	1871	78 - 3076	1555,9
San Luis	1053	346 - 1848	1042,4

Fonte: CVC, 2015.Org.: Hincapié, 2017.

O Gráfico 7 e a Tabela 11, demonstram a relação direta entre a precipitação e a altitude. No caso específico da BHRC, as densas formações de nuvens na

montante, devem-se as massas de ar quentes e úmidas procedentes do Oceano Pacífico, a oeste da bacia, que conseguem atravessar a cordillheira ocidental da Colômbia e que se chocam com os ventos ascendentes do fundo do Vale do Rio Cauca, procedentes do leste, formando-se, durante este processo, intensas precipitações orográficas em florestas altamente úmidas (*bosques andinos tropicais*).

5.1.5 Geologia

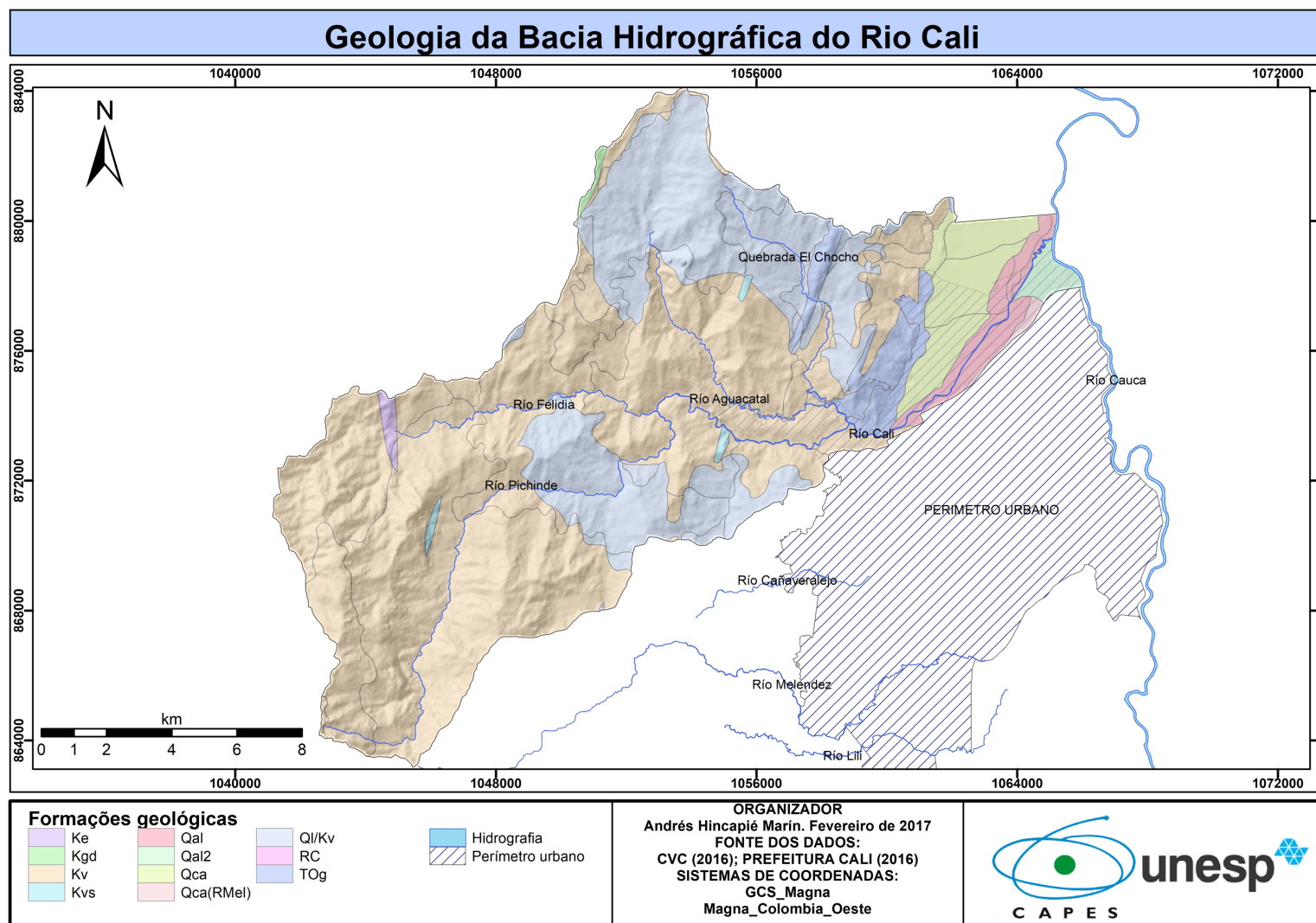
A geologia da bacia hidrográfica do rio Cali, está relacionada à gênese e formação geológica das cadeias montanhosas, que compõem os Andes, assim como da geologia específica, do contexto geográfico regional de Cali. O Mapa 15, representa a geologia da área de estudo do caso colombiano.

O Vale do Cauca dos Andes Setentrionais, surge pela convergência das placas tectônicas Sul-americana e de Nazca. A formação da Cordilheira Ocidental dos Andes colombianos, está relacionada a processos de subducção da placa de Nazca, sob a placa Sul-americana na Fossa Colombo-Equatoriana (NIVIA, 2001).

As diferentes formações geológicas da BHRC, assim como analisado para o caso brasileiro, podem ser classificadas conforme suas origens no tempo. Segundo estudos do *Instituto Nacional de Geología y Minería* - INGEOMINAS (1984), na área de estudo da bacia hidrográfica do Rio Cali, afloram camadas de rochas pertencentes ao Cretáceo e ao Quaternário. Entre as camadas de rochas cretáceas, destaca-se a Formação Vulcânica (Kv), por ter a maior presença na bacia. Entre as rochas mesozóicas do Cretáceo, encontram-se, também, as da Formação Espinal (Ke) e da Formação Cisneros (Kc) (INGEOMINAS, 1984).

Os conjuntos de rochas mais recentes, que pertencem ao Cenozóico, são da Formação Guachinte (TOg). A bacia está composta por matérias rochosas do Quaternário, entre eles, os que fazem parte dos leques aluviais (Qca), e aluviões (Qal, Qal2), que se encontram nas planícies de inundação do Rio Cali e do Rio Cauca.

Mapa 15. Geologia da bacia hidrográfica do rio Cali



Base de dados: CVC, 2016; Prefeitura de Cali, 2016. **Elaboração:** Hincapié, 2017.

A Formação Vulcânica (Kv), compõe-se de diabases, basaltos, lavas almofadinhas e doleritas, com algumas alternâncias de rochas sedimentares. Em relação à composição mineralógica das rochas ígneas, a augita e a plagioclase, de composição labradorita, são os minerais mais presentes. Os principais fenômenos de alteração, ocorreram com as rochas da Kv, que deram como resultado a formação de minerais secundários. As análises químicas das rochas da Kv mostram que se trata de basaltos toleíticos (INGEOMINAS, 1984).

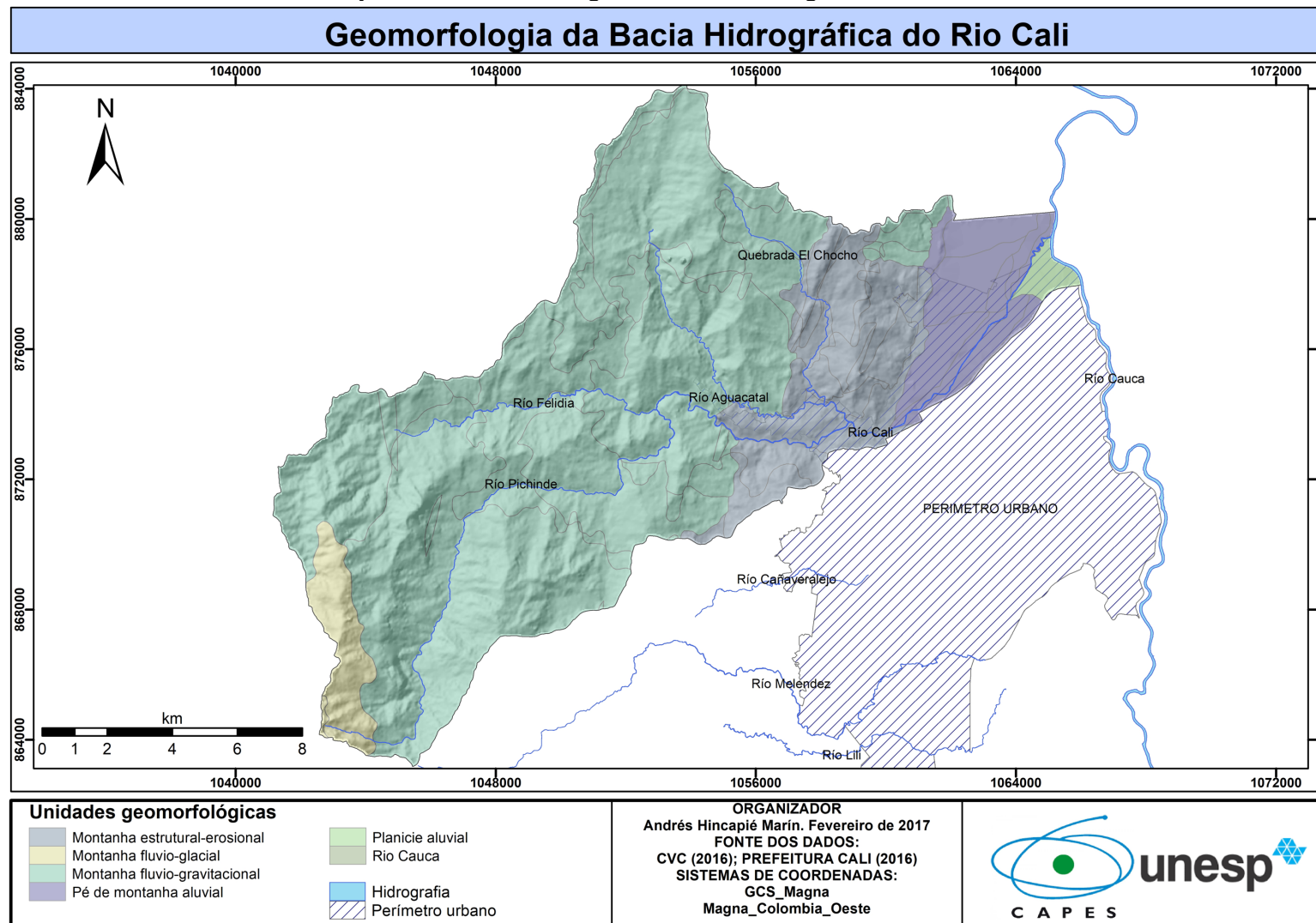
5.1.6 Geomorfologia

Segundo trabalhos de Bongcam (1969), a Bacia Hidrográfica do Rio Cali (BHRC), pode ser classificada em zonas que apresentam as mesmas características de relevo e geoformas: Zona de Montanha, Zona Ondulada nos cursos médios e baixos e Zona Plana na jusante. A zona representada no Mapa 16, como montanha fluvio-glacial, contém uma rede de cursos permanentes e vales em “U”, produto de glaciações. A maior área da bacia, contém uma rede de montanhas com formas agudas e penhascos, formados pela ação das redes hídricas, com vales em “V” e cursos encaixados. A declividade característica vai desde 20% até 45%. Estas formas do relevo, se apresentam como montanha fluvio-gravitacional. Por fim, o curso mais baixo da bacia, se caracteriza pela formação de leques aluviais, depósitos coluvionais e formação de planícies aluviais com declividades muito baixas (abaixo de 3%), configuradas sobre gravens de origem tectônico.

5.1.7 Hidrografia

O curso principal da Bacia Hidrográfica do Rio Cali (BHRC, tem uma vazão média anual de 3,6 m³/s (CVC, 2006). É formado a partir da união do Rio *Pichindé* com o Rio *Felidia* e depois pela confluência das águas do Rio *Aguacatal*. Segundo Montoya (1998), a longitude dos tributários da BHRC totaliza 290,4 km (rios *Pichindé*, *Felidia*, *Aguacatal*). O leito principal da bacia, o rio Cali, é de ordem 5, na classificação de Stralher (1957), a sinuosidade foi de 1,2, a rede de drenagem é do tipo dendrítica e bifurcada e a densidade de drenagem é de 2,36 km/km², indicando uma rede de drenagem moderadamente eficiente. Os resultados dos indicadores fisiográficos sugerem que a BHRC tem uma drenagem moderadamente eficiente e uma baixa taxa de dissipação da energia.

Mapa 16. Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Cali



Base de dados: CVC, 2016; Prefeitura de Cali, 2016. **Elaboração:** Hincapié, 2017.

5.1.8 Tipologia dos Solos da BHRC

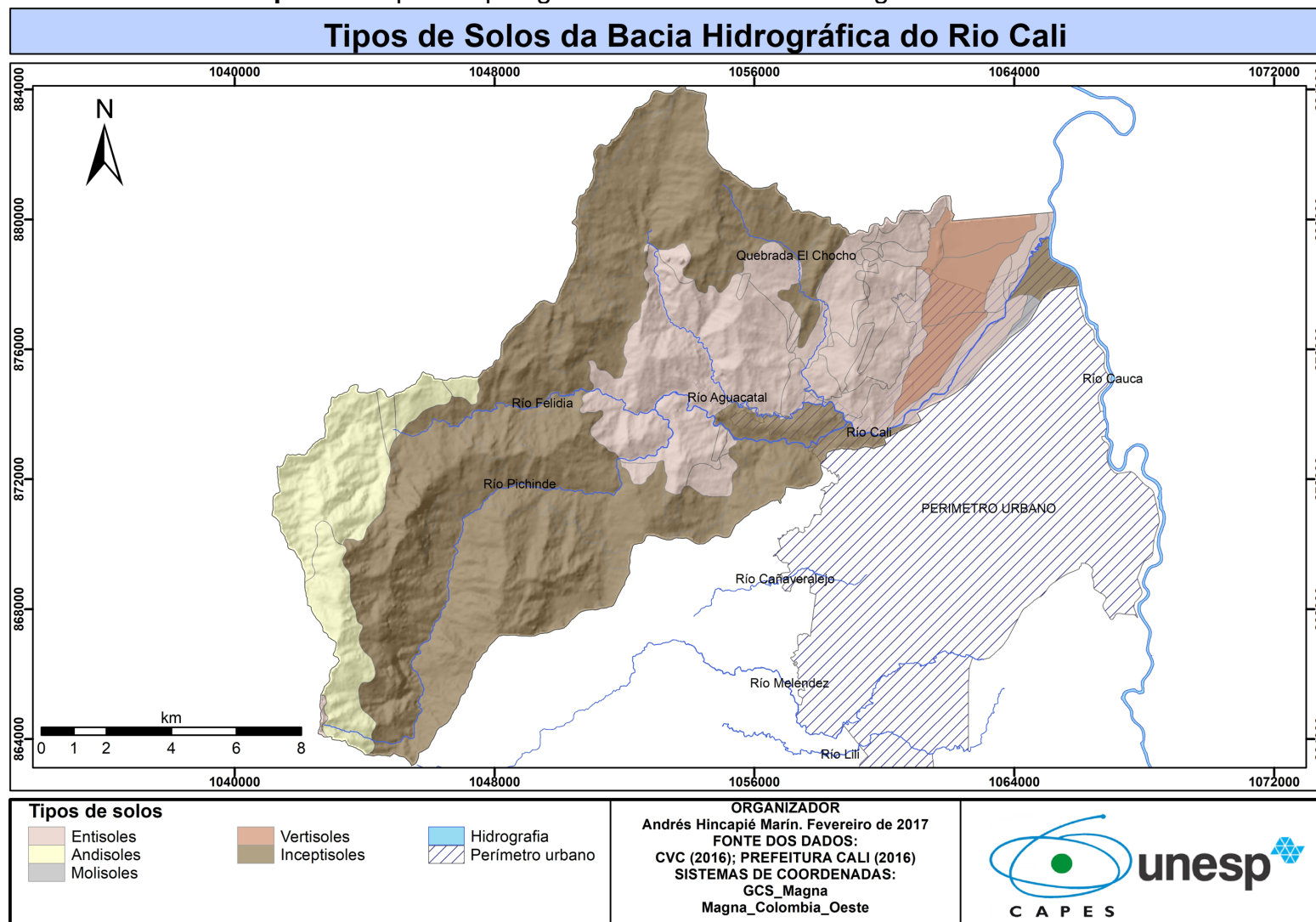
Na Colômbia, diferente do Brasil, utiliza-se o sistema taxonômico do *United States Department of Agriculture* (USDA), para a classificação dos solos, o mesmo é usado na identificação dos solos da BHRC. Na maior parte dos cursos médios e nas planícies, à montante da bacia, há registro de “Entisoles”, solos jovens, que ainda não tem desenvolvido claramente os horizontes, apresentando só o horizonte “A”.

A montante da bacia está caracterizada pela presença de “Andisoles” derivados de materiais vulcânicos. Devido à sua origem, são geralmente muito férteis e profundos, no entanto, em função sua localização, em zonas com declividades fortes e com maior precipitação, são susceptíveis à perda por lavagem e dinâmica de encostas. A maior parte da bacia tem formações do tipo “Inceptisoles”, que são solos um pouco mais desenvolvidos que os Entisoles e possuem horizontes pobres, mais distinguíveis e também são solos pouco acentuados, que permitem amplo uso na produção agropecuária. O Mapa 17, representa a distribuição geográfica dos tipos de solos na BHRC.

Por último, os tipos de solos mais escassos da bacia são do tipo “Vertisoles” e “Molisoles”. Encontram-se no fundo do vale, na formação do leque aluvial entre a cordilheira e a planície do Rio Cauca. Esses tipos de solos (molisoles), por situarem-se em zonas de ganho constante de materiais de aluvião, são os solos mais férteis da bacia.

5.1.9 Biodiversidade e zonas de vida

A montante da bacia hidrográfica do rio Cali é jurisdição do *Parque Nacional Natural Farallones de Cali*, que abarca o 35,6% da área total da bacia (7666,9 hectares). Em relação aos tipos de vegetação os registros de campo do estudo de factibilidade, para a construção da barragem do rio Cali, assim como as informações coletadas pela firma de consultoria “*CONSORCIO CSC 2009*”, mostram que na bacia há cinco tipos de zonas de vida, conforme a classificação de Holdridge (1971). Nesta classificação cada uma zona de vida, relaciona-se com um tipo de vegetação, de precipitação, de temperatura e de altitude.

Mapa 17. Mapa da tipologia dos solos da bacia hidrográfica do rio CALI

Base de dados: CVC, 2016; Prefeitura de Cali, 2016. **Elaboração:** Hincapié, 2017.

As nascentes da bacia do rio Cali, em conjunto, pertencem a três tipos de zonas de vida. As nascentes da microbacia do rio Pichindé, encontram-se nas zonas de:

- “*Bosque muy humedo – montano*” (temperatura entre 6 e 12 °C; precipitação entre 1000 e 2000 mm/ano), e;
- “*Bosque muy húmedo – montano bajo*” (temperaturas entre 12 e 18°C; precipitações entre 2000 e 4000 mm/ano).

Por sua vez, as nascentes da microbacia do rio Felidia encontram-se nas zonas de:

- “*Bosque húmedo – montano bajo*” (temperatura > 12°C; precipitações entre 1000 e 2000 mm/ano).

A parte média da bacia pertence a zona de vida do:

- “*Bosque húmedo – premontano*” (temperaturas entre 18 e 24°C; precipitações entre 1100 e 1200 mm/ano).

Por fim, os cursos baixos classificam-se como:

- “*Bosque seco – premontano*” (temperaturas entre 18 e 24°C; precipitações entre 550 e 1100 mm/ano).

Cada zona de vida da classificação de Holdridge (1971), se caracteriza pelo tipo de vegetação. No caso da bacia hidrográfica do rio Cali a vegetação faz parte do bioma de “Floresta Andina”, localizada entre os 2.500 e 3.400 m.s.n.m., e “Floresta subandina interandina”, dispersa entre os 1000 e 2500 m.s.n.m.

5.1.10 Matriz da estrutura ambiental

Em síntese, a BHRC, de 215,14 km², retângula, do tipo B (Stralher, 1957), com forças endógenas e exógenas, em constante transformação da paisagem fluvial, formações geológicas pelos processos do Cretáceo, formações do tipo vulcânica, com maior ocorrência de basaltos. A bacia encontra-se sob a influencia direta da zona de confluência intertropical, que gera um comportamento hidrológico bimodal, com aumento das precipitações pluviométricas entre os meses de março a maio e entre setembro a novembro. Por sua morfometria e declividade, é uma

bacia com tendência à acumulação de cargas de matéria e energia, que se espalham nos fundos de vale, favorecendo a formação de leques aluviais, dispersão de nutrientes e a formação de amplas planícies de inundação.

À montante da bacia, predominam formações geomorfológicas fluvio-glaciares, vales em U, cursos encaixados, com presença de Andisoles derivados de materiais vulcânicos, susceptível á erodabilidade. A vegetação pertence ao bioma “*bosque andino tropical*”, na subclassificação de “*bosques muy humedos montanos bajos*”. Embora haja boa conservação das coberturas vegetais da montante, sua alta declividade, desflorestamento nos cursos médios, altas precipitações orográficas da zona andina e sua forma e compacidade (Gravelius), fazem com que a bacia concentre energia potencial e cinética, tornando-a vulnerável aos movimentos de massa.

Entretanto, a jusante se caracteriza pelos vales em v, abertos, planícies aluviais com formação de leques aluviais e coluviais nos sopés da cordilheira. Nos fundos do vale, predominam solos profundos e argilosos (Vertisoles e Molisoles), de pouca permeabilidade, apropriados para atividades de pastagen e gado, onde predomina a vegetação do tipo “bosque seco premontano”.

A caracterização das condições biofísicas da bacia, fornece uma visão da disponibilidade de recursos hídricos e de serviços ecossistêmicos aproveitáveis pela área metropolitana de Cali, em forma de serviços ecossistêmicos (filtração de ar, práticas culturais e esportivas). A biodiversidade florestal, junto à alta pluviosidade da montante favorece a abundante produção hídrica característica da bacia.

Nesse sentido, em cumprimento do objetivo 1 desta tese e, da mesma forma em que foi realizado para o caso da BHRP, apresenta-se no Quadro 30 com a matriz que sintetiza, de forma quantitativa e qualitativa, as relações entre os elementos da estrutura biofísica da bacia hidrográfica do rio Cali.

Quadro 30. Matriz da estrutura biofísica da bacia hidrográfica do rio Cali

Espaço da bacia	Interações maiores	Componentes	Descrição quantitativa	Descrição qualitativa	ID
Área total	Terra- Atmosfera; Água + sistemas meteorológicos; solos, ecossistemas, biomas	Tempo geológico, geologia e climatologia	• Divisórias aos 3823 m.s.n.m. • Montante com declividades muito íngremes acima de 45%; • A BHRC compõe-se de 5 sub-bacias; • Área total de 215,4 km²; • Sinuosidade de 1,2; • Bacia com baixa dissipação da energia.	Bacia relativamente alongada; o índice de Gravelius indica uma bacia oval oblonga e de forma alongada; bacia com pouca capacidade para dissipação de energia, portanto, com muito potencial de torrencialidade; tendência ao arrastre de matérias de grande tamanho e à formação de leques aluviais.	A
Montante	Água e sistemas meteorológicos	Geomorfologia clima e meteorologia	• Precipitação pluviométrica média da bacia de 2040mm/ano; • Precipitação a montante 3600mm/ano.	A bacia está sob a influencia da ZCIT. Comportamento bimodal das precipitações. A cercania com o Oceano Pacífico a oeste e a altitude da cordilheira, influem diretamente sobre a formação de nuvens e precipitações orográficas. Fundos de vale, nos pés das montanhas apresentam condições secas.	B
	Terra - Atmosfera	Geomorfologia e geologia	• Baseamento com formações de rochas cretáceas (Formação Vulcânica (Kv), com maior presença na bacia; • Rochas mesozoicas do cretáceo (Formação Espinal (Ke) e Formação Cisneros (Kc).	As formações rochosas dos Farallones de Cali possuem as rochas mais jovens da cordilheira ocidental. A BHRC encontra-se sob a influencia da dinâmica geológica de subducção da placa de Nazca sob a placa sudamericana. Há uma dinâmica constante com formação de falhas e dobramentos, fazendo com que a geomorfologia mude constantemente devido à movimentação constante de materiais.	C
	Terra – Atmosfera + solos, ecossistemas e biomas.	Geomorfologia e pedologia	• Afloramentos de rocha basáltica; • Presença predominante de Andisolos formados pela cinza vulcânica; • Presença importante de Inceptisoles.	As formas do relevo íngremes dos Farallones de Cali, de declividades fortes, constituem zonas erosão de perda de solos; os solos às montantes (Andisoles e incepticoles) são pouco espessos, pouco desenvolvidos e sem horizontes, com alto conteúdo de material parental, não apropriados para agricultura e pecuária.	D
Jusante	Água e sistemas meteorológicos	Geomorfologia clima e meteorologia	• Precipitação pluvial, com registros históricos ao redor dos 1200 mm/ano.	A jusante da bacia hidrográfica do rio Cali, encontra-se no Vale geográfico do rio Cauca, cuja dinâmica de ventos conformam as condições para chuvas convectivas de menor intensidade que as orográficas.	F
	Terra - Atmosfera	Geomorfologia e geologia	• Formação dos leques aluvionares do rio Cali; • Derrubios; • Formação de colinas e morros aplainados;	Predominam as geoformas de planícies sobre depósitos aluviais e sedimentos recentes, fluxo meândrico com terraços naturais, mas que têm sido retificados e modelados artificialmente para canalização e controle de enchentes e inundações.	G

Espaço da bacia	Interações maiores	Componentes	Descrição quantitativa	Descrição qualitativa	ID
			• Base geológica conformada pela formação Espinal (rochas mesozoicas do cretáceo); • Declividades abaixo do 5% (baixas).		
	Terra – Atmosfera; solos, ecossistemas e biomas.	Geomorfologia e pedologia	• Maioria dos solos do tipo Vertisoles; • Presença de Entisoles e; • Presença menor de Molisoles, localizados perto dos eixos fluviais.	Impermeabilização dos solos pela ocupação urbana. As alterações da jusante e dos fundos de vale tem produzido depósitos tecnogêneos.	H

Elaboração: Hincapié, 2017.

