



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Phelipe Rabelo da Silva

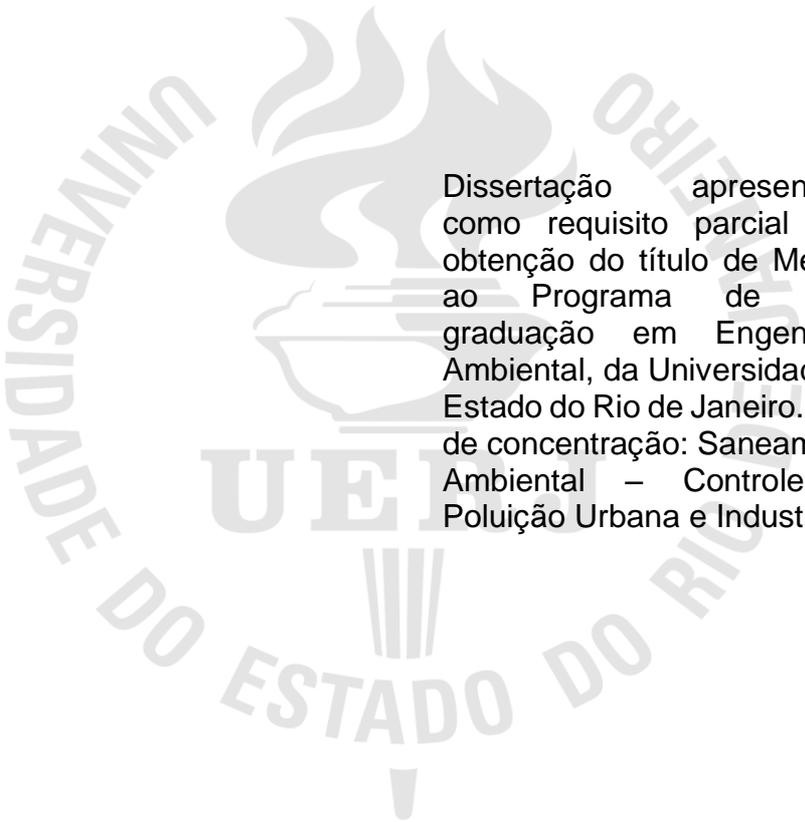
**AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA SEGURANÇA HÍDRICA DO  
ABASTECIMENTO DE MUNICÍPIOS FLUMINENSES DA BACIA  
DO RIO POMBA**

Rio de Janeiro

2017

Phelipe Rabelo da Silva

**Avaliação Qualitativa da Segurança Hídrica do Abastecimento de  
Municípios Fluminenses da Bacia do Rio Pomba**



Dissertação apresentada,  
como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre,  
ao Programa de Pós-  
graduação em Engenharia  
Ambiental, da Universidade do  
Estado do Rio de Janeiro. Área  
de concentração: Saneamento  
Ambiental – Controle da  
Poluição Urbana e Industrial.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosa Maria Formiga Johnsson

Rio de Janeiro

2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S586 Silva, Phelipe Rabelo da.  
Avaliação qualitativa da segurança hídrica do abastecimento de municípios fluminenses da Bacia do Rio Pomba / Phelipe Rabelo da Silva. – 2017.  
157f.

Orientador: Rosa Maria Formiga Johnsson.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental - Teses. 2. Abastecimento de água - Teses.  
3. Água - Qualidade - Teses. 4. Bacias hidrográficas - Administração - Teses. I. Johnsson, Rosa Maria Formiga. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 502.7

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Phelipe Rabelo da Silva

**Avaliação qualitativa da segurança hídrica do abastecimento de municípios  
fluminenses da Bacia do Rio Pomba**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovado em: 17 de julho de 2017.

Banca Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosa Maria Formiga Johnsson (Orientadora)

Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Ph.D. José Paulo Soares de Azevedo

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

---

Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior

Faculdade de Engenharia – UERJ

Rio de Janeiro

2017

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à DEUS por me proporcionar condições físicas e mentais viabilizando assim a possibilidade de cursar um mestrado acadêmico.

À minha orientadora e amiga Prof. Dr<sup>a</sup>. Rosa Maria Formiga Johnsson por todo seu empenho e orientação durante os meus dois anos de mestrado, por desenvolver e a elaborar um modelo complexo de segurança hídrica e por me acolher no grupo de pesquisa sobre Segurança Hídrica.

Aos gestores da CEDAE, em especial ao Coordenação de Produção e Controle de Qualidade da Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro Sr. Anderson Mansur por me guiar na visita técnica, pelo fornecimento de informações essenciais para a realização do presente trabalho e ao Gerente da região Nordeste, Sr. Geovani Freitas por ter autorizado a minha visita as unidades da CEDAE da região noroeste do Estado do Rio de Janeiro e também ao Sr. Eduardo Schlaepfer Ribeiro Dantas Chefe do Setor de Recurso Hídricos da CEDAE pela ajuda também essencial para que as visitas fossem realizadas. O meu eterno obrigado!

Aos gestores da Águas de Pádua, em especial ao Engenheiro Sanitarista da Águas de Pádua, Sr. Diego Belgone pelo fornecimento das informações e por me guiar nas visitas as instalações em Santo Antônio de Pádua e ao Diretor da Empresa, Sr. José Antônio por autorizar a minha visita as instalações da Águas de Santo Antônio.

À minha família, em especial ao meu pai, minha mãe e meu irmão pelo incentivo nos momentos difíceis enfrentados durante o curso, pelo suporte financeiro. Enfim, muito obrigado pelo apoio incondicional.

Aos meus tios Luiz Claudio, Vera e Zaíde por todo carinho, compreensão e carinho e suporte na árdua tarefa de se tornar mestre em Engenharia Ambiental.

Aos meus amigos pelo apoio durante todos os momentos, em especial aos meus “irmãos” que tenho a honra de conviver nesses últimos anos Bruno César Silva Rocha, Marcel Lacerda e Fátima Luz.

Aos professores da Universidade Federal Fluminense Prof. Dr<sup>a</sup> Monica Aquino Galeano Massera da Hora, Prof. Dr. Gilson Brito Alves Lima, Prof. Dr. Julio César Faria Alvim Wassermann pelos ensinamentos durante a graduação em Engenharia Ambiental e a pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho que me

possibilitaram ser aprovado em um processo seletivo de mestrado altamente concorrido.

Aos Professores Alfredo Akira Ohnuma Júnior, José Paulo Soares de Azevedo, por aceitarem o convite para integrar essa banca de avaliação e pelas sugestões que agregaram muito valor ao presente trabalho.

Ao professor Roselir Ribeiro, do IFNMG, campus de Rio Pomba pela gentileza de me ceder o mapa de contorno da Bacia do Rio Pomba e por se colocar sempre a disposição para ajudar no fornecimento de outros dados

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (PEAMB-UERJ), professores e apoio administrativo, em especial ao Prezado Guilherme.

Aos meus amigos de curso de mestrado que sempre me incentivaram em especial, a Nathalia Miranda, Gilson Cassiano, Jean Alves e Leandro Rangel.

Aos meus amigos que entenderam a minha ausência por longos períodos Alice Machado, Lorenzo, Claudio Graccioli, Fábio do Fundo, Felipe Calil, Ronald Martins, Hugo Pires.

## RESUMO

SILVA, Phelipe Rabelo da. *Avaliação qualitativa da segurança hídrica do abastecimento de municípios fluminenses da Bacia do Rio Pomba*. 2017. 173f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

O presente trabalho tem por objetivo analisar a segurança hídrica em termos de disponibilidade e qualidade de água para abastecimento público dos três municípios fluminenses que captam água diretamente no Rio Pomba (Santo Antônio de Pádua, Miracema e Aperibé). A segurança hídrica consiste em analisar, os fatores de estresse com potencial de desestabilizar a dinâmica de gestão ambiental da Bacia e impactar a água bruta no ponto de captação, em quantidade e qualidade, além de, avaliar a compatibilidade dessa água com o sistema de captação e tratamento. A análise foi realizada para os cinco estressores propostos no modelo analítico desenvolvido pelo grupo de pesquisa “Água Gestão e Segurança Hídrica em tempos de Mudanças Ambientais Globais” da UERJ, do qual o autor é um dos membros. São eles: pressão sobre as condições ambientais da bacia hidrográfica; carga poluidora (pressão sobre a qualidade de água); demanda de água (pressão sobre a quantidade); eventos hidrológicos extremos; e acidentes ambientais. Para cada um desses estressores, foi possível verificar, de modo qualitativo, os impactos potenciais e riscos associados para a quantidade e qualidade da água bruta, no ponto de captação de cada sistema municipal de abastecimento. Os resultados apontam que os estressores de maior risco à segurança hídrica para o abastecimento urbano dos municípios de Santo Antônio de Pádua, Miracema e Aperibé, em termos de quantidade e qualidade de água bruta nos pontos de captação respectivos, são os seguintes: as condições ambientais e os eventos climáticos extremos, seguidos da pressão sobre a demanda por água (quantidade), pressão sobre a qualidade de água e acidentes ambientais (barragens de rejeitos) que foram considerados como riscos aceitáveis. Por outro lado, a área de estudo é uma das áreas mais degradadas do ponto de vista ambiental no Estado do Rio de Janeiro, com pouca cobertura vegetal e áreas protegidas. Apesar dessa situação, foi avaliado que os sistemas de captação dos municípios apresentam uma boa capacidade adaptativa às variações de nível do Rio Pomba em situações de secas e cheias baseados nos resultados obtidos com a aplicação do modelo analítico; da mesma forma, foi reportado que os sistemas de tratamento estão sendo capazes de assimilar a variação da qualidade da água do Rio Pomba.

**Palavras-chave:** Segurança hídrica; Rio Pomba; Estressores; Gestão de recursos hídricos; Riscos.

## ABSTRACT

SILVA, Phelipe Rabelo da. *Qualitative Assessment of Water Safety of Fluminense Municipalities of the Pomba River Sub-Basin*. 2017. 173p. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The present work has the objective of analyzing the water security in terms of availability and water quality for public supply of the three municipalities of Rio de Janeiro that catch water directly in the Pomba River (Santo Antônio de Pádua, Miracema and Aperibé). Water security consists of analyzing the stress factors with the potential to destabilize the dynamics of environmental management of the Basin and impact the raw water at the catchment point, in quantity and quality, besides evaluating the compatibility of this water with the catchment and treatment system. The analysis was performed for the five stressors proposed in the analytical model developed by the research group "Water Management and Water Safety in Times of Global Environmental Change" of UERJ, of which the author is one of the members. These are: pressure on the environmental conditions of the river basin; Pollution load (pressure on water quality); Water demand (pressure on quantity); Extreme hydrological events; and environmental accidents. For each of these stressors, it was possible qualitatively to verify the potential impacts and associated risks for the quantity and quality of raw water at the point of abstraction of each municipal water supply system. The results indicate that the stressors of greater risk to water security for the urban supply of the municipalities of Santo Antônio de Pádua, Miracema and Aperibé in terms of quantity and quality of raw water at the respective catchment points are as follows: environmental conditions and extreme weather events, followed by pressure on water demand (quantity), pressure on water quality, and environmental accidents (tailings dams) that were considered acceptable risks. On the other hand, the study area is one of the most degraded areas from the environmental point of view in the State of Rio de Janeiro, with little vegetation cover and protected areas. Despite this situation, it was evaluated that the catchment systems of the municipalities present a good adaptive capacity to the level variations of the Pomba River in situations of droughts and floods based on the results obtained with the application of the analytical model; In the same way, it was reported that the treatment systems are being able to assimilate the water quality variation of the Pomba River.

**Keywords:** Water security; Pomba River; Stressors; Water resources management; Risks.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Sub-Bacia do Rio Pomba e Bacia do Rio Paraíba do Sul .....	23
Figura 2 - Definição de Risco OCDE .....	34
Figura 3 - Esquema de determinação da capacidade adaptativa de acordo ...	37
Figura 4: Modelo analítico para avaliação qualitativa de segurança hídrica de sistemas de abastecimento urbano.....	43
Figura 5 - Matriz de determinação do grau de risco, por estressor .....	53
Figura 7 - Modelo analítico de segurança hídrica: vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano de água .....	62
Figura 8: Matriz de determinação da vulnerabilidade .....	63
Figura 9 – Localização da bacia do Rio Pomba no território nacional .....	66
Figura 10 – Municípios da Sub-Bacia do Rio Pomba .....	67
Figura 11 – Municípios fluminenses estudados na sub-bacia do Rio Pomba. .	68
Figura 12 – Índice de Desenvolvimento Municipal na Região da Bacia do Rio PombaFonte: O autor baseado em SIGA-CEIVAP; IBGE, 2013 .....	69
Figura 13 – Atendimento Total de água .....	70
Figura 14 – Perdas na Distribuição de Água .....	71
Figura 15- Índice de coleta de Esgoto (2014).....	72
Figura 16 - Localização da Captação Santo Antônio de Pádua.....	73
Figura 17 - Ponto de Captação Santo Antônio de Pádua (14/06/2017 – 10:44) .....	74
Figura 18 - Rio Pomba no ponto de captação em Santo Antônio de Pádua (14/06/2017 – 10:45).....	75
Figura 19 - Rio Pomba no Ponto de Captação Santo Antônio de Pádua (14/06/2017 – 10:45).....	75
Figura 20 - ETA Campelo em Miracema gerenciada pela Águas de Pádua (14/06/2017 - 07: 47).....	76
Figura 21 - Vista aérea da Captação em Miracema .....	77
Figura 22 – Captação em Miracema (Dia 14/06/2017 – 8:17) .....	77
Figura 23 - Captação Miracema variação do nível do Rio Pomba na ETA (14/06/2017 08:19).....	78

Figura 24 - Sistema de Captação em Miracema (14/06/2017 08:21).....	79
Figura 25 - Sistemas de Anéis (14/06/2017 – 08:27).....	80
Figura 26 - ETA Miracema (14/06/2017 - 07: 28) .....	80
Figura 27 – ETA Miracema entrada de água no vertedor .....	81
Figura 28 - Rio Pomba na captação em Aperibé ( 14/06/2017 – 11:09) .....	82
Figura 29 - Uso e Cobertura do Solo Atual na Bacia do Rio Pomba - MG.....	87
Figura 30 – Unidades de Conservação da Bacia do Rio Pomba .....	92
Figura 31 – Unidades de Geração de Energia Hidrelétrica .....	93
Figura 32 - Matriz de Riscos associados ao estressor “pressão sobre as condições ambientais da bacia” .....	95
Figura 33 – Principais outorgas concedidas na Bacia do Rio Pomba.....	97
Figura 34 – Valores de IUD para os diversos corpos hídricos da Bacia do Rio Pomba .....	100
Figura 35 – Classificação CEIVAP para a situação de quantidade de água disponível.....	102
Figura 36 - Matriz de risco para a água bruta associado estressor “demanda de água (pressão sobre a quantidade)” .....	103
Figura 37 – Distribuição das Estações por Tipologia na Bacia do Rio Pomba .....	104
Figura 38 - Outorgas de Lançamento na Bacia do Rio Pomba.....	105
Figura 39 – Dados IDQ na Bacia do Rio PombaFonte: O autor. ....	115
Figura 40 – Matriz de Riscos para a água bruta associados ao estressor “pressão sobre a qualidade de água” .....	116
Figura 41 – Rodovias na Bacia do Rio Pomba .....	119
Figura 42 – Acidentes Ambientais no Brasil com barragens de Rejeito.....	120
Figura 43 – Vista aérea do rompimento a barragem .....	121
Figura 44 - O município de Cataguases teve vazamento de 'licor negro' após rompimento de barreira em 2003. ....	122
Figura 45 – Dispersão de Poluentes no acidente de 2003 .....	123
Figura 46 - Localização das Barragens de Rejeito na Bacia do Rio Pomba ..	125
Figura 47- Matriz de risco para a água bruta associado a acidentes ambientais .....	126
Figura 48 – Eventos Climáticos de InundaçãoFonte: O autor.....	133
Figura 49 - Vulnerabilidade a Inundações na Bacia do Rio Pomba.....	134