5.2 ANÁLISE DOS PROCESSOS DE PRESSÃO E ESTADO DA BHRC

5.2.1 População

As áreas rurais do município de Cali, correspondentes à Bacia Hidrográfica do Rio Cali (BHRC), se dividem em *corregimientos*¹⁸, que são níveis administrativos menores, mas dentro da hierarquia municipal. Segundo os documentos do programa “*Cali en Cifras*”, da prefeitura de Cali, na versão de 2014, os *corregimientos* com jurisdição na BHRC são: Pichindé, Felidia, La Leonera, El Saladito, Golondrinas, Los Andes, La Elvira, La Castilla, La Paz e Montebello. A Tabela 12, apresenta a população total desses dez *corregimientos*, para o ano 2014.

Tabela 12. Relação da população de *corregimientos* da BHRC

Corregimiento	Área (ha)	Número de viviendas	População
Pichindé	1.495,7	189	659
La Leonera	1.746,5	174	535
Felidia	2.520,7	357	1.381
El Saladito	1.301,1	369	938
Golondrinas	1.046,8	389	3.094
Los Andes	6.610,5	724	4.591
La Elvira	1.607,1	456	1.069
La Castilla	2.063,0	403	912
La Paz	471,0	105	624
Montebello	412,6	2.303	9.049
TOTAL	19.275	5469	22.852

Fonte dos dados: Prefeitura de Cali. Programa *Cali en cifras* (2014).

A área urbana da cidade de Cali, divide-se em 22 comunas que funcionam como unidades administrativas territoriais menores que a prefeitura. A maior densidade populacional da BHRC, localiza-se na área urbana, do fundo de vale, atravessada pelo Rio Cali, em sentido Oeste-Leste, em direção à foz no Rio Cauca. Nesse trecho, a bacia abrange a totalidade das comunas 1 e 2, cujas populações respectivas são 85.569 e 112.746 pessoas, e, parcialmente, áreas das comunas 3, 4, 5, 6 e 19. A comuna 1, e parcialmente a comuna 2, encontram-

¹⁸ Este termo é utilizado na Colômbia para descrever as conurbações em áreas rurais o que, segundo a classificação territorial do Brasil, refere-se aos distritos dos municípios, excetuado o distrito sede. As *veredas* conformariam bairros rurais sob administração dos *corregimientos*.

se localizadas em zonas de ladeira (PREFEITURA DE CALI, 2015). Dessa forma, a bacia conta com uma população, até 2015, de aproximadamente 491.506 pessoas¹⁹ (DAGMA, 2011).

O crescimento urbano e populacional dos *corregimientos* da bacia do rio Cali, é decorrente do crescimento urbano de Cali e sua área metropolitana. Os dados do programa “*Cali en Cifras*”, da prefeitura de Cali, proporcionam algumas das relações entre o crescimento populacional da Área Metropolitana de Cali, e a ocupação nos corregimientos e comunas de ladeira da bacia. Nesse sentido, apresentam-se na Tabela 13, os dados do crescimento populacional, segundo os registros do DANE, dos municípios de compõem a Área Metropolitana de Cali e cuja conformação será tratada no item subsequente. Os dados da Tabela 13, evidenciam a concentração populacional no Município de Cali devido, em grande medida, à especialização em serviços de educação e saúde, ao comércio e ao desenvolvimento de serviços financeiros dentre os mais importantes do país (BUITRAGO *et al.*, 2011).

Tabela 13. Crescimento populacional da Área Metropolitana de Cali

Município	Número de habitantes por ano e porcentagem							
	1985	%	1993	%	2005	%	2018	%
Cali	1.429.026	78,9	1.666.468	79,3	2.119.908	78,3	2.445.281	77,8
Jamundí	42.158	2,3	48.145	2,3	96.993	3,6	127.193	4
Yumbo	50.263	2,8	62.305	3	92.192	3,4	125.624	4
Candelaria	44.400	2,5	52.783	2,5	70.296	2,6	85.354	2,7
Palmira	214.395	11,8	234.166	11,1	284.470	10,5	310.608	9,8
Puerto Tejada	30.407	1,7	38.249	1,8	44.324	1,6	46.088	1,4

Fonte dos dados: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

O crescimento da população da AMC e a ocupação da BHRC, tem vários elementos em comum. Por um lado, o crescimento populacional da AMC está ligado ao desenvolvimento agrícola e industrial do Departamento do Vale, a partir da cana de açúcar, implementada desde começos do século XX. O empreendimento industrial baseado nas usinas de cana, teve um papel destacável no crescimento da economia local, departamental e nacional. A

¹⁹ A BHRC abastece a, aproximadamente, o 20% da população de Cali. Porém, a população abastecida nem sempre é a mesma que mora dentro da bacia.

proximidade com o Oceano Pacífico, se configura como outra vantagem comparativa, na consolidação econômica e industrial do Vale do Cauca que, por sua vez, tem influenciado o crescimento e conformação de centros urbanos de importância na rede de cidades do departamento (*Yumbo, Palmira, Buga, Tuluá, Cartago* na planície aluvial e *Buenaventura*, na bacia do Oceano Pacífico). Esse conjunto de cidades, fortaleceram a cidade de Cali, como polo econômico, financeiro e de serviços. Por outro lado, além dessa concentração de riqueza e de oportunidades de trabalho, que Cali tem representado historicamente, os processos do crescimento de Cali e da AMC, estão relacionados também com períodos de violência na Colômbia, durante a segunda metade do século XX, que gerou migrações desde as zonas rurais e de conflito para grandes cidades e polos de desenvolvimento como Cali (BUITRAGO *et al*, 2011).

Em relação à estrutura urbana de Cali, os trabalhos de Martínez e Buitrago (2011), descrevem como os processos históricos de planejamento urbano de Cali, se focaram no desenvolvimento e consolidação do eixo norte - sul, no sopé da cordilheira, devido essa zona ser, alongada, apresentando a melhor localização espacial, com características topográficas e geomorfológicas apropriadas para o crescimento da cidade, afastada das planícies de inundação do rio Cauca, ao Leste, e das zonas íngremes ao oeste (MARTÍNEZ; BUITRAGO, 2011). Com o crescimento industrial e econômico de Cali, especialmente nas últimas três décadas do século XX, evidenciou-se a necessidade de programas de habitação para populações de baixa renda. O rápido crescimento populacional e a falta de programas de habitação, se materializaram em ocupações irregulares em zonas suscetíveis às dinâmicas naturais, de inundação ou remoção de massas, como o leste da cidade (*Distrito de Aguablanca*), e as ladeiras da Comuna 1, que fazem parte da jusante do rio Cali (HINCAPIÉ, 2013).

Em relação à dinâmica populacional à jusante, a bacia hidrográfica do rio Cali, apresenta áreas vulneráveis à ocupação, o que gera um atrativo para a especulação imobiliária ilegal, entre outros fatores, devido a: uma enorme demanda habitacional da população pobre; restrição para usos urbanos nas

áreas da reserva florestal²⁰ de Cali, que frearam os mercados imobiliários, deixando áreas vazias, que foram ocupadas irregularmente; as mesmas áreas representam proximidade com o centro e áreas mais consolidadas da cidade no eixo norte-sul e; a facilidade dos acessos viários pela rua que liga a Cali com o Oceano Pacífico.

Destaca-se, que embora as ocupações de ladeira, tenham sido regularizadas, em sua maioria, ainda apresentam avanços sobre as zonas de reserva florestal, com a consequente pressão sobre solos e fontes hídricas. Entretanto, os crescimentos de áreas ocupadas nos cursos médios, se apresentam de forma dispersa devido, entre outros fatores, aos loteamentos destinados às atividades de agricultura de sustentação e ao avanço do mercado imobiliário especializado em casas de descanso e/ou casas de fim de semana, o que aumenta a intensidade dos movimentos pendulares entre as zonas rurais o perímetro urbano durante fins de semana.

5.2.2 Identificação dos atores da BHRC

Tal como no caso brasileiro, é indispensável, à luz dos processos de planejamento e de gestão de bacias, considerar a presença e organização social, cultural e administrativa em cada curso da bacia. Nesse sentido, relaciona-se na Tabela 14, os atores mais destacados, suas atividades econômicas, culturais ou administrativas assim com a sua distribuição geográfica dentro da bacia.

Tabela 14. Relação dos atores e atividades dentro da BHRC

ATORES	ATIVIDADES	LOCALIZAÇÃO
Institucionais		
Administração do <i>Parque Nacional Natural Farallones de Cali</i>	Planejamento e gestão da área de reserva, monitoramento ambiental, atividades de conservação	Montante, Curso alto
<i>Corporación Autónoma del Valle del Cauca</i> -	Planejamento ambiental e gestão territorial.	Curso médio

²⁰ Reserva florestal de Cali conforme Resolução 5 de 1943 proferida pelo *Ministério de la Economía Nacional de Colombia*.

CVC	Fiscalização e controle ambiental (outorgas e licenças hídricas, licenças mineração, monitoramento)	
Departamento Administrativo de Gestão do Meio Ambiente de Cali - DAGMA	Planejamento e gestão ambiental da bacia no perímetro urbano. Fiscalização e controle ambiental	Curso baixo
Usuários da água		
Aquedutos comunitários dos corregimientos	Açudes e/ou desvio da vazão para abastecimento de áreas rurais	Cursos alto e médio
Empresa de Serviços Públicos de Água e Saneamento (EMCALI). Estação de Tratamento de Água de San Antonio	Açude para abastecimento de água no perímetro urbano (aprox. 500.000 pessoas)	Curso baixo
EMCALI	Despejos do sistema de esgoto e conexões erradas da rede de esgoto	Curso baixo
EMCALI	Açude para produção de energia elétrica (Projetos Chidral I e Chidral II)	Curso baixo
Empresários	Atividades próprias da mineração	Curso baixo
Outros usuários	Desvios e/ou açudes para atividades de mineração ilegal	Montante, cursos altos e médio
Sociedade civil		
Organizações civis e/ou comunitárias (<i>Juntas de acción comunal</i>)	Organização e gestão social. Participação na tomada de decisões da administração municipal	Curso médio e baixo
População <i>corregimientos e veredas</i>	Ocupação formal e irregular da bacia, expansão urbana, desflorestamento.	Curso médio
Donos de chácaras	Açudes menores. Desflorestamento, aproveitamento de bens e serviços ecossistêmicos da bacia	Cursos médio e alto
Camponeses, agricultores	Açudes menores. Agricultura de subsistência, uso e aproveitamento de recursos	Toda a bacia
População urbana	Consumos de água e produção de despejos e poluentes hídricos, conexões erradas às redes de esgotos, produção e gestão de resíduos sólidos	Curso baixo
População de baixa	Ocupações irregulares em	Foz

renda	diques e zonas com fragilidade ambiental.
Elaboração: Hincapié, 2017.	

5.2.3 Mudanças nos usos das terras

Conforme Buitrago, Paredes e Motta (2011), a bacia hidrográfica do rio Cali (BHRC), é dividida em nove Unidades de Paisagem (UPA): cinco unidades de paisagem da área rural; três unidades de paisagem urbana e uma unidade de paisagem industrial.

A UPA 1 é chamada de *Unidade de Paisaje de Alta Montaña*. Localiza-se a sudoeste da bacia, à montante, nos cursos mais altos, abrangendo as nascentes dos rios Pichindé e Felídia. A principal cobertura é a vegetal de Floresta Andina Tropical.

A UPA 2 (*Unidade de Paisaje de Agricultura Campesina*), abrange as partes médias da bacia, na zona de reserva florestal, de jurisdição da Corporación Autónoma Regional (CVC). A UPA 2, se caracteriza pelos usos das terras, destinados à agricultura de subsistência e pela ocupação urbana dos corregimientos de: Felídia, Los Andes, La Leonera, Pichindé e La Paz. Essas ocupações influem nas taxas de desflorestamento e na fragmentação das áreas de Florestas Andina.

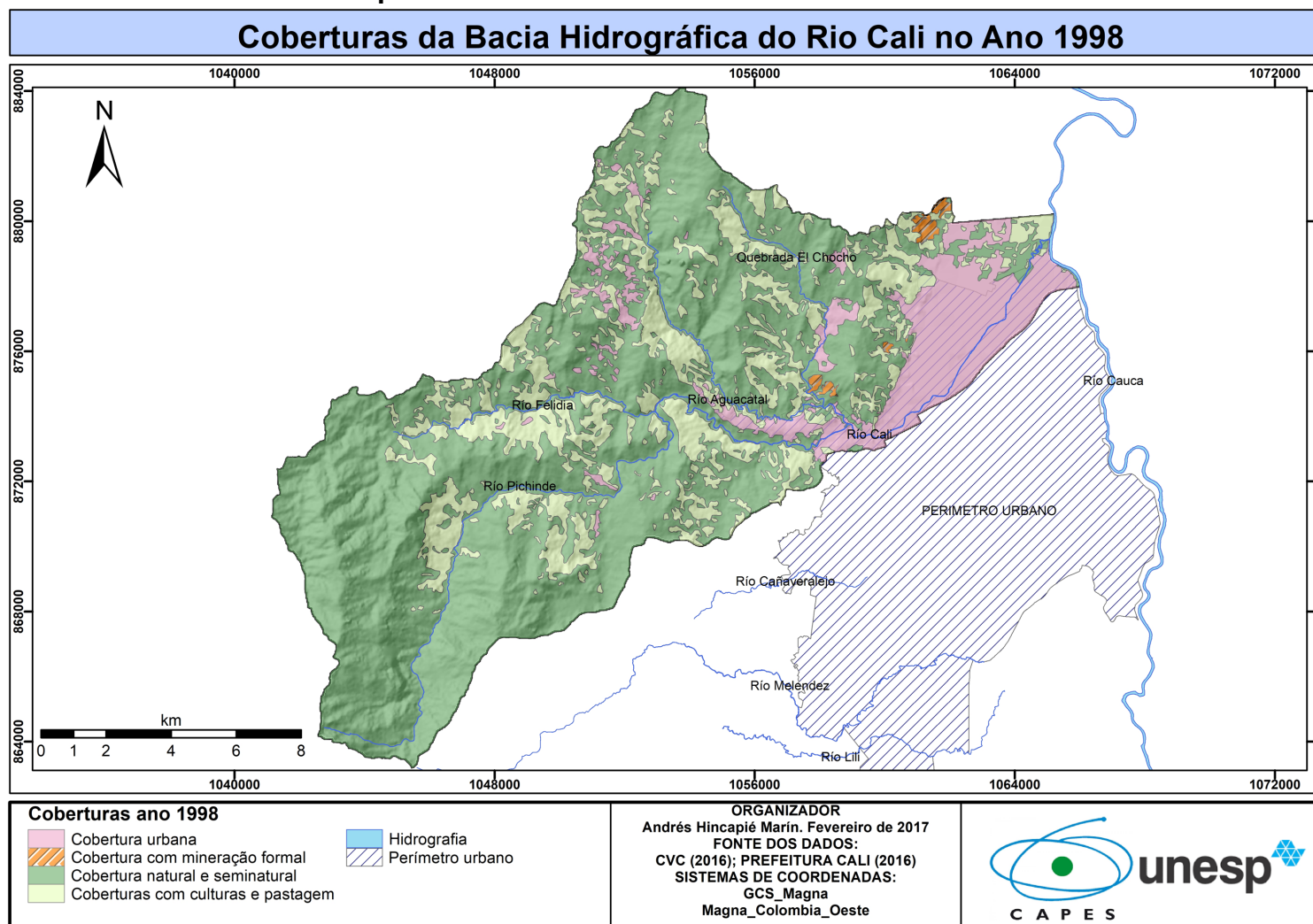
A UPA 3 (*Unidade de Paisaje de Parcelaciones*), localiza-se na zona oeste da bacia e abrange as montantes das microbacias dos rios Aguacatal e Felídia. Se destaca pela ocupação urbana, em forma de chacaras e lugares de descanso, junto à agricultura de subsistência.

A UPA 4 (*Unidade de Paisaje de Pastizales y Rastrojos*), corresponde às áreas montanhosas baixas, mais próximas ao perímetro urbano. A cobertura é predominantemente de pastagens e vegetação herbácea, mas também com solos expostos e alguns afloramentos de rochas. Por fim, as UPAs urbanas e industrial se localizam no vale do rio Cauca, na jusante da bacia.

Os mapas 18 e 19, referentes aos anos 1998 e 2014, assim como a Tabela 15, relaciona as coberturas das terras da BHRC em ambos casos, 1998 e 2014. A descrição utilizada para cobertura urbana, corresponde ao terceiro maior uso

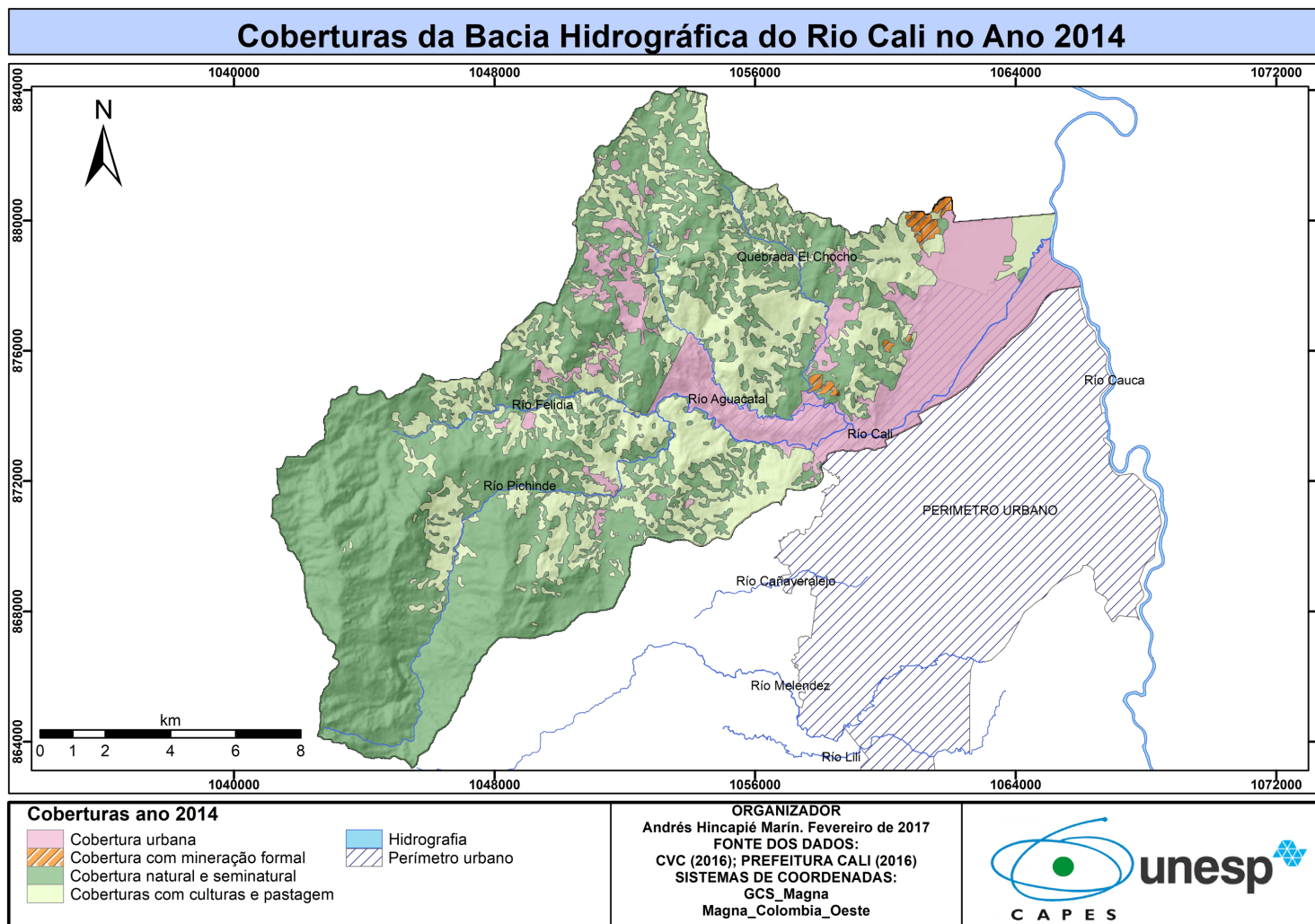
dentro da bacia. Existe ainda o uso “Coberturas artificiais sem construções”, referindo-se às atividades e usos próprios da mineração.

Mapa 18. Coberturas das terras da BHRC ano 1998.



Elaboração: Hincapié, 2017. A partir da imagem Landsat 5 LT50090581998140XXX02.

Mapa 19. Coberturas das terras da BHRC no ano 2014.



Elaboração: Hincapié, 2017. A partir da imagem Landsat 8 LC80090582014200LGN00.

Tabela 15. Coberturas das terras da BHRC nos anos 1998 e 2014

Tipo de cobertura	Área (km ²)		Aumento / Diminuição	
	1998	2014	km ²	%
Cobertura hídrica	0,11	0,11	0	0
Cobertura natural e seminatural	145,29	116,6	-28,69	-19,74
Cobertura Urbana	24,26	35,12	+10,86	+44,7
Cobertura artificial sem construções	1,14	1,39	+0,25	+22
Cobertura com culturas e pastagem	44,46	62,04	+17,58	+39,5

Organização e elaboração: Hincapié, 2017. A partir da imagem *Landsat 5* LT50090581998140XXX02 e *Landsat 8* LC80090582014200LGN00.

A análise das mudanças nas coberturas das terras, da bacia hidrográfica do rio Cali, é feita a partir do processamento e comparação de imagens de satélite *Landsat 5* e *Landsat 8*, cujos registros correspondem aos anos 1998 e 2014, respectivamente.

O mapa de coberturas das terras da BHRC (Mapa 19), elaborado a partir de imagem *LandSat 8* do ano 2014, mostra mais de 50% da área da bacia coberta por “bosques andinos e sub andinos”, de preservação (cobertura natural e seminatural), um aspecto relevante no fornecimento de água e de serviços ambientais para a área metropolitana de Cali. A segunda cobertura de maior relevância dentro da BHRC, são as culturas e pastagens, evidenciadas principalmente nas partes média e baixa da bacia.

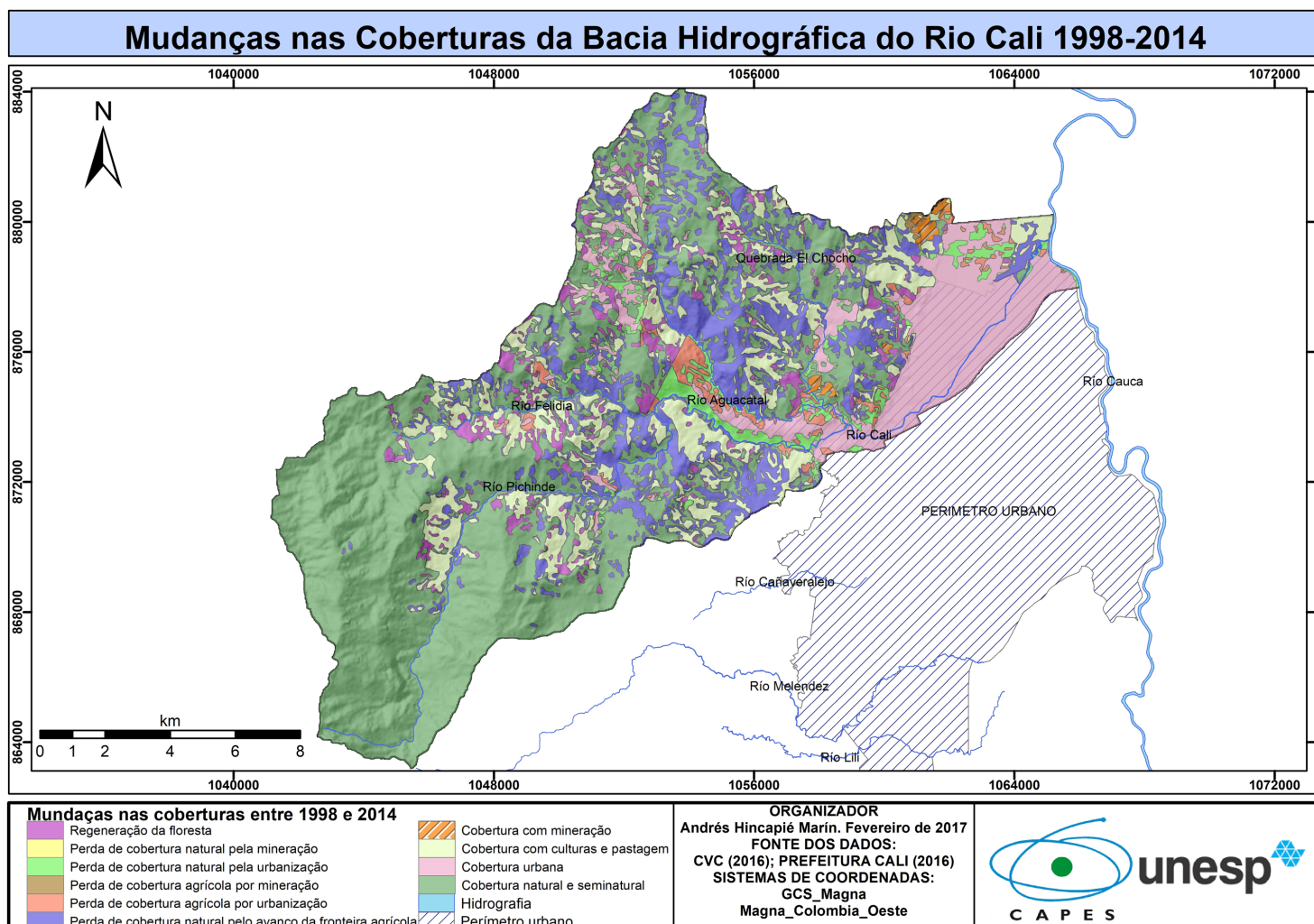
A partir da comparação das coberturas das terras, observa-se que a bacia teve um crescimento urbano destacado, se comparado ao restante das mudanças. Identifica-se, também, o aumento de coberturas, referentes às atividades agropecuárias (culturas e pastagem) e o aumento das coberturas com mineração (coberturas artificiais sem construção). O Mapa 20, representa a taxa dessas mudanças de coberturas das terras da BHRC, no período de análise 1998 e 2014. Complementarmente ao Mapa 20, apresenta-se na Tabela 16 a descrição, qualitativa e quantitativa, dos tipos de mudanças nas coberturas das terras acontecidas no período de análise.

Tabela 16. Taxas de câmbio das coberturas das terras da BHRC período 1998 – 2016

Tipos de usos em 1994	Tipos de usos em 2016	Tipo de mudança	Área (km²)
Coberturas artificiais sem construção	Coberturas artificiais sem construção	Sem mudança	1,14
Cobertura hídrica	Cobertura hídrica	Sem mudança	0,11
Cobertura Urbana	Cobertura Urbana	Sem mudança	24,26
Coberturas natural e seminatural	Coberturas artificiais sem construção	Perda de cobertura natural por mineração	0,1
Coberturas natural e seminatural	Cobertura Urbana	Perda de cobertura natural por urbanização	6,8
Coberturas natural e seminatural	Coberturas natural e seminatural	Sem mudança	105,71
Coberturas natural e seminatural	Coberturas com culturas e pastagem	Perda de cobertura natural por avance da fronteira agrícola	32,68
Coberturas com culturas e pastagem	Coberturas artificiais sem construções	Perda de Cobertura agrícola por mineração	0,15
Coberturas com culturas e pastagem	Cobertura Urbana	Perdida de Cobertura agrícola por urbanização	4,06
Coberturas com culturas e pastagem	Coberturas natural e seminatural	Regeneração e plantações de bosques	10,89
Coberturas com culturas e pastagem	Coberturas com culturas e pastagem	Sem mudança	29,37

Organização e elaboração: Hincapié, 2017. A partir das imagens Landsat 5 LT50090581998140XXX02 e Landsat 8 LC80090582014200LGN00.

Mapa 20. Mapa das mudanças dos usos das terras da BHRC período 1998 - 2014



Elaboração: Hincapié, 2017. A partir das imagens Landsat 5 LT50090581998140XXX02 e Landsat 8 LC80090582014200LGN00

A partir das informações representadas no Mapa 20 e na Tabela 16, identificamos que: as áreas de cobertura urbana tiveram um incremento total de 10,86 km², em razão da perda da cobertura natural e seminatural (6,8km²), e as coberturas com culturas e pastagem (4,06 km²). Nas coberturas inerentes aos usos agropecuários (culturas e pastagem), houve um aumento de 17,58 km². De forma geral, houve um aumento de coberturas naturais e seminaturais de 10,89 km², cujo valor representa 5% da área total da bacia e se refere a coberturas de vegetação em sucessão ecológica, mas também pode significar cultivos de pinho, muito comuns na bacia. A somatória da urbanização e mudanças nos usos das terras, com efeitos negativos sobre a perda de coberturas naturais e seminaturais da BHRC foram de 28,69 km², cobertura urbana de 10,86 km², culturas e pastagem, 17,58 km² e coberturas artificiais sem construções 0,25 km²).

A Fotografia 10, foi registrada nas coordenadas E00723889 – N00871734 aos 1465 m.s.n.m, desde o morro do *Cristo Rey* em direção Noroeste, transversal à jusante da bacia do rio Cali. Essa fotografia tem como propósito, representar as atividades com maior impacto sobre a perda da qualidade ambiental da bacia no curso baixo.

Fotografia 1. Avanço urbano e mineração na BHRC



Fonte: Averno da pesquisa. Autoria Hincapié, 2017.

Em primeiro plano, encontra-se o morro do *Cristo Rey*, sem vegetação arbórea e com solos expostos devido, além da intervenção antrópica, às condições de “*sombra climática*”, próprias da dinâmica climática da cordilheira ocidental. Em segundo plano, encontra-se o desenvolvimento urbano informal do bairro “*Terrón Colorado*”. Em terceiro plano, evidencia-se o projeto de mineração, de exploração de pedra. Ao fundo da fotografia, ocupando as ladeiras, é possível observar o avanço urbano informal do bairro “*Altos de Normandia*” e do *corregimiento* de *Montebello*. Por fim, ao fundo da fotografia, à direita, aparece um dos morros mais representativos da cidade, o “*Cerro de las tres Cruces*”. Em todos os casos, evidência-se o alto estado de deterioração ambiental desta parte da bacia e a suscetibilidade às grandes perdas de solo e arrasto de materiais.

5.2.4 Dinâmicas Urbanas em Fundos de Vale

Os trabalhos de campo da pesquisa, permitiram identificar algumas das intervenções antrópicas sobre às dinâmicas fluviais do rio Cali. O trabalho foi realizado, segundo a proposta de operacionalização de variáveis, descritas no capítulo metodológico e são apresentadas nos Quadros 31 a 33:

Quadro 31. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRC, ponto 1

Ponto 1

1. Estrutura de captação do sistema de aqueduto (03°26'57"N 76°34'04"W, 1089 m.s.n.m.).
2. Defesa de margens mediante levantamento de diques.
3. A artificialização das margens mediante diques afeta a mobilidade lateral de sedimentos e nutrientes, a naturalidade do traçado do leito, a funcionalidade da planície de inundação, a mobilidade lateral e a conectividade transversal.
4. Este tipo de intervenção tem impactos intensos e diretos sobre a qualidade do leito e sobre a qualidade das ribeiras. Além disso, impacta de forma indireta e moderada a qualidade funcional do sistema fluvial.



Fonte: Acervo da pesquisa. Elaboração Hincapié (2017).

Quadro 32. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRC, pontos 2 e 3**Pontos 2 e 3**

1. Avenida Primeira, Rua 5 Oeste (03°27'03"N 76°32'40"W, 1030 m.s.n.m.); Ponte no setor do Centro Administrativo Municipal (CAM) (3°27'12"N 76°32'00"W, 1008 m.s.n.m.)
2. Diques, terraços, pontes, urbanização e construção de prédios em antigas planícies de inundação, retificação de margens, dragagem.
3. As intervenções representadas nas fotografias apresentam o tipo de manejo e a paisagem fluvial urbana construída no trecho urbano do rio Cali ao passar no centro da cidade. As dinâmicas nos fundos do vale do rio afetam a disponibilidade e mobilidade de sedimentos, a naturalidade do traçado do leito, a funcionalidade da planície de inundação, a mobilidade lateral e a conectividade transversal.
4. Estes tipos de intervenção geraram impactos intensos e diretos sobre a qualidade funcional do sistema, a qualidade do leito, a qualidade das ribeiras e a qualidade das águas.

Fotografia do ponto 2**Fotografia do ponto 3**

Fonte: Acervo da pesquisa. Elaboração Hincapié (2017).

Quadro 33. Intervenções urbanas em fundos de vale BHRC, Ponto 4 e 5

Pontos 4 e 5

1. Avenida primeira, rua 52 (03°28'51"N 76°30'32"W, 963 m.s.n.m.); sistema de diques na foz do rio Cali (3°30'11"N 76°29'35"W, 1008 m.s.n.m.)
2. Diques, urbanização irregular.
3. As intervenções representadas nas fotografias apresentam o estado dos sistemas de diques e a dinâmica urbana referente às ocupações irregulares nesses sistemas de controle hidráulico na jusante e foz do rio. As dinâmicas na jusante e na foz dl rio afetam, especificamente, a funcionalidade da planície de inundação, a mobilidade lateral e a conectividade transversal.
4. Impactos intensos e diretos sobre a qualidade funcional do sistema, a qualidade do leito, a qualidade das ribeiras e a qualidade das águas.

Fotografia do ponto 4



Fotografia do ponto 5



Fonte: Acervo da pesquisa. Elaboração Hincapié (2017).

Os Quadros 31 a 33, representam algumas das intervenções identificadas, e a magnitude das dinâmicas urbanas, sobre as funções do sistema fluvial, ao

passar pelo perímetro urbano da cidade de Cali. As informações desses quadros referem-se a: 1) endereço da intervenção; 2) tipo de intervenção; 3) descrição da intervenção e dos possíveis efeitos; 4) magnitude da intervenção.

As informações dos quadros 31, 32 e 33, evidenciam impactos intensos e diretos das dinâmicas urbanas sobre a qualidade do leito, sobre a qualidade funcional das ribeiras e sobre a qualidade funcional hidrogeomorfológica do rio Cali. Foram encontradas, ocupações irregulares nos sistemas de controle hidráulico e às vezes sobre o leito menor. As dinâmicas urbanas que afetam a qualidade hidrogeomorfológica do rio Cali, são decorrentes de processos históricos da consolidação urbana, sob o paradigma de transformação e submissão das dinâmicas da natureza.

5.2.5 Variabilidade Climática

Na Colômbia, a Variabilidade Climática (VC) está ligada ao conjunto de dinâmicas meteorológicas, que fazem parte de eventos quentes do Oceano Pacífico, relacionados ao fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) (CARVAJAL; ORDOÑEZ, 2008). Estas dinâmicas climatológicas de eventos frios e quentes, no Oceano Pacífico tropical, influem no clima de todo o Hemisfério Sul e causam alterações climáticas sobre todo o território colombiano, afetando o meio natural e os ciclos hidrológicos em diferentes zonas do país, gerando situações extremas na distribuição espacial da temperatura do ar e da precipitação (QUINTERO *et al.*, 2012; BEDOYA; RUÍZ 2010). Entretanto, os resultados do trabalho de Ávila *et al.*, (2014), demonstram a relação direta entre a ocorrência dos fenômenos ENOS, e a oferta hídrica da bacia hidrográfica do rio Cali. Segundo esses resultados, há correlações significativas das variáveis associadas ao ENOS e as precipitações mensais da BHRC (ÁVILA *et al.*, 2014)

A operacionalização da variável de VC para a área de análise da Colômbia é apresentada no Quadro 34:

Quadro 34. Registros do fenômeno ENOS com aumentos e diminuições da precipitação na BHRC, período 1986 - 2016

ANO	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1986	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,2	0,4	0,7	0,9	1	1,1
1987	1,1	1,2	1,1	1	0,9	1,1	1,4	1,6	1,6	1,4	1,2	1,1
1988	0,8	0,5	0,1	-0,3	-0,8	-1,2	-1,2	-1,1	-1,2	-1,4	-1,7	-1,8
1989	-1,6	-1,4	-1,1	-0,9	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	1,2	1,4
1992	1,6	1,5	1,4	1,2	1	0,8	0,5	0,2	0	-0,1	-0,1	0
1993	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,9	1
1995	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2	0	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-1	-0,9
1996	-0,9	-0,7	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,6	1	1,4	1,7	2	2,2	2,3	2,3
1998	2,1	1,8	1,4	1	0,5	-0,1	-0,7	-1	-1,2	-1,2	-1,3	-1,4
1999	-1,4	-1,2	-1	-0,9	-0,9	-1	-1	-1	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6
2000	-1,6	-1,4	-1,1	-0,9	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8
2001	-0,7	-0,6	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3
2002	-0,2	-0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,3	1,1
2003	0,9	0,6	0,4	0	-0,2	-0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4
2004	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,2	0,1	0	0	-0,1	-0,4	-0,7
2006	-0,7	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	0,9	1
2007	0,7	0,3	0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,6	-0,8	-1,1	-1,2	-1,3
2008	-1,4	-1,3	-1,1	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,5	-0,7
2009	-0,8	-0,7	-0,4	-0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	1	1,2	1,3
2010	1,3	1,1	0,8	0,5	0	-0,4	-0,8	-1,1	-1,3	-1,4	-1,3	-1,4
2011	-1,3	-1,1	-0,8	-0,6	-0,3	-0,2	-0,3	-0,5	-0,7	-0,9	-0,9	-0,8
2012	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,2
2013	-0,4	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,5	-0,6	-0,4	-0,2	0	0	0	0	0,2	0,4	0,6	0,6

Fonte: Boletín Hidroclimatológico CVC año 2014.

A partir das informações do Quadro 24 e dos trabalhos de Ávila *et al*, (2014), conclue-se que a ocorrência do *El Niño*, influi na diminuição de precipitações e na oferta hídrica da BHRC em razão de 40%, no entanto, que a ocorrência do ENOS na fase fria (*La Niña*), coincide com uma intensidade e frequência maior da precipitação média da bacia, aumentando a disponibilidade hídrica em até 65%.

5.3 INDICADORES DAS VARIÁVEIS DE ESTADO - BHRC

5.3.1 Qualidade de água no abastecimento

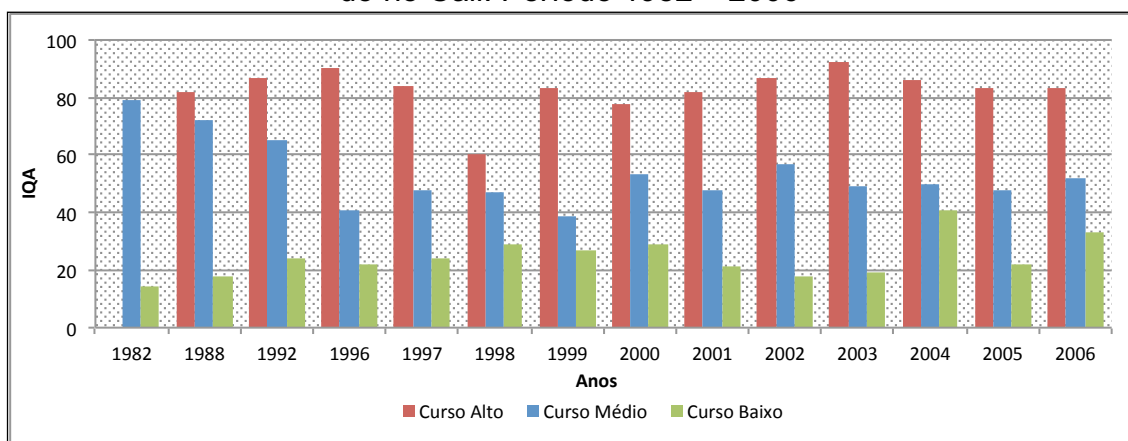
A bacia hidrográfica do rio Cali é utilizada para o abastecimento de água de uma população, aproximada, de 420.000 pessoas. O sistema de aqueduto, incluindo a Estação de Tratamento de Águas (ETA) de *San Antonio*, e funciona por gravidade, com capacidade para tratar uma vazão de, até, 1800 l/s (EMCALI, 2016).

A BHRC, também é utilizada para produção de energia elétrica. Há duas (2) plantas geradoras de energia, operadas pela empresa de serviços públicos de Cali – EMCALI. As subestações hidroelétricas fazem parte do conjunto “Chidral”, que suporta a rede de interconexão elétrica regional, junto com as barragens do rio Anchicaya, que são subestações que recebem os nomes de “Chidral Rio Cali I” e “Chidral Rio Cali II”. As subestações funcionam em série e são do tipo “filo da água”, que não precisam represas, mas que aproveitam a vazão do rio para gerar uma queda de água conduzida por canais abertos conduzidos até as turbinas (EMCALI, 2016).

Esta variável de abastecimento, não foi totalmente operacionalizada conforme a proposta metodológica. No entanto, utiliza-se para efeitos de pesquisa, dados dos índices de qualidade das águas (IQA). A CVC tem realizado registros históricos de índices de qualidade das águas (IQA), para os cursos alto, médio e baixo. Os dados dos IQAs, que compreendem o período 1986 – 2006, permitem-nos fazer relações entre as mudanças dos usos das terras, os avanços urbanos evidenciados em itens anteriores e os impactos na disponibilidade hídrica do rio.

Os registros destes monitoramentos, estão representados no Gráfico 9. A classificação para os valores do IQA são: I) IQA Muito ruim entre 0 e 20; II) IQA Ruim entre 21 e 35; III) IQA Média entre 36 e 50; IV) IQA Boa entre 51 e 80; V) IQA Ótima entre 80 e 100.

Gráfico 8. Índices de Qualidade das Águas (IQA). Cursos alto, médio e baixo do rio Cali. Período 1982 – 2006



Fonte dos dados: extraído e adaptado de Perez (2014).

As análises realizadas para as águas do curso médio, apresentam valores de qualidade, que se mantem na média, mas que, eventualmente, registram valores ruins. Por sua vez, o trecho baixo, apresenta, constantemente, valores de qualidade ruim e muito ruim. Mediante trabalho de campo, observou-se que esses índices de qualidade dos cursos baixos, são decorrentes do ingresso das águas do Rio *Aguacatal* que, por sua vez, recebe as águas da microbacia El Chocho, uma bacia com forte intervenção antrópica, com ocupações irregulares, sem saneamento e com presença de atividades de mineração. A medição dos IQA, do curso baixo, corresponde aos trechos após a captação para o sistema de aqueduto, portanto as dinâmicas sociais das microbacias *Aguacatal* e *Chocho* não influem nos custos de tratamento da ETA *San Antonio*.

As atividades de extração e produção primária, tem relação direta com a qualidade hídrica dos corpos superficiais, ainda mais as relacionadas com mineração à céu aberto, como a praticada na microbacia *El Choch*, pertencente à área de drenagem do rio *Aguacatal*. A medida ou indicador da exploração de produtos e/ou recursos tangíveis, propostas em nossa pesquisa, refere-se às taxas de câmbio nos usos das terras. Do Gráfico 9, sabe-se que durante o tempo de comparação de 1998 até 2014, houve um avanço das coberturas relacionadas às atividades de mineração em 0,25km² (coberturas artificiais sem construções). Houve também, um aumento das coberturas relacionadas com as atividades agropecuárias (coberturas com culturas e pastagem), assim, o aumento total foi de 17,58 km². A extração e produção primária da bacia,

conforme a unidade de média selecionada (avanço das áreas) foi de 17,58 km² e 0,25 km², respectivamente.

5.3.2 Dinâmica de Encostas e Perda de Solos

Esta variável não foi operacionalizada por falta da aquisição de dados confiáveis sobre a erodibilidade dos solos presentes nas montantes da bacia (Andisoles e Inceptisoles). Entretanto, conforme a análises dos componentes biofísicos, sabe-se que esses tipos de solos à montante, são pouco espessos, pouco desenvolvidos, e com alto conteúdo de material parental. Além disso, as microbacias *Aguacatal*, *Pichindé* e *Felidia*, tem formas do relevo íngremes, com declividades fortes acima de 20%, susceptíveis à erosão e perda de solos.

O site do Geoportal da *Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca* (CVC), indica que as microbacias dos rios *Pichindé* e *Felidia*, tem processos naturais de erosão e que a microbacia do rio *Aguacatal* possui erosões do tipo moderado a severo, por conta do desflorestamento e forte intervenção dos cursos médios e jusante.

Conforme as classificações da CVC a erosão moderada refere-se à perda da maioria do horizonte A ou da camada superficial. A erosão severa, se refere à perda total do horizonte A, ou camada superficial, assim com a perda parcial do horizonte B ou da camada subsuperficial.

5.2.3 Serviços ecossistêmicos

Os serviços ecossistêmicos da bacia hidrográfica do rio Cali, são comensurados nos aumentos ou diminuições das coberturas naturais e seminaturais no período 1998 a 2014. Durante esse período de análise, houve 39,58 km² de perda desse tipo de áreas. Entretanto, houve também um ganho de 10,89 km², sendo a perda total de 28,69km².

5.2.4 Estrutura ecológica e paisagem fluvial

O trecho avaliado com os índices hidrogeomorfológico (IHG) (Quadro 35) e de qualidade ribeirinha (RQI), foi o mesmo trecho avaliado no trabalho de

campo para a identificação das dinâmicas urbanas em fundos de vale e eixos fluviais.

Quadro 35. Avaliação do índice hidrogeomorfológico (IHG) na BHRC

Parâmetro	Descrição	Pontos
Naturalidade do regime da vazão.	O trecho apresenta, à montante, atuações humanas que consistem em: derivações, açudes, ocupações urbanas, entre outras, que modificam a quantidade de vazão e sua distribuição temporal. No entanto, a vazão conserva o comportamento dos regimes temporais (invernos e verões).	8
Disponibilidade e mobilidade de sedimentos	Antes do trecho há duas derivações utilizadas para a produção de energia elétrica por queda. Essas estruturas fazem retenção leve dos sedimentos naturais e afetam menos de 25% da bacia.	8
Funcionalidade das planícies de inundação	As planícies de inundação contam com defesas longitudinais, que restringem as suas funções naturais de dissipação de energia. Esse tipo de diques, que funcionam como defesas, são contínuas e ligadas ao leito. Além disso, há constantes obstáculos transversais como pontes e vaus que, somados a urbanização lateral ao rio, alteram os processos das planícies reduzindo a sua funcionalidade natural e precisando-se compensar com dragagem.	0
Qualidade funcional do sistema: aceitável		16
Naturalidade do traçado e da morfologia do leito	Há registros históricos de mudanças artificiais no traçado do leito, assim como modificações antrópicas diretas sobre a morfologia, especificamente relacionadas à retificação. Essas afetações se apresentam em mais de 50% da longitude do trecho.	2
Continuidade e naturalidade do leito e dos processos longitudinais e verticais	Ao longo do trecho há infraestruturas como pontes e vãos, que limitam a continuidade longitudinal do leito.	5
Naturalidade das bordas e da mobilidade lateral.	Todo o leito do trecho tem sofrido encaixamento por elevação das bordas em função da defesa ante inundações. Essas infraestruturas restringiram toda a capacidade do rio de se movimentar lateralmente e alteraram as funções sistêmicas relacionadas à erosão e/ou sedimentação.	0
Qualidade do leito: ruim		7
Valor final do índice da qualidade hidrogeomorfológica do trecho avaliado: ruim		23

Elaboração: Hincapié, 2017. Adaptado de Olleva, 2009.

As maiores afetações nesta avaliação, corresponderam à perda da funcionalidade natural das planícies de inundação e a perda da mobilidade lateral do leito, por conta dos diques com os quais o rio foi encaixado.

A seguir, o Quadro 36, apresenta a avaliação do índice de qualidade ribeirinha (RQI) para o trecho urbano de análise, no perímetro urbano do rio Cali. Consideramos que o trecho se classifica como vale do tipo III.

Quadro 36. Avaliação do índice de qualidade ribeirinha (RQI) na BHRC

Parâmetro	Descrição	Pontos
Continuidade longitudinal da vegetação ribeirinha natural	Estado: aceitável A vegetação arbórea da ribeira encontra-se sobre os terraços artificiais próximos ao leito. No leito do rio a vegetação arbustiva associada ao rio se apresenta descontínua na maior do trecho.	10
Dimensões de largura ribeirinha com vegetação natural associada ao rio	Estado: ruim A largura da vegetação associada ao rio, no leito encaixado, encontra-se entre os 5 e 10 metros em ambas as margens.	6
Composição e estrutura da vegetação ribeirinha	Estado ruim. Na borda: vegetação herbácea dominante com alguns arbustos dispersos.	4
Regeneração natural da vegetação ribeirinha	Estado: ruim. A regeneração natural é severamente afetada pela dragagem. O leito encaixado não permite o crescimento e regeneração devido ao fato de funcionar, basicamente, como um canal artificial. A vegetação jovem das bordas e terraços artificiais do leito obedecem à ornamentação urbana.	6
Condição das bordas	Estado ruim. Bordas retificadas e impermeabilizadas com defesa à erosão.	4
Conectividade lateral da ribeira com o leito	Estado ruim. Margens muito elevadas em relação ao leito do rio. Há fortes restrições aos transbordamentos e a conectividade lateral.	6
Permeabilidade e grau de alteração do relevo e do solo ribeirinho.	Estado ruim. As obras de controle hidráulico alteraram severamente o relevo das ribeiras.	6
Condição ecológica das ribeiras: pobre		42

Elaboração: Hincapié, 2017.

Em relação à identificação de outros componentes relacionados na operacionalização desta variável, no trabalho de campo identificou-se dois projetos de renovação urbana, relacionados com os componentes de: 1) utilização pública e sensibilização e; 2) saneamento urbano. Os dois projetos tentam integrar a paisagem fluvial e urbana da cidade mediante infraestruturas de lazer e paisagismo de parques lineais nas faixas longitudinais do rio Cali, mas no trecho correspondente ao centro da cidade.

Fotografia 2. Projeto de renovação urbana: bulevar do rio Cali



Fonte: Acervo da pesquisa. Autoria Hincapié, 2017.

O projeto de infraestrutura urbana “bulevar do rio Cali”, relacionado na Fotografia 11, é uma obra concluída recentemente, no ano 2011. O projeto fez parte das obras de renovação urbana da cidade e que, em conjunto, procuram criar mais e melhores espaços públicos.

Em fim, identificou-se um segundo projeto, dessa vez em execução, intitulado: “Parque lineal do rio Cali”. A Fotografia 12, apresenta um registro do estado de avanço do projeto na data da realização do trabalho de campo (14/04/2017). Outras informações sobre o projeto poderão ser encontradas no *site* da prefeitura de Cali.

Fotografia 3. Projeto de renovação urbana: parque lineal do rio Cali



Fonte: Acervo da pesquisa. Aatoria Hincapié, 2017.

5.2.5 Matriz de Processos Impactantes

Este item faz parte do cumprimento do objetivo dois da presente tese. Em síntese, o aumento populacional da bacia do rio Cali é reflexo das dinâmicas de crescimento populacional e urbano de Cali, no contexto da sua área metropolitana. Esses aumentos populacionais e ocupações, se apresentam de forma concentrada nos 10 *corregimientos*, assim como nas comunas localizadas nas ladeiras urbanas dos sopés das montanhas. No entanto, o crescimento se apresenta também de forma dispersa no curso alto da bacia devido, conforme Buitrago *et al.*, (2011), aos loteamentos e divisões de propriedades rurais, ao aumento de chácaras e casas de fim de semana e ao aumento de ocupações irregulares combinadas com atividades de agricultura de subsistência.