Figura 50- Obra de Contenção em Santo Antônio de Pádua.....	141
Figura 51 - Matriz de riscos para a água bruta associada a eventos extremos .....	143
Figura 52- Matriz de Riscos consolidada .....	146
Figura 53 - Matriz de Vulnerabilidade do Subsistema de Captação de Santo Antônio de Pádua .....	149
Figura 54 - Vulnerabilidade do Subsistema de Tratamento de Santo Antônio de Pádua .....	150
Figura 55 - Vulnerabilidade do Sistema de Captação de Miracema .....	152
Figura 56 – Vulnerabilidade do Subsistema de Tratamento de Miracema .....	153
Figura 57- Matriz de Vulnerabilidade do Subsistema de Captação de Aperibé .....	155
Figura 58 – Matriz de Vulnerabilidade do Sistema de Tratamento em Aperibé .....	156
Figura 59 - Matriz de Vulnerabilidade do Sistema de Captação .....	158
Figura 60 - Matriz de Vulnerabilidade do Sistema de Tratamento .....	159

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Demanda de água (vazão de captação) na Bacia do Rio Pomba (%) .....	98
Gráfico 2 – Variação na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na Bacia do Rio Pomba .....	106
Gráfico 3 –Oxigênio Dissolvido na Bacia do Rio Pomba .....	107
Gráfico 4 – Eschericia Coli na Bacia do Rio Pomba .....	107
Gráfico 5 – Fósforo Total na Bacia do Rio Pomba .....	108
Gráfico 6 – ChumboTotal na Bacia do Rio Pomba .....	109
Gráfico 7 – Ferro Dissolvido na Bacia do Rio Pomba .....	110
Gráfico 8 – Manganês Total na Bacia do Rio Pomba .....	110
Gráfico 9 – Zinco Total na Bacia do Rio Pomba .....	111
Gráfico 10 – Turbidez na Bacia do Rio Pomba.....	112
Gráfico 11 – Cor verdadeira na Bacia do Rio Pomba .....	112
Gráfico 12 – Clorofila a na Bacia do Rio Pomba .....	113
Gráfico 13 - Vazões na Sub- Bacia do Rio Pomba em Cataguases .....	127
Gráfico 14 –Precipitações na Sub- Bacia do Rio Pomba em Cataguases .....	129
Gráfico 15 –Precipitação na Sub- Bacia do Rio Pomba em Santo Antônio de Pádua .....	130
Gráfico 16 –Vazões na Sub- Bacia do Rio Pomba em Santo Antônio de Pádua .....	132

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Graduação qualitativa dos estressores, por propriedade.....	52
Quadro 2: Estressores de água bruta selecionados para compor o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica do abastecimento urbano .....	57
Quadro 3 – Classificação do Índice de Retirada de Água .....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de Municípios fluminenses na bacia do rio Pomba.....	67
Tabela 2- Dados Captação Santo Antônio de Pádua .....	74
Tabela 3- Dados de captação Miracema.....	77
Tabela 4- Dados Captação Aperibé .....	82
Tabela 5: Dados Consolidados de Captação e Tratamento .....	83
Tabela 6 - Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio Pomba .....	85
Tabela 7 - Uso e Ocupação do Solo por Estados.....	86
Tabela 8 – Uso e ocupação de áreas de APPs de margens de rio na Bacia do Rio Pomba para os cursos d’água .....	88
Tabela 11 - Unidades de Conservação Bacia do Rio Pomba .....	91
Tabela 12 – Percentual de áreas protegidas na Bacia do Rio Pomba.....	91
Tabela 13- Áreas de Proteção Ambiental criadas recentemente na Bacia do Rio Pomba .....	92
Tabela 14 – Disponibilidade Hídrica na Bacia do Rio Pomba.....	96
Tabela 15 - Demandas de água na Bacia do Rio Pomba (m <sup>3</sup> /s).....	97
Tabela 16 – Outorgas ANA .....	98
Tabela 17- Demanda atuais e futuras na Bacia do Rio Pomba .....	99
Tabela 18 - Dados Cianobactérias Miracema e Aperibé .....	114
Tabela 19 – Ocorrência de acidentes ambientais em rodovias da Região em estudo .....	117
Tabela 20 – Vazões em Cataguases .....	128
Tabela 21- Precipitação em Cataguases.....	128
Tabela 22- Precipitação Santo Antônio de Pádua .....	131
Tabela 23 - Vazão em Santo Antônio de Pádua.....	132
Tabela 24 - Desvios Precipitação em relação à mínima histórica - Santo Antônio de Pádua - RJ.....	135
Tabela 25- Desvio de Precipitação em relação à média histórica - Santo Antônio de Pádua - RJ.....	136
Tabela 26 - Desvios de Precipitação em relação a mínima histórica – Cataguases - MG.....	137

Tabela 27- Desvios de Precipitação em relação à média histórica - Cataguases-MG .....	137
Tabela 28-Desvios de Vazão em relação a mínima histórica Santo Antônio de Pádua - RJ .....	138
Tabela 29 - Desvio de Vazões em relação à média histórica – Santo Antônio de Pádua - MG.....	139
Tabela 30 -Desvio de Vazões em relação à mínima histórica – Cataguases -MG .....	139
Tabela 31 – Desvio de Vazões em relação à média histórica – Cataguases - MG .....	140
Tabela 32 - Severidade das Secas .....	141
Tabela 33 – Síntese dos resultados de estressores .....	144

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AGEVAP	Agência da Bacia do Rio Paraíba do Sul
ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APAM	Área de Proteção Ambiental Municipal
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CEIVAP	Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
EE	Estação Ecológica
EPA	United States Environmental Protection Agency
	Grupo de Trabalho de Acompanhamento das Operações
GTAOH	Hidráulicas – INEA - RJ
GWP	<i>Global Water Partnership</i>
HIDROWEB	Banco de Dados de Hidrologia da ANA
IDQ	Índice de Qualidade
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão da Águas
INEA	Instituto Estadual do Ambiente -RJ
INEANA	Revista de Meio Ambiente do INEA-RJ
IPPC	<i>International Plant Protection Convention</i>
IUD	Índice de Disponibilidade Hídrica
MG	Estado de Minas Gerais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NOS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OCDE	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PN	Parque Nacional
RJ	Estado do Rio de Janeiro

RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
SIGA	Sistema de Informações Georreferenciadas Ambientais
SIGEL	Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações de Saneamento
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>20</b>
<b>PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>21</b>
<b>OBJETO DE ESTUDO</b> .....	<b>22</b>
<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>23</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>24</b>
<b>HIPÓTESE</b> .....	<b>25</b>
<b>METODOLOGIA DA PESQUISA</b> .....	<b>25</b>
<b>ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO</b> .....	<b>26</b>
<b>1. BASES CONCEITUAIS</b> .....	<b>27</b>
<b>1.1 Conceitos Básicos de Segurança Hídrica</b> .....	<b>27</b>
<b>1.2 Estressores</b> .....	<b>32</b>
<b>1.3 Riscos</b> .....	<b>33</b>
<b>1.4 Capacidade Adaptativa</b> .....	<b>35</b>
<b>2. MODELO CONCEITUAL E METODOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA SEGURANÇA HÍDRICA DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA EM ÁREAS URBANAS</b> .....	<b>39</b>
<b>2.1 Delimitação do modelo</b> .....	<b>39</b>
<b>2.2 Modelo para avaliação qualitativa da segurança hídrica de abastecimentos urbanos</b> .....	<b>40</b>
<b>2.3 Definição dos estressores e de seus impactos e ações de gestão na bacia hidrográfica</b> .....	<b>45</b>
<b>2.3.1 Estressores</b> .....	<b>45</b>
<b>2.3.1.1 Pressão sobre as condições ambientais da bacia hidrográfica</b> .....	<b>46</b>
<b>2.3.1.2 Demanda por água (pressão sobre a quantidade)</b> .....	<b>46</b>
<b>2.3.1.3 Carga poluidora (pressão sobre a qualidade da água)</b> .....	<b>47</b>
<b>2.3.1.4 Eventos hidrológicos extremos</b> .....	<b>48</b>
<b>2.3.1.5 Acidentes ambientais</b> .....	<b>48</b>
<b>2.3.2 Impactos: definições</b> .....	<b>49</b>
<b>2.3.3 Ações de gestão</b> .....	<b>50</b>
<b>2.4 Avaliação qualitativa do risco associado à segurança hídrica do abastecimento urbano</b> .....	<b>51</b>
<b>2.4.1 Avaliação qualitativa de risco associada a cada estressor</b> .....	<b>51</b>

2.4.2 Severidade do impacto de estressores .....	53
2.4.2.1 Severidade do impacto sobre a quantidade .....	53
2.4.2.2 Severidade do impacto sobre a qualidade .....	56
2.4.2.3 Resumo dos indicadores relativos ao impacto dos estressores sobre as águas da Bacia .....	57
<b>2.5 Vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano perante sua exposição ao risco associado à água bruta .....</b>	<b>58</b>
2.5.1 Conceitos.....	58
2.5.2 Metodologia de avaliação da vulnerabilidade.....	60
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO .....</b>	<b>65</b>
<b>3.1. Bacia do Rio Pomba .....</b>	<b>65</b>
3.1.1 Caracterização básica .....	66
3.1.2 Indicadores dos Serviços de Água e Esgoto .....	70
3.1.3 Índice de Coleta de Esgoto .....	72
<b>3.2 Sistema de Abastecimento Público da bacia do Rio Pomba .....</b>	<b>73</b>
3.2.1 Santo Antônio de Pádua .....	73
3.2.1.1 Captação .....	73
3.2.1.2 Tratamento .....	75
3.2.2 Miracema.....	76
3.2.2.1 Captação .....	76
3.2.2.2 Tratamento de no Município de Miracema .....	80
3.2.3 Aperibé .....	81
3.2.3.1 Captação .....	81
3.2.3.2 Tratamento .....	82
<b>4. APLICAÇÃO DO MODELO ANALÍTICO – PARTE 1: RISCOS ASSOCIADOS À SEGURANÇA HIDRICA DA ÁGUA BRUTA.....</b>	<b>84</b>
<b>4.1 Estressor da água bruta (1): Pressão sobre as condições ambientais</b>	<b>85</b>
4.1.1 Uso e ocupação do Solo.....	85
4.1.2 Área de Preservação Permanente - APP fluvial.....	87
4.1.3 Áreas Protegidas (UCs) .....	89
4.1.4 Empreendimentos de Geração de Energia Hidrelétrica .....	93
4.1.5 Riscos associados ao estressor “pressão sobre as condições ambientais da Bacia” .....	94
<b>4.2 Estressor de água bruta (2): Demanda por água (pressão sobre a quantidade) .....</b>	<b>96</b>
4.2.1 Disponibilidade .....	96

4.2.2 Demanda por água (usos consuntivos).....	96
4.2.2.1 Outorgas e usuários na Bacia do Rio Pomba .....	96
4.2.2.2 Demandas Futuras .....	98
4.2.3 Balanço Hídrico .....	99
4.2.3.1 Índice de Disponibilidade Hídrica.....	99
4.2.3.2 Índice de Retirada de Água (IRA) ou Water Exploitation Index (WEI).....	101
4.2.4 Riscos associados ao estressor “demanda por água (pressão sobre a quantidade)” .....	102
<b>4.3 Estressor de água bruta (3): Carga poluidora (pressão sobre a qualidade das águas) .....</b>	<b>103</b>
4.3.1 Monitoramento e controle .....	103
4.3.2 Parâmetros de Qualidade da Água .....	105
4.3.3 Índice de Qualidade das Águas .....	114
4.3.4 Riscos para a água bruta associados ao estressor “carga poluidora: pressão sobre a qualidade da água” .....	115
<b>4.4 Estressor de água bruta (4): Acidentes Ambientais (fontes fixas e móveis) .....</b>	<b>116</b>
4.4.1 Acidentes rodoviários.....	117
4.4.2 Acidentes com barragens de rejeito.....	119
4.4.2.1 Histórico de Acidentes Ambientais na Região da Bacia do Rio Pomba .....	121
4.4.2.2 Inventário de Barragens de Rejeito .....	124
4.4.3 Análise dos riscos de ocorrência de acidentes .....	125
<b>4.5 Estressor de água bruta(5): eventos hidrológicos extremos .....</b>	<b>126</b>
4.5.1 Dados de Vazão e Precipitação .....	126
4.5.2 Inundações .....	134
4.5.3 Estiagem Severa / Seca .....	135
4.5.3.1 Análise de Precipitação .....	135
4.5.3.2 Análise de vazões.....	138
4.5.4 Ações de gestão .....	140
4.5.5 Riscos – Eventos Climáticos Extremos .....	141
<b>4.6 Síntese dos Resultados.....</b>	<b>143</b>
<b>5. APLICAÇÃO DO MODELO ANALITICO – PARTE 2: AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO.....</b>	<b>148</b>
<b>5.1 Santo Antônio de Pádua.....</b>	<b>148</b>

5.1.1	Subsistema de captação .....	148
5.2.2	Subsistema de tratamento .....	150
<b>5.2</b>	<b>Miracema .....</b>	<b>151</b>
5.2.1	Subsistema de captação.....	151
5.2.2	Subsistema de tratamento .....	153
5.3	Aperibé .....	154
5.3.1	Subsistema de captação .....	154
5.2.2	Subsistema de tratamento .....	155
<b>5.3</b>	<b>Síntese dos Resultados.....</b>	<b>157</b>
5.3.1	Análise Qualitativa da Vulnerabilidade do Sistemas de Captação .....	157
5.3.2	Análise Qualidade da Vulnerabilidade do Sistema de Tratamento .....	158
<b>6</b>	<b>. CONCLUSÃO .....</b>	<b>160</b>
6.1	Sugestão de estudos futuros.....	162
<b>REFERÊNCIAS .....</b>		<b>163</b>
<b>ANEXO I – QUESTIONÁRIO ENCAMINHADO A CEDAE E ÁGUAS DE PÁDUA .....</b>		<b>169</b>

## INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos enfrentam pressões crescentes associadas ao adensamento populacional e urbano, às demandas de usos múltiplos e às alterações climáticas, cuja gestão tem demandado complexos marcos regulatórios e capacidades institucionais à altura desse desafio (Marlow *et al*, 2010; Werbeloff e Brown, 2011).

A população mundial deverá aumentar dos níveis atuais de 7,5 bilhões para uma população de 9,2 bilhões em 2050, segundo estimativa da ONU (2010), levando a um aumento estimado da demanda global de água de 55% (OECD, 2012). No mesmo período, espera-se que a população urbana aumente de 3,6 para 6,3 bilhões (ONU, 2012). Nesse contexto, a diminuição da disponibilidade da água tem o potencial de aumentar os conflitos pelo seu uso e causar impactos ambientais severos nos ecossistemas aquáticos.

Por outro lado, a mudança do clima ao longo do século 21 é projetada para reduzir drasticamente os recursos hídricos renováveis, superficiais e subterrâneos, na maioria das regiões subtropicais secas, intensificando a competição por água entre os setores. A mudança climática deverá reduzir a qualidade da água bruta e apresentar riscos à qualidade da água utilizada para o consumo humano, mesmo com o tratamento convencional, em consequência da interação entre os fatores: o aumento da temperatura; o aumento da sedimentação, da concentração de nutrientes e cargas poluentes provenientes de chuvas intensas; o aumento da concentração de poluentes durante as seca e interrupção de instalações de tratamento durante as cheias (INICIATIVA VERDE, 2015; IPCC, 2014). Países em desenvolvimento são extremamente vulneráveis as variações climáticas e as mudanças climáticas irão aumentar a frequência e a magnitude de eventos climáticos extremos e de desastres (MIRZA, 2003).

Nesse cenário de restrições da disponibilidade de água bruta para abastecimento urbano, acentuado pela variabilidade climática, estudos que se dediquem ao tema de segurança hídrica tornam-se essenciais para subsídios ao gerenciamento dos recursos hídricos.

## PROBLEMÁTICA

O Estado do Rio de Janeiro é extremamente dependente da bacia do Rio Paraíba do Sul, compartilhada com os estados de São Paulo e Minas Gerais. Este manancial é responsável pelo abastecimento de cerca de 75% da população fluminense, correspondendo a 12,3 milhões de pessoas em 57 municípios da Bacia Paraíba do Sul e em outros 9 municípios da região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, situada fora dos limites da bacia (FORMIGA-JOHNSSON, 2015).

Em 2014, a Bacia Paraíba do Sul vivenciou sua pior seca nos últimos 85 anos, seguido de um 2015 também atípico e muito seco (ONS, 2015). Observa-se assim, com a intensificação da variabilidade climática nos últimos 15 anos, que estiagens severas/secas passaram a ser um 'novo' problema da bacia, e devem ser internalizadas nas ações de planejamento e gestão.

Nesse contexto de crise hídrica, diversas ações de planejamento foram executadas de modo a minimizar os efeitos da seca sobre os usuários dos rios Paraíba do Sul e Guandu, que são regularizados por um complexo sistema hidráulico da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Os efeitos da crise são bem conhecidos somente sobre os usuários do Rio Paraíba do Sul e Guandu, conforme registrado em atas de reunião do comitê de enfrentamento da crise hídrica (GTAOH-CEIVAP: <http://www.ceivap.org.br/ophidraulica.php>) e por estudos do Instituto Estadual do Ambiente - INEA e da Agência Nacional de Águas – ANA (Costa *et al*, 2015; ANA, 2015).

Contudo, não existem registros dos impactos dessa crise hídrica sobre os demais municípios fluminenses e usuários de águas que captam água de rios não-regularizados da Bacia Paraíba do Sul, a exemplo do rio Pomba, um dos mais importantes tributários da margem esquerda do rio Paraíba do Sul.

Na dinâmica atual de planejamento integrado da gestão de recursos hídricos, o desenvolvimento de estudos é essencial para a avaliação da segurança hídrica para o abastecimento urbano e direcionar ações adaptativas e de mitigação em unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos. Este estudo procura explorar uma lacuna ao desenvolver o tema de segurança hídrica do abastecimento urbano de municípios fluminenses que captam água do rio

Pomba, em termos de quantidade e qualidade de água bruta, tendo a bacia hidrográfica como referência.

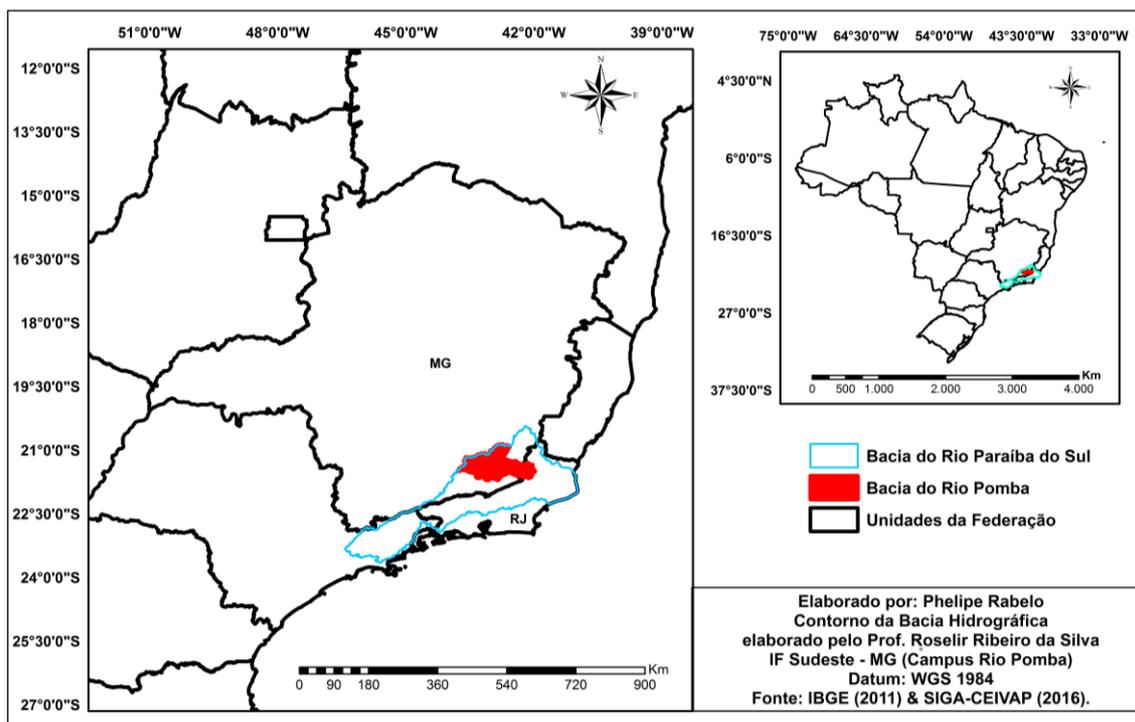
## **OBJETO DE ESTUDO**

O objeto deste estudo compreende, portanto, tanto a Sub-bacia do Rio Pomba quanto os sistemas de abastecimento urbano que são abastecidos por suas águas.

Como indicado anteriormente, o Rio Pomba é um importante tributário do Rio Paraíba do Sul, sendo, portanto, uma sub-bacia da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Esta abrange, total ou parcialmente, 184 municípios, sendo 39 localizados no Estado de São Paulo, 57 no Estado do Rio de Janeiro e 88 em Minas Gerais. Uma das suas principais características é ser uma bacia profundamente antropizada, com um complexo sistema hidráulico que inclui quatro grandes reservatórios e uma transposição de água para a Bacia do Rio Guandu, no médio curso do Rio Paraíba do Sul, no Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2014).

A sub-bacia do rio Pomba, cujo rio principal é federal, tem suas nascentes em Minas Gerais e abrange uma pequena porção do território fluminense, no noroeste do Estado (Figura 1).

Figura 1 - Localização da Sub-Bacia do Rio Pomba e Bacia do Rio Paraíba do Sul



Fonte: o autor

É analisado, nesta dissertação, por outro lado, constituem também objeto de estudo a segurança hídrica do abastecimento da sede municipal de municípios fluminenses da Sub-Bacia do Rio Pomba que captam água do Rio Pomba é analisada neste estudo. São analisados, nesta dissertação, eles: Santo Antônio de Pádua, Miracema e Aperibé. São avaliados os sistemas de abastecimento, especificamente os subsistemas de captação e tratamento, em termos de vulnerabilidade associada à quantidade e qualidade de água bruta nos seus respectivos pontos de captação.

## JUSTIFICATIVA

O interesse deste trabalho em analisar a segurança hídrica do abastecimento público de municípios que captam água de rios não regularizados, que possuem infra-estrutura hidráulica associada a reservatório de água, no Estado do Rio de Janeiro surgiu da constatação da inexistência de pesquisas ou trabalhos técnicos que analisem a segurança hídrica municipal em relação à situação ambiental e ao uso das águas do seu manancial de

abastecimento como: garantia de disponibilidade de água, em quantidade e qualidade, para a geração atual e futura.

Convém observar ausência na literatura de estudos relacionadas à segurança hídrica do abastecimento dos municípios fluminenses que captam águas do Rio Pomba. Na verdade, no Estado do Rio de Janeiro, identificamos somente um estudo sobre a ETA Guandu com um enfoque semelhante (Nogueira, 2011).

Neste contexto, é oportuno explorar a lacuna de estudos sob o enfoque de segurança hídrica, sobretudo após a estiagem severa de 2014 e 2015 que evidenciou o quanto a Bacia do rio Paraíba do Sul é vulnerável a secas severas, resultando em impactos importantes quando associados aos estressores não-climáticos e com alto grau de degradação ambiental como é o caso desta Bacia.

## **OBJETIVOS**

O objetivo do trabalho consiste em analisar o nível de segurança hídrica de três municípios fluminenses que abastecem suas sedes urbanas com águas captadas no Rio Pomba, afluente do Rio Paraíba do Sul, por meio de uma avaliação qualitativa de estressores climáticos e não-climáticos que têm influência direta sobre a disponibilidade de água bruta, em termos de quantidade e qualidade. Esta análise inclui ainda uma avaliação da compatibilidade da quantidade e qualidade de água no ponto de captação com os subsistemas de captação e tratamento de cada município.

Como objetivos específicos tem-se:

- Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre segurança hídrica e conceitos-chave relacionados, tais como: “estressor”, “risco” e “capacidade adaptativa”.
- Construir uma estrutura conceitual e metodológica de avaliação qualitativa da segurança hídrica no abastecimento público de municípios, no âmbito de um grupo de pesquisa sobre o assunto (mais informações adiante).

- Aplicar essa metodologia nos três municípios fluminenses que captam água do Rio Pomba para o abastecimento de suas sedes urbanas.

## **HIPÓTESE**

Apesar da pressão crescente sobre as águas da sub-bacia do Rio Pomba, e da bacia do Rio Paraíba do Sul em geral, a segurança hídrica do abastecimento dos municípios fluminenses que captam água do Rio Pomba ainda se mantém em níveis aceitáveis, mesmo em momentos de estiagem severa/seca.

## **METODOLOGIA DA PESQUISA**

O desenvolvimento do trabalho compreendeu várias etapas. A etapa inicial consistiu em uma ampla revisão da bibliografia sobre o conceito de segurança hídrica e outros conceitos mais comumente associados (risco, estressor, exposição, vulnerabilidade e capacidade adaptativa), no contexto das mudanças ambientais globais.

Quanto ao modelo conceitual e analítico para a avaliação da segurança hídrica do abastecimento urbano, foi adotado o modelo desenvolvido entre maio de 2016 e junho de 2017 no âmbito do Grupo de Pesquisa “Água, Gestão e Segurança Hídrica em tempos de Mudanças Ambientais Globais”, sob a coordenação da Prof. Rosa Formiga, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ/FEN/DESMA). O desenvolvimento deste estudo envolveu uma pesquisadora de doutorado (Marília Carvalho de Melo, doutorado concluído em dezembro de 2016 pela Universidade Federal do Rio de Janeiro) e dois pesquisadores de mestrado (Millena A. Formiga Dias Bernardeli, mestrado em Geografia pela Universidade Federal do Tocantins; e Phelipe Rabelo da Silva, mestrado em engenharia ambiental pela UERJ).

O estudo da bacia do Rio Pomba, a montante do ponto de captação dos municípios, teve como ponto de partida uma vasta pesquisa bibliográfica, inclusive com produção de mapas a partir de dados primários dos órgãos e agências reguladoras como: AGEVAP, INEA, CEDAE, ANA, ANEEL, ONS e

IGAM. A partir desses produtos foi feita uma caracterização das condições gerais da bacia e a atualização dos dados (usos antrópicos, vazão média, vazão outorgada, dados da qualidade da água, dados de uso da água, entre outros).

Para a caracterização dos sistemas de abastecimento público em relação à qualidade e quantidade de água bruta, em especial os subsistemas de captação e tratamento, foram coletados documentos oficiais e posteriormente aplicados questionários e realizadas entrevistas com funcionários dos serviços de abastecimento de água.

## **ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O trabalho foi dividido em 6 capítulos. O primeiro capítulo apresenta os principais resultados da revisão bibliográfica sobre o tema 'segurança hídrica' no contexto das mudanças ambientais globais.

O segundo capítulo consiste na descrição do objeto de estudo: a Bacia Hidrográfica do Rio Pomba e os sistemas de captação e tratamento de água dos municípios selecionados para o estudo.

O terceiro capítulo apresenta o modelo analítico adotado para o desenvolvimento desta pesquisa, enquanto o quarto capítulo aplica a primeira parte deste modelo, relativo à bacia hidrográfica, de modo a avaliar qualitativamente os riscos associados à segurança da água bruta nos pontos de captação, em quantidade e qualidade.

O quinto capítulo refere-se à segunda parte do modelo, aplicando-o aos sistemas de abastecimento urbano com vistas à determinação qualitativa da sua vulnerabilidade. O último capítulo apresenta as conclusões do estudo, considerações sobre as questões apresentadas e as sugestões de trabalhos futuros.

## 1. BASES CONCEITUAIS

Esse capítulo expõe as principais definições acerca de segurança hídrica e outros conceitos estreitamente associados. Diversas abordagens de segurança hídrica são discutidas no contexto das mudanças climáticas globais. Optou-se então pela abordagem de segurança hídrica associada a disponibilidade de água bruta para o abastecimento humano com enfoque nas sedes urbanas municipais fluminenses.

### 1.1 Conceitos Básicos de Segurança Hídrica

Na literatura o termo segurança hídrica tem sido discutido e apresenta diversas definições. A definição proposta por Grey & Sadoff (2007) considera segurança hídrica como a disponibilidade de água em quantidade aceitável e com os seus parâmetros de qualidade dentro dos padrões dispostos na legislação vigente de modo a promover a saúde da população local, a integridade e o suporte aos serviços ambientais e fomentar as atividades produtivas.

Ainda segundo Grey & Sadoff (2007) são os fatores que determinam a segurança hídrica:

- A disponibilidade de recursos hídricos: refere-se a quantidade e variabilidade dos recursos hídricos e a distribuição natural da precipitação na região de estudo, além do escoamento superficial.
- Instituições e infraestrutura de gestão de recursos hídricos, que analisa a disponibilidade de água bruta e a complexidade da infraestrutura de gestão de recursos hídricos e a dificuldade de promover o acesso universal em quantidade e qualidade de água. Nos casos de comprometimento da disponibilidade regional de água bruta, medidas estruturais com o objetivo de armazenar, regular, transpor são necessárias para promover o acesso da população a água e conservar esse recurso natural.
- Riscos: Em países subdesenvolvidos, com grande parte da população sem acesso a direitos sociais e garantias fundamentais, com baixo investimento dos agentes públicos em organismos gestores e reguladores ambientais e que

não dispõe de um sistema de gestão de recursos hídricos robusto e eficiente, os eventuais riscos de escassez e de estiagem associados a variabilidade climática são extremamente altos, resultado de uma baixa capacidade de adaptação perante essas situações.

- **Estrutura Econômica e Resiliência:** em uma localidade onde a economia não apresente altas taxas de crescimento ou sem estabilidade, a falta de investimentos na implementação de sistemas de recursos hídricos, estudos, pesquisas, associadas a eventuais alterações na disponibilidade de recursos hídricos terão altos impactos significativos na segurança hídrica, independente da magnitude da restrição na disponibilidade de água bruta.

- **Mudanças Climáticas:** novos desafios dos gestores de recursos hídricos em manter a segurança hídrica para o abastecimento urbano, espera-se uma redução nos níveis de disponibilidade de água bruta em diversas regiões com as variações das temperaturas globais e maior frequência na ocorrência de eventos climáticos extremos

Segundo o documento com uma das nove recomendações produzidas pela comunidade científica para informar a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20) elaborado pela *Planet Under Pressure* (2012) que cita a Declaração Ministerial do 2º Fórum Mundial da Água, 2000 que define segura hídrica como:

Segurança hídrica “significa garantir que ecossistemas de água doce, costeira e outros relacionados sejam protegidos e melhorados; que o desenvolvimento sustentável e a estabilidade política sejam promovidos; que cada pessoa tenha acesso à água potável suficiente a um custo acessível para levar uma vida saudável e produtiva, e que a população vulnerável seja protegida contra os riscos relacionados à água. ”

O conceito de segurança hídrica definido pelo 2º Fórum Mundial da água é um conceito político que reflete basicamente a preocupação com a proteção desse recurso natural e a garantia de acessibilidade universal a água, sem que os custos relacionados ao abastecimento de água (infraestrutura de captação, tratamento e distribuição) se tornem barreiras para o desenvolvimento econômico, social e ambiental.