Em relação às coberturas relacionadas com atividades agropecuárias, estas cresceram 17,58 km², ou seja, um crescimento de 39%, quando comparado com a data inicial. Por sua vez, o crescimento da cobertura urbana foi de 10,86 km² (44,7%), as áreas de mineração aumentaram 0,25 km² (21,9%), com consequente diminuição das Coberturas naturais e seminaturais em 28,69 km² (19,7 %).

A bacia do rio Cali é susceptível à erosão e aos movimentos de massa, devido às altas declividades, à geologia relativamente jovem e instável e às intensas ações de forças exógenas (alta pluviosidade, choques térmicos de calor-frio, meteorização). Neste sentido, as mudanças nos usos das terras,

práticas agrícolas indevidas e processos de desmatamentos, aumento da fronteira agrícola, contribuem para a perda de solos e o arraste de materiais para os fundos do vale, provocando erosões severas nas microbacias do rio *Aguacatal*.

Por suas características geográficas e biofísicas, a Bacia Hidrográfica do Rio Cali (BHRC) é uma fonte de produção hídrica aproveitada para o abastecimento de, aproximadamente, 20% da população da cidade de Cali. Entretanto, a quantificação dos usos das terras, mostra quanto susceptível pode ser a bacia ao aumento de atividades poluentes, como agricultura e mineração legal e ilegal. Os IQA da jusante, mostram águas em estado de qualidade ruim. As avaliações das dinâmicas urbanas, em fundos de vale, mostram que houve transformação urbana, retificação, diques, terraços e ocupações em antigas planícies de inundação, que diminuem a qualidade funcional hidrogeomorfológica. Em termos ecológicos, as ribeiras se encontram em condição pobre. Destacam-se os dois projetos de renovação urbana com foco no rio Cali, consistentes em parques lineares e bulevares.

Os resultados evidenciaram que a BHRC é susceptível ao fenômeno de variabilidade climática ENOS. As análises, indicam que a fase quente do “El Niño”, influi diretamente sobre a diminuição das precipitações pluviométricas e na fase fria “*La Niña*”, tem efeitos nos aumentos das precipitações.

A partir dos processos de pressão, descritos nos pontos anteriores apresenta-se, a seguir, o Quadro 37, com a matriz de *inputs* e *outputs* da qual partimos para analisar os mecanismos de resposta institucional e/ou social.

Quadro 37. Matriz dos inputs - outputs da BHRC

Inputs	Valor indicador	Componente s biofísicos	Associações entre inputs e outputs	ID2
Pressão demográfica	Crescimento populacional Pressão intensa e direta	B, D, H, I	Processo de ocupação concentrada na jusante da bacia e de forma dispersa nos cursos médios.	R1
Mudança nos usos das terras	Aumentos: Agropecuários = 39,5% (17,58km ²) Urbano = 44,76% (24,26km ²) Mineração = 21,9% (0,25km ²) Diminuição da Cobertura natural 19,75% (28,69km ²) Pressão média e direta	D, E	I) variável com cenário de ação fora do perímetro urbano; II) associada com diminuição dos estoques de serviços ecossistêmicos; III) relação com a diminuição dos IQA IV) relação com aumento de erosão, perda de solos movimentos de massa; V) variável associada com aumento de indicadores socioeconômicos, migrações urbano-rurais, divisão da terra, agricultura de subsistência, aumento de chacaras.	R2
Dinâmicas urbanas nos fundos de vale	Ocupação de planícies, diques, pontes, terraços, retificação, ocupação do leito Pressão intensa e direta	G, I	I) variável com cenário de ação no perímetro urbano; II) associação direta com a perda da qualidade funcional e estado ecológico do trecho fluvial urbano; III) variável associada com as ocupações irregulares sobre diques de controle hidráulico na foz.	R3
Variabilidade climática ENOS	Com influencia do ENOS. Perigos de inundações e ameaças de períodos de estiagem. Pressão direta e alta	A, B, C, D, E, F, G, H, I	Variável associada diretamente com a disponibilidade hídrica para abastecimento; II) variável associada diretamente com aumentos de enchentes, transbordamentos e inundações.	R4
Outputs	Valor indicador	Componente s biofísicos	Associações entre inputs e outputs	ID3
Abastecimento de água	Disponibilidade hídrica maior/menor Perda da qualidade de água no IQA Impacto moderado	C, E	Variável sob influência da variabilidade climática. Sob pressão das mudanças nos usos das terras de cursos médios e altos.	G1
Dinâmica das encostas e perdas de solos	Sem determinação quantitativa. Impactos intensos e erosão severa	B, D, E	Variável com cenário no sopé da cordilheira. Relação com aumentos de movimentos de massa. Variável associada com perda de disponibilidade hídrica (qualidade e quantidade).	
Serviços Ecosistêmicos	Diminuições da área específica = 28,69 km ² (19,75%) Impacto direto e alto	E	Variável sob pressão do desflorestamento, da expansão agrícola e das ocupações urbanas.	G3
Estrutura ecológica	Condição ecológica de ribeiras pobre. Qualidade da função hidrogeológica muito ruim. Impactos intensos e diretos	F, G, H, I	Variável sob pressão urbana decorrente de processos históricos ligados ao desenvolvimento da cidade. Há integração das características do rio com o planejamento urbano mediante projetos de renovação urbana.	G4

Elaboração e org.: Hincapié, 2017.

5.4 INTEGRAÇÃO DO PLANEJAMENTO E GESTÃO DA BHRC NA ÁREA METROPOLITANA DE CALI

5.4.1 Integração das funções da bacia desde os planos do nível nacional

Para entender as funções da bacia hidrográfica do rio Cali, no desenvolvimento metropolitano, considera-se relevante relacionar os níveis maiores de planejamento territorial e da gestão ambiental e hídrica. No primeiro caso, refere-se à *Política General de Ordenamiento Territorial da Colômbia*, estabelecida na Lei nº 1.454 de 2011. Essa política veio dar novamente protagonismo territorial aos departamentos, que tinham sido deslocados pela Lei nº 388 de 1997, com a qual as funções de organização das atividades territoriais se limitaram aos municípios e ao nível nacional. A Lei nº 1.454 de 2011, no artigo 29, confere-lhe competências pontuais aos *Departamentos*, para a elaboração de *Planos de Ordenamiento Territoriales Departamentales*. A Área Metropolitana de Cali teria, no plano de ordenamento departamental, um marco de direcionamento territorial.

Por sua vez, a política Nacional de Gestão de Recursos Hídricos tem, na proposta do *Plan Hídrico Nacional* (PHN) e no Decreto nº 1.640 de 2012, os mais importantes instrumentos de planejamento hídrico da Colômbia. O PHN e a Política hídrica nacional, serão tratados no último capítulo da tese, entretanto, a proposta de um PHN, se constitui em planos de ação de quatro níveis geográficos: macrobacias, zonas hidrográficas, sub-zonas hidrográficas e microbacias. A bacia hidrográfica do rio Cali estaria, conforme essa proposta de planejamento hídrico, no terceiro nível (sub-zona hidrográfica), e teria um plano de ação com escala territorial específica (1:25000).

5.4.2 Integração das funções da BHRC desde os planos do nível regional

Na ordem departamental, a política de gestão territorial, relacionada com os interesses comuns da área metropolitana de Cali, tem sido estabelecida segundo os instrumentos de planejamento do Plan de Ordenamiento Territorial Departamental del Valle del Cauca (POTD). O POTD, promulgado desde o governo departamental, se configura como um instrumento roteador, que recolhe as potencialidades do território na jurisdição departamental e norteia o seu desenvolvimento. Sua função é de assessoramento e de articulação com os Planos de Ordenamiento Territorial dos

municípios, conforme a visão regional e/ou metropolitana. À esse respeito o POTD afirma:

“... aunque Cali no es un Área Metropolitana constituida legalmente, es la centralidad principal de una de las aglomeraciones más complejas y ricas del país, y sin embargo adolece de un gobierno para el manejo del conjunto de la aglomeración urbana en la que se inscribe” (POTD, 2014).

O POTD, articula a Área Metropolitana de Cali com a estrutura urbana do departamento, ocupando os vazios administrativos, que ainda existem na gestão de interesses comuns, como o abastecimento de água, sistemas integrados de transporte e planos residenciais. No entanto, o POTD ainda não está em execução, portanto se constitui em um projeto de planejamento, com uma visão integradora e focado, na prática, às atividades de assessoria para os municípios do departamento.

Por sua vez, os instrumentos de gestão hídrica regional, com jurisdição direta sobre a bacia hidrográfica do rio Cali, têm sido estabelecidos, por meio do decreto nº 1.729 de 2002 e posterior decreto nº 1.640 de 2012. Este último, de maior relevância, por estabelecer o baseamento jurídico e a estrutura de planejamento hídrico nacional, sobre a qual elaboram os *Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas* (POMCA). Em nosso caso, trataria-se do POMCA da bacia hidrográfica do rio Cali que se encaixaria, por sua vez, no PHN através de um plano de ordenamento em escala 1:25000, que entraria a definir os usos e aproveitamentos dos recursos hídricos da BHRC.

O primeiro POMCA da bacia do rio Cali, foi formulado no ano 2011, sob orientações do PHN, através de uma parceria entre a prefeitura de Cali, a Corporação CVC e o Sistema de Parques Naturais da Colômbia. No documento, se descrevem os atores e funções para o uso dos recursos hídricos da bacia, integrando as diferentes instituições ambientais e as zonas de produção hídrica da zona rural à montante, com as zonas de consumo das zonas urbanas na jusante. Este plano POMCA é considerado desatualizado por não incluir, na sua elaboração, a consulta e/ou deliberação do componente social e em função disso, há um segundo POMCA em elaboração por parte da CVC, que procura cumprir os conteúdos do decreto nº 1.640 de 2010.

5.4.3 Área Metropolitana de Cali

A área de influência direta da Região Metropolitana de Cali, está conformada, segundo Martinez e Patiño (2015), por 27 municípios, dos quais 17 correspondem ao departamentos do Vale do Cauca (*Cali, Jamundí, Yumbo, Palmira, Candelaria, Pradera, Florida, El Cerrito, Ginebra, Yotoco, Guacarí, Calima-Darien, Restrepo, Vijes, La Cumbre, Dagua e Buenaventura*), e 10 pertencem ao Departamento do Cauca (*Puerto Tejada, Villa Rica, Santander de Quilichao, Caloto, Padilla, Suarez, Guachené, Buenos Aires, Corinto, Miranda*).

No entanto, como afirmam os mesmos autores, há uma serie de condicionantes topográficas e tecnológicas, que interferem sobre a conectividade da região metropolitana e que propiciariam conurbações fragmentadas e novas centralidades, dentro dessa Região Metropolitana de Cali. Em consequência, a Área Metropolitana de Cali, teria uma abrangência menor, do que a sua região de influência e estaria conformada só por seis municípios: *Cali, Jamundí, Yumbo, Candelaria, Palmira e Puerto Tejada* (MARTÍNEZ; PATIÑO, 2015). Essa conformação da Área Metropolitana de Cali (AMC), descrita por Martínez e Patiño (2015) é a que adotamos na presente tese, para nós referir ao caso colombiano.

Entre os elementos do subsistema biofísico que conformam a AMC, estariam as áreas naturais protegidas do nível administrativo nacional e as áreas naturais do nível administrativo departamental: *Parque Natural dos Farallones de Cali; Parque Natural das Hermosas; Parque Natural Regional El Nima; zona natural protectora Guachinte; zona forestal protetora de Jamundí; reserva forestal nacional de Bitaco; reserva forestal nacional de Yumbo; redes hídricas das bacias hidrográficas dos rios Vijes, Mulaló, Yumbo, Arroyohondo, Lili, Meléndez, Cañaveralejo, Jamundí, Claro, Timba e; a reserva forestal de Cali e a bacia hidrográfica do rio Cali* (MARTÍNEZ; PATIÑO, 2015).

A Área Metropolitana de Cali, por não estar formalmente constituída, não tem uma agência de coordenação administrativa, que possa dirigir as funções e características dos seis municípios, numa integração ideal das competências e interesses comuns estabelecidos para as áreas metropolitanas da Colômbia, conforme a Lei nº 1.625 de 2013 e, portanto os esforços metropolitanos para a gestão dos interesses comuns, resultam descoordenados. Entretanto, esses vazios são preenchidos pela visão municipal, pelas visões institucionais da CVC e, recentemente,

pela visão regional territorial do POTD.

5.4.4 Integração desde os planos do nível municipal:

O nível mais básico da gestão territorial da Colômbia é o município. Cada município, conforme a Lei nº 388 de 1997 e Lei nº 1.454 de 2011, tem autonomia sobre o planejamento dos recursos do seu território, mas de forma articulada com a visão departamental e nacional. O *Plan de Ordenamiento Territorial Municipal* (POT) é o instrumento de planejamento de maior hierarquia e de direcionamento do município. O primeiro POT de Cali, foi formulado no ano 2001 e teve a sua atualização no ano 2014. O POT de 2014, descreve a relevância dos serviços da bacia do rio Cali e integra o conjunto de elementos naturais da jusante à estrutura ecológica principal da cidade.

No entanto, o POT, conforme a Política de Recursos Hídricos da Colômbia, é um instrumento subordinado ao POMCA da bacia do rio Cali. Nele, está delimitada a Estrutura Ecológica Principal de Cali, composta pelas áreas de conservação e proteção ambiental: Parque Natural Farallones de Cali; Reserva Florestal Protetora Nacional de Cali; Reservas da Sociedade Civil; todas elas pertencentes ao sistema nacional de áreas protegidas, SINAP. Também fazem parte desta estrutura ecológica principal, as áreas protegidas de caráter municipal. Assim, através do POT Cali trata de integrar os componentes ecológicos e hídricos da bacia do rio Cali ao desenvolvimento da cidade.

Diante desse panorama podemos afirmar que, na área da bacia hidrográfica do rio Cali há camadas sobre postas de planos da política territorial e planos de política de gestão integral hídrica, pertencentes a diversas instituições, com jurisdição na BHRC e, uma vez que a Área Metropolitana de Cali não está institucionalmente constituída, a integração é realizada, de fato, a partir desses diferentes planos e frentes organizacionais.

5.4.5 Marco institucional da gestão ambiental e territorial na BHRC

Instituições de nível nacional: o arcabouço institucional de nível nacional, com funções de gestão ambiental sobre a AMC e a bacia hidrográfica do Rio Cali, compõe-se pelo: I) o Ministério de Ambiente da Colômbia que é responsável pela administração do Parque Nacional Natural Farallones de Cali (PNF). O PNF é uma

área de reserva pertencente ao *Sistema Nacional de Áreas Protegidas* da Colômbia, que exerce a função de autoridade ambiental na sua jurisdição; II) o escritório regional do *Instituto Geográfico Agustín Codazzi* (IGAC), encarregado de fornecer apoio nos assuntos cartográficos e cadastrais dos usos das Terras; III) o escritório regional do Serviço Geológico Colombiano – SGC e; IV) o escritório regional do IDEAM encarregado de monitorar, coletar e fornecer dados hidrometeorológicos dos sistemas hídricos.

Instituições da nível departamental: as instituições, de ordem departamental, que fazem parte da rede para a gestão ambiental da área metropolitana de Cali são: I) *Gobernación del Departamento*, é o governo central do departamento e representa toda a institucionalidade e o papel do Estado na ordem intermediária; II) a *Corporación Autónoma del Vale del Cauca* (CVC), autoridade ambiental com a função de controle e fiscalização sobre uso e aproveitamento sustentável dos recursos hídricos e naturais da sua jurisdição, mas também com funções de ordem territorial; III) *Corporación Vallecaucana de las Cuencas Hidrográficas y el Medio Ambiente* (CORPOCUENCAS). Entidade departamental com as funções de apoiar a gestão do governo departamental na recuperação ecológica e saneamento básico das bacias hidrográficas do departamento; IV) *Vallecaucana de Aguas E.S.P.*, é uma empresa pública departamental com foco na gestão dos serviços públicos de abastecimento de água e saneamento ambiental de um conjunto de municípios, inscritos no plano departamental de águas;

A CVC é a máxima autoridade ambiental no Vale do Cauca. Devido as suas faculdades administrativas, conferidas pela Lei nº 99 de 1993, funciona como a agência formuladora e executora de políticas ambientais e como o órgão de controle ambiental. A CVC atua, conforme a formulação e execução do Plano de Gestão Ambiental Regional (PGAR, Decreto nº 1200 de 2004), que funciona como instrumento de planejamento ambiental para o departamento.

Marco institucional do nível municipal: os órgãos encarregados do planejamento territorial e urbano e da gestão ambiental municipal de Cali são: I) *Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente* (DAGMA). O DAGMA, conforme estabelecido na Lei nº 99, de 1993, é a maior autoridade ambiental do município, atuando na jurisdição circunscrita ao perímetro urbano de Cali. Ao DAGMA, corresponde a formulação da política ambiental municipal, a gestão do recurso hídrico, monitoramento e controle da qualidade do ar, inventários de emissões, execução de

projetos de preservação das matas ciliares, entre outros. Por fim, os assuntos que ultrapassam o perímetro urbano devem ser combinados com a CVC em comissões conjuntas; II) *Departamento de Planeación Municipal*, que tem a função de formular as políticas de planejamento urbano da cidade. Nesse sentido, é o encarregado de formular o Plano de Ordenamento Territorial (POT), conforme a Lei nº 388 de 1997, que se constitui no maior instrumento de planejamento de ordem municipal. A *Empresa de Renovación Urbana (EMRU)*, o EMRU, foi criada pela prefeitura como órgão executor dos programas e projetos formulados pelo departamento de planejamento e especificamente pelo POT.

5.4.6 Jurisdição institucional sobre a bacia hidrográfica do rio Cali

Em termos político-administrativos, a BHRC é compartilhada entre Cali e o município de *Yumbo*, sendo que 95,27% da área da bacia (20.480,98 ha), pertence ao município de Cali e 4,73% (1.016,65 ha), corresponde ao município de *Yumbo* (PREFEITURA DE CALI, 2011).

Em relação às instituições e autoridades de caráter ambiental, a BHRC está sujeita à presença de três jurisdições diferentes. Na montante, a bacia é jurisdição do *Parque Nacional Natural Farallones de Cali* (PNF). O PNF, tem uma área de 196.429 e foi criado no ano 1968, com o intuito de proteger a alta biodiversidade e endemismo, desta parte da cordilheira ocidental da Colômbia. Nos cursos médios, a BHRC é jurisdição da CVC, que tem a missão de exercer autoridade ambiental e promover o desenvolvimento sustentável, numa zona de reserva florestal, de 156.240 há, que abrange parte dos municípios de *Cali*, *Jamundí*, *La Cumbre*, *Vijes* e *Yumbo*, missão realizada por meio de atividades de controle e execução dos projetos do PGAR. Por último, a jusante e foz do Rio Cali pertence à jurisdição do DAGMA.

As três instituições relacionadas no parágrafo anterior, são autoridades ambientais com hierarquias diferentes: a primeira é de caráter nacional, ligada ao Ministério do Meio Ambiente; a segunda é de caráter departamental, mas autônomo; e a última é uma instituição de ordem municipal. O fato de que a BHRC esteja circunscrita na jurisdição de três instituições ambientais diferentes, e que o seu território seja compartilhado por dois municípios, requer um tratamento cuidadoso para a elaboração e execução de planos que considerem o conceito de integração metropolitana (BUIRAGO, *et al.*, 2011).

5.4.7 Mecanismos de resposta do tipo R1: Dinâmicas urbanas em fundos de vale

Na Colômbia, são varias as normas, que estabelecem a proteção de terras nas margens de rios e que, portanto, restringem os usos distintos à preservação (Lei nº 2 de 1959; Lei nº 135 de 1.961; Decreto nº 877 de 1.976; Decreto nº 1.449 de 1977; Decreto nº 1.541 de 1978; e Lei nº 1.450 de 2011). O Decreto nº 2.811 de 1974, da normatividade colombiana, estabeleceu proibições aos usos em margens de rios sobre a largura de 30 m das áreas de proteção permanente.

O Artigo 20 do POT do ano 2014, conforme o *Acuerdo Municipal* nº 0373 de 2014, tem criado 15 Unidades de Planejamento Urbano (UPU), que funcionam como instrumentos de planejamento, adaptados para porções urbanas com características similares. Entre essas UPUs a número oito, intitulada “UPU Cerros” é a mais relevante para nossa pesquisa. A delimitação dessa área, considera a expansão urbana e consequente pressão sobre os cursos baixos e médios da BHRC. As UPUs do POT, têm a função de harmonizar as atividades econômicas e urbanas em diversas porções do território, mas sem se sobrepor aos objetivos maiores do POT. Trata-se de um planejamento urbano mais detalhado, em zonas que apresentam características especiais, seja pelo incremento da população, pelas condições geomorfológicas da área ocupada, ou pelas dinâmicas econômicas que contém.

De outro lado, a estrutura ecológica municipal e os componentes e normas para o manejo da estrutura ecológica municipal, em suas divisões principais e complementares, foram estabelecidos nos conteúdos dos Artigos 58, 63 e 64 do *Acuerdo* nº 0373 de 2014, referente ao POT.

Em relação à gestão integral dos recursos hídricos, a CVC, seguindo as orientações da Política Hídrica Nacional, divide o departamento do Vale do Cauca em duas grandes vertentes: a do Rio Cauca, da qual faz parte a bacia do Rio Cali; e a vertente ou região hídrica do Oceano Pacífico. Nesse sentido, definem-se os objetivos de qualidade hídrica para as fontes superficiais e se formulam planos de bacias hidrográficas.

A definição dos objetivos de qualidade para os corpos hídricos, está ligada à necessidade de implementar uma série de planos, para o melhoramento da qualidade das águas dos afluentes. Entre esses planos, a normatividade exige a formulação dos “*Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas*” (POMCAs), que se circunscrevem aos conteúdos do Decreto nº 1.640 de 2012. Da mesma forma, no

contexto dos objetivos de qualidade hídrica, estabelecidos pela CVC, formularam-se os planos de bacia, os *Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos* (PSMV), os *Planes de Uso Eficiente del Agua* (PUEEA) e os *Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos* (PGIRS), que por sua vez conformam o sistema de serviços públicos domiciliares. O Quadro 38, apresenta os mecanismos de resposta perante os usos urbanos em fundos de vale, de eixos fluviais:

Quadro 38. Matriz de resposta do tipo R1: usos urbanos em fundos de vale

Descrição das respostas, integrações ou ações de gestão e planejamento
Modificação dos padrões hidrogeomorfológicos do sistema fluvial nos fundos de vale. Retificação. Levantamento de diques. Perda da funcionalidade ecológica das margens. Ocupação das antigas planícies de inundação. <u>Implementação de instrumentos de planejamento urbano:</u> I. Criação das Unidades de Planejamento Urbano (UPU) II. Definição da estrutura ecológica municipal e estabelecimento de planos de manejo III. Formulação do plano saneamento e manejo de despejos da rede de esgotos. Com esse plano se propõe organizar a rede de esgotos para que os poluentes hídricos não se misturem com as águas pluviais. <u>Implementação de medidas estruturais:</u> I. Construção de infraestrutura urbana consistente em parques lineais que integram a paisagem fluvial com os espaços públicos (ciclovias, bulevares). Um projeto terminado e um projeto de parque lineal na borda do rio Cali em execução.

Elaboração: Hincapié, 2017.

5.4.8 Mecanismos de resposta do tipo R2: mudanças das coberturas das terras nos propósitos de gestão

Diferentemente da bacia de análise no Brasil, na bacia do Rio Cali, há uma população rural distribuída em um conjunto de dez “*corregimientos*”. O documento POMCA do ano 2011, apresenta uma proposta de zoneamento ecológico e econômico da bacia, com delimitação de usos dos solos. Nessa proposta, o POMCA proíbe usos residenciais nas áreas de reserva florestal, com jurisdição da CVC, ao mesmo tempo que determina usos de recuperação ambiental nas áreas dos *corregimientos*, com o

intuito de deter os usos do solo, relacionados a urbanização e estipular o tamanho das propriedades.

O documento POT de Cali, do ano 2014, cuja hierarquia é menor que a do POMCA, estabelece um zoneamento econômico e ecológico mais rigoroso do que o POMCA. Nos artigos 22 e 23 do POT, são definidas as Unidades de Planejamento Rural (UPR). Estas UPR, funcionam como instrumentos de planificação das áreas rurais e se estabelecem, no marco normativo nacional, através do Decreto nº 3.600 de 2007. Nesse decreto, são descritas as orientações para a formulação dos planos de ordenamento das terras em áreas rurais. As UPR 1 e 2, abrangem todos os dez *corregimientos* da bacia do rio Cali. No entanto, tanto as UPRs como as UPUs propostas no *Plan de Ordenamiento Territorial de Cali*, ainda não se foi implementado e só aparece como parte do planejamento estratégico de longo prazo da cidade.

O Artigo 388 do POT, baseado nos conteúdos do Decreto nº 3.600 do 2007, refere-se ao zoneamento para as áreas rurais de Cali e descreve as restrições para a ocupação, uso e aproveitamento das terras rurais e segundo a conformação das UPRs. Os mecanismos de resposta para as mudanças nas coberturas das terras estão relacionados no Quadro 39:

Quadro 39. Matriz de resposta do tipo R2: mudanças nas coberturas das terras

Descrição das respostas, integrações ou ações de gestão e planejamento	
<u>Implementação de instrumentos de planejamento rural:</u>	
I.	Criação das Unidades de Planejamento Rural de Cali, entre as quais se encontram as áreas rurais pertencentes à bacia do rio Cali e do rio <i>Aguacatal</i> .
II.	Formulação dos planos de ordenamento territorial rural das UPR.
III.	Zoneamento econômico e ecológico para as UPR
IV.	Inclusão do avanço das ocupações urbanas mediante a formulação do Plano de Gestão Ambiental Rural da CVC.
Plano de mineração da BHRC. Delimitação das áreas de exploração. Planos de manejo para a exploração.	

Elaboração: Hincapié, 2017.