A primeira vertente de segurança hídrica se concentra em quantidade e disponibilidade de água. A suficiência do abastecimento de água para os seres

humanos é o principal indicador da segurança hídrica, avalia estresse hídrico a partir da sua relação com o uso da água, sua disponibilidade e a demanda estimada pela quantidade de água captada (COOK; BAKKER, 2012). Para um indivíduo, existe a segurança hídrica quando ele tem acesso à água em qualidade e quantidades suficientes para satisfazer suas necessidades básicas (necessidade de ingestão diária desse líquido, lavar e de atividades vitais de subsistência) (Rijsberman, 2006).

Segundo a UNESCO - Instituto de Educação de Água - IHE uma infraestrutura e políticas, planos e programas para melhorar o indicador de segurança hídrica deve envolver a proteção dos sistemas de água vulneráveis, proteção contra os riscos relacionados com a água, tais como inundações e secas, o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos e salvaguardar o acesso à funções e serviços ambientais (UNESCO- IHE, 2009).

Uma outra abordagem presente na literatura sobre segurança hídrica é analisada em funções das necessidades humanas, um termo que abrange uma ampla gama de questões, incluindo o acesso, a segurança alimentar, e as preocupações relacionadas com o desenvolvimento humano. Segurança hídrica é então definida como todas as necessidades humanas relacionados com a utilização e gestão da água (Jansky *et al.*, 2008).

Segurança hídrica abrange também a preocupação com o valor intrínseco da água e seu uso para a sobrevivência humana e bem-estar, inclui o uso de água para a agricultura, demais atividades econômicas e de proteção ambiental. Ambos os aspectos de qualidade e quantidade de água devem ser considerados, com seus potenciais impactos no seu valor de uso e sobre o meio ambiente. Sendo assim, segurança hídrica significa o aproveitamento do potencial de água, de modo que cada pessoa tenha acesso em quantidade suficiente de água, assegurada ao longo do tempo em padrões ambientais aceitáveis. Ao passo que, que a proteção do meio ambiente também é vista como uma ação prioritária e essencial, a segurança hídrica em nível mundial reflete também um indicador de qualidade de vida (GWP,2010).

Ainda segundo a *Global Water Partnership* a segurança hídrica significa também, abordar a proteção ambiental e os efeitos negativos da baixa eficiência na gestão de recursos hídricos, que será mais desafiadora em tempos de mudanças climáticas globais e maior variabilidade climática. Um mundo com

segurança hídrica é um local onde exista água em disponibilidade suficiente para uso doméstico, social, desenvolvimento econômico e para os ecossistemas, com uma atenção especial a parcela da mais vulnerável da população, geralmente mulheres e crianças, os que mais se beneficiam da boa gestão da demanda e oferta de recursos hídricos (GWP,2012).

Uma outra definição de segurança hídrica é a responsabilidade de gerir o fornecimento de água, a proteção da qualidade da água, garantindo água potável, gestão de barragens e canais de abastecimento de água, inundação, redução de danos associados as estiagens severas (seca) e disponibilizar em um banco de dados públicos informações sobre a água. A Agência de Segurança Hídrica (no caso do Canadá que possui essa agência específica para gerir a segurança hídrica), trabalha para integrar todos os aspectos da gestão da água provincial para garantir o abastecimento de água e apoiar o crescimento econômico, qualidade de vida e do meio ambiente de forma a promover o bem-estar humano (WSA, 2016).

O conceito de segurança hídrica está associado à garantia da oferta de água para o abastecimento humano e para as atividades produtivas, de forma a que se possa enfrentar as secas e estiagens ou qualquer desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água que signifique restrição ao consumo e, conseqüentemente, ao desenvolvimento econômico e regional (ANA *et al.*,2013).

Um outra definição proposta pela ONU para segurança hídrica é a capacidade de assegurar o acesso de uma população a água de forma sustentável em quantidade e qualidade aceitável as atividade vitais da existência humana, de modo que o bem-estar e o desenvolvimento socioeconômico estejam resguardados de modo a proteger a população contra os efeitos nocivos da poluição, doenças de veiculação hídrica, desastres naturais, possibilitando a preservação dos ecossistemas, a paz regional e a estabilidade política (água suficiente para atender todos os usuários nos pontos de captação, evitando assim conflitos pelo uso desse recurso natural) (ONU,2013).

De acordo com Cox (2013); OCDE (2013), pode-se definir segurança hídrica como um nível máximo tolerável para os riscos associados a escassez de água (secas), excesso de água (cheias), poluição e resiliência dos sistemas

de água doce relacionados com os usos gerais da sociedade e as necessidades ambientais, na atualidade e ao longo do tempo, através da eficiência na alocação e uso da água determinados pelas políticas de gestão de recursos hídricos.

- Excesso de água (enchentes): causa sérios danos econômicos, para realocar a população atingida, danos em propriedades, além de ocasionar mortes e impactos ambientais de alta magnitude;

- Escassez hídrica (secas): a ausência de água em disponibilidade para contemplar os diversos usuários pode gerar conflitos de uso, impedir o crescimento econômico além de gerar impactos sobre os ecossistemas;

- Poluição: restringe o uso para determinados fins de utilização devido a degradação da qualidade desse recurso associados, em sua grande maioria a acidentes ambientais ou a dos corpos hídricos como meio de diluição de esgotos sanitários e efluentes industriais;

- Resiliência do Sistema de Abastecimento: Analisa a eficiência na alocação do uso da água, a capacidade de manter o abastecimento regularizado em situações de estiagem severa. Nesse caso, cidades com medidas estruturais, como a construção de reservatórios tendem a ter uma maior capacidade adaptativa pelo volume reservado que pode ser utilizado em situações de escassez hídrica.

No contexto do planejamento de políticas públicas existe uma outra definição para segurança hídrica que foi proposta por Melo (2015). A definição de segurança hídrica face a Política Nacional de Recursos Hídricos regulamentada pela Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, também conhecida como Lei da Águas que estabelece em seus objetivos no segundo artigo:

Art. 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Sendo assim, de acordo com Melo (2015) segurança hídrica é atingir os

objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Todos esses objetivos são mensurados e integrantes do conceito de segurança hídrica. Avaliar o nível de segurança hídrica é avaliar o grau de comprometimento com os objetivos e a eficiência na gestão de recursos hídricos.

Neste trabalho, o conceito de segurança hídrica segundo a proposta de Formiga-Johnsson *et al.* (2017), é a garantia de água em qualidade e quantidade para o abastecimento das sedes urbanas, limitando assim o conceito de segurança à avaliação da disponibilidade em termos de quantidade e qualidade de água bruta, conforme detalhado no capítulo 2, adiante, perante os riscos, estressores avaliados no modelo conceitual para a unidade hidrográfica de planejamento.

## 1.2 Estressores

O conceito de Segurança Hídrica depende da definição de estressores ambientais. De forma resumida, os estressores são os fatores de origem climática ou antrópica que podem afetar a quantidade e qualidade de água bruta disponível para o abastecimento humano.

De acordo com Silva (2016) adaptado de Zimmermann (2008) estressores são fatores de origem antrópica ou natural que afetam a quantidade, qualidade de água disponível para a captação e pode inviabilizar o atendimento do abastecimento das sedes urbanas e a demanda de captação dos demais usuários.

Nesse contexto, no qual os estressores impactam diretamente a qualidade e a disponibilidade de água bruta, os principais estressores climáticos e de origem antrópica a serem analisados no presente trabalho são: pressão por demanda de água, pressão sobre qualidade da água, a variabilidade climática e os acidentes ambientais. Cabe ressaltar, que o presente trabalho não apresenta nenhuma proposta de como esses fatores podem atuar em sinergia em uma bacia hidrográfica e assim diminuir a segurança hídrica regional.

Segundo definição da EPA (2016), um estressor é qualquer componente físico, químico ou biológico que pode induzir uma resposta adversa do ecossistema. Estressores podem afetar negativamente recursos naturais ou

ecossistemas inteiros, incluindo plantas e animais, bem como as demais parcelas do meio ambiente expostas a tal estressor. Estressores diretos (causas) são diretamente responsáveis pelas respostas e impactos associados o ecossistema como: perdas e danos ambientais. Outros estressores apresentam uma relação indireta de causa-efeito sobre os impactos ambientais e o sistema de abastecimento e captação de água bruta e são indiretamente responsáveis pelas respostas do meio ambiente ao contato ou exposição com os estressores diretos (EPA, 2016).

De acordo com Vorosmarty (2000), o uso da água e disponibilidade, a análise da vulnerabilidade da infraestrutura de recursos hídricos para eventos climáticos extremos, como estiagens severas, o crescimento populacional, migração e desenvolvimento industrial são os principais fatores que impactam negativamente a segurança hídrica regional.

Com o aumento populacional a demanda de água cresce, uma vez que o consumo de água aumentará proporcionalmente ao número de novos habitantes. Nesse contexto, um outro agravante: a “produção” de esgoto aumenta e conseqüente um maior volume *in natura* é lançado nos corpos hídricos sendo necessário aumentar a capacidade das estações de tratamento de efluentes. Ações adaptativas e preventivas propostas pelos planos municipais, estaduais de gestão dos recursos hídricos devem ser bem definidas e aplicadas de modo que a mitigação desses eventuais impactos resultantes da pressão populacional sobre os recursos hídricos tenha êxito.

### 1.3 Riscos

De acordo com Lima (2001) o significado da palavra risco é um contexto com diversos significados e dependendo da aplicação e da disciplina na qual o termo é utilizado. Pode-se afirmar que risco significa possibilidade de perda. Em ciências ambientais, pode ser definido como um perigo ou um evento indesejado com probabilidade de conseqüências adversas para o meio ambiente.

Ainda segundo Lima (2001) em ciências econômicas o risco pode ser visto como a possibilidade econômica ou financeira de perdas ou ganhos, como conseqüência de uma incerteza associada com a prossecução de um curso de ação (Chapman e Cooper, 1983).

A EPA considera o risco como a possibilidade de efeitos nocivos para a saúde humana ou para sistemas ecológicos resultantes da exposição a um estressor ambiental (EPA, 2016). Em um contexto resumido, risco significa uma possibilidade de perdas associadas a um determinado evento. A avaliação de riscos é quantificada através de uma função de probabilidade da ocorrência associada a determinado evento.

O risco está associado a atuação de fatores externos (econômicos, aspectos ambientais, sociais, políticos e tecnológicos) ou fatores internos (infraestrutura, recursos humanos, processos industriais adotados pelas empresas na região de estudo e da tecnologia utilizada por uma empresa) (COSO, 2004).

A OCDE (2015) define risco como um evento ou condição incerta que, se ocorrer, pode causar impacto negativo significativo para vários países ou indústrias dentro dos próximos 10 anos. Ainda segundo, a OCDE risco é função dependente das variáveis de vulnerabilidade, exposição e dos perigos de acordo com a figura 2.

Figura 2 - Definição de Risco OCDE



Fonte: OCDE,2013

A exposição caracteriza-se pelo contato do sistema de abastecimento urbano e as condições ambientais da bacia, eventos climáticos extremos, pressão por demanda e qualidade da água, ou seja, pelos estressores atuantes

na região da Bacia do Rio Pomba que podem influenciar a disponibilidade de água bruta em qualidade e quantidade para abastecimento urbano. A vulnerabilidade refere-se a magnitude dos impactos associados a exposição, seja por uma infraestrutura voltada para a gestão de recursos ineficiente, seja pela falta de políticas públicas bem definidas. A vulnerabilidade de um sistema é inversamente proporcional a sua capacidade adaptativa, que pode ser interpretada em uma visão simplista como a capacidade de resposta a partir da garantia de eficiência de um sistema perante condições adversas.

Segundo Kolluru (1996) exposição é o processo pelo qual um organismo entra em contato com um perigo; exposição é o que preenche a lacuna entre um perigo e um risco. Sendo assim, a exposição é o meio de contato, pelo qual um perigo pode realmente ocasionar um risco ou evento indesejado.

Em regiões onde os recursos hídricos são influenciados pela ação de estressores e os sistemas de abastecimento urbano de água (captação e tratamento) não apresentam uma capacidade de resposta (resiliência) adequada as pressões atuantes sobre o sistema resultante da ação dos estressores, este se torna mais susceptível a danos de alta magnitude. Interrupções e piora na de qualidade dos serviços de abastecimento prestados nas sedes urbanas tendem a ser frequentes, nesse sentido, a vulnerabilidade do sistema aos fatores externos é extremamente alta.

Os perigos podem ser definidos de acordo com SANDERS; McCORMICK, (1993) como um conjunto de circunstâncias ou situações com o potencial de causar eventos indesejados como lesão ou morte ou um conjunto de circunstâncias que têm o potencial de causar ou contribuir para uma lesão ou morte. Um perigo é definido como uma substância química, física, biológica ou agente ou um conjunto de condições que tem o potencial de causar danos; é uma fonte de risco, não um risco bem definido (KOLLURU,1996).

#### 1.4 Capacidade Adaptativa

Para o IPCC (2001) capacidade adaptativa é o potencial de um sistema para adaptar-se às mudanças climáticas, a variabilidade climática e eventos climáticos extremos, com o objetivo de diminuir e evitar danos potenciais,

aproveitar as oportunidades, analisando a capacidade para gerenciar eventuais impactos e consequências.

A OCDE (2013) define o seguinte termo como a capacidade adaptativa de um País para lidar com fatores econômicos externos com altos impactos negativos nas finanças nacionais, impactos nas relações comerciais e desastres naturais. No caso de desastres naturais, a capacidade de adaptação pode ser definida como a vulnerabilidade de uma sociedade, ou região antes de ocorrer um desastre e sua resiliência após a ocorrência do evento, com definição da magnitude dos impactos.

Além dessas duas principais definições de capacidade adaptativa de acordo com Engle (2011) existem documentadas na literatura duas principais vertentes existentes, uma relacionada a vulnerabilidade e outra relacionada a resiliência.

No contexto da definição capacidade adaptativa desenvolvida e formulada através do conceito de vulnerabilidade. A capacidade adaptativa é uma função da vulnerabilidade que por sua vez é influenciada pela exposição e da adaptação (Yohe e Tol, 2002). Para essa corrente, a vulnerabilidade é definida como a susceptibilidade a danos, tem as suas raízes na pesquisa, em que os perigos e riscos, geografia, a pobreza e o desenvolvimento e a ecologia política também influenciam seu desenvolvimento conceitual (Eakin e Luers, 2006).

Uma outra corrente define capacidade adaptativa tomando por base os conceitos de resiliência. O IPCC (2006) define vulnerabilidade através de três conceitos básicos: o conceito de exposição que é a mensuração dos danos físicos de um sistema afetado pela interação deste com o estressor e os seus riscos associados. A sensibilidade que avalia o grau em que um sistema é prejudicado ao ser exposto a um estressor. E em terceiro lugar, a capacidade de adaptação representa a capacidade do sistema para se preparar e ajustar-se ao stress, principalmente para diminuir os impactos negativos e aproveitar as oportunidades (Adger, 2007).

A sensibilidade é o grau em que o sistema é modificado ou afetado por uma perturbação interna ou externa ou conjunto de perturbações. (Gallopín, 2003). Um sistema mais sensível é mais impactado ao ser exposto perante um

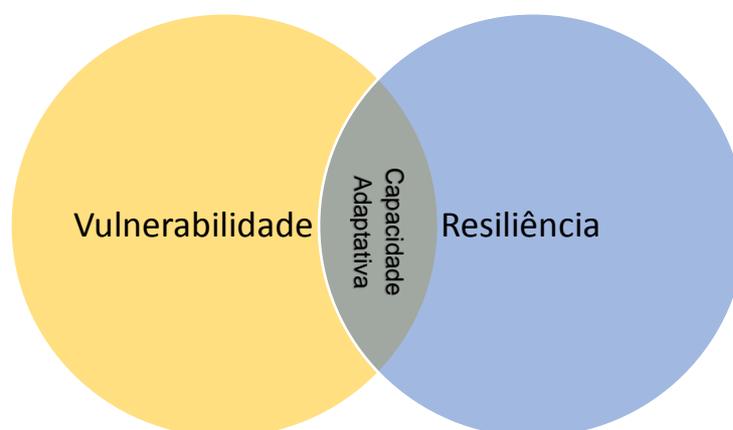
estressor, ou seja, o estressor tende a impactar de forma mais severa um sistema com alta sensibilidade.

Segundo Gallopin (2006) a capacidade adaptativa é o potencial de resposta de um sistema a um determinado fator externo que tem o potencial de causar alguma transformação na dinâmica ambiental de uma região. Sendo assim, os dois são componentes básicos da resiliência de um sistema. Referem-se a reestruturação do sistema frente as condições ambientais adversas a que ele for exposto.

A resiliência pode ser definida como uma quantidade de mudança, fatores externos ou exógenos que um determinado sistema pode suportar ao ser exposto, mantendo suas funções vitais, quando em contato com estressores e riscos associados a fatores climáticos ou não-climáticos, ou seja, os danos ou impactos não tem sérias consequências sobre o ecossistema exposto. Pode ser entendido também, como a recuperação e reorganização após impactos e transformações drásticas.

O conceito de capacidade adaptativa de acordo com Cutter (2008) propôs o seguinte esquema para a capacidade adaptativa a partir da relação entre resiliência e vulnerabilidade de acordo com a figura 3:

Figura 3 - Esquema de determinação da capacidade adaptativa de acordo



Fonte: Cutter, 2008

A capacidade adaptativa é uma função da resiliência e inversamente proporcional a vulnerabilidade do sistema. Quanto mais vulnerável, maiores os danos e impactos associados ao sistema de abastecimento das sedes urbanas.

A resiliência por sua vez, implica em uma alta capacidade de respostas e de adaptação aos eventos extremos, o que implica em uma maior capacidade adaptativa.

## 2. MODELO CONCEITUAL E METODOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA SEGURANÇA HÍDRICA DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA EM ÁREAS URBANAS

Este capítulo tem por objetivo propor um modelo conceitual e analítico para a avaliação qualitativa do nível de segurança hídrica do abastecimento público de áreas urbanas, em termos de disponibilidade quali-quantitativa de água bruta.

O modelo foi desenvolvido entre maio de 2016 e junho de 2017 no âmbito do Grupo de Pesquisa “J”, sob a coordenação da Prof. Rosa Formiga, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ/FEN/DESMA), e envolveu uma pesquisadora de doutorado (Marília Carvalho de Melo, doutorado concluído em dezembro de 2016 pela Universidade Federal do Rio de Janeiro) e dois pesquisadores de mestrado (Millena A. Formiga Dias Bernardeli, mestrado em Geografia pela Universidade Federal do Tocantins; e Phelipe Rabelo da Silva, mestrado em engenharia ambiental pela UERJ; ambos em fase de conclusão) (Formiga-Johnsson *et al.*, 2017).

### 2.1 Delimitação do modelo

Para a construção do modelo de avaliação de segurança hídrica, foram adotados os seguintes recortes:

1. Restringir-se à **água bruta**, em particular às águas superficiais, concentrando-se na gestão ambiental dos recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica;
2. Focar em um único usuário de recursos hídricos, a saber, o **setor de abastecimento público de água potável em áreas urbanas**, mas somente nos seus aspectos que tenham uma relação direta com a água bruta, principalmente os sistemas de captação e tratamento.

Portanto, o conceito de segurança hídrica definido para esta pesquisa é o seguinte:

“Segurança hídrica para abastecimento urbano de água pode ser definida como a garantia de provimento de quantidade e qualidade de água bruta que sejam compatíveis com o sistema de abastecimento

público, associado a um determinado risco de escassez, tendo como referencial a bacia hidrográfica”.

Ressalte-se que uma análise global da segurança do abastecimento de uma determinada área urbana deveria compreender tanto a gestão quali-quantitativa da água bruta quanto a capacidade do serviço de abastecimento público de captar, tratar e distribuir água tratada para toda a população urbana. Ou seja, tal análise deveria compreender todas as etapas relacionadas tanto à água bruta quanto à água tratada, até o consumidor final.

A restrição dessa análise pode ser justificada tanto pela escolha de se manter no setor de gerenciamento de recursos hídricos quanto pelo volume de trabalho e complexidade exigidos por uma avaliação da segurança hídrica envolvendo todas as unidades de um sistema de abastecimento de água potável - da captação ao consumidor final. De fato, o setor de abastecimento público, e de saneamento em geral, constitui outro sistema técnico, político e institucional que compreende pesquisas específicas de grande complexidade. Deste setor específico, somente será considerado a parte diretamente relacionada à água bruta, principalmente os sistemas de captação e tratamento.

O desenvolvimento do modelo partiu dos esquemas conceitual e metodológico construídos anteriormente por outros membros do mesmo Grupo de Pesquisa (Raber et al., 2010; e Nogueira, 2011). Estes se basearam sobretudo no conceito de vulnerabilidade, da literatura de mudanças climáticas, e objetivaram avaliar a vulnerabilidade da disponibilidade hídrica de sistemas de abastecimento público perante estressores climáticos e não-climáticos.

Portanto, o modelo analítico, apresentado a seguir, é resultado tanto da evolução do esquema metodológico de referência quanto da construção de uma nova modelagem conceitual e analítica.

## **2.2 Modelo para avaliação qualitativa da segurança hídrica de abastecimentos urbanos**

O modelo analítico para avaliação do nível de “segurança hídrica de abastecimentos urbanos” compreende duas partes distintas e complementares (Figura 2):

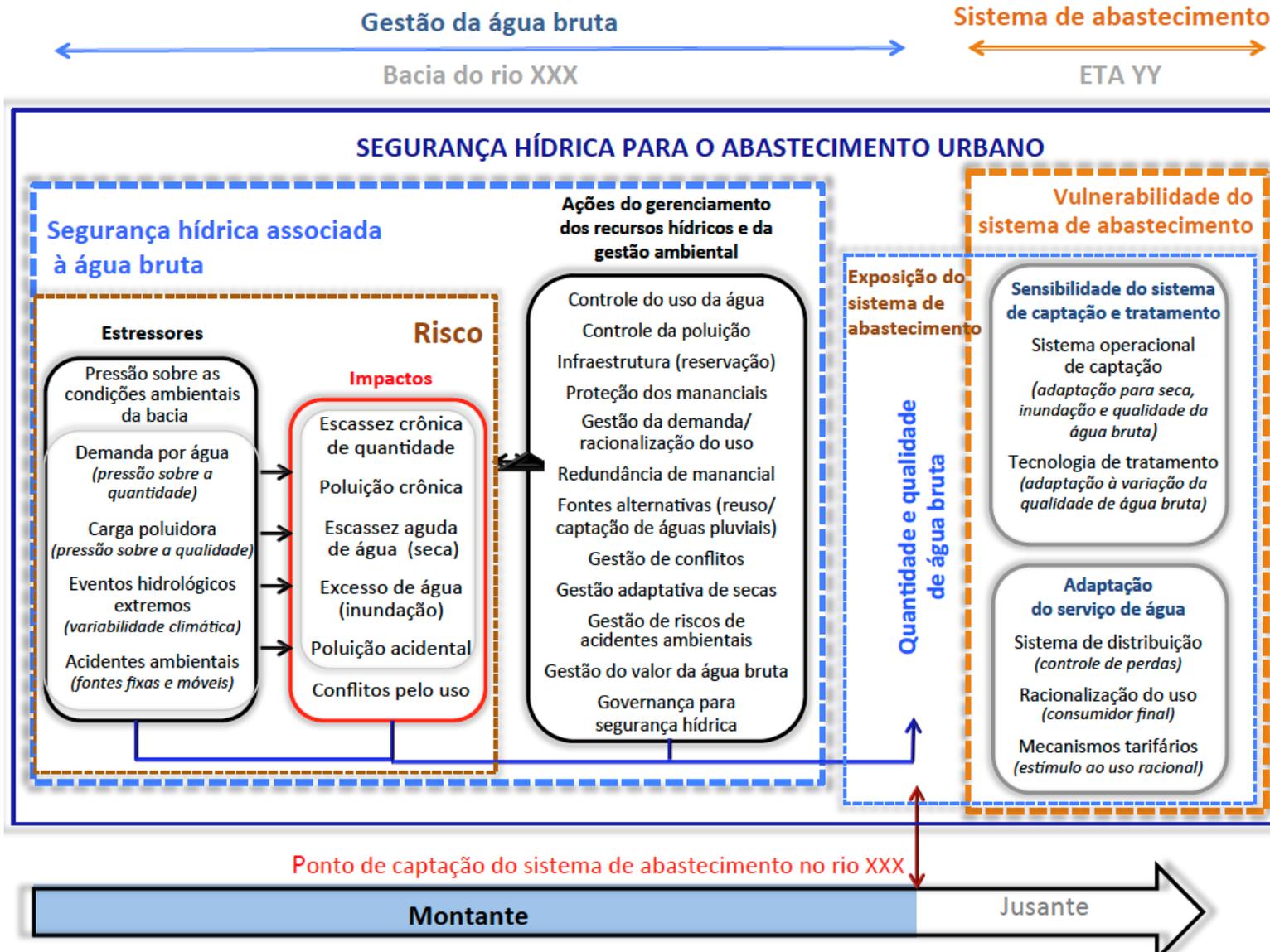
- 1. A avaliação do nível de segurança da disponibilidade hídrica de água bruta** para o abastecimento urbano, associado a um determinado risco de escassez quali-quantitativa, utiliza-se, sobretudo, de quatro componentes-chave:
  - i. Fator de estresse ou estressor sobre as águas e sua bacia hidrográfica, a montante do ponto de captação. Foi definido arbitrariamente um conjunto de cinco estressores, a partir de ampla revisão bibliográfica;
  - ii. Impactos sobre a qualidade e quantidade de água relacionados ao conjunto dos estressores;
  - iii. O risco resultante para a quantidade e qualidade de água, em relação a cada estressor considerado; e
  - iv. Ações de resposta dos sistemas de gerenciamento de recursos hídricos e da gestão ambiental que sejam de maior interesse para a gestão do risco associado à segurança hídrica do abastecimento humano e urbano.
  
- 2 O dimensionamento da vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano de água relacionado à quantidade e qualidade dos recursos hídricos** captados em determinado ponto da bacia hidrográfica, que envolvem sobretudo o sistema de captação e de tratamento, cujas tecnologias devem ser compatíveis com a disponibilidade da água bruta.

É a combinação dessas duas características que determina o nível de segurança hídrica de um determinado sistema urbano de abastecimento, associado a um determinado risco em termos de água bruta, sob o enfoque de uma análise qualitativa (Figura 4).

O modelo tem como resultado principal a “indicação qualitativa do nível de segurança hídrica de um determinado sistema de abastecimento público”, visando dar subsídios às políticas públicas envolvidas no provimento de água

bruta, em quantidade e qualidade. Para tanto, são consideradas tanto as condições atuais de disponibilidade de água bruta do manancial de abastecimento, e os riscos a ela associados, bem como as capacidades operacionais do sistema urbano de abastecimento público de se adaptar à quantidade e qualidade da água, em termos de captação e tratamento, ou, ainda, de tornar mais racional o uso da água tratada.

Figura 4: Modelo analítico para avaliação qualitativa de segurança hídrica de sistemas de abastecimento urbano.



Fonte: Formiga-Johnsson, Melo, Bernadeli e Silva, a partir de Nogueira (2011) e Raber *et al.* (2010).

São apresentadas abaixo as definições básicas que compõem o modelo analítico, especialmente customizadas para o conceito de segurança hídrica adotado neste trabalho, tendo por base a extensa revisão bibliográfica:

- **Risco** é a probabilidade de ocorrência de impactos sobre a quantidade ou qualidade da água bruta, resultantes de efeitos combinados de estressores sobre o manancial e sua bacia hidrográfica, que podem acarretar prejuízos à segurança hídrica do abastecimento público. Neste trabalho, o risco foi avaliado de forma qualitativa (riscos aceitáveis, toleráveis e inaceitáveis).
- **Estressor** é o fator que pode induzir a estresses e impactos sobre a quantidade ou qualidade da água bruta no ponto de captação, podendo pressionar ou afetar o sistema de abastecimento público nos seus componentes de captação e tratamento.
- **Impacto** é aqui definido como resultado da severidade da ação de um ou mais estressores sobre a quantidade e qualidade das águas de uma bacia hidrográfica, em função da magnitude e ocorrência de estressores, isolada ou simultaneamente, e das intervenções que visam prevenir, mitigar ou gerir os efeitos dos estressores;
- **Vulnerabilidade** de um sistema (neste caso, o sistema de abastecimento urbano de água) está relacionada à sua exposição às condições da água bruta no ponto de captação, resultante das ações dos estressores e da gestão a montante da bacia hidrográfica, que pode impactar a água tratada. A vulnerabilidade foi também avaliada de forma qualitativa (alta, média e baixa).
- **Ações de gestão** compreendem as intervenções tanto do sistema de gerenciamento de recursos hídricos quanto do sistema de gestão ambiental, que permitam prevenir, mitigar ou controlar os efeitos/impactos dos estressores sobre a água bruta. Busca-se manter os riscos associados aos diferentes estressores em níveis aceitáveis de segurança hídrica para o abastecimento humano, em termos de quantidade e qualidade de água bruta.

## 2.3 Definição dos estressores e de seus impactos e ações de gestão na bacia hidrográfica

A segurança da disponibilidade de quantidade e qualidade da água bruta adequadas ao sistema de abastecimento público de uma determinada área urbana, é baseada no conhecimento dos estressores e seus impactos, dos padrões de ocorrência e da probabilidade de risco a eles associados, em toda a área de influência da bacia hidrográfica, a montante do ponto de captação.

### 2.3.1 Estressores

A escolha dos estressores foi baseada na revisão da literatura e em longas discussões com o Grupo de Pesquisa sobre quais deles mais influenciam a segurança hídrica na maioria dos casos das áreas urbanas brasileiras. Foram selecionados os seguintes:

- **Pressão sobre as condições ambientais** na bacia hidrográfica que pode alterar a quantidade e qualidade de água e está relacionada às características físicas da bacia e ao uso e ocupação do solo, cobertura vegetal, entre outros.
- **Demanda por água** (pressão sobre a quantidade), que é caracterizada pelos usos de água, consuntivos e não consuntivos, a montante da captação (uso urbano, uso industrial, irrigação, dessedentação de animais, hidroenergia, mineração e outros).
- **Carga poluidora (pressão sobre a qualidade)**, que está diretamente relacionada às condições ambientais da bacia, e às fontes de degradação da qualidade das águas (esgotamento sanitário, lançamento de efluentes industriais, agrotóxicos, disposição dos resíduos sólidos, etc.).
- **Eventos hidrológicos extremos** (variabilidade climática), que podem resultar em estiagens severas/secas e inundações.
- **Acidentes ambientais**, que podem ser provenientes de fontes fixas (acidentes industriais) e móveis (acidentes em ferrovias e rodovias), a montante do ponto de captação.

A caracterização que segue de cada estressor, nesta seção, foi baseada em Melo (2016).