5.4.9 Mecanismos de resposta do tipo R3: variabilidade climática

Conforme apontado por Ávila *et al.*, (2014), o regime hidrológico da bacia hidrográfica do rio Cali é afetado pela ocorrência do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), em ambas as duas fases, sendo que a fase fria (*La Niña*), influi sobre o aumento das precipitações pluviométricas e a fase quente (*El Niño*), sobre a diminuição dessas precipitações. O ENOS, afeta diretamente o componente de integração relacionado ao desabastecimento, ao aumento de perigos por movimentação de materiais não consolidados em zonas declivosas e à diminuição da produtividade primária. Colateralmente a fase fria do ENOS, influi sobre a ocorrência de inundações no perímetro urbano de Cali.

No cenário maior da bacia hidrográfica de Cali, externo ao perímetro urbano, não há infraestrutura para a regulação hídrica. A resposta do município, foca-se nas medidas de contingência, na elevação de diques e na utilização de instrumentos de planejamento territorial.

Em relação aos instrumentos de planejamento, o documento POMCA do rio Cali (ALCALDÍA DE CALI, 2011), formulado no ano 2011, sob o contexto do *Plano Hídrico Nacional*, estabelece a criação de um programa de monitoramento para a identificação de ameaças e riscos na montante, que sejam gerados pela dinâmica da variabilidade climática e da mudança climática. A criação do programa, prevê mitigar e atender os perigos de movimentos de massa. Por sua vez, o POT do ano 2014, nos artigos 39 e 40, estabelece as diretrizes para a identificação, zoneamento e manejo de áreas de ameaças muito altas, por movimentos de massas.

No perímetro urbano, as enchentes produzidas pela variabilidade climática são, de fato, mitigadas mediante medidas de contingência, como dragagens do leito principal do rio Cali, e outros rios da cidade, limpeza dos canais artificiais, reforço nos diques do rio Cali e gestão integral de resíduos sólidos, principalmente pela gestão relacionada com a limpeza de ruas e áreas públicas.

Em relação à preparação e gestão ambiental territorial de Cali, em um cenário de mudança climática, o POT (ALCALDIA DE CALI, 2014), estabelece, no seu artigo 104:

En el corto plazo, el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) conjuntamente con la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, (CVC) en el marco de sus competencias legales formularán el Plan de Acción Municipal para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático, con base en el análisis y

construcción de escenarios de variabilidad climática, como un instrumento de planeación que integra, coordina e impulsa acciones para disminuir los riesgos sociales, ambientales y económicos derivados del cambio climático (POT Cali, Acuerdo 0373 de 2014, p 104-105).

Quadro 40. Matriz de respostas do tipo R3: variabilidade climática

Descrição das respostas, integrações ou ações de gestão e planejamento
Bacia com alta influência à variabilidade climática do ENOS sobre a disponibilidade hídrica e enchentes.
<u>Implementação de instrumentos de planejamento conjunto e Inter jurisdicional:</u>
I. Formulação do Plano de manejo da BHRC - POMCA
<u>Implementação de instrumentos de planejamento de nível municipal:</u>
I. Plano de ordenamento territorial POT: define áreas de ameaças e risco não mitigáveis; define a necessidade da formulação de planos de manejo especial para essas áreas de ameaça e risco.
<u>Implementação de planos de contingencia consistentes em:</u>
I. Dragagens
II. Elevação e reforço de diques
III. Manutenção das estruturas complementares da rede de drenagem (bombas, grelhas,)
IV. Limpeza de canais, ruas e áreas públicas

Elaboração: Hincapié, 2017.

5.4.10 Matriz de integração

A terceira parte do capítulo, relacionado à área de análise da Colômbia, esteve focado ao cumprimento do objetivo três da nossa tese. Seguidamente, apresenta-se uma síntese relacionada aos mecanismos de resposta, do tipo normativo e institucional, perante os processos de pressão na bacia hidrográfica do rio Cali.

Embora exista, de fato, uma Área Metropolitana de Cali (MARTÍNEZ; PATIÑO, 2015), ainda que não conformada oficialmente, a estruturação urbana da AMC, depende dos processos de planejamento da prefeitura de Cali, assim como das dinâmicas socioeconômicas e organização espacial resultantes do capital. A estrutura urbana do município de Cali, se divide em 22 comunas e 15 corregimientos. Dentre esses, há dez *corregimientos* que se inserem na área rural da bacia, e duas comunas,

que se inserem, total ou parcialmente, na jusante. Há dois instrumentos de planejamento territorial, relacionados diretamente à bacia: o Plano de Ordenamento Territorial (POT) do ano 2014 e o Plano de Ordenamento e Manejo da Bacia (POMCA), do ano 2011, sendo o POMCA de maior hierarquia territorial e institucional que o POT. O POMCA, se insere por sua vez, na hierarquia do Plano Hídrico Nacional, que funciona como plano e ação da Política Hídrica da Colômbia e depende da articulação interinstitucional entre as autoridades ambientais da bacia (CVC, PNN e DAGMA) e dos seus planos de ação (PGAR, PAT).

As respostas perante os processos de pressão, se descrevem nos conteúdos dos POT e POMCA e nos instrumentos de gestão, próprios das autoridades ambientais, que lhes foram conferidos nas leis e normativas ambientais colombianas (comando e controle, participação social, mecanismos financeiros).

O POMCA, embora seja um instrumento que define o manejo integrado da bacia é o POT, que descreve de forma detalhada as ações para o manejo e integração com a área metropolitana de Cali. Entre os componentes do POT de Cali, do ano 2014, se destacam, para efeitos desta pesquisa, as Unidades de Planejamento Rural, que tem por objetivo configurar a ocupação e atividades socioeconômicas dos corregimientos localizados nos cursos médios da bacia.

6 ANÁLISE COMPARATIVA

Até aqui as descrições das características físicas e bióticas, foram utilizadas para entendermos a composição, complexidade e funcionamento dos sistemas hidrogeomorfológicos das bacias hidrográficas. Posteriormente, os processos de pressão, selecionados e operacionalizados, mediante variáveis independentes, permitiram-nos identificar algumas características da relação sociedade – natureza, o que, desde uma visão antropocêntrica seria, dos impactos que as dinâmicas demográficas e socioeconômicas produzem em bacias fornecedoras de bens e serviços. Esses impactos, foram operacionalizados mediante as variáveis dependentes.

A análise dos arcabouços normativos e institucionais, criados para a tomada de decisões, permitiram-nos, conhecer as respostas administrativas, frente aos processos de pressão nas bacias hidrográficas, e vislumbrar a possível integração ao desenvolvimento das áreas metropolitanas, ou seja, não só a resposta de gestão e manejo da bacia, mas também do aproveitamento estratégico desde a visão metropolitana, o que finalmente temos chamado de “variáveis teóricas”, que apontam à resposta da pergunta de pesquisa, assim com à verificação da hipótese.

É preciso abordar a análise a partir das dimensões territoriais e ambientais, dos processos históricos, que têm consolidado dois tipos de perspectivas de gestão, a territorial e histórica, focada nos assuntos político administrativos, e de maneira mais recente, a gestão ambiental e hídrica, focada na integração e harmonização de todos os componentes do território.

Nesta ordem de ideias, o capítulo final foca-se na análise comparativa do funcionamento desses arcabouços normativos e institucionais, dos dois grandes eixos, o territorial e o ambiental, destacando as suas diferenças e particularidades, no intuito de discutir aspectos que possam ajudar a consolidação de cada um deles.

6.1 Análise comparativa desde a Gestão Integral dos Recursos Hídricos do Brasil e da Colômbia

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) foi estabelecida na Lei Federal nº 9.433 de 1997. Esta lei estabeleceu o Sistema Nacional de

Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH), incentivou a elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos e a conformação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). No contexto desse novo Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos surgiram: a Agência Nacional de Águas (ANA); os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal e os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH). A composição do CNRH, procura estabelecer uma visão sistêmica e democrática nas decisões nacionais sobre a GIRH, ao incluir todos os atores relacionados aos recursos hídricos, isto é, a participação de ministros, representantes dos conselhos estaduais, representantes dos usuários da água e organizações civis (BRASIL, 1997).

O Artigo 5º dessa Lei Federal nº 9.433 de 1997, estabelece seis instrumentos de gestão, que descrevem as formas mediante as quais a água converte-se em recurso hídrico e como ela é regulada e disponibilizada de acordo com usos:

- Planos de recursos hídricos;
- Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- Cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- Compensação a municípios;
- Sistema de informações sobre recursos hídricos.

Em relação ao enquadramento dos corpos hídricos em classes o Art. 9º, da Lei 9.433 de 1997, estabeleceu que as classificações de cursos em rios, seriam feitas mediante legislação ambiental, conforme as dinâmicas dos rios e conforme a rigorosidade técnica dos Estados na sua implementação. Em concordância, as outorgas são condicionadas às prioridades de uso estabelecidas nos planos de recursos hídricos federais ou estaduais e respeitando a classe em que o corpo hídrico encontra-se classificado (ANA, 2016; BRASIL, 1997).

Na relação com a hierarquia do marco institucional para a execução da política hídrica, o Brasil criou a Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da Lei Federal nº 9.984 de 2000, como uma autarquia sob regime especial, com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente e com a finalidade de implementar, em sua esfera de atribuições, a PNRH, integrando o

Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A ANA possui características institucionais e operacionais de escala federativa e, além de ser o órgão gestor, é a autoridade responsável pela gestão das águas de domínio da União, como previsto na Constituição Federal de 1988, ou seja, os rios que atravessam mais de um Estado, os rios transfronteiriços, os reservatórios construídos com recursos da União e as águas que estão em terrenos de seu domínio (ANA, 2016; BRASIL, 1997).

A política hídrica do Brasil, confere à bacia hidrográfica, um papel importante na gestão dos recursos hídricos, definindo-a como a unidade básica físico-territorial, para a implementação da GIRH. Consequentemente, os CBH, também são reconhecidos na Lei Federal nº 9.433 de 1997, como uma das instâncias de gestão. Estão compostos por três segmentos: poder público, usuários de recursos hídricos e entidades civis. Os integrantes dos Comitês deliberam e decidem sobre os usos das águas, conforme necessidades e interesses locais e regionais. Os processos e decisões são efetivados mediante concertação e votação, cuja distribuição do poder decisivo ocorre da seguinte forma: máximo de 40% para o poder público, 40% para os usuários de recursos hídricos e mínimo de 20% para sociedade civil.

A Lei 9.433 de 1997, faz ênfase em afirmar que a bacia hidrográfica é a unidade física de planejamento. À esse respeito Braga (2009) afirma:

“O plano de microbacia hidrográfica é uma escala menor de gestão e muito mais aproximada da realidade local, o que facilita o entendimento das relações entre solo-agua-floresta e a avaliação das consequências do mau uso do solo na agricultura ou pecuária, ou ainda, da ocupação urbana formal e informal” (BRAGA, 2009, p.24).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos do Brasil, estabelecido pela Lei nº 9433 de 1997, delimita 12 regiões hidrográficas de abrangência nacional no Brasil, entre elas é de nosso interesse a Região Hidrográfica do Paraná, que abarca a bacia hidrográfica do rio Iguaçu que, por sua vez, divide-se, administrativamente, nos Comitês da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu, do Médio Iguaçu e do Baixo Iguaçu. A BHRP, conforma parte do Alto Iguaçu e se integra à Política Nacional Hídrica, através dos enquadramentos de corpos hídricos, que são orientados pelo comitê da bacia do Alto Iguaçu.

Na Colômbia, sob o contexto do plano nacional de desenvolvimento do governo presidencial do período de 2006-2010, o ministério de ambiente da Colômbia, formulou a política de Gestão Integral de Recursos Hídricos (GIRH). Esta política, foi

promulgada no ano de 2010, com uma projeção de 12 anos, na qual se estruturou um modelo espacial para a ordenação das bacias hidrográficas do país (COLÔMBIA, 2010). Complementarmente à política de GIRH, a promulgação do Decreto nº 1.640 de 2012, regulamentou os artigos da Lei nº 99 de 1993 e do Código dos Recursos Naturais da Colômbia (Decreto nº 2811 de 1974), relacionados ao ordenamento e gestão de bacias hidrográficas.

O Decreto nº 1.640 de 2012, estabelece a hierarquia das bacias hidrográficas do país, para a implementação dos planos de ordenamento e de gestão. Nesse sentido, o decreto propõe a elaboração dos *Planes Estratégicos de las Áreas Hidrográficas*, os quais compreendem uma classificação de quatro níveis nos quais se divide o sistema hídrico e ambiental do país. O maior nível dessa classificação hierárquica, corresponde as cinco macrobacias ou áreas hidrográficas do país (*Magdalena – Cauca; Caribe; Orinoco; Amazonas e Pacífica*). Esse nível se concentra no planejamento estratégico de visão nacional, conforme as características e potencialidades de cada região. A escala cartográfica para a formulação de planos de ação é de 1:500000.

O segundo nível, refere-se às bacias hidrográficas objeto de instrumentação e monitoramento do nível nacional. A funcionalidade desse nível é a de avaliar a qualidade do recurso hídrico, avaliar as alterações por usos, aproveitamentos ou poluição, e melhorar o conhecimento da dinâmica hidrológica. A instrumentalização se realiza em 42 zonas hidrográficas, definidas pelo IDEAM. Os planos de ação desse nível se realizam em escala cartográfica de 1:250000.

O terceiro nível do plano hídrico nacional, refere-se à formulação de planos de ordenamento e manejo de bacia hidrográfica. A função desse nível hierárquico, no plano nacional, é a de estabelecer diretrizes para o aproveitamento social e económico dos recursos naturais das bacias e do aproveitamento do recurso hídrico. Neste nível, o planejamento das ações se realizam em escala cartográfica de 1:25000 e deve ser formulado com participação da comunidade, contendo aspectos como diagnostico participativo, zoneamento ambiental, monitoramento e avaliação.

Por fim, o último nível hierárquico dessa classificação, refere-se à formulação de planos e programas de manejo ambiental para microbacias e aquíferos, na busca por atender problemáticas locais e específicas, e promover iniciativas de proteção e conservação. As escalas cartográficas dos planos se realizam em escala de 1:10000 para microbacias e 1:25000 para aquíferos. O Quadro 41, apresenta de forma

resumida a estrutura hierárquica planos estratégicos do sistema hídrico da Colômbia.

Quadro 41. Estrutura dos planos estratégicos das áreas hidrográficas da Colômbia conforme o Decreto nº 1.640 de 2012

Nível	No. de divisões	Objetivo	Responsáveis	Plano de ação	Escala do plano
1. Macrobacia	5	Estabelecer orientações para o planejamento estratégico do nível nacional	Ministério de Ambiente, institutos de pesquisa, CARs, governos departamentais	Planos estratégicos	1:500000
2. Zona hidrográfica	41	Implementação da rede nacional de monitoramento do recurso hídrico (qualidade e quantidade)	Ministério de Ambiente, institutos de pesquisa, CARs, governos departamentais	Plano nacional de monitoramento hídrico	1:250000
3. Subzonas hidrográficas	309	Ordenação e manejo do recurso hídrico e dos recursos naturais das bacias hidrográficas	Ministério de Ambiente, institutos de pesquisa, CARs, governos departamentais	Plano de ordenamento e manejo de bacia hidrográfica (POMCA)	1:25000
4. Microbacias e aquíferos	-	Desenvolver medidas de proteção, conservação e manejo de microbacias	CARs, prefeituras	Planos de manejo ambiental	1:10000 1:25000

Fonte: Ministério de Ambiente de Colombia (2012).

A implementação da política hídrica efetiva-se, conforme as fases de ação, por meio dos mecanismos econômicos e financeiros existentes no marco normativo ambiental do país (outorgas, licencias de uso e extração, cobrança, registro de usuários, sistemas de informações). O marco institucional colombiano, que existe desde a Lei nº 99 de 1993, delega às CAR, a responsabilidade pela formulação dos planos de gestão ambiental e hídrica, nas suas jurisdições que, na maioria das vezes, coincidem com os limites departamentais. Assim, com a função de exercer controle e fiscalização sobre o uso e aproveitamento dos recursos naturais (MINISTÉRIO DE AMBIENTE COLÔMBIA, 2016). Para o cumprimento dessas funções, a política hídrica se apoia no arcabouço da normativa ambiental colombiana, e nas quais se estabelecem os seguintes instrumentos de gestão:

- **Instrumentos de planejamento:** refere-se aos planos relacionados no quadro 41, junto às metodologias técnicas oficiais para sua elaboração, promulgadas pelo *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* (IDEAM). Dentro desses planos relacionam-se metas e indicadores de cumprimento que funcionam como instrumentos normativos

desses planos.

- **Instrumentos de administração ou de comando e controle:** entre eles: outorgas, licenças e autorizações, necessárias para o uso e aproveitamento de recursos naturais e proferidas pelas autoridades ambientais.
- **Instrumentos de monitoramento e seguimento:** materializados no sistema de informações dos recursos hídricos do IDEAM, e no *Sistema de Informaciones Ambientales de Colombia* (SIAC), além dos sistemas de monitoramento das escalas departamentais pertencentes às CARs.
- **Instrumentos econômicos e financeiros;** a Lei nº 99 de 1993 estabelece, nos artigos 42 e 43, a normativa para as cobranças pelos usos das águas, que consistem em: taxas pela utilização das águas; taxas compensatórias; incentivos tributários.

O Estado colombiano, no contexto da culminação dos conflitos armados, tem criado uma série de leis e decretos, que procuram apoiar o processo de paz e a reinserção de guerrilheiros. Nesse sentido, foi criado o Decreto nº 870 de 2017, que estabelece a normatividade nacional para o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Esses PSA, foram criados com dois propósitos: contribuir com o aproveitamento sustentável dos recursos naturais e gerar incentivos econômicos para populações dependentes de atividades ligadas ao campo ou à terra. Assim, os PSA funcionam como outro instrumento de gestão da política hídrica nacional. Por fim, a bacia hidrográfica do rio Cali, estaria inserida como uma subzona hidrográfica, no contexto da Política Hídrica Nacional, mediante a formulação e execução do instrumento de planejamento do *Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Rio Cali* (POMCA).

Finalmente propomos no Quadro 42, uma comparação da gestão hídrica dos dois países, considerando a descrição de três modelos de gestão hídrica, analisados por Tonet e Lopes (1994) e Setti *et al.*, (2001), a saber: modelo burocrático, modelo econômico-financeiro e modelo sistêmico de integração participativa:

Quadro 42. Comparação do modelo de gestão hídrica de Brasil e da Colômbia

Critério	Brasil	Colômbia
Tipo governo	Federativo	Unitário
Divisão político-administrativa	26 Estados e um Distrito Capital.	32 Departamentos.
Lei ou política hídrica	Política Nacional dos Recursos Hídricos. Lei Federal nº 9.433/1997.	Política hídrica de governo formulada no ano de 2010 com caducidade de 12 anos.
Marco institucional	Agência Nacional de Águas em escala nacional. Institutos ou órgãos gestores independentes nas escalas estaduais que trabalham em parceria com as Secretarias de Recursos Hídricos, meio ambiente ou obras públicas.	O Ministério do Ambiente é o encarregado da execução das políticas hídricas, mas nos níveis departamentais são as corporações autônomas regionais (CARs) que fazem a GIRH de forma autônoma.
Planejamento dos recursos hídricos	Divisão do país em 12 regiões hidrográficas. Planejamento das bacias hidrográficas segundo os CBH. Na ausência desses comitês as Secretarias de Ambiente ou de recursos hídricos são as encarregadas até a conformação formal dos CBH.	A política trás a proposta de estabelecer cinco regiões hídricas geográficas para o planejamento hídrico estratégico em escala 1:500000. Além do macrozoneamento, a política hídrica inclui mecanismos para a ordenação e manejo de bacias (1:100000) e planos de manejo de sub-bacias em escalas detalhadas (1:10000).
Participação civil na tomada decisões	A participação é deliberativa. Nos CBH há representação compartilhada entre sociedade civil, usuários da água e governo, cada um possui uma porcentagem na composição e poder de decisão.	As CAR são as instituições encarregadas da formulação de planos de bacia hidrográfica; a participação da sociedade civil nestes planos é do tipo consultivo.
Instrumentos de gestão	• Planos de recursos hídricos • Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água • Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; • Cobrança pelo uso de recursos hídricos; • Compensação a municípios; • Sistema de monitoramentos e informações sobre recursos hídricos. • Comitês de bacia hidrográfica	• Plano de recursos hídricos (<i>Plan Hídrico Nacional</i>) • POMCAs • Outorgas • Cobrança • Incentivos tributários • Sistemas de monitoramento e de informação
Modelo de gestão	Sistêmico de integração participativa	Modelo Burocrático-Financeiro

Elaboração: Hincapié, 2017.

Do Quadro 42, consideramos muito relevante destacar que na Colômbia, a diferença de Brasil, não existe formalmente a figura do comitê de bacias hidrográficas. Por sua vez, existe na Colômbia a figura de conselhos de bacias e comissões conjuntas de bacias interdepartamentais. Essas comissões e/ou conselhos de bacia se compõem pelos diversos agentes institucionais, sociais, usuários da água, e organizações comunitárias, todos envolvidos na gestão da bacia. No entanto, esses

conselhos e comissões limitam-se à consulta, mas não há participação deliberativa como no caso de Brasil.

6.3 Análise comparativa da gestão metropolitana e ambiental nos contextos Estadual/Departamental do Brasil e da Colômbia

A implementação do planejamento e gestão ambiental pública do Brasil, inclui três grandes pilares: a Lei Federal nº 6.938 de 1981, sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA); a Lei Federal nº 9.433 de 1997, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH); e o Código Florestal Brasileiro de 2012 (Lei Federal Nº 12.651 de 2012). Os instrumentos desses grandes pilares de gestão ambiental territorial, podem se classificar em três categorias: planejamento e gestão do espaço (zoneamento ambiental, planos de microbacias hidrográficas, áreas de preservação permanente, reservas legais, e unidades de conservação); controle e uso dos recursos naturais (licenciamento ambiental, outorga, cobrança) e; direito à informação (cadastro de atividades poluidoras, cadastro de usuários da água). A referência espacial, para agrupar e articular estas leis federais de gestão ambiental territorial é a bacia hidrográfica. Assim, de forma articulada estas leis, com seus princípios, sistemas e instrumentos de gestão, conformam uma base sólida para a gestão ambiental e planejamento do território brasileiro (BRAGA, 2009).

A Lei nº 6.938 de 1981, estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente do Brasil e define a conformação do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), e do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA). O Decreto nº 99.274 de 1990, regulamentou o SISNAMA, estabelecendo sua estrutura da seguinte forma: o órgão superior é o conselho de governo, o COMANA assume como órgão consultivo e deliberativo, o Ministério de Ambiente é o órgão central, o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) é o órgão executor e, os órgãos seccionais de ordens estaduais e locais são os encarregados da execução dos programas e projetos de gestão e controle ambiental nas suas jurisdições (MMA, 2017).

Em relação à estruturação e conformação de áreas metropolitanas, o Brasil mostra maiores avanços, quando comparado com a Colômbia e outros países da América do Sul. O rápido processo de urbanização e a necessidade de formalizar as áreas metropolitanas, fizeram surgir um conjunto de leis complementares, que

conformaram a Política Nacional de Desenvolvimento Urbano (PNDU), na década de 1970, já mencionadas no capítulo sobre marco teórico desta tese. O Artigo 2 da PNDU, estabeleceu que as instancias decisórias de cada região metropolitana, estaria constituída por um Conselho Deliberativo e um Conselho Consultivo, cuja criação caberia a cada Estado, mediante lei estadual, conforme as características, necessidades e interesses metropolitanos (IPEA, 2013). Na mesma lei, no artigo 5, se regulamentaram os serviços comuns entre municípios de áreas metropolitanas objeto de gestão entre eles (BRASIL, 1973; BRASIL, 1974, IPEA, 2013):

- Planejamento integrado do desenvolvimento econômico e social;
- Saneamento básico, notadamente abastecimento d'água, rede de esgotos e serviços de limpeza pública;
- Uso do solo metropolitano;
- Transportes e sistema viário;
- Produção e distribuição de gás combustível canalizado;
- Aproveitamento dos recursos hídricos e controle da poluição ambiental, na forma que dispuser a lei federal;
- Outros serviços incluídos na área de competência do Conselho Deliberativo por lei federal.

Posteriormente, a Constituição Federal do Brasil de 1988, facultou aos Estados Federados a competência da institucionalização e/ou criação de suas próprias regiões metropolitanas (ARAÚJO, 2009). Como parte deste processo de estruturação funcional o Estado do Paraná, ano 2016, tinha registradas e instituídas oito áreas metropolitanas: Apucarana, Campo Mourão, Cascavel, Curitiba, Londrina, Maringá, Toledo e Umuarama²¹.

Com a promulgação da Política Nacional de Desenvolvimento Urbano, a criação da Região Metropolitana de Curitiba, e a formulação do Plano de Desenvolvimento Integrado, na década de 1970, se criou as condições institucionais e normativas para a integração dos serviços de produção hídrica da BHRP como um elemento de grande interesse no futuro desenvolvimento de toda a RMC.

É nas escalas estaduais onde se percebem a maior integração entre o manejo das bacias hidrográficas e as áreas metropolitanas. No Paraná, tanto o conselho estadual ambiental, como o de recursos hídricos, promulgam e atualizam as políticas

²¹ Há um largo debate acadêmico no Brasil questionando a adoção do adjetivo “metropolitano” a determinados centros urbanos ou aglomerações urbanas que não possuem, conceitualmente, a complexidade funcional própria a uma área metropolitana. Desde este ponto de vista, não seriam, de fato, áreas metropolitanas as sete acima citadas excetuada a de Curitiba. No entanto, respeitou-se aqui a nomenclatura político-administrativa adotada naquele estado brasileiro.

e normatividades. A Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) é o órgão político principal e as instituições e órgãos seccionais do Paraná executam as políticas e orientações (por exemplo o Instituto de Águas do Paraná e o Instituto Ambiental do Paraná, entre outros). Cada um desses órgãos estaduais, funciona como uma autoridade e/ou autarquia, com funções institucionais definidas. Se vinculam nesse arcabouço de gestão: o enquadramento dos corpos hídricos; os planos estaduais de recursos hídricos; os Comitês de Bacias Hidrográficas; os planos de bacia hidrográfica e; os fundos econômicos para a execução da política ambiental.

Nesta ordem de ideais, há uma interface entre a gestão hídrica do Paraná e o planejamento metropolitano e urbano da RMC, materializado no arcabouço institucional de apoio à conformação e funcionamento do comitê de bacia hidrográfica do Alto Iguaçu e à execução do plano de bacia que, por sua vez, se articula com o PDI da Região Metropolitana de Curitiba e o sistema de gestão de mananciais da RMC.

Por sua vez na Colômbia, promulgou-se, conforme orientações e princípios da Convenção do Rio 1992, a Lei nº 99 de 1993, que criou o Sistema Nacional Ambiental (SINA). O SINA está integrado pelo: I) o Ministério de Meio Ambiente, como o órgão oficial gestor das políticas ambientais; II) cinco instituições técnicas e científicas, de ordem nacional, encarregadas da pesquisa e monitoramento dos sistemas ambientais em todo território²²; III) um conjunto de 32 Corporações Autônomas Regionais e/ou de Desenvolvimento Sustentável (CARs), com funções de autoridade ambiental e cuja jurisdição, na maioria das vezes, coincide com os limites administrativos territoriais dos departamentos e; IV) quatro autoridades ambientais com jurisdição nos perímetros urbanos de cidades, com populações maiores que um milhão de habitantes, entre elas o DAGMA da cidade de Cali.

Entre os instrumentos de planejamento territorial da Colômbia, se destacam os sistemas de informação de nível nacional, as guias técnicas de manejo ambiental por temáticas e os Planos de Gestão Ambiental Regional (PGAR), que devem formular e executar as CARs, conforme os Decretos nº 48 de 2001 e nº 1.200 de 2004. Esses PGARs, têm caducidade mínima de 10 anos e se complementam mediante planos de

²² 1. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* - IDEAM; 2. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos* - Alexander von Humboldt; 3. *Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas* – SINCHI; 4. *Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras* - “José Benito Vives de Andrés – INVEMAR; 5. *Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico* – John Von Neuman.

ação com caducidade de, em média, 3 anos. Os instrumentos de controle das CARs, para a execução dos PGARs incluem: licenciamento ambiental, diagnóstico ambiental de alternativas, estudos de impacto ambiental e contabilidade ambiental ou contas ambientais e os sistemas de monitoramento de nível regional.

A *Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca* (CVC) é a CAR, com jurisdição sobre o departamento do *Valle del Cauca* e, portanto, sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Cali. A CVC, conforme a Lei nº 99 de 1993, funciona como uma autarquia, independente do governo departamental, com orçamentos próprios e com poder sobre o gerenciamento, gestão, uso e aproveitamento dos recursos naturais de sua jurisdição. Ela funciona ainda como órgão formulador e executor das políticas ambientais departamentais, ao mesmo tempo que é um órgão executor das políticas promulgadas desde o Ministério de Ambiente e os outros órgãos de maior hierarquia do SINA (COLÔMBIA, 1993, 2012).

As Áreas Metropolitanas (AM) colombianas, têm origem com a reforma constitucional do ano 1968, na qual se estabeleceu que dois ou mais municípios, atendendo suas características urbanas, sociais e econômicas, poderiam se reconhecer e estabelecer como um conjunto metropolitano. A Constituição Política colombiana do ano 1991, consolidou este tipo de regime municipal, fornecendo as bases constitucionais para a administração do país, através do município e consequente formulação de leis territoriais específicas.

Com baseamento na Constituição Política da Colômbia do 1991, criou-se a Lei nº 128 de 1994, para a formalização das Áreas Metropolitanas (AM) do país, definindo os mecanismos para sua formação, assim como suas competências. Posteriormente, o país robusteceu, mediante a Lei nº 388 de 1997, a regulamentação territorial, que consolidou os municípios como as unidades básicas da gestão do território, o que se materializou com a elaboração dos Planos de Ordenamento Territorial Municipal (POT). Os POTs, tinham forte tendência e foco nas áreas urbanas e procuraram se combinar com as normatividades ambientais da Lei nº 99 de 1993 e com os conteúdos da Lei nº 128 de 1994. Recentemente, a Lei nº 128 de 1994, foi atualizada mediante a Lei nº 1.625 de 2013, com a qual o país tenta sair do modelo da municipalidade, para uma escala mais integradora das dinâmicas econômica, social e ambiental do território.

A Área Metropolitana de Cali, de interesse para a presente análise, encontra-se no grupo dos contextos metropolitanos que ainda não se constituíram formalmente,

mas que, de fato, são áreas geográficas onde os municípios têm estabelecido fortes interdependências físicas, econômicas, sociais e trabalhistas entre eles, além de possuir atração e relevância econômica e demográfica regional.

A Lei nº 1.625, de 2013, conformaria o sustento normativo que define a hierarquia territorial, estabelecendo à área metropolitana (AM) acima do município de Cali, sendo as AM, encarregadas de formular e adotar planos integrais de desenvolvimento para o conjunto de municípios constituintes da aglomeração metropolitana e continuando a exercer o papel de autoridade ambiental no perímetro urbano. Essas duas competências, planos de desenvolvimento integral e autoridade ambiental, são as referências funcionais para uma suposta integração dos serviços da bacia hidrográfica do rio Cali, com o crescimento e desenvolvimento territorial da área metropolitana de Cali. Por enquanto a gestão territorial da bacia do rio Cali limita-se à visão e ordem municipal de Cali, sob os instrumentos do planejamento territorial da cidade estabelecido no POT e no POMCA.

O Quadro 43, apresenta, a seguir, uma comparação entre os dois contextos, estadual e departamental, em que se inserem as áreas metropolitanas de análise. O quadro 43, inclui os mais destacados componentes da gestão territorial e ambiental de ordem estadual e metropolitano.

Quadro 43. Comparação do contexto departamental e estadual das áreas metropolitanas de análise

Critério de comparação	Brasil Região Metropolitana de Curitiba	Colômbia Área Metropolitana de Cali
Lei para a conformação do sistema nacional ambiental	Lei nº 6.938 de 1981. Cria o CONAMA e o SISNAMA e define a estruturação dos órgãos participantes na gestão ambiental nacional.	Lei nº 99 de 1993. Cria o Sistema Nacional Ambiental, o conselho nacional ambiental e o Ministério de Ambiente.
Estrutura do sistema nacional ambiental	O conselho de governo é o órgão maior. O CONAMA é o órgão consultivo. O ministério de ambiente é o órgão principal da gestão e o instituto IBAMA é o órgão executor no nível nacional. Nos níveis estaduais e municipais têm as instituições seccionais encarregadas da execução específica dos programas e projetos que conformam as políticas de gestão ambiental.	O conselho nacional ambiental, composto pelos ministérios da presidência é o órgão maior. O Ministério de Ambiente é o órgão principal da gestão nacional. O Ministério se apoia em cinco instituições de caráter científica. Nos níveis departamentais a gestão, execução de políticas e fiscalização ambiental é delegada nas CARs e nas autoridades ambientais com jurisdição urbana.
Promulgação da política/lei marco para a criação das AM	Lei Complementar Federal nº 14 de 1973. Estabelece as regiões metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza.	Reforma constitucional em 1968; Lei nº 128 de 1994 das áreas metropolitanas; e por ultimo a Lei nº 1625 de 2013 que promulga o regime para as AM na Colômbia.

Critério de comparação	Brasil Região Metropolitana de Curitiba	Colômbia Área Metropolitana de Cali
Número de AM conformadas	Com a primeira lei de ordem federal se criaram oito AM., no entanto, a reforma constitucional do Brasil de 1988 outorgou aos Estados o poder de criação de AM. Além da RMC o Paraná tem criado sete regiões metropolitanas.	Tem se conformado um total de cinco áreas metropolitanas na Colômbia: <i>AM de Bucaramanga; AM Barranquilla; AM centro occidente; AM de Cucúta; AM Valle de Aburrá; AM Valledupar.</i> Cali é uma AM que não tem se conformado de maneira oficial.
Ministério encarregado da gestão de AM	Ministério das cidades com criação no ano 2003.	<i>Ministério de Vivienda, Ciudad y Territorio</i> criado no ano 2011.
Instâncias responsáveis pela gestão da AM	I) Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC) como instância Estadual; II) Secretaria Municipal de Assuntos Metropolitanos (SMAM) de Curitiba, do poder público municipal; III) Associação dos Municípios da Região Metropolitana de Curitiba (ASSOMECA), como instância supramunicipal.	Conforme a Lei nº 1625 de 2013 a instância responsável pela gestão das AM da Colômbia é o conselho metropolitano de planejamento, o prefeito metropolitano, o gerente metropolitano e as unidades técnicas de gestão. O conselho de planejamento tem participação da esfera nacional, departamental, o prefeito da cidade polo, um representante dos municípios satélites. No caso de Cali, a instância responsável pela gestão é a prefeitura e as instituições municipais que dependem dela.
Fundo instituído por lei/decreto	Inexistência de fundo estadual com alcance metropolitano na RMC.	A Lei nº 1625 de 2013 não estabelece a conformação de um fundo, mas sim os mecanismos de financiamento para a gestão metropolitana.
Conselhos consultivo e deliberativo instituídos por lei/decreto	Existem sim os dois tipos de conselhos, constituídos mediante a Lei Estadual 6517 de 1974.	Existe só um conselho chamado de <i>Junta Metropolitana</i> integrada pelos representantes das esferas dos governos nacional, departamental e municipal. A junta define mediante processo deliberativo os projetos e orçamentos das AM.
Instrumentos de planejamento	Plano de desenvolvimento Integrado (PDI) da RMC. Primeira versão no ano 1978 e posterior atualização no 2006.	O Plano Integrado de Desenvolvimento Metropolitano é o instrumento de planejamento definido pela normativa colombiana. Em Cali o Plano de Ordenamento Territorial (POT) constitui-se no instrumento de planejamento municipal e metropolitano de maior relevância.
Articulação entre a governança das áreas metropolitanas e a gestão ambiental	Existe uma articulação para o planejamento e governança metropolitana entre a COMEC, a SMAM e ASSOMECA. Os conselhos consultivo e deliberativo participam na tomada de decisões relacionadas com os orçamentos. Entretanto, os eixos do PDI se materializam através das atividades dos institutos e autarquias da gestão ambiental.	Não há coordenação entre a governança metropolitana e as instituições encarregadas da gestão ambiental. A prefeitura de Cali executa as políticas de desenvolvimento urbano, enquanto que as autoridades ambientais executam as políticas de gestão ambiental por jurisdição territorial e não por eixo temático.

Elaboração: Hincapié, 2017.

Uma das maiores diferenças no funcionamento das instituições do Paraná e do Vale do Cauca, se relaciona com a jurisdição e com a temática de trabalho. No primeiro caso, os órgãos ou instituições, funcionam como autarquias especializadas nos diferentes temas, como água, meio ambiente, mineração, usos de terras, mas todas têm como jurisdição territorial o Estado do Paraná, o que permite uma articulação temática independentemente da área dos projetos. Entretanto, no caso colombiano, a Lei nº 99 de 1993, estabeleceu às CARs como autoridades ambientais, com autonomia financeira e institucional, para o manejo conjunto de todos os recursos naturais do departamento. No entanto, o poder territorial das diferentes autoridades ambientais integrantes do SINA, tem criado descoordenação no manejo de bacias, por se encontrarem, como no caso do rio Cali, três poderes e/ou três jurisdições sobre o mesmo território.

6.5 Comparação dos mecanismos de resposta R1: usos urbanos em fundos de vale

Como relacionado nos itens da operacionalização desta variável, os usos urbanos nos eixos fluviais dos fundos de vale, se relacionam com as incompatibilidades e as afetações na qualidade funcional dos sistemas fluviais às jusantes, na conectividade ecológica longitudinal e transversal e com as relações entre eixos fluviais, mas também integram a arquitetura, baseada na paisagem fluvial, que mistura a estrutura ecológica de fundos de vale e os controles de inundações com espaços públicos, lagoas, parques lineais e projetos de interação urbana e ambiental.

O Quadro 44, apresenta as relações entre os impactos, ou variáveis de estado, junto aos mecanismos de respostas, frente às dinâmicas urbanas em fundos de vale. As respostas, foram classificadas em planejamento (instrumentos de planejamento), gestão (ações realizadas, programas e projetos desenvolvidos) e medidas estruturais, cujo caso se refere às infraestruturas, que se articulam aos mecanismos ou arcabouços de respostas:

Quadro 44. Comparação dos mecanismos de respostas diante os usos urbanos em fundos de vale

Impactos	Resposta Região Metropolitana de Curitiba
Forte pressão por avanço de ocupações	<u>Instrumentos de planejamento:</u>

irregulares nos fundos de vale; ocupação urbana regular e irregular em áreas de mananciais, áreas de inundação e zonas de várzea Impactos indiretos e de magnitude moderada	• Criação e delimitação da UTP de Guarituba, sob a formulação do SIGPROM; • Zoneamento da UTP em três grupos de ocupações: ocupação orientada; usos para consolidação urbana e; restrição à ocupação; • Processos de regularização de prédios e posterior investimento em saneamento ambiental; • Formulação do plano de cidade e dos planos de abastecimento e de saneamento municipal de Piraquara conforme Plano de Drenagem Metropolitano; • Plano de drenagem metropolitano; <u>Medidas estruturais:</u> • Infraestrutura de saneamento na UTP Guarituba; • Obras de canalização e retificação do rio Alto Iguaçu.
Impactos	Resposta Município de Cali
Modificação dos padrões hidrogeomorfológicos do sistema fluvial nos fundos de vale. Retificação, levantamento de diques, perda da funcionalidade ecológica das margens. Ocupação das antigas planícies de inundação.	<u>Instrumentos de planejamento:</u> • Criação das Unidades de Planejamento Urbano (UPU); • Definição da estrutura ecológica municipal e estabelecimento de planos de manejo no POT; • Formulação do plano de saneamento e manejo de despejos da rede de esgotos (PSMV). O PSMV propõe diminuir as conexões erradas e organizar a rede de esgotos para conduzir a totalidade de poluentes hídricos até as Estações de Tratamento de Esgotos (ETE); <u>Implementação de medidas estruturais:</u> • Reforço de diques; • Obras de infraestrutura urbana consistente em parques lineais que integram a paisagem fluvial com os espaços públicos (ciclovias, bulevares). Um projeto terminado e um projeto de parque lineal na borda do rio Cali em execução.

Elaboração: Hincapié, 2017.

Nas duas áreas de análise, há um planejamento de ordem hierárquico maior ao metropolitano e municipal, caso de Cali, que está relacionado com as políticas de gestão de recursos hídricos. As avaliações desta variável, tem resultados muito diferentes devido ao fato de: I) o trecho do rio Piraquara ter sido conservado com a função de produção hídrica e não tem pressão urbana. Conforme avaliação dos IHG e RGI, o trecho se mantém em bom estado de conservação, no entanto, a promulgação e aplicação das diversas camadas de legislação restritiva, para a ocupação do município de Piraquara, gerou um mercado imobiliário irregular e ocupações em áreas de mananciais e com ameaças de inundações; II) com tudo, esses índices teriam valores ruins se fossem aplicados nos trechos após a captação do sistema de aqueduto, por conta das mudanças no contexto urbano do trecho. Após a captação, os rios Piraquara e Iraí, conformam um trecho que é canalizado, como parte do Plano de Macrodrenagem da zona leste de Curitiba; III) os trechos avaliados do rio Cali são cursos urbanos, que foram transformados parcialmente, e adaptados ao planejamento urbano. O leito foi submetido à retificação, em algumas partes, levantamento de diques, terraços artificiais e construção sobre as antigas planícies de inundação.

Nesta pesquisa, considera-se, que a diferença mais relevante é a consolidação da UTP de Guarituba, como resposta ao avanço das ocupações e como estratégia territorial para realizar investimentos em saneamento.

Em relação ao planejamento urbano de Curitiba, divulgado internacionalmente desde a década de 1990, o IPEA (2013), considera que, embora haja boa referência internacional, a conurbação do NUC de Curitiba, esconde processos e realidades diferentes à essa boa propaganda, entre esses a favelização e precariedade de municípios próximos à metrópole curitibana. A respeito o IPEA afirma que, de fato há um distanciamento social e econômico entre o polo e a periferia. Esta afirmação tem dois argumentos: um que descreve as práticas sustentáveis, um PIB maior do que os outros municípios do NUC, e o desenvolvimento de uma economia verde, o que gerou em Curitiba o reconhecimento das Nações Unidas como cidade-modelo; o segundo argumento, tem a ver com as estatísticas e baixos indicadores sociais e econômicos registrados em outros municípios do Núcleo Urbano Central, próximos a Curitiba. Essas duas argumentações, evidenciariam uma enorme desigualdade econômica, social e urbana na RMC (IPEA, 2013).

Por fim, devido a área metropolitana de Cali ainda não ter se estabelecido formalmente, embora exista de fato, os controles ambientais, a gestão e a integração entre bacia hidrográfica e área metropolitana é realizada desde o nível municipal, e desde o nível departamental pela CVC. Nesse sentido, nesta pesquisa se destacam os controles e a gestão ambiental municipal como pilar dessa integração.

6.6 Comparação dos mecanismos de resposta R2: mudanças nas coberturas das terras

A mudança nas coberturas das terras de maior interesse para a tese é a perda de cobertura natural e seminatural, assim como o aumento de coberturas destinadas aos usos urbanos devido a: sua relação direta com a perda solos e de serviços ecossistêmicos; à relação que têm com as mudanças nos usos das terras; com a perda da qualidade das águas e; com a perda da resiliência da bacia. A seguir o Quadro 45 apresenta as comparações das respostas:

Quadro 45. Relação de comparação dos mecanismos de respostas perante a mudança nos usos das terras

Impactos	Resposta Região Metropolitana de Curitiba
Bacia em bom estado de conservação. • Diminuição da cobertura natural: 18,3 km ² (28,4%) • Urbanização: 3,86 km ² (aumento de 3,77%) • Atividades agropecuárias: 10,1 km ² (aumento de 9,8%) • Mudança total: 13,96 km ² (13,6%) Impacto: Baixo	Implementação de instrumentos de planejamento: • Criação da área de conservação estadual do Pico do Marumbí Decreto nº 7.300, de 24/9/1990. • Inclusão de objetivos de preservação e produção hídrica na formulação do Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu. • Formulação do PDI da RMC com foco especial na proteção dos mananciais da Serra do Mar para abastecimento da RMC. • Criação da APA de Piraquara com o correspondente zoneamento ecológico e econômico. • Implementação de normativa (estadual e municipal) e programas de Pagamento por Serviços Ambientais em áreas dos reservatórios da bacia do rio Piraquara. • Formulação do plano de manejo de microbacia e do programa de conservação de solos e águas.
Impactos	Resposta Município de Cali
Diminuição da cobertura natural: 28,7km ² (19,7%) Urbanização: aumentou 10,86 km ² (44,7%) Atividades agropecuárias: aumentou 17,6 km ² (39,5%) Mineração: aumentou 0,25 km ² (21,9%)	<u>Implementação de instrumentos de planejamento rural:</u> • Formulação do Plano de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Rio Cali POMCA no ano 2011 sob contexto do <i>Plan Hídrico Nacional</i> da Colômbia. No entanto a formulação do POMCA tenha-se realizado sem a consulta e/ou deliberação do componente social. • Criação das Unidades de Planejamento Rural de Cali, entre as quais se encontram as áreas rurais pertencentes à bacia do rio Cali e do rio <i>Aguacatal</i>. • Formulação dos planos de ordenamento territorial rural das UPR. • Zoneamento econômico e ecológico para as UPR. • Inclusão do avanço das ocupações urbanas mediante a formulação do Plano de Gestão Ambiental Rural da CVC. • Plano de mineração da BHRC. • Delimitação das áreas de exploração. Planos de manejo para a exploração.

Elaboração: Hincapié, 2017.

Os dois casos de estudo, se apresentam de forma muito diferentes, mesmo as duas bacias pertencendo a áreas metropolitanas. No caso do Brasil, a forte e histórica legislação da RMC, para a preservação das nascentes e mananciais da Serra do mar, possibilitou que, na atualidade, a bacia possua um estado de preservação bom nas montantes. Por sua vez, a bacia hidrográfica do rio Cali, conforme indicam os mapas de mudanças das terras e as descrições de Buitrago *et al.*, (2011), tem se exposto a processos mais agressivos de ocupação, de exploração agropecuária, de desmatamento e de mineração ilegal. Os instrumentos de planejamento, embora sejam restritivos, não são suficientes para controlar as dinâmicas sociais de pressão. Por fim, embora o *Plan de Ordenamiento Territorial de Cali*, do ano 2014, propoe um zoneamento econômico e ecológico através das UPR e das UPU, essas unidades

ainda não foram implementadas, por encontrar-se na etapa de planejamento.

A pressão demográfica na BHRP, se apresenta de forma concentrada nos fundos de vale, de modo que, na bacia hidrográfica do rio Cali, essa pressão se apresenta em zonas de ladeira na jusante da bacia e de forma dispersa nos cursos médios. Pode-se afirmar que os dois casos de estudos, apresentam um problema comum: ocupações irregulares em áreas próximas às infraestruturas de abastecimento, nos dois casos as ocupações, sejam na montante (BHRC) ou em fundos de vale (BHRP), comprometem a disponibilidade hídrica.

6.7 Comparação dos mecanismos de resposta R3: variabilidade climática

A operacionalização da variabilidade climática, envolve os componentes hidrológicos de cada bacia hidrográfica estudada. No caso de Brasil, logrou-se estabelecer a baixa influência, ou influência estatisticamente irrelevante, da ocorrência de eventos ENOS sobre os aumentos e/ou diminuições das precipitações na BHRP. Porém, não foram analisados outros fenômenos de variabilidade climática, que podem ter fortes incidências sobre o comportamento da bacia. O contrário, na Colômbia, existem relações diretas entre a fase quente do ENOS (*El Niño*), com as diminuições de precipitações na BHRC e uma relação direta entre a fase fria (*La Niña*), com os aumentos das precipitações, conforme Ávila *et al.*, (2014).

Quadro 46. Relação de comparação dos mecanismos de respostas perante a Variabilidade Climática

MONTANTE	
Impactos	Resposta Região Metropolitana de Curitiba
Sem impactos do ENOS. Impactos por outros fenômenos hidrometeorológicos não analisados	<u>Planejamento:</u> -Criação APA Piraquara (zoneamento ecológico e económico); -Normativa (estadual e municipal) de PSA. <u>Gestão</u> Programas de PSA; <u>Medidas estruturais</u> construção das barragens Piraquara I e Piraquara II (reservatórios e regularização das vazões.
Impactos	Resposta Município de Cali
Aumentos e diminuições pluviométricas durante ENOS Períodos de estiagem prolongados	Bacia sob alta influência ao ENOS. Diminuição da disponibilidade hídrica e riscos por enchentes e inundações. <u>Planejamento:</u> -Formulação Plano de manejo da BHRC – POMCA (plano interinstitucional);

	-Plano de ordenamento territorial POT: define áreas de ameaças e risco não mitigáveis; define a necessidade da formulação de planos de manejo especial para áreas de ameaça e risco. <u>Gestão</u> Programas de PSA;
JUSANTE	
Impactos	Resposta Região Metropolitana de Curitiba
Sem impactos do ENOS. Impactos por outros fenômenos hidrometeorológicos não analisados	<u>Planejamento:</u> -UTP Guarituba. Zoneamento Ecológico e Urbano, prevenção de riscos por inundações; -Plano de saneamento do município de Piraquara; -Plano de macrodrenagem da zona leste de RMC. <u>Gestão</u> Medidas não estruturais para o controle das enchentes e inundações, como parte do plano de drenagem metropolitano. <u>Medidas estruturais</u> Obras de macro e micro drenagem que incluem soluções estruturais (canais paralelos, diques, outros).
Impactos	Resposta Município de Cali
Aumentos e diminuições pluviométricas durante ENOS; Inundações	<u>Planejamento:</u> Temática relacionada no POT, mas com foco na mudança climática. <u>Gestão:</u> Implementação de planos de contingência consistentes em; • Dragagens do leito maior; • Elevação e reforço de diques; Manutenção das estruturas complementares da rede de drenagem, limpeza de canais, ruas e áreas públicas (praças e parques). <u>Medidas estruturais:</u> Sistema de controle hidráulico mediante diques.

Elaboração: Hincapié, 2017.

A implementação de instrumentos de planejamento em Piraquara, deriva-se de uma sólida normatividade ambiental que, embora não tenha o foco frente à variabilidade climática do ENOS, na prática funciona como parte dos mecanismos de resposta. Entre esses instrumentos de planejamento, podemos relacionar a APA de Piraquara e a UTP de Guarituba. Entretanto, há dois conjuntos de infraestruturas, que de fato respondem aos fenômenos extremos do clima. À montante as duas barragens Piraquara I e Piraquara II, funcionam na regularização dos picos das vazões, durante os eventos pluviométricos intensos, além de manter a vazão constante para o abastecimento durante períodos de estiagem. Por outro lado, à jusante, a zona leste da região metropolitana tem se construído o sistema de controle de inundações, que se integra mediante obras em canais paralelos, diques, lagoas de dissipação de vazão, parques aquáticos e parque das águas. O conjunto de medidas de controle de inundações é ainda mais abrangente, inclui medidas de tipo não convencional, que se classificam no cenário do desenvolvimento de baixo impacto (*Low Impact Development*) ou de drenagem sustentável.

Por sua vez, na cidade de Cali não tem infraestrutura para mitigar os efeitos da variabilidade climática, as respostas consistem em medidas não estruturais como educação ambiental, dragagens, limpeza de canais, vias e gestão de resíduos sólidos. Entre os mecanismos de respostas de tipo estrutural a cidade conta com um sistema de controle hidráulico, no trecho urbano, que consiste em diques laterais, com alturas de até 7 metros. Ao contrário do sistema de regularização de vazões e controle de inundações do Brasil, a bacia da Colômbia procura, mediante a aplicação dos instrumentos de planejamento POT e POMCA, regular as vazões através de práticas de manejo integral, que integrem os componentes naturais da bacia, com os usos e ocupações, às vezes, irregulares sobre os cursos médios e altos.