#### 2.3.1.1 Pressão sobre as condições ambientais da bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica está sujeita a pressões antrópicas, que podem alterar suas condições ambientais, com efeitos na quantidade e na qualidade das águas. A vulnerabilidade da bacia a esse estressor depende, de um lado, de suas características originais (geologia, topografia, cobertura vegetal) e, de outro lado, da ocupação da terra tal como urbanização, indústria, mineração e agricultura.

Outra característica é a intensidade e as áreas atingidas pelo desmatamento, que aumenta a velocidade de *run-off* e diminui a taxa de infiltração no solo. O desmatamento, em geral, desprotege o solo, o que propicia erosão e assoreamento dos cursos de água, tendo impactos exacerbados sobre as águas quando se trata de APPs hídricas (margens de rios e nascentes).

Em curto prazo, a ação desse estressor é sentida principalmente sobre a qualidade das águas da bacia hidrográfica e do manancial. Ao longo do tempo, o estressor pode levar a situações em que a quantidade de água disponível e alteração do regime de escoamento é diminuída pela impermeabilização e consequentemente há um aumento da velocidade de escoamento.

#### 2.3.1.2 Demanda por água (pressão sobre a quantidade)

A variabilidade quantitativa é inerente a qualquer sistema de água em condições naturais. Ela é função do regime hidrológico anual, que determina as vazões sazonais disponíveis nos corpos de água, com disponibilidade maior no período de chuva e menor no período de estiagem. Por sobre as condições naturais, que impõem variabilidade à quantidade disponível, frequentemente ocorre o crescimento da demanda como função da dinâmica do desenvolvimento econômico e do crescimento populacional em áreas urbanas na bacia.

A demanda por água, por parte de todos os usuários consuntivos, estressa quantitativamente o manancial, de maneira proporcional à demanda, pois diminui o balanço hídrico da bacia, sobretudo os usos consuntivos (usos urbano, agrícola, industrial e dessedentação de animais, entre outros). Este estressor afeta também a qualidade das águas, visto que a diminuição do volume remanescente reduz a capacidade de auto-depuração.

Em casos extremos, este estressor pode se apresentar sob a forma de conflitos pelo uso da água bruta, quando a relação disponibilidade-demanda se aproxima dos seus limites. Em situações de escassez, a prioridade legal é o abastecimento humano e dessedentação de animais.

### 2.3.1.3 Carga poluidora (pressão sobre a qualidade da água)

Carga poluidora é aqui considerada como aquela continuamente lançada na bacia, constituindo, portanto, um estressor que pode resultar na deterioração da qualidade da bacia hidrográfica e do manancial. Os poluentes são aqueles oriundos de lançamentos, pontuais e difusos, de carga poluidora com origem principalmente nos esgotos sanitários, nos efluentes industriais, na aplicação de agrotóxicos e na disposição dos resíduos sólidos. O impacto do estressor é função direta da intensidade com que ocorre.

A expansão urbana desordenada, agravada pelo tradicional descaso com o lançamento de efluentes industriais e domésticos *in natura* no meio ambiente, é um determinante das origens desse estressor.

Em geral, os lançamentos se concentram em um espaço restrito do território, o que produz um impacto cumulativo de sucessivos lançamentos no corpo de água. Considerando a capacidade de auto-depuração ou capacidade de suporte de um corpo de água, que representa a sucessão ecológica, o adensamento de lançamentos pode enfraquecer ou debilitar a resiliência dos sistemas de água doce (OCDE, 2013; von Sperling, 2007 apud Melo, 2016). Assim, as águas de muitos rios urbanos tornam-se impróprias para o abastecimento público por causa da degradação da qualidade, ou devido a altos custos de tratamento.

#### 2.3.1.4 Eventos hidrológicos extremos

Os eventos hidrológicos extremos aqui considerados são os períodos de estiagem acentuada/secas ou de chuvas intensas. O estressor pode perturbar a segurança hídrica tanto quantitativa, quanto qualitativamente.

Já é sabido que o comportamento hidrológico caracteriza-se naturalmente por variações sazonais. Em períodos de estiagem severa ou prolongada, há uma diminuição da disponibilidade de água, em quantidade e, por vezes, há o comprometimento em alguns parâmetros que descrevem a qualidade. Por causa da natureza do estressor, a severidade do impacto de uma estiagem sobre a segurança hídrica é mais significativa em termos da quantidade do que da qualidade da água.

Inundação é o fenômeno caracterizado pelo transbordamento de água de calha normal de um curso d'água, ou pela acumulação de água, por drenagem, em áreas não habitualmente submersas (UNESCO, 1983, *apud* ANA, 2015), que pode afetar a segurança hídrica por causa da deterioração da qualidade da água, do comprometimento da integridade física e operacional do subsistema de captação ou até mesmo da planta de tratamento (Melo, 2016).

#### 2.3.1.5 Acidentes ambientais

Tal como os ordinários, os poluentes acidentais podem comprometer a qualidade das águas do manancial. Também como no caso dos poluentes ordinários, o impacto do estressor é função direta da intensidade com que ocorre. Os poluentes acidentais podem ser provenientes de fontes fixas, como é o caso do lançamento irregular, proposital ou não, de efluentes industriais, minerários, entre outros, ou de fontes móveis, como é o caso de cargas poluidoras oriundas de acidentes com meios de transporte.

Em resumo, o estressor surge como consequência de qualquer evento anormal, indesejado e inesperado, com potencial para causar danos diretos ou indiretos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger (CETESB, 2003).

A ocorrência do estressor depende da existência de atividades ou estruturas fixas propensas a provocar acidentes ambientais, e também depende da proximidade do manancial com vias terrestres ou fluviais de transporte.

Ambos os estressores, poluentes ordinários e acidentais, provocam a degradação da qualidade da água bruta, cuja extensão pode ser avaliada por comparação de valores determinados para os parâmetros de qualidade do corpo de água com os padrões da Resolução CONAMA 357/2005).

### 2.3.2 Impactos: definições

Aos impactos associados aos estressores, apontados anteriormente, foram definidos seis **riscos associados aos estressores** (Formiga-Johnsson et al., 2016), a saber:

- Escassez crônica de quantidade, caracterizada pela “falta ou insuficiência de água” (ANA, 2015), em quantidade, que ocorre em ‘tempos normais’ (sem extremos climáticos) quando a demanda quantitativa por água excede ou se encontra próximo do limite da oferta da disponibilidade de água doce superficial e subterrânea, em uma determinada unidade hidrológica.
- Poluição crônica, caracterizada pela “falta ou insuficiência de água” (ANA, 2015), em qualidade apropriada para o consumo humano, mesmo havendo disponibilidade quantitativa de água, conforme regulamentação da Resolução CONAMA 357/2005 que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento” (alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011).
- Escassez aguda de água (seca): a estiagem é um fenômeno natural que ocorre quando há um período de tempo sem a ocorrência de chuvas (ANA, 2015). Quando a estiagem é severa ou prolongada (seca), há uma diminuição da disponibilidade de água, em quantidade e também às vezes em qualidade, que pode causar escassez de água e impactar o abastecimento humano e os usos múltiplos.

- Excesso de água (inundação), caracterizada pelo “transbordamento de água de calha normal de um curso d’água ou acumulação de água, por drenagem, em áreas não habitualmente submersas” (UNESCO, 1983, *apud* ANA, 2015), que pode afetar o abastecimento humano através da deterioração da qualidade de água, do impacto sobre o sistema de captação de água e até mesmo da planta de tratamento.
- Acidentes ambientais, de origem tecnológica, associados à poluição acidental das águas causadas por fontes fixas industriais ou móveis (transporte de cargas perigosas em ferrovias e rodovias) que podem causar a interrupção do sistema de captação para abastecimento público. Foi considerado como “acidente ambiental qualquer evento anormal, indesejado e inesperado, com potencial para causar danos diretos ou indiretos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger” (CETESB, 2003, *apud* Nogueira, 2011).
- Conflitos pelo uso, decorrentes dos usos múltiplos das águas superficiais e subterrâneas e do uso e ocupação do solo, associados ao desenvolvimento socioeconômico na bacia hidrográfica.

### 2.3.3 Ações de gestão

As ações de gestão foram aqui consideradas como intervenções tanto do sistema de gerenciamento de recursos hídricos, instituídos pelas leis federal 9.433/97 e leis estaduais, quanto do sistema de gestão ambiental que compreende uma vasta gama de ações, desde a biodiversidade e áreas protegidas às mudanças climáticas, passando pelo controle da poluição. Elas compreendem todas as ações relacionadas à prevenção, mitigação ou controle dos efeitos dos estressores sobre a água bruta, visando garantir que os riscos associados à segurança hídrica – ou seja, à disponibilidade quali-quantitativa para o abastecimento público – permaneçam em níveis aceitáveis.

As ações de gestão podem ser assim apreendidas como gestão do risco, cujo objetivo é prevenir, mitigar e controlar os riscos, devendo agir sobre os estressores a fim de controlar ou minimizar a exposição ao fator que pode induzir

um efeito adverso na quantidade e na qualidade da água bruta utilizada para o abastecimento urbano.

Baseada na revisão bibliográfica e na experiência prática dos pesquisadores do Grupo de Pesquisa, Formiga-Johnsson et al. (2016) elencaram 11 ações como sendo de maior interesse para a segurança hídrica em termos de quantidade e qualidade de água bruta, que podem ser agregadas em ações operacionais de gerenciamento (itens 1 a 7) e ações institucionais de gestão e governança das águas (8 a 11):

1. Controle do uso da água;
2. Controle da poluição;
3. Infraestrutura (reservação);
4. Proteção dos mananciais;
5. Gestão da demanda/ racionalização do uso;
6. Redundância de manancial (fonte de água bruta);
7. Fontes alternativas (reuso/captação de águas pluviais);
8. Gestão de conflitos;
9. Gestão adaptativa de secas;
10. Gestão de risco de acidentes ambientais;
11. Governança para segurança hídrica.

## 2.4 Avaliação qualitativa do risco associado à segurança hídrica do abastecimento urbano

### 2.4.1 Avaliação qualitativa de risco associada a cada estressor

As propriedades dos estressores que influem diretamente na medida do risco, consideradas neste estudo, são a **severidade do impacto** e a **probabilidade de ocorrência** dos estressores. Riscos maiores correspondem a impactos mais severos e a maiores probabilidades de ocorrência do estressor.

A severidade do impacto e a probabilidade de ocorrência dependem das características do ambiente antrópico e do ambiente natural em que se insere a bacia hidrográfica, e da recorrência observada. Em muitos casos, ainda não

estão estabelecidos modelos físicos e matemáticos capazes de permitir a avaliação, a exemplo da probabilidade de ocorrência do estressor “pressão sobre as condições ambientais” (Melo, 2016); em casos como esse, os graus das propriedades podem ser razoavelmente arbitrados pelo gestor da bacia hidrográfica. Em outros casos, a exemplo da Bacia do Córrego São João, no Estado do Tocantins não há dados, em quantidade e medidos com frequência suficiente para permitir a avaliação das propriedades de um estressor ou de um conjunto de estressores (BERNARDELI, 2017).

O Quadro 1 apresenta os critérios empregados para atribuir graus às propriedades dos estressores. Para cada propriedade dos estressores, foi adotada uma **graduação de três níveis** para efeito de avaliação qualitativa de riscos: **baixo, moderado e alto**. A escolha da escala com apenas três graus é também coerente com a realidade da bacia de estudo, que tem pouca disponibilidade de dados e informações precisas sobre suas condições ambientais e dos recursos hídricos.

Quadro 1 - Graduação qualitativa dos estressores, por propriedade

<b>GRADUAÇÃO</b>	<b>OCORRÊNCIA DO ESTRESSOR</b>	<b>SEVERIDADE DO IMPACTO</b>
Baixo	Casos isolados	Definido de acordo com os indicadores específicos, apresentados adiante (item 2.4.2).
Moderado	Ocorrência irregular, ou regular segundo padrões sazonais	
Alto	Ocorrência regular ou quase-contínua	

Fonte: Melo, 2016.

De forma bem simplificada, pode-se combinar de forma matricial os três graus qualitativos atribuídos às propriedades dos estressores, resultando em nove medidas possíveis de risco, por estressor. Para graduar o risco resultante na matriz, tomou-se por referência OCDE (2013) que agrupou os riscos de acordo com o seu nível: aceitáveis, toleráveis e inaceitáveis (Figura 5).

Figura 5 - Matriz de determinação do grau de risco, por estressor

		Severidade do impacto		
		Baixa	Média	Alta
Ocorrência do estressor	Alta	Toleráveis	Inaceitáveis	Inaceitáveis
	Média	Aceitáveis	Toleráveis	Inaceitáveis
	Baixa	Aceitáveis	Aceitáveis	Toleráveis

**Risco**

- Aceitáveis
- Toleráveis
- Inaceitáveis

Essa graduação é também uma forma simples e direta de indicar as prioridades de gestão para fins de segurança hídrica, em geral, e do abastecimento urbano, em particular. Os riscos aceitáveis requerem sobretudo ações de monitoramento de seu comportamento, por meio das características mensuráveis do estressor, e de ações preventivas de planejamento e gestão. Em contrapartida, ações são necessárias para reduzir um risco com nível tolerável para o nível aceitável; no extremo, riscos intoleráveis requerem ações urgentes para reduzi-los a um nível aceitável devido a sua probabilidade muito elevada ou seu alto potencial de dano (OCDE, 2013).

#### 2.4.2 Severidade do impacto de estressores

Os estressores têm o potencial de gerar riscos associados e que comprometem a qualidade e a quantidade de água bruta. Com o objetivo de definir o efeito do estressor e o impacto potencial associado, foi definida a severidade associada a cada estressor adotado no modelo conceitual e teórico desenvolvido.

A severidade depende do potencial do estressor em impactar, de modo qualitativo ou quantitativo, a disponibilidade de água bruta na região de estudo.

##### 2.4.2.1 Severidade do impacto sobre a quantidade

A severidade do impacto sobre a quantidade de água consiste em analisar os estressores que apresentam potencial influência na redução da disponibilidade de água bruta na bacia hidrográfica, a saber: pressão sobre as condições ambientais; demanda por água; e eventos hidrológicos extremos.

(a) Estressor “pressão sobre as condições ambientais da Bacia”

Este estressor foi amplamente desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado. Foram mapeados os diversos usos do solo na região da bacia do Rio Pomba, a partir da consulta ao banco de dados da Agência da Bacia do rio Paraíba do Sul - AGEVAP (SIGA-CEIVAP), de estudos realizados pela empresa COHIDRO, INEA, IGAM e demais órgãos envolvidos na gestão de recursos hídricos.

Nesse contexto, foram selecionados os seguintes indicadores para avaliar a severidade das pressões sobre as condições ambientais da Bacia:

- Caracterização dos usos do solo na bacia hidrográfica, incluindo a quantificação da cobertura vegetal remanescente e das áreas desmatadas e antropizadas na bacia do Rio Pomba, utilizando-se os dados brutos georreferenciados do banco de dados do Siga-CEIVAP:

- Delimitação das APPs de margens de rio e caracterização da sua situação quanto à cobertura vegetal (desmatamento da mata ciliar), de acordo com os dados georreferenciados disponíveis no Siga-CEIVAP e na ANA. Identificação das unidades de conservação na bacia hidrográfica; e

- A pressão associada aos empreendimentos de geração de energia hidrelétrica, cada vez mais presentes na bacia do Rio Pomba; existem vários empreendimentos instalados e outros com projeto básico aceito ou em fase de licenciamento, de acordo com informações da ANEEL. (SIGEL,2016)

(b) Estressor “demanda por água”

Em termos de avaliação da demanda de água, foram utilizados diversos índices para análise do estresse hídrico. Foram consultadas as disponibilidades hídricas da foz do Rio Pomba no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI-RJ) e gerados outros dados com a consulta ao banco de dados da ANA (*HIDROWEB*).