A construção dos diques junto às retificações do leito maior do rio Cali, transfere a carga cinética do fluxo, desde o curso médio para a montante e para a foz no rio Cauca. Este tipo de respostas rápidas da bacia, perante intensas precipitações, com arraste de cargas, se apresenta constantemente em vários dos afluentes do rio Cauca, em setores à montante do perímetro urbano de Cali, gerando um efeito dominó, que se reflete em transbordamentos sobre diversos pontos da cidade de Cali, durante os períodos de inverno.

6.8 Comparação geral das duas áreas de estudo

A confrontação entre os elementos biofísicos e socioeconômicos, entre os processos de pressão e impactos e entre os arranjos e/ou arcabouços normativos e institucionais, apresentadas no Quadro 47, permitem-nos abordar o problema da pesquisa desde uma visão integrada e resumida:

Quadro 47. Comparação geral das áreas de estudo

Critério	Bacia hidrográfica do Rio Piraquara	Bacia Hidrográfica do Rio Cali
Área	102,21 km ²	215,4 km ²
Precipitação média	1866 mm/ano	2040 mm/ano (3600 mm/ano nas montantes)
Vazão média	1740 l/s	3000 l/s
Componentes biofísicos montante	Bacia alongada, oval oblonga, alta capacidade para dissipar a energia de precipitações pluviais intensas; forças endógenas fracas. Morros e formas do relevo da Serra do Mar, declividades fortes, entre 20% e 37%, rocha plutônica, complexos granítico-gnássico e gnássico-magmático. Precipitações orográficas, solos pouco espessos e com alto conteúdo de argila e alta capacidade reter água nos níveis superficiais (Argissolos). Áreas	Bacia relativamente alongada, alta declividade média, pouca capacidade para dissipação de energia, potencial de torrencialidade, arraste de matérias e formação de leques aluviais; sob influencia da ZCIT, comportamento bimodal de precipitações; rochas basálticas; formas do relevo íngremes, próprias declividades fortes, zonas erosão severa; Andisoles e incepticoles (pouco espessos e pouco desenvolvidos); vegetação arbórea

Critério	Bacia hidrográfica do Rio Piraquara	Bacia Hidrográfica do Rio Cali
	protegidas, mata Atlântica, reservatórios, produção hídrica.	natural (<i>bosques de niebla</i>) alta produção hídrica.
Componentes biofísicos jusante	Predominam planícies do Primeiro Planalto Paranaense, depósitos aluviais, declividades entre 3 e 8%; formação de Latossolos profundos e estáveis, organossolos, várzeas e planícies de inundação; ocupação irregulares em fundos de vale em áreas de mananciais.	Vale geográfico do rio Cauca, geoformas de planícies sobre depósitos aluviais e sedimentos recentes, declividade menor de 3%; atividades à céu aberto, impermeabilização dos solos, ocupação urbana, depósitos tecnogêneos; ocupação dispersa; ocupação em ladeiras urbanas
Pressão por ocupação demográfica	População concentrada em ocupações irregulares a jusante, em áreas de mananciais	População concentrada em dez corregimientos e uma comuna de ladeira (comuna 1). População dispersa nos cursos médio e baixo.
Mudança nos usos das terras	Avanço da urbanização: 3,86 km ² ; Avanço de atividades agropecuárias: 10,1 km ² ; Mudança total: 13,96 km ² (não inclui área da represa Piraquara II) Pressão baixa	Aumentos: Agropecuários = 39,5% (17,58km ²) Urbano = 44,76% (24,26km ²) Mineração = 21,9% (0,25km ²) Diminuição da Cobertura natural 19,75% (28,69km ²) Pressão média e direta
Dinâmicas urbanas em fundos	5 tipos de intervenções consideradas. Pressão indireta e de magnitude moderada	Ocupação planícies, diques, pontes, terraços, retificação, ocupação do leito Pressão intensa e direta
Variabilidade climática ENOS	Fenômeno ENOS sem influencia sobre aumentos ou precipitações na BHRP Sem pressão	Com influencia do ENOS. Perigos de inundações e ameaças de períodos de estiagem. Pressão direta e alta
Abastecimento	1392 l/s (15% da água do SAIC) Sem perda da qualidade hídrica registrada no IQA. Sem diminuição da disponibilidade em termos quantitativos por conta das barragens. Bacia sob pressão por altos consumos da RMC Impacto leve	1800 l/s (20% do sistema urbano) Disponibilidade hídrica maior/menor em função dos períodos de precipitação e das incidências do ENOS Perda da qualidade de água no IQA Impacto moderado
Serviços ambientais	Diminuições da área específica = 18,27 km ² , quer dizer, o 39,5% em relação à data inicial Impacto moderado	Diminuições da área específica = 28,69 km ² ou 19,75% de perda das áreas em relação à data inicial Impacto direto e alto
Estrutura Ecológica	Condições ecológicas das ribeiras são boas. Qualidade Hidrogeomorfológica boa Impactos moderados e indiretos	Condição ecológica de ribeiras pobre. Qualidade da função hidrogeológica muito ruim. Impactos intensos e diretos
Perda de solos	Baixas taxas de perda de solos. Pressão baixa	Sem determinação quantitativa. Erosão severa e moderada em microbacia <i>Aguacatal</i> . Pressão intensa
Instrumentos de planejamento ambiental territorial	Plano Estadual de Recursos Hídricos Plano da Bacia do Iguaçu Plano da Bacia do Alto Iguaçu Plano de Manejo do Parque Estadual Pico de Marumbí Plano Desenvolvimento Integral – PDI, da Região Metropolitana de Curitiba SIGPROM Plano de Desenvolvimento Municipal de Piraquara Área de Preservação Ambiental –	Plano Hídrico Nacional (Bacia do rio Cauca) Plano de Manejo <i>Parque Nacional Natural Farallones de Cali</i> Plano de Gestão Ambiental Regional – PGAR (Objetivos de qualidade hídrica) Plano de Ordenamento e Manejo de Bacia – POMCA Pano de Ordenamento Territorial de Cali Unidades de Planejamento Rural -

Critério	Bacia hidrográfica do Rio Piraquara	Bacia Hidrográfica do Rio Cali
	APA. Piraquara UTP Plano de Microbacias EMATER Zoneamento Económico Ecológico	UPR Zoneamento Económico Ecológico Planos de desenvolvimento de Cali
Ingerência institucional direta	Instituto Terras, Cartografia e Geologia do Paraná Comitê Bacia Hidrográfica Alto Iguaçu Coordenação Metropolitana de Curitiba – COMEC Instituto Águas do Paraná Instituto Ambiental do Paraná Prefeitura Piraquara – Secretaria de Ambiente	Ministério de Ambiente. Sistema de Parques Nacionais Naturais. <i>Corporación Autónoma Regional</i> - CVC Prefeitura de Cali. Departamento Administrativo de Gestão do Meio Ambiente

Elaboração: Hincapié, 2017.

Respondendo à pergunta da tese, apesar das duas bacias serem áreas de proteção, definidas por normativas de ordem nacional (Colômbia) e Estadual (Brasil), com foco na produção hídrica, chama a atenção, no quadro anterior, a similitude que as duas bacias tem, em termos de vulnerabilidade, à ocupação e intensificação de usos dos solos, em áreas que são de preservação ambiental. Controlar o avanço de uma população crescente, resulta um desafio maior para a integração das áreas metropolitanas com os serviços das bacias.

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nossa pergunta de pesquisa, relacionada com os processos que pudessem distorcer a boa integração entre os serviços das bacias e o desenvolvimento de áreas metropolitanas, nos levou à formulação de duas hipóteses complementares: uma que afirma que o maior desafio se deve à intensificação e tipos de ocupação das bacias analisadas, e que, conseqüentemente, a gestão e planejamento territorial deve-se realizar articuladamente em diversas escalas territoriais. A segunda hipótese, afirma que a lógica do planejamento e da gestão, se refletem nas características do espaço dos cursos à montante e a jusante.

As análises das áreas de estudo do Brasil, comprovam a primeira hipótese. Na bacia do rio Piraquara o processo de ocupação do Guarituba, é particularmente conflitivo com os tipos de usos definidos para toda a bacia, no entanto, o planejamento da região metropolitana de Curitiba se articula com diferentes escalas territoriais, no intuito de uma integração ótima entre os serviços da bacia do rio Piraquara, as demandas de recursos da área metropolitana inteira e os interesses políticos e económicos do Estado, que se materializam na gestão integrada dos recursos hídricos, nesse caso, da bacia do rio Alto Iguaçu. Nesse sentido, como pudemos constatar, há interfaces nos processos de gestão e de planejamento, territorial e ambiental. A proteção da bacia emana dos poderes estaduais de gestão hídrica (plano da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu), que se articulam com os poderes metropolitanos territoriais da COMEC. Posteriormente, o SIGPROM materializa uma escala maior às políticas hídricas devido à combinação entre APAs e UTP.

Por sua vez a segunda hipótese, na área de estudo de Brasil, pode-se refutar, apesar de as respostas de planejamento e gestão serem condizentes com o expressado no espaço, ou seja, com a ocupação irregular. O curso do rio Alto Iguaçu apresenta uma realidade complexa: incremento populacional, especulação imobiliária em Curitiba, zonas de várzeas “livres”, inundações e todo um conjunto de problemáticas ambientais, que não conseguem ser atendidas só com as respostas metropolitanas de planejamento, quer dizer, o espaço não reflete a lógica do planejamento. Nota-se como a infraestrutura metropolitana de saneamento, de abastecimento e de transporte deve ser adaptada, contraditoriamente, às necessidades dos novos espaços.

Apesar de algumas diferenças pontuais, na Colômbia os resultados também nos permitem corroborar a primeira hipótese. A cidade tenta articular os serviços da bacia com o desenvolvimento metropolitano em duas escalas: o POMCA, de nível hierárquico maior e similar ao Plano de Bacia do Alto Iguaçu, e, numa escala menor o POT. No entanto, há uma ocupação, dessa vez mais difusa do que na bacia do Brasil, que gera conflitos com o planejamento e com os usos de terras, definidos há décadas. Por sua vez, a natureza jurídica das autoridades ambientais presentes na BHRC, com jurisdições territoriais para o planejamento e gestão resulta contraditório e descoordenado e isso se percebe no espaço dos cursos médios, no crescimento urbano regular e irregular e no avanço da fronteira agrícola.

É nesse sentido que apontamos, no intuito de responder à nossa pergunta de pesquisa que, a gestão e o planejamento ambientais aparecem, nas duas áreas de análise, muito fracas perante a força do capital. Apesar das muitas normativas de restrição ao uso, a velocidade e força dos processos sociais ultrapassam o ritmo das dinâmicas da natureza, do planejamento e da gestão. Os processos de gestão e de planejamento ambiental não são de total interesse do capital ou dos agentes políticos, pois os grandes investimentos e seus benefícios ou efeitos não se percebem no curto prazo. Pelo contrário, são benefícios de longa data que poucos percebem.

Concluimos que, apesar das áreas metropolitanas e das bacias hidrográficas pertencerem a hierarquias sistêmicas e dinâmicas diferentes, seus estudos, gestão e planejamento não se excluem ou devem ser tratados separadamente. Pelo contrário, a pesquisa indica que bem podem ser objeto de ações conjuntas e constituem-se em sistemas complementares.

Estudos comparativos servem para identificar processos ou fenômenos que podem ser similares ou distintos. Com essa comparação, espera-se que a partir de similitudes se gerem mais alternativas ou abordagens, em benefício da solução de problemas, nesse caso, problemas de tipo metropolitano. Nesse sentido, há uma diferença marcante no tratamento das áreas ocupadas em mananciais, ocupações irregulares em zonas ambiental e socialmente frágeis que se faz no Brasil, se comparado ao caso colombiano. O tratamento mediante Unidades Territoriais de Planejamento, como a do Guarituba, é um experimento que bem pode ser melhor analisado para uma aplicação nas ladeiras urbanas de Cali, ainda mais pelos tipos de zoneamento realizados e pelos processos de regularização.

A utilização da bacia hidrográfica, desde a perspectiva da hierarquia de sistemas

naturais, permite realizar análises de estrutura, função e evolução do objeto de análise. Nesse sentido, afirmamos que a bacia hidrográfica é um sistema complexo adaptativo. Sua base de análise, abarca a complexidade das relações entre componentes biogeofísicos e socioeconômicos.

Desse sistema, a propriedade emergente mais relevante é o manejo da entropia ou, da qualidade da energia. Isso significa que as formas dos canais, o ajuste dos vales, a hidráulica dos fluxos e as atividades antrópicas compensam-se mediante custos energéticos, socioeconômicos ou ambientais. No entanto, a utilização de bacias hidrográficas menores, em estudo de gestão e de planejamento metropolitano, apresenta limitações relacionadas com as escalas geográficas. As escalas de análise das bacias hidrográficas utilizadas, em relação às dinâmicas socioeconômicas e biofísicas, das áreas metropolitanas selecionadas, resultam ser ou muito menores (bacias dos rios Piraquara e Cali), ou muito maiores (bacias dos rios Iguaçu e do rio Cauca).

Se considerarmos as relações de reciprocidade, entre os componentes ambientais, sociais e econômicos da sustentabilidade, podemos concluir que, com o município de Piraquara, configura-se um caso em que as rigorosas legislações de preservação do componente ambiental não conseguem estimular também o crescimento econômico como outro dos grandes componentes do desenvolvimento sustentável. Dessa forma, o município perde autonomia territorial e legislativa, perante os grandes processos de crescimento urbano e desenvolvimento econômico de escala maior da Região Metropolitana de Curitiba, ao mesmo tempo que absorve um tipo de população em ocupações que resultam irregulares, em zonas de fragilidade ambiental ou em mananciais.

A proposta metodológica testada resultou útil na procura dos objetivos. A proposta e procedimentos metodológicos, foram satisfatórios na identificação dos serviços das bacias, segundo propriedades emergentes, estrutura e funcionamento sistêmico das bacias hidrográficas, assim como para avaliar, qualitativa e quantitativa, os impactos que as variáveis de pressão geram, de forma individual e conjunta, sobre os propósitos de gestão também selecionados para a nossa análise comparativa.

Contudo, houve limitações que consideramos importante destacar: a metodologia utilizada depende profundamente do fornecimento de informações, por parte de instituições encarregadas, cujo difícil acesso pode distorcer ou dificultar a realidade ou profundidade das análises; mesmo existindo, de fato, uma área

metropolitana em Cali, a falta de institucionalidade ou de normatividade do tipo metropolitano, cria uma desvantagem em comparação com a Região Metropolitana de Curitiba. Espera-se que pesquisas desse tipo possam ser de utilidade no processo da constituição formal da área metropolitana de Cali.

Entre as limitações da metodologia utilizada, é preciso reconhecer que a visão sistêmica para uma análise como a que foi aqui proposta, não permite um nível de aprofundamento de cada um dos temas envolvidos na pesquisa, ainda mais em um cenário de comparações. Pelo contrário, a base sistêmica para a pesquisa geográfica, ao ser abarcadora, percorre muitos temas para incorporar os elementos, mas em nível geral de conjunto. Nesse sentido, pesquisas dessa natureza podem servir como estudos exploratórios para a gestão e o planejamento, requerendo, no entanto, uma forte complementação com estudos detalhados de cada componente sistêmico.

Considerando as fortes legislações ambientais para usos das terras, a demanda por espaços e serviços, de uma população em aumento e, considerando que os tipos de ocupação demográfica nas bacias, geraram afetações na funcionalidade do sistema fluvial, concluímos que: houve maior eficiência na articulação entre escalas territoriais no caso do Brasil, do que na Colômbia. Em Piraquara há uma execução de políticas que abarca, na prática, as microbacias do rio Piraquara (menores a 50 km²), ao passo que na Colômbia, o nível de ação ainda é a bacia inteira do rio Cali (215 km²).

Por fim, as áreas metropolitanas analisadas têm, como maiores desafios: I) resolver a deficiência habitacional da faixa de população mais pobre, isso pode ser realizado não só com investimentos, mas também com uma forte regularização do mercado imobiliário; entretanto; II) atender e/ou corrigir os passivos ambientais das bacias, gerados pela falta de infraestrutura de saneamento, pelas atividades agropecuárias, de mineração (caso de Cali), e das zonas da bacia, ocupadas de forma irregular, mas que passam por processos de regularização.

8. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA DE ÁGUAS DO PARANÁ. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sihweb/gerarRelatorioQualidadeAgua.do?action=carregarInterfaceInicial>>. Acessado em: janeiro de 2017
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Indicadores de qualidade - índice de qualidade das águas (IQA)**. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acessado em: janeiro 2017
- AGUIRRE, M. **La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos**. Revista Virtual REDESMA, v.5, 2011.
- ALCAÑIZ, J. **Erosión: evaluación del riesgo erosivo y prácticas de protección del suelo**. En: Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamérica. Girona, España: Documenta Universitaria, 2008.
- ALLAN, D. **Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems**. In. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst., n. 35, p.257–84, 2004.
- ALLISON H.; SETH J.; TIM D.; CHRISTOPHER J.; ANTHONY R.; WILLIAM D.; HALE W.; REBEKAH R. **Impediments and Solutions to Sustainable, Watershed-Scale Urban Stormwater Management: Lessons from Australia and the United States**. Environmental Management, n. 42, p.344–359, 2008.
- AMSALU, T.; MENGAW, A. **GIS Based Soil Loss Estimation Using RUSLE Model: The Case of Jabi Tehinan Woreda, ANRS, Ethiopia**. Natural Resources, v.5, p. 616-626, 2014.
- APARECIDA, P. **A paisagem na Geografia**. In: VERDUM, R.; VIEIRA, S.; SILVA, P. (Org.). Paisagem: Leituras, significados, transformações. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Editora da UFRGS, 2012.
- ARAUJO, T.; FERNANDES, A.; BITOUN, J. **Tipologia das cidades brasileiras**. Organizadores Jan Bitoun, Livia Miranda. - Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrôpoles, 2009.
- ASHIAGBOR, G.; FORKUO, E.; LAARI, P.; AABEYIR, R. **Modeling Soil Erosion Using Rusle And Gis Tools**. International Journal of Remote Sensing & Geoscience (IJRSG), v. 2, Issue 4, July 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. NBR 15220. 2005.
- ÁVILA, Á.; CARVAJAL, Y.; GUTIERREZ, S. **Análisis de la influencia de El Niño y la Niña en la Oferta Hídrica Mensual de la Cuenca del rio Cali**. Revista Tecnura, v. 18, n. 41, p. 120 – 133, 2014.
- BALVANERA, P.; CASTILLO, A.; LAZOS, E.; CABALLERO, K.; QUIJAS, S.; FLORES, A.; GALICIA, C.; MARTÍNEZ, L.; SALDAÑA, A.; SANCHEZ, M.; MAASS, M.; ÁVILA,

P.; MARTÍNEZ, Y.; GALINDO, L.; SARUKHAN, J. **Marcos Conceptuales Interdisciplinarios para el Estudio de los Servicios Ecosistémicos en América Latina**. In: Valoración de Servicios Ecosistémicos. (ORG) Laterra, P; Jobbagy; Paruelo, J. Buenos Aires (Argentina): Edi. Inst. Nal. De Tec. Agrop., 2010.

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID). **El Reto del manejo integrado de cuencas hidrográficas**. Washington D.C.: BID, 2012.

BEDOYA, M; RUIZ, F. Capítulo 7. **Alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad y cambio climático**. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), 2010.

BERTALANFFY, L. **General System theory: Foundations, Development, Applications**. New York: George Braziller, revised edition, 1968.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6.ed. São Paulo: Ícone, 2008.

BRAGA, R. **Instrumentos para Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2009.

BRANDÃO, P. **Velhas aplicações e novas possibilidades para o emprego do método comparativo nos estudos geográficos**. GeoTextos, v. 8, n.1, 2012.

BRASIL. Lei Complementar Federal n. 14, 08 de junho de 1973. Estabelece as regiões metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 08 jun. 1973. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/legislacao>>. Acesso em: jan. 2016

BRASIL. Lei Federal n. 9.433, 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 08 jan. 1997. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/legislacao>>. Acesso em: jan. 2016

BRUCE H., WILKINSON., BRANDON J. **The impact of Humans on Continental Erosion and Sedimentation**. Geological Society of America Bulletin. January/February, v. 119, n. 1-2, p.140-156, 2007.

BITRAGO, O.; PAREDES, S.; MOTTA, N. **De los Farallones al Cauca. Situaciones Ambientales, Actores e Imaginarios**. Cali: Programa Editorial UNIVALLE, 2011.

CAPRA, F. **The Web Of Life: A New Scientific Understanding Of Living Systems**. New York, EE. UU: Anchor Books, 1996.

CARSON, R. **Silent Spring**. Barcelona: Luis de Caralt, 1964.

CARVAJAL, Y.; ORDOÑEZ, C. **Problemas ambientales en Colombia: cambio climático**. En: Desarrollo Sostenible. Pérez, M., Rojas, J. Ordoñez, C. Ed. Univ. del Valle, 2010.

CHECKLAND, P. **Pensamiento de Sistemas, práctica de sistemas**. México D.F.: Editorial Limusa, 1993.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo, Brasil: Edgar Blucher Ltda., 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo, Brasil: Edgar Blucher Ltda., 1981.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geosystems: An Introduction to Physical Geography**, 7th Edition, 2012.

CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. **Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988.

CHURCHMAN, W. **The Systems Approach**. New York: Ed. Delacorte Press, 1968.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). **Estimaciones y proyecciones de población a largo plazo 1950-2100**. Disponível em: <<http://www.cepal.org/es/estimaciones-proyecciones-poblacion-largo-plazo-1950-2100>>. Acessado em: abril 30 2016.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). **Población América del Sur. 2013. Base de datos CEPALSTAT**. Disponível em: <<http://interwp.cepal.org/sisgen/ConsultaIntegrada.asp?IdAplicacion=1&idTema=1&IdIndicador=31&idioma=e>>. Acessado maio 21 de 2015

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). **Publicaciones. Serie Población y Desarrollo, 48**. Disponível em: <<http://www.cepal.org/es/publicaciones/7186-estudio-sobre-la-distribucion-espacial-de-la-poblacion-en-colombia>>. Acessado em: nov 11 de 2015.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). **Observatório Demográfico**. Santiago de Chile: CEPAL, 2014.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). **Las Nuevas Funciones Urbanas: Gestión Para la Ciudad Sostenible**. Serie Medio Ambiente y Desarrollo, n. 48, Santiago de Chile: CEPAL, 2002.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). **Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos**. Santiago de Chile, Chile: CEPAL, 1999.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). **La gestión del agua y las cuencas en América Latina**. Revista de la CEPAL (53), 111 – 128, 1994.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). **Políticas Públicas para el Desarrollo Sustentable: La gestión integrada de cuencas**. Santiago de Chile: CEPAL, 1994.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ (SANEPAR) **Plano Diretor SAIC: Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana**. Curitiba: Sanepar, 2013.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (COMEC). **Sistema Integrado de Gestão e Proteção aos Mananciais da RMC**. Disponível em: <<http://www.comec.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=40>>. Acessado em: fevereiro de 2017.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (COMEC). **Revista COMEC da Região Metropolitana de Curitiba**: Curitiba, 2015.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (COMEC). **Plano de desenvolvimento integrado da Região Metropolitana de Curitiba: propostas de ordenamento territorial e novo arranjo institucional**. Curitiba, 2006.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (COMEC). **Plano de desenvolvimento integrado da Região Metropolitana de Curitiba: documento síntese para discussão**. Curitiba: 2001.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. (CVC). **Procedimientos Metodológicos de Planificación en Cuencas Hidrográficas**. Santiago de Cali: CVC, 1995.

CORRÊA, R. **Espaço: um conceito-chave da geografia**. In: Geografia: conceitos e temas. INÁ ELIAS DE CASTRO, I.; GOMES, P.; CORRÊA R. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil 16 Ed., 2014.

COSTA PELLIZZARO, ANTUNES, H.; BOLLMANN, H.; HARDT, C. **Urbanização em áreas de mananciais hídricos: estudo de caso em Piraquara, Paraná**. Cadernos Metrôpole, n.19, p. 221-243, 2008.

COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, FARBER S, GRASSO M, HANNON B. **The value of the world's ecosystem services and natural capital**. Nature, n. 387: 253–260, 1997.

DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Aspectos Climáticos de Curitiba-PR: uma contribuição para o ensino médio**. RA'E, O Espaço Geográfico em Análise. Curitiba: n.3, p. 229-253, 1999.

DE MATTOS, C. A. **Redes, nodos e cidades: transformações da metrópole latino-americana**. In: RIBEIRO, L. C. de Q. **Metrópoles: entre a coesão e a fragmentação, a cooperação e o conflito**. São Paulo: Fundação Perseu Abramo; Rio de Janeiro: FASE, 2004. P. 157-196.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). **Demografía y Población. Proyecciones de población**: Disponível em: <<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>>. Acessado em: janeiro de 2015.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). **Comercio Internacional. Exportaciones**. Disponível em: <<http://www.dane.gov.co/index.php/comercio-exterior/exportaciones>>. Acessado em janeiro de 2015.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). **Cambios Sociodemográficos de Colombia: periodo intercensal 1993 - 2005. 2005. E. S. Perea, Productor. Revista de la información básica**. Disponível em: <https://www.dane.gov.co/revista_ib/html_r4/articulo2_r4.htm>. Acessado em: janeiro de 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP). Colombia. **Documento CONPES 3819: Política Nacional para Consolidar el Sistema de Ciudades en Colombia**. Bogotá D.C. DNP, 2014.

DOUROJEANNI, A. **Los desafíos de la gestión integrada de cuencas y recursos hídricos en América Latina y el Caribe**. Revista DELOS, v. 3, n. 8, 2009.

DOUROJEANNI, A.; JOURAVLEV, A.; CHÁVEZ, G. **Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica**. Santiago de Chile, Chile: CEPAL, 2002.