Em um segundo momento, foram identificadas as demandas de água por meio da definição do volume total outorgado, por tipos de uso na bacia hidrográfica, com base nos bancos de dados da ANA e da AGEVAP, que possibilitaram gerar mapas com a localização das outorgas e captações superficiais.

A projeção de demanda futura é essencial para verificar se o manancial ao longo do tempo tem potencial para atender os diversos usos de água nos cenários projetados. No presente trabalho também foi realizada essa análise.

Para análise detalhada do comprometimento da vazão disponível, foi utilizado o Índice de Disponibilidade Hídrica (razão entre demanda e disponibilidade) e o Índice de Retirada de Água, (razão entre a vazão de retirada para os usos consuntivos e a vazão média), com mapas gerados através da consulta de dados do SIGA-CEIVAP.

### (c) Eventos hidrológicos extremos (seca)

A caracterização da precipitação nos últimos anos na bacia do Rio Pomba consistiu na obtenção e manipulação dos dados brutos das séries históricas das estações disponíveis no banco de dados da ANA (*HIDROWEB*) e posterior geração de gráficos. O mesmo procedimento foi feito para a análise de vazões.

Foram ainda feitas comparações com a média histórica e a mínima histórica de modo a caracterizar estiagens e a disponibilidade de água em tempos de secas.

A definição da vulnerabilidade a eventos de inundações consistiu na obtenção de dados brutos nos *shapefiles* disponíveis no SIGA-CEIVAP. Com a

manipulação dos dados, foi possível gerar mapas de vulnerabilidade a inundação ao longo do Rio Pomba, por trechos de rio.

#### 2.4.2.2 Severidade do impacto sobre a qualidade

##### (a) Carga Poluidora (pressão sobre a qualidade da água)

Apesar dos poucos dados de qualidade de água disponíveis para a bacia do Rio Pomba, com os dados brutos do Instituto Mineiro de Gestão da Águas - IGAM-MG, foi possível gerar gráficos para analisar a evolução de alguns parâmetros de qualidade da água listados na CONAMA 357/2005, atualizada pela CONAMA 430/2011, em função da violação dos seus limites legais dispostos nessas resoluções.

Para cada parâmetro poluidor analisado, foi gerado um mapa com dados georreferenciados para avaliação do comprometimento das vazões de diluição nos diversos trechos do Rio Pomba e afluentes.

##### (b) Acidentes Ambientais

No tocante aos acidentes ambientais de fontes móveis, avaliou-se a existência de estradas e ferrovias que possam resultar em acidentes ambientais na bacia do Rio Pomba. Com base no banco de dados do IBGE, constatou-se a inexistência de ferrovias na bacia do Rio Pomba. Com uma consulta a base de dados do IGAM, foi possível identificar os acidentes ambientais registrados e se houve algum tipo de interferência em captações de água de municípios da Bacia.

No tocante aos principais acidentes ambientais, foi feito um levantamento das principais barragens de rejeito situadas na Bacia e a sua situação estrutural respectiva. Foi ainda gerado um mapa com os principais tipos de barragem de rejeito na bacia do Rio Pomba, a partir da base de dados do SIGA-CEIVAP.

### 2.4.2.3 Resumo dos indicadores relativos ao impacto dos estressores sobre as águas da Bacia

Quadro 2: Estressores de água bruta selecionados para compor o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica do abastecimento urbano

Estressor	Característica mensurável	Parâmetro	Unidade
Pressão sobre as condições ambientais da bacia	Uso e ocupação do solo	Área antropizada	km <sup>2</sup> e % em relação ao total
	Desmatamento da cobertura vegetal na bacia (exceto Áreas de Preservação Permanente – APPs)	Área desmatada na totalidade da bacia	
	Degradação da cobertura vegetal nas APP hídricas	APP-fluvial	
Demanda por água (pressão sobre a quantidade)	Usos atuais e usuários de água	Vazão outorgada	m <sup>3</sup> /s
		% Vazão outorgada em relação a Vazão disponível	% em relação a vazão disponível
	Disponibilidade Hídrica Atual	Índice de Estresse Hídrico	% em relação a vazão disponível
		Balanço Hídrico (IUD)	-
		Balanço Hídrico (IRA)	

Estressor	Característica mensurável	Parâmetro	Unidade
Eventos hidrológicos extremos	Estiagem/seca recente (2013-2016)	Vazões anuais 2013-2016 em relação às vazões médias e mínimas históricas	m <sup>3</sup> /s
	Inundações	Frequência	alta; média ou baixa
		Impacto	alta; média ou baixa
		Vulnerabilidade	alta; média ou baixa
Acidentes Ambientais	Acidentes com barragens de rejeito	Histórico de acidentes a partir do ano 2000	número de acidentes
	Situação Estrutural das Barragens de Rejeito na Bacia	Estabilidade garantida pelo auditor	Sim ou Não
Carga poluidora (pressão sobre a qualidade)	Avaliação de 12 parâmetros de qualidade de água	Violações de Enquadramento	Unidade relativa a cada parâmetro
	Condição qualitativa atual do corpo de água em relação ao Enquadramento	IDQ (Índice de Qualidade)	xxxx

## 2.5 Vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano perante sua exposição ao risco associado à água bruta

A avaliação de segurança hídrica, se limita às questões da água bruta, envolvendo, de um lado, a gestão dos recursos hídricos do manancial de abastecimento, no contexto da bacia hidrográfica, e, de outro lado, o próprio sistema de abastecimento público que envolve diretamente a água bruta, em particular sua vulnerabilidade, objeto desta seção.

### 2.5.1 Conceitos

O tratamento de água tem por objetivo transformar por processos químicos, físicos e/ou biológicos a água bruta captada em água em padrões de qualidade adequadas ao consumo humano.

A vulnerabilidade de um determinado sistema de abastecimento urbano perante à água bruta pode ser avaliada de forma qualitativa, tendo por base a equação desenvolvida por Yohe e Tol (2002), e adaptada por Engle e Lemos (2007), que parte do conceito de vulnerabilidade às mudanças climáticas, ou outra ameaça, como intrinsecamente ligado a capacidade de adaptação (Formiga-Johnsson, 2011):

$$V = f \{E(AC); S(AC)\}$$

Onde:

V é vulnerabilidade,

E é o grau de exposição ao estresse,

S é o grau de sensibilidade ao estresse e

AC é capacidade da adaptação.

**Vulnerabilidade** de um sistema a uma ameaça é, portanto, função do seu grau de exposição e grau de sensibilidade aos estresses a elas relacionados bem como do nível de capacidade de adaptação desse sistema a essas mudanças. Nesta pesquisa, a vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano de água foi definida como função do seu grau de exposição e do seu grau de sensibilidade aos riscos relacionados à água bruta, bem como da sua capacidade adaptativa às variabilidades de quantidade e qualidade da água no ponto de captação, no contexto da gestão da bacia hidrográfica.

Para os autores, a **exposição** é vista como a natureza e o grau em que um sistema experimenta estresses ambientais ou político-sociais, ou seja, diz respeito à natureza, magnitude, frequência, duração e extensão de um estressor ou ameaça (estresse climático, por exemplo) sobre uma determinada unidade

de análise. No presente trabalho, a ameaça ao qual o sistema de abastecimento está exposto refere-se ao risco relacionado à disponibilidade de água bruta no ponto de captação de água, no contexto da gestão da bacia hidrográfica, tanto em termos de quantidade (seca ou inundação) quanto de qualidade.

A sensibilidade é encarada como o grau em que um sistema é afetado ou como ele vai responder aos estresses, seja de forma positiva ou negativa. Assim, a sensibilidade de um sistema, neste estudo, é uma resultante de características operacionais dos sistemas de captação e tratamento, que podem ser mais ou menos sensíveis à variação do nível do corpo d'água, em momentos de estiagem e inundação, ou à qualidade dos recursos hídricos do manancial de abastecimento, respectivamente.

Por sua vez, a literatura teórica identifica várias categorias de determinantes que influenciam a **capacidade de um sistema adaptar-se** positivamente a diferentes estresses, incluindo: recursos econômicos, tecnologia, informação e capacidades, infra-estrutura, instituições e governança. A adaptação, neste trabalho, refere-se sobretudo à determinadas características do serviço de abastecimento e sua gestão que lhe permitem ser mais adaptativo – e conseqüentemente menos sensível – à eventuais problemas de disponibilidade de água bruta (por exemplo, sistemas móveis de captação ou barragens de captação).

## 2.5.2 Metodologia de avaliação da vulnerabilidade

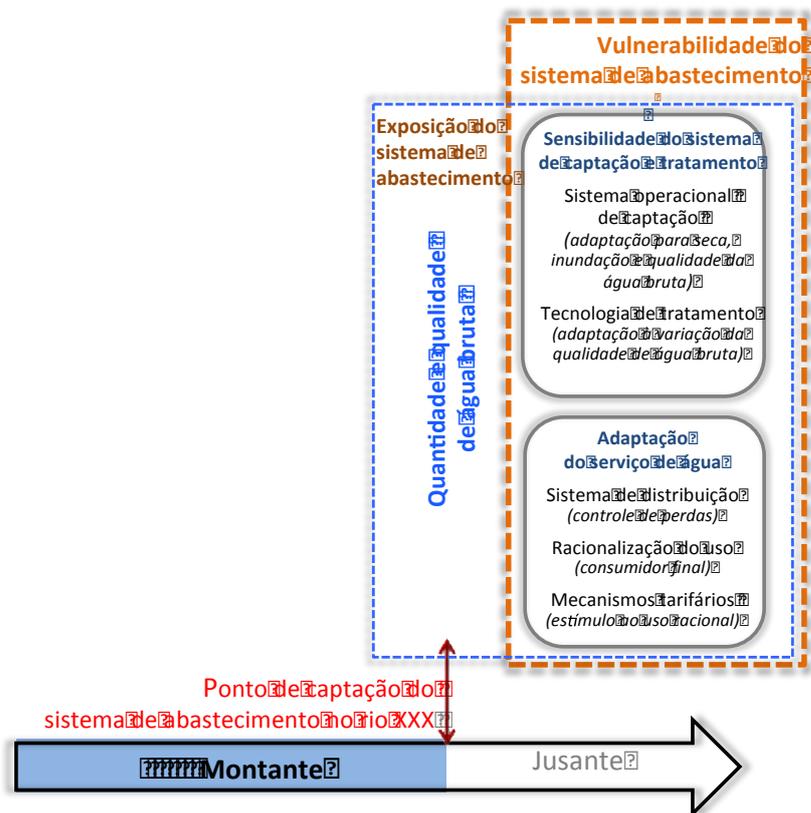
A vulnerabilidade do sistema de abastecimento será determinada de acordo com a fórmula de Yohe e Tol (2002), adaptada por Engle e Lemos (2007) e utilizada por Raber et al. (2010) e Nogueira (2011):

- A **exposição** da Estação de Tratamento de Água se refere à localização geográfica do ponto de captação de água bruta, que determina a quantidade e qualidade de água disponível no ponto de captação, associado a determinado risco.

- A **sensibilidade** da ETA que é vista como o componente interno da vulnerabilidade, ou seja, são as propriedades ou atributos inerentes ao sistema analisado. Estas propriedades indicam de que forma e intensidade o sistema é afetado, ou seja, de que maneira ele sente a exposição, o que, por sua vez, depende de sua capacidade adaptativa como: sistema operacional de captação (adaptado ou não para eventos de estiagem severa, seca e/ou inundação; barragens para captação); tecnologia de tratamento (adaptada para qualidade de água em momentos de extremos hidrológicos ou acidentes ambientais); medidas para redução das perdas físicas e desperdício de água; e medidas de estímulo à indução ao uso racional da água tratada por parte do consumidor final.

Conforme recorte adotado, a avaliação se limita às questões de interesse direto ou que possa impactar a gestão da água bruta (Figura 6). Então não são analisadas todas as demais questões inerentes ao sistema de distribuição, operação e manutenção do serviço de abastecimento que possam afetar o abastecimento de água potável para a população. Estes conceitos foram customizados para esta pesquisa, conforme indicado na figura 6.

Figura 6 - Modelo analítico de segurança hídrica: vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano de água



Fonte: Formiga-Johnsson, Melo, Bernadeli e Silva, a partir de Nogueira (2011) e Raber *et al.* (2010).

Para este trabalho, é efetuada uma avaliação qualitativa simplificada para definir o nível de sensibilidade – e/ou de adaptação - dos subsistemas de captação e do tratamento perante sua exposição à quantidade e qualidade de água bruta, seja a variação do nível do corpo d'água ou ainda a variação da qualidade dos recursos hídricos do manancial de abastecimento, sobretudo em momentos de extremos climáticos (estiagem/seca e inundação) e de acidentes ambientais.

Portanto, a **vulnerabilidade do sistema de abastecimento pode ser analisada de forma qualitativa para quatro situações distintas de água bruta:**

- Quantidade e qualidade de água, em tempos de normalidade hidrológica;
- Quantidade e qualidade de água, em tempos de seca;

- Segurança das instalações e qualidade de água, em períodos de cheia;
- Qualidade de água relacionada a acidentes ambientais.

Para cada uma dessas situações, pode-se combinar de forma matricial os três graus qualitativos atribuídos à exposição e à sensibilidade, resultando em nove medidas possíveis de vulnerabilidade. A vulnerabilidade resultante é definida na matriz com base na graduação corrente da literatura, variando de baixa a muito alta (Figura 7).

Figura 7: Matriz de determinação da vulnerabilidade

		Exposição		
		Baixa	Média	<b>Alta</b>
Sensibilidade	<b>Alta</b>			
	Média			
	Baixa			

**Vulnerabilidade**

- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta

Embora seja uma avaliação simplificada, esta graduação resulta em um indicador do nível de vulnerabilidade de um determinado sistema de abastecimento em relação à sua exposição na bacia hidrográfica, em termos de quantidade e qualidade de água bruta, combinada com as características intrínsecas dos seus componentes de captação e tratamento.

Quanto maior for a vulnerabilidade, maior é o risco para a segurança hídrica do abastecimento urbano em questão e maior será a necessidade de intervenção, no sistema de abastecimento e/ou na gestão da bacia hidrográfica. As possibilidades de intervenção variam bastante e devem ser definidas de acordo com as características específicas de cada caso.

Em suma, as análises segundo a metodologia aqui proposta, mesmo sendo uma mensuração qualitativa, constroem um panorama sistêmico acerca da situação de segurança hídrica de um determinado sistema urbano de abastecimento e, sobretudo, fornecem indicativos claros para os decisores

políticos sobre quais devem ser as prioridades para as ações de gestão do risco, o que envolve a gestão ambiental do manancial-bacia hidrográfica e a gestão do sistema de abastecimento, visando aumentar a garantia de segurança hídrica.

### **3. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO**

Este capítulo apresenta brevemente a Bacia do Rio Pomba e os sistemas de abastecimento urbano de água dos municípios fluminenses de Santo Antônio de Pádua, Miracema e Aperibé.