DOUROJEANNI, A.; JOURAVLEV, A. **Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos**. Santiago de Chile: CEPAL, 1999.

DOUROJEANNI, AXEL. 1994. **La gestión del agua y las cuencas en América Latina**. En: Revista CEPAL, n. 53, agosto de 1994.

DRAKE, K.; HOGAN, M. **Watershed management guidebook: a guide to outcome based watershed management**. EUA: Integrated Environmental Restoration Services, 2013.

EARLS, JOHN. **Organización social y tecnológica de la agricultura andina para la adaptación al cambio climático en cuencas hidrográficas**. En: Tecnología y Sociedad. Lima: Soluciones Prácticas. Año 16, n° 8. 2009. pp. 13-31.

ESCOBAR, G. D. **Amenazas naturales en los Andes de Colombia**. Biblioteca Digital, Universidad Nacional de Colombia. 2007. Disponível em: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/1579/>>. Acessado em junho de 2014.

ESCOLA NACIONAL DE CIÊNCIAS ESTATÍSTICAS (ENCE). Disponível em: <http://www.ence.ibge.gov.br/images/ence/doc/mestrado/dissertacoes/2003/leila_regina_ervatti_TC.pdf>. Acessado em: agosto de 2016

EL PAÍS. **Cali sí necesita configurar un área metropolitana: presidente de Camacol Valle**. Disponível em: <<http://www.elpais.com.co/economia/cali-si-necesita-configurar-un-area-metropolitana-presidente-de-camacol-valle.html>>. Acessado em: outubro de 2015.

EMATER. **Diagnóstico e Plano de Ação da Microbacia APA do rio Piraquara**. Curitiba: SEAB, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS (EMBRAPA). **Brasil em Relevô**. Disponível em: <<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/>>. Acessado em: junho de 2015

EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI (EMCALI). **Plantas de producción de agua potable**. Disponível em: <https://www.emcali.com.co/web/water_service/nuestro-acueducto/tecnologia-e-infraestructura>. Acessado em: dezembro de 2016.

FERRARO, L.; BERED, A.; PAGEL, S. **A unidade de paisagem natural como base espacial para a gestão ambiental**. In: VERDUM, R.; VIEIRA, S.; SILVA, P. (Org.). Paisagem: Leituras, significados, transformações. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Editora da UFRGS, 2012.

FIRKOWSKI, O. L. C. F. **"Metrópoles e regiões metropolitanas no Brasil: conciliação ou divórcio." Território metropolitano, políticas municipais: por soluções conjuntas de problemas urbanos no âmbito metropolitano**. Brasília, DF: IPEA, 2013.

FIRKOWSKI, O.; PEREIRA A. **Proposta de definição de lugares urbanos, Periurbanos e rurais da Região Metropolitana de Curitiba**. In: Seminário Nacional de governança Urbana e Desenvolvimento Metropolitano, 2010. Natal. Seminários temáticos. Disponível em: <http://www.cchla.ufrn.br/seminariogovernanca/cdrom/ST1_Augusto_Pereira_Olga_Lucia.pdf>. Acessado em março de 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas?** Roma: FAO, 2009.

GARCIA, W. **El Sistema Complejo de la Cuenca Hidrográfica**. Ibagué: Universidad del Tolima. 2001.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP), IUWM. **Integrated urban watershed management**. Estocolmo: GWP, 2012.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GPW). **Manual para la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas**. Paris: GWP-INBO, 2009.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GPW). **Manejo integrado de recursos hídricos**. Estocolmo: GWP, 2000.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GPW). **The Dublin principles for water as reflected in a comparative assessment of institutional and legal arrangements for integrated water resources management**. Estocolmo: Global Water Partnership, 1999.

GLOBO. **Aldeia Araçai**. Disponível em <<http://g1.globo.com/pr/parana/fotos/2013/04/veja-galeria-de-fotos-da-aldeia-aracai-em-piraquara.html#F775628>>. Acessado em: fevereiro de 2017.

GONZALES RODRIGO STUMPF. **O Método Comparativo e a Ciência Política**. Revista de Estudos e Pesquisas sobre as Américas, Vol. 2, No. 1, Janeiro-Junho, 2008.

GONZÁLEZ, M.; JALÓN, F.; GARILLETI. **Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva del marco de agua**. Ingeniería Civil 143: 97-108, 2006.

GROSS MENDES, J. **Ocupação do solo em Piraquara: Diretrizes de Zoneamento**. Revista das Faculdades Santa Cruz. V.7. n, 1. Janeiro/Junho, 2009.

GUPTA, J.; LEENDERTSE, K. **Legal reforms for IWRM a multi-level, dynamic approach to water law and policy**. Incorporación de los principios de la gestión integrada de recursos hídricos en los marcos legales de América Latina. Bogotá D.C.: Universidad Externado de Colombia, 2005.

HANSSON, L.; FAHRIG, L.; MERRIAN, G. **Mosaic Landscape and Ecological Processes**. IALE Studies in Landscape Ecology 2, Chapman & Hall, London, 1995.

HENAO, JESÚS E. **Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas**. Bogotá: Universidad Santo Tomás. 1988. 400 p.

HINCAPIÉ, M., A. **Análisis de la habitabilidad de las comunas de la ciudad de Cali, Colombia**. Período 2000 – 2010. Revista Entorno Geográfico, n.9, p. 100-122, 2013.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). **Atlás Climático de Colombia**. Bogotá: IDEAM, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acessado em: outubro 2015.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Monitoramento da qualidade das águas dos rios da bacia do Alto Iguaçu, na Região Metropolitana de Curitiba, no período de 2005 a 2009**. Curitiba. IAP, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico do Uso das Terras**, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA (IBGE). **Projeção da População do Brasil por sexo e idade: 2000-2060**. **Geociências**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2013/default_tab.shtm> Acessado em: dezembro de 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro, Brasil: Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA (IBGE). **Contagem da População 2007. População recenseada e estimada, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/defaulttab.shtm>>. Acessado em: janeiro de 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA (IBGE). **Infográficos: dados gerais do município Piraquara**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=411950>>. Acessado em: janeiro de 2017

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Caracterização e Quadros de Análise Comparativa da Governança Metropolitana no Brasil: Arranjos Institucionais de Gestão Metropolitana. Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba: IPARDES, 2013.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **40 anos de regiões metropolitanas no Brasil** / organizadores: Marco Aurélio Costa, Isadora Tami Lemos Tsukumo. - Brasília: Ipea, 2013.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA – IPPUC, 2012. **Caracterização de Curitiba**. Disponível em: <<http://www.ippuc.org.br/ippucweb/sasi/home/default.php?idioma=1>> Acesso em: 17 fevereiro, 2012.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA – IPPUC, 2012a. **Clima**. Disponível em:

http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/Curitiba_em_dados_Pesquisa.htm. Acesso em: 17 fevereiro 2012.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Relatórios qualidade das águas 2009**. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/boletins/RELATORIO_AGUA/relatorio_RESE RVATORIOS_2005_2008.pdf>. Acessado em: outubro de 2015.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Plano de Drenagem da Região Metropolitana de Curitiba**. 2002. Disponível em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pdddrenagem/volume4/SUD0104RP_WR116_Fl.pdf. Acessado em: outubro de 2015.

JARAMILLO, D. **Introducción a la Ciencia del Suelo**. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2002.

JOHANSEN, B. **Introducción a la Teoría General de Sistemas**. Bogotá: Limusa, 2000.

KIM, Y. **Soil Erosion Assessment Using GIS and Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. 2014. Disponível em: <<http://www.caee.utexas.edu/prof/maidment/giswr2014/ProjectReport/Kim.pdf>>. Acessado em: junho de 2015.

KUCHARSKI, F.; POLZIN, D. e HASTENRATH, S. **Teleconnection mechanisms of Northeast Brazil droughts: modeling and empirical evidence**, Revista Brasileira de Meteorologia, v.23, n.2, 115-125, 2008.

LANNA, A. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: IBAMA, 1995.

LATORRE, E. **Teoría General de Sistemas, Aplicada a la solución Integral de Problemas**. Santiago de Cali: Universidad del Valle, 1996

LEFEVBRE, H. **The production of space**. Londres: Blackwell, 1974.

LEOPOLD, L., LANGBEIN, W. **The concept of Entropy in Landscape Evolution**. Washington: United States Department of The Interior, 1962.

LIMA, M. **Conhecendo os principais solos do Paraná: abordagem para professores do ensino fundamental e médio / Valmiqui** Costa Lima: Marcelo Ricardo de Lima; Vander de Freitas Melo. – Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Núcleo Estadual do Paraná, 2012.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP)**. Bragantia, Campinas, v. 51, n. 2, p.189- 196, 1992.

LOVELOCK, J. **GAIA a New look at Life on Earth**. New York: Oxford, 1979.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1968.

MARENGO, J. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2006.

MARTÍNEZ, P.; PATIÑO, Z. **Área metropolitana del sur del valle y norte del cauca: amvaca. Definición, caracterización y propuesta de conformación**. Cali: Programa Editorial Univalle, 2015.

MARTÍNEZ, P.; BUITRAGO, O. **Cali: Una metrópole regional en movimiento**. Cali: Programa Editorial UNIVALLE, 2011.

MARTINS, M. L. R. **Moradia e Mananciais: tensão e diálogo na Metrópole**. São Paulo: FAUUSP/ FAPESP, 2006.

MARTONI, J. **Gazeta do Povo: Águas do Amanha. N. 5**. Curitiba: 2011. Disponível: http://arquivos.ana.gov.br/premioana/doc/20130923_20110605%20Retrato%20do%20Alto%20Iguaçu.pdf. Acessado em: março de 2017.

MASCARÓ L., MASCARÓ, J. **Ambiência Urbana**. Porto Alegre: Editorial Masquadro, 2009.

MATTOS, S.; PEREZ FILHO, A. **Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 5, n.1, p. 11-18, 2004.

MENDONÇA, F. **Clima e Criminalidade- ensaio analítico da correlação entre a temperatura do ar e a incidência de criminalidade urbana**. Curitiba: Ed. UFPR. 2001.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Island Press, Washington, DC., 2005.

MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado Do Paraná**. Curitiba. 2001.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE DO BRASIL. **Mata Atlântica: manual de adequação ambiental** / Maura Campanili e Wigold Bertoldo Schaer. – Brasília: MMA/SBF. (Série Biodiversidade, 35). 2010.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE DO BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA**. Disponível: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acessado em: março 22 de 2017.

MINISTÉRIO DE AMBIENTE DE COLOMBIA. **Decreto 1640 de 2012**. Disponível em: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_1640_2012.pdf>. Acessado em: abril 11 de 2017.

MOLNÁR, P.; RAMÍREZ, J. **Energy Dissipation Theories and Optimal Channel Characteristics of River Networks**. Em: Water Resources Research. Washington D.C.: American Geophysical Union. 1998. 34 (7). pp. 1809-18.

MONTOYA, A.; CARVAJAL, Y. **Caracterización Fisiográfica e Hidrológica: Cuenca Hidrográfica del Río Cauca**. Revista Ingeniería y Competitividad, v. 1, n. 2, 1998.

MORGAN, R. **Soil Erosion and Conservation**. National Soil Resources Institute. Cranfield University. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK. 304 p. 2005.

MOURA, R. Metropolização, dinâmicas metropolitanas e o território nacional. In.: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 62., Natal, 2010. Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/62ra/mesas_redondas/MR%20Rosa%20Moura.pdf>. Acessado em: março de 2017.

NADAL R., Eugenio. **Introducción al análisis de la Planificación Hidrológica**. Madrid: MOPT, 1993.

NASCIMENTO, L.; SANT'ANNA, JOÃO LIMA. **Contribuição aos Estudos da Precipitação no Estado Do Paraná: A Oscilação Decadal do Pacífico - ODP**. Ra'e ga (UFPR), v. 35, p. 314-343. 2016.

NATIONAL WEATHER CENTER. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-content/teleconnections/nino-regions.gif>. 2017.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **El Niño Oscilação Sul**. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/sst.php>> acessado em dezembro de 2016.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Zona El Niño 3.4** Disponível em <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-content/teleconnections/nino-regions.gif>. Acessado em janeiro 2017.

NIVIA, A. **Mapa Geológico del Departamento del Valle del Cauca: memoria explicativa**. Bogotá: INGEOMINAS, 2001.

OLLERO, A. **Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro, Guía metodológica**. Zaragoza, España: Ministerio de Médio Ambiente, 2009.

ORGANIZACIÓN DE ESTADOS AMERICANOS (OEA). **Calidad ambiental y desarrollo de cuencas hidrográficas: un modelo para planificación y análisis integrados**. Washington: Secretaría General de la OEA. 1978

ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS (ONU). **Informe de los objetivos de Desarrollo del Milenio**. Disponível em: <http://www.un.org/es/millenniumgoals/reports.shtml> Acessado em: abril de 2017

ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS (ONU). **Declaración de Rio sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo**. Disponível em: <<http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>>. Acessado no dezembro 17 de 2016

O'CONNOR, J.; McDERMOTT, I. **Introducción al pensamiento sistémico**. Barcelona: Urano, 1998.

PARANÁ, GOVERNO DO ESTADO DO. **Plano de Bacias do Alto Iguaçu e Alfuentes do Alto Ribeira**. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=158>> acessado em: Janeiro de 2015

PARANÁ, GOVERNO DO ESTADO DO. **Decreto Estadual no. 1754 de 02 de maio de 1996 pelo qual é declarada uma Área de Proteção Ambiental Piraquara**. Curitiba, 1996.

PARANÁ, GOVERNO DO ESTADO DO. **Lei Estadual nº 12.726 de 1999. Política Estadual de Recursos Hídricos de Paraná.** Curitiba, 1999.

PARANÁ, GOVERNO DO ESTADO DO. **Lei Estadual nº 12.248 de 1998 sobre o Sistema Integrado de Gestão e Proteção dos Mananciais da RMC (SIGPROM).** Curitiba, 1998.

PARANÁ, GOVERNO DO ESTADO DO. **Decreto nº 4388 de 17 de junho de 2016. Dispõe sobre o Zoneamento da Unidade Territorial de Planejamento do Guarituba e altera Decreto nº 809/1999 e Decreto nº 6314/2006.** Curitiba, 2016.

PARANÁ, GOVERNO DO ESTADO DO. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná.** Curitiba: UFPR, 2006.

PARRA O. **Bases ecológicas para el manejo integral en la Hoya del río Biobío.** In "Uso, manejo y desarrollo de la hoya hidrográfica del río Biobío, C. Murcia (ed.). Editorial Universidad de Concepción, pp. 21-29. 1988.

PARRA O. **El río Biobío: "EL Recurso Natural Base del Desarrollo de la Región.** Cuadernos del Biobío, Ediciones Universidad de Concepción, 83 pp. 1996.

PÉREZ, A. **Conflicto ambiental en el río Pance: entre diversos usos y usuarios del agua.** Cali: Programa Editorial UNIVALLE, 2014.

PÉREZ, E. G. **Manejo de cuencas. Una orientación hacia los países en desarrollo** Santiago de Chile, Chile: ONU, Programa FAO. 1996.

PIMENTEL, D., HARVEY, C., RESOSUDARMO, P., SINCLAIR, K., KURZ, D., MCNAIR, M., CRIST, S., SHPRITZ L., FITTON, L., SAFFOURI, R., BLAIR, R. **Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits.** Science, New Series, Vol. 267, No. 5201. P 1117-1123. 1995.

PREFEITURA DE CALI. **Documento Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Cali.** DAGMA-CVC-PACHAMAMA. 2011.

PREFEITURA DE CALI. **Documento "Cali en Cifras" año 2014.** Cali: Alcaldía, 2015.

PREFEITURA DE CALI. **Documento Plan de Ordenamiento Territorial.** Acuerdo 0373 de 2014.

PRESTES, M.; POLLI, S.; LAGANA. **Urbanização e Regularização do Guarituba na Região Metropolitana de Curitiba RMC: análise das ações no âmbito do PAC-PPI-IF no período 2007-2016.** Seminário URBFAVELAS 2016 Rio de Janeiro. 2016. Disponível em: <<http://www.sisgeenco.com.br/sistema/urbfavelas/anais2016/ARQUIVOS/GT3-42-95-20160814121305.pdf>>. Acessado em: março, 2017.

PRIGOGINE, I., , **Introduction to Non-equilibrium Thermodynamics** 119 pp., Wiley Interscience, New York. 1962.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA). **Metodología para la elaboración de los informes GEO Ciudades.** Manual de Aplicación. Ciudad de Panamá. PNUMA. 2008.

QUINTERO, M.; CARVAJAL, Y.; ALDUNCE, P. **Adaptación a la Variabilidad y el Cambio Climático: Intersecciones con la Gestión del Riesgo**. Revista Luna Azul, n. 34, 2012.

QUIROGA, R. **Guía metodología para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe**. Serie Manuales No. 61. Santiago de Chile: CEPAL. 2009.

RIBEIRO, A. **As Escalas do Clima**. Boletim De Geografia Teorética, 23(46-46):288-294, 1993.

RIBEIRO, A. **Cartografia da ação social: região latino-americana e novo desenvolvimento urbano. Otro desarrollo urbano: ciudad incluyente, justicia social y gestión democrática**. Buenos Aires: Clacso, p. 147-156, 2009.

RIBEIRO, A. **Faces ativas do urbano: mutações em um contexto de imobilismo**. _____ (org.). Repensando a experiência urbana da América Latina: questões, conceitos e valores. Buenos Aires, CLACSO, p. 235-250, 2000.

RENARD, K. **Predicting soil erosion by water: guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington: US Gov. Print Office, 1997. 404 p. (Agriculture Handbook, 703).

REYES, A.; ULISES, F.; CARVAJAL, Y. **Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas**. Cali, Universidad del Valle. 2010.

RODRÍGUEZ, I.; RENALDO, A. **Fractal River Basins, Chance and Self-organization**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

RODRIGUEZ, J.; SILVA, E. **Planejamento e Gestão Ambiental: Subsídios da Geoecologia das Paisagens e da Teoria Geossistêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

RODRIGUES TOMÉ ANTÓNIO. **Phd thesis, “Balanços globais e regionais de Entropia, de Energia e de Massa da Atmosfera. Contribuição para o estudo do clima do Mediterrâneo”**. Universidade da Beira Interior, Covilhã, 1997.

ROJAS, J.; PÉREZ, M. A.; MALHEIROS, T. F.; MADERA, C.; PROTA, M. G.; DOS SANTOS, R. **Análisis comparativo de modelos e instrumentos de gestión integrada del recurso hídrico en Suramérica: los casos de Brasil y Colombia**. Ambi-Agua, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 73-97, 2013.

ROSGEN, D.L. **A classification of natural rivers**. Catena, 22(3), 169-199. 1994.

ROSS, J. **O Registro Cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo**. Revista do Departamento de Geografia, n. 6, SP: FFLCH, p.17-29, 1992.

PLATT, R. H. **Urban Watershed Management: Sustaninability, one stream at time**. Environment. V. 48. n. 4., p 26-42. 2009.

SALVIOLI, M.; COLLI, A.; CIPPONERI, G.; CALVO, G. **Gestión de Cuencas: Análisis Comparativo en Función de la Calidad del Agua Superficial y Usos del Suelo de dos Pequeñas Cuencas Urbanas**. Actas 7mo. Congreso de Medio Ambiente. Universidad La Plata. Disponível em:

<http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26689/Documento_completo.pdf?sequence=1>. Acessado em: março 24 2016.

SANTOS, M. **Economia espacial: críticas e alternativas**. São Paulo, Edusp, 2003.

SANTOS, M. **A natureza do espaço – Técnica e tempo. Razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. **Soils: Genesis and Geomorphology**. New York: Cambridge University Press, 2005.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Bahia: Editus, 2002.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (SEMA). **Finalidade e objetivos da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1>>. Acessado em: fevereiro de 2017.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). INGEOMINAS. **Reseña Explicativa del Mapa Geológico Preliminar Plancha 299 Jamundí**. Bogotá: INGEOMINAS, 1984.

SETTI, A.; LIMA, J.; CHAVES, A. et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia, 2011.

SILVA, A.; ALVARES, C. Levantamento de Informações e Estruturação de um Banco Bados Sobre a Erodibilidade de Classes de Solos no Estado de São Paulo. *Revista Geociências*, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.

SILVA, T.; RODRIGUES, S. **Tutorial De Cartografia Geomorfológica Arcgis 9.2 e Envi. 4.0**. Manuais Técnicos Revista Geográfica Acadêmica, v.3, n.2. 2009.

SILVEIRA, A. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: TUCCI, C. M. (org.). *Hidrologia, ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

SILVESTRINI, Vittorio. **Qué es la entropía**. Bogotá: Editorial Norma, 1998

SMITH, M., DE GROOT, D., PERROT-MAÎTE, D. AND BERGKAMP, G. Pay – Establishing payments for watershed services. Gland, Switzerland: IUCN. 2006.

SOARES, S. et al. **Efeitos do El Niño e da La Niña na Agricultura Brasileira**. São Paulo: INPE, 2008. Disponível em: <<http://baixarosmelhoresseriados.blogspot.com.br/2013/10/efeitos-do-el-nino-e-da-la-nina-na.html>>. Acesso em: 23 ago. 2015.

SOUZA, M. J. L. de. **O território: sobre espaço e poder, autonomia e desenvolvimento**. In: **Geografia: conceitos e temas**. INÁ ELIAS DE CASTRO, I.; GOMES, P.; CORRÊA R. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil 16 ed., 2014.

SOUZA, M. J. L. de. **Da cidade individual à rede urbana**. In: ____ **O ABC do desenvolvimento urbano**. Rio de Janeiro, 2005. [2ª Ed.]. p. 49 – 62.

SOUZA de, LOPES. **O território: sobre espaço e poder, autonomia e desenvolvimento**. In: **Geografia: conceitos e temas**. INÁ ELIAS DE CASTRO, I.; GOMES, P.; CORRÊA R. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil 16 ed., 2014.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A.; TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, p. 9-18, 2012.

SPOSITO, E. **Geografia e filosofia: contribuição para o ensino do pensamento geográfico**. São Paulo: Ed. da UNESP, 2004.

SPOSITO, M. **Encarnação Beltrão. Metropolização do espaço: cidades médias, lógicas econômicas e consumo**. In: FERREIRA, Álvaro, RUA, João; MATTOS, Regina C. (org.). (Org.). Desafios da Metropolização do Espaço. 1a. Ed. Rio de Janeiro: Consequência, 2015, v. 1, p. 125-154

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Trans. Amer. Geophys. Union 38(6):913–920. 1957

TEIXEIRA. MARTIN-VIDE. **Influência do ENOS na distribuição das precipitações no estado do Paraná**. Revista brasileira de climatologia. Ano 9, V.12, ano 2013, p. 103 – 113.

THORP, J.H., Thoms, M.C., Delong, M.D. (2006). **The riverine ecosystem synthesis: biocomplexity in river networks across space and time**. River Research & Applications 22: 123-147.

TONET, H.; LOPES, R. **Alternativas organizacionais mais adequadas para viabilizar o uso dos instrumentos de Avaliação de Impactos Ambientais e Gerenciamento de Bacia Hidrográfica**. Texto de Consultoria em Gestão Pública para Projeto de Tecnologias de Gestão Ambiental do IBAMA. Brasília, DF, 1994.

TORRES, H. **Fronteira Paulistana**. XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambu-MG, 2004. Disponível em: <<http://www.centrodametropole.org.br/pdf/abep2004.pdf>> Acessado em março de 2017.

TUCCI, C. M. (org.). **Hidrologia, ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Gestão integrada das águas urbanas**. REGA. Revista de Gestão de Águas da América Latina, v. 5, p. 71-80, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Gestión de Inundaciones Urbanas**. 1. ed. Porto Alegre: Evangraf Ltda, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. 4. ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. 194 p.

TUCCI, C. E. M. (Org.), MARQUES, D. M. (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000, v. 1, 558 p.

TURNER R.; GEORGIU S.; FISHER B. **Valuing Ecosystem Services: The Case of multi-functional wetlands**. London: Cromwell Press, 2008. 240.

UNESCO. **IWRM Guidelines at River Basin Level. Part I: Principles**. United Nations World Water Development Report. Bruselas: UNESCO 2009.

UNESCO. **Procesos de erosión** - sedimentación en cauces y cuencas. Montevideo, Unesco, 2010.

VANNOTE, R., MINSHALL, W., CUMMINS, K., SEDELL, J., CUSHING, C. **The River Continuum Concept**. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37, 130 – 137. 1980.

VAREJÃO-SILVA 2006. METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA. Versão digital 2. INMET. Recife 2006.

VARELA M., Efrén. **Planificación–Acción en Cuencas Hidrográficas: un enfoque empírico desestructurado o estructurante**”. En: **Seminario Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas**. AINSA, Medellín 20-23 de 1992.

VERDUM, R. **Perceber e conceber paisagem**. In: VERDUM, R.; VIEIRA, S.; SILVA, P. (org.). Paisagem: Leituras, significados, transformações. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Editora da UFRGS, 2012.

WEBSTER, J.R. ; B.C. PATTEN. **Effects of watershed perturbation on stream potassium and calcium dynamica**. Ecological Monographs 49: 51-72. 1979.

WHITACKER, A. M. **Centro da Cidade, Centralidade Intraurbana e Cidades Médias**. In: MAYA, D. S.; SILVA, W. R.; WHITACKER, A. M. Centro e Centralidade em Cidades Médias. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2017, p. 149-178.

WHITACKER, A. M. **Espaços Urbanos. Notas de aula**. Disciplina de Graduação. Material didático disponibilizado em meio digital. Presidente Prudente, Unesp, 2016.

WISCHMEIR, W.H. & SMITH, D. D.; **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning**. USDA Handbook nº537, Washington, 1978.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **What is the Climate Variability?** Disponível em: <<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.php#q>> acessado em dezembro 2016.

YAMAMURA, E., IWASA, M. **Regional Planning in the Tennessee Valley: focus on the Transfer and Transformation of the TVA**. Environmental science, Hokkaido: journal of the Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Sapporo, 7(1): 15-37. 1984.