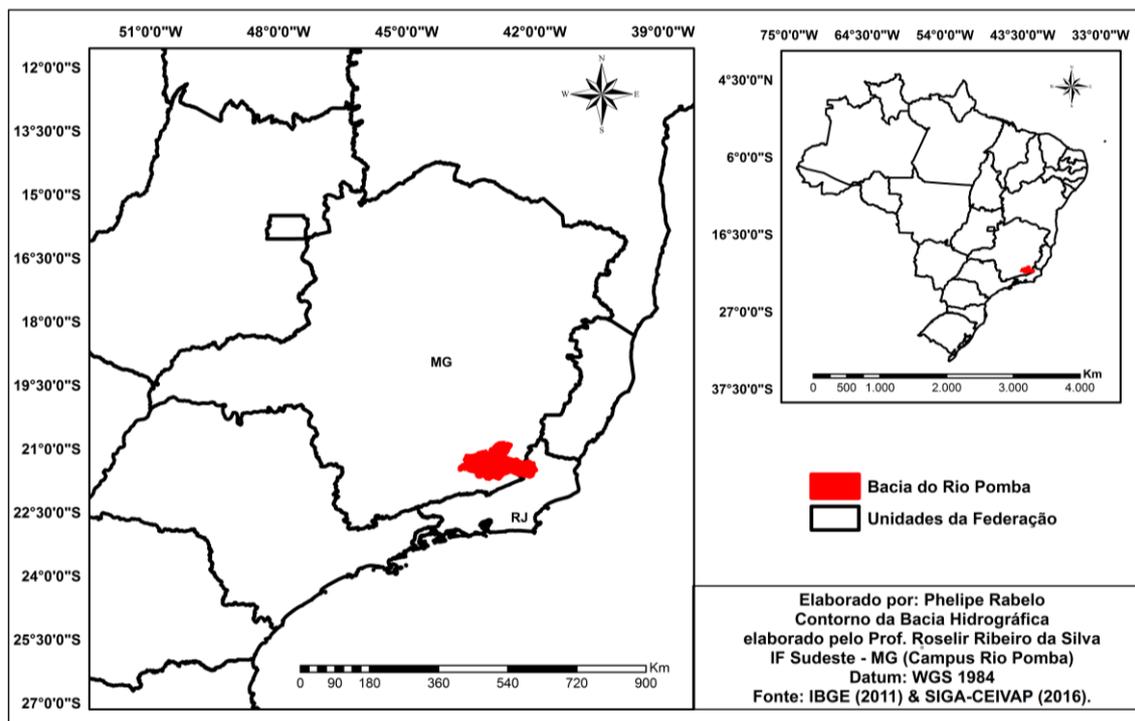
A avaliação da segurança hídrica desses municípios, em termos de quantidade e qualidade de água, envolve a análise da(o):

- Área da Bacia do Rio Pomba a montante dos pontos de captação dos três municípios, o que compreende praticamente toda a Bacia, já que esses municípios se situam na porção do Baixo Rio Pomba;
- O Sistema de Abastecimento Público de cada município, em particular os subsistemas de captação e tratamento de água.

#### **3.1. Bacia do Rio Pomba**

A Bacia do Rio Pomba engloba diversos municípios no estado de Minas Gerais e três municípios no Estado do Rio de Janeiro. A figura 8 evidencia que a maior parte (89,52%) da área da Bacia se encontra em Minas Gerais, restando somente uma pequena parcela (10,48%) da parte baixa da Bacia no estado do Rio de Janeiro.

Figura 8 – Localização da bacia do Rio Pomba no território nacional



Fonte: o autor

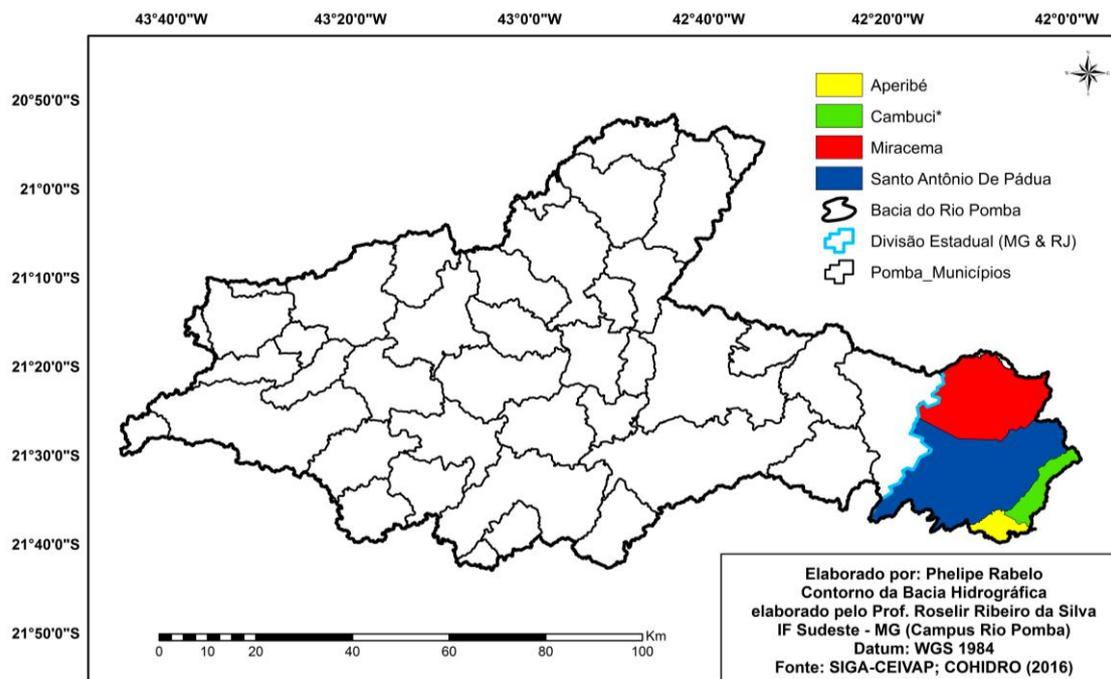
### 3.1.1 Caracterização básica

A área de drenagem da Bacia é de 8.620 km<sup>2</sup>, com o uso e ocupação do solo relativamente uniforme, abrangendo cerca de 35 municípios mineiros e 3 municípios fluminenses, onde vive uma população de aproximadamente 450 mil habitantes. (CEIVAP; AGEVAP, 2013).

O rio principal da Bacia - Rio Pomba - banha os municípios mineiros de Santa Bárbara do Tugúrio, Mercês, Rio Pomba, Piraúba, Guarani, Descoberto, Astolfo Dutra, Dona Euzébia, Cataguases, Leopoldina, Laranjal, Recreio e Palma e os municípios fluminenses de Santo Antônio de Pádua e Aperibé. O município de Miracema capta água também na bacia do Rio Pomba em um ponto localizado no território do município de Santo Antônio de Pádua. Os principais tributários do rio Pomba são os rios Pinho/Piau/Novo, Paraopeba, Xopotó, Formoso e Pardo.



Figura 10 – Municípios fluminenses estudados na sub-bacia do Rio Pomba.



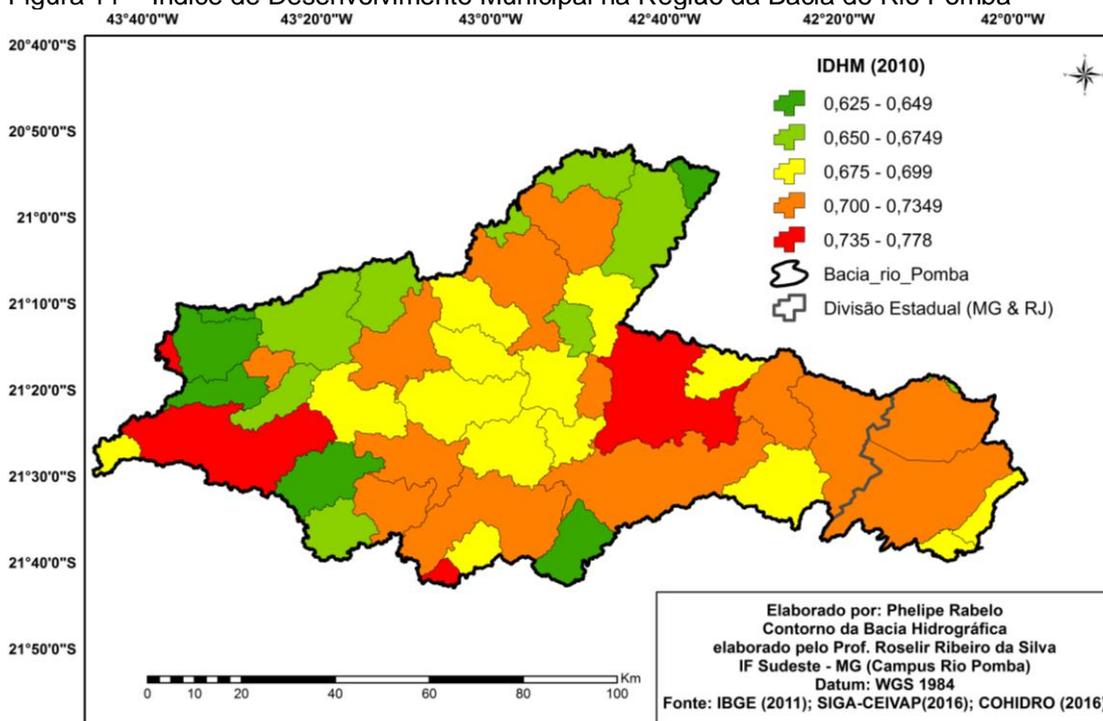
Fonte: autor baseado em IBGE, 2016.

De acordo com o PNUD (2017) o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é um indicador da situação de uma região três dimensões básicas do desenvolvimento humano: renda, educação e saúde. Esse indicador é uma alternativa muito utilizada que oferece uma visão holística do desenvolvimento regional e humano, não considerando apenas fatores econômicos.

De acordo com IBGE (2016) esse indicador não considera as variáveis de sustentabilidade e outros fatores sociais. Quanto a análise econômica o fator é calculado basicamente utilizando o PIB (Produto Interno Bruto) *per capita*, na saúde é analisada a expectativa da população e em relação a educação são analisados os índices de escolaridade da população, índices de analfabetismo entre outros.

Os resultados desse indicador para a Bacia do Rio Pomba são indicados na figura 11.

Figura 11 – Índice de Desenvolvimento Municipal na Região da Bacia do Rio Pomba



Fonte: O autor baseado em SIGA-CEIVAP; IBGE, 2013

A classificação proposta pelo IBGE para os valores de IDHM são:

- entre 0 a 0,499 (muito baixo);
- 0,500 a 0,599 (baixo);
- 0,600 a 0,699 (médio);
- 0,700 a 0,799 (alto);
- 0,800 a 1,0 (muito alto).

De acordo com o mapa, a região fluminense da bacia do rio Pomba apresenta dois municípios com IDHM alto (Santo Antônio de Pádua e Miracema) enquanto Aperibé apresenta um valor médio para este indicador. Os demais municípios da Bacia apresentam diferentes faixas para o indicador, alguns muito altos como o caso de Cataguases e outros na faixa mediana desse indicador.

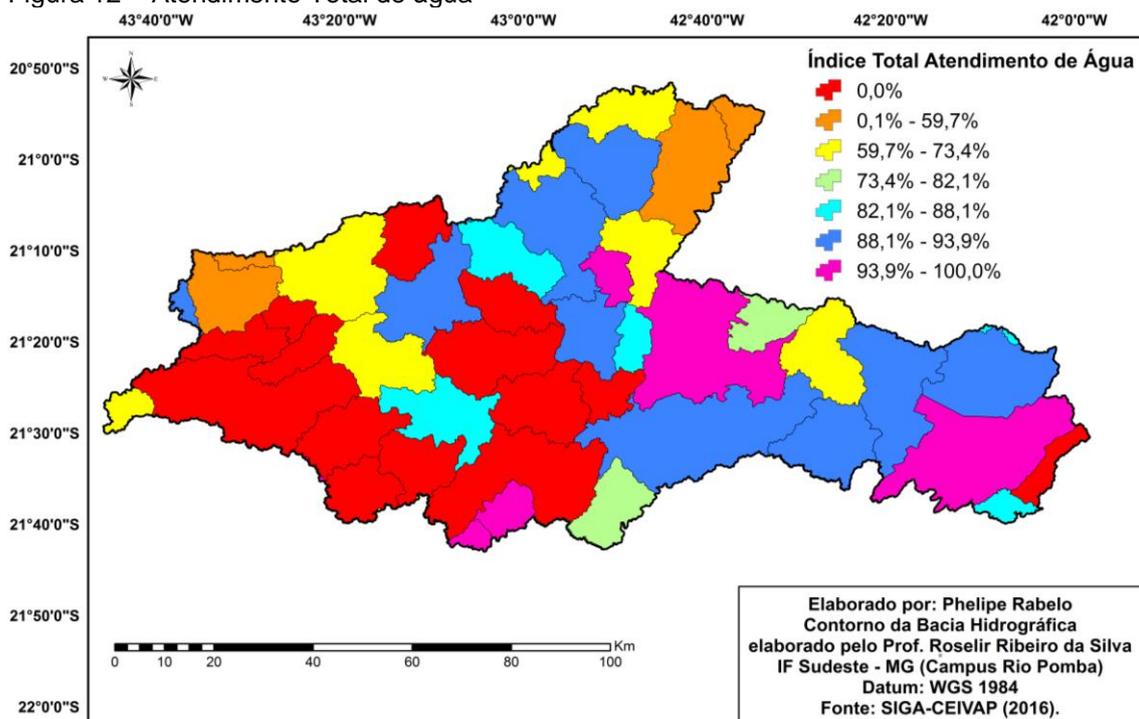
O IBGE (2016) ressalta que o índice de desenvolvimento humano municipal pode ser um incentivo para a implementação de políticas públicas municipais voltadas para a melhoria das condições de vida das pessoas residentes nos territórios da administração municipal.

### 3.1.2 Indicadores dos Serviços de Água e Esgoto

Foram selecionados diversos indicadores para analisar o desempenho dos serviços de água como:

- Atendimento de Abastecimento de Água
- Índice de Atendimento das Sedes Urbanas
- Perdas na Distribuição

Figura 12 – Atendimento Total de água



Fonte: o autor

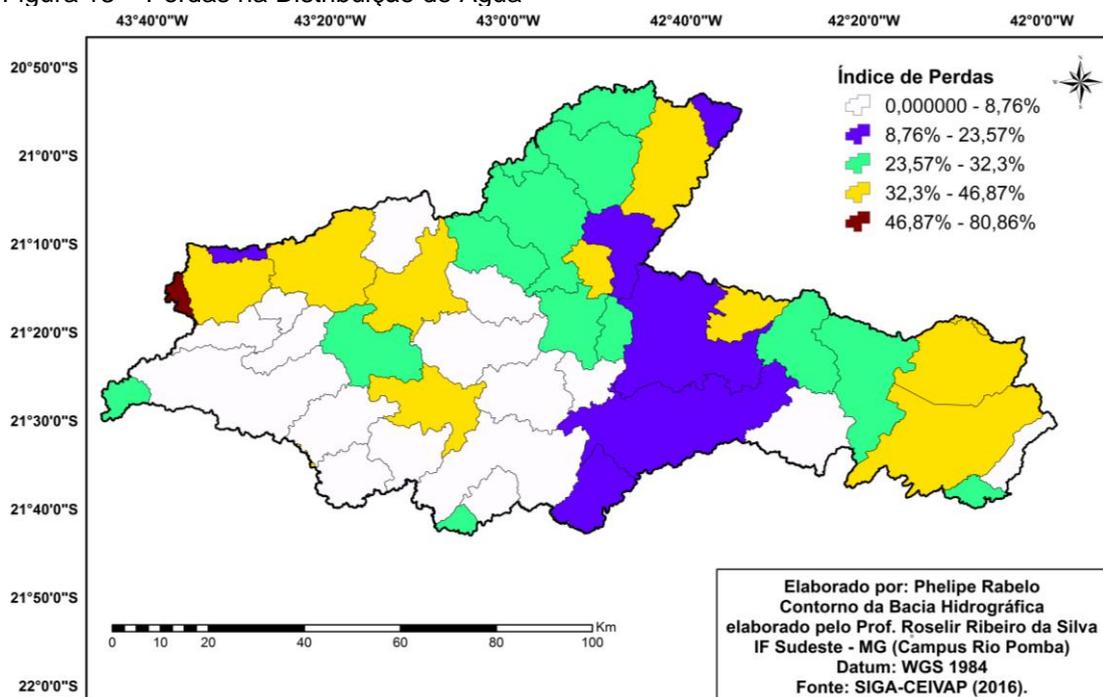
A expansão da rede de água deve contemplar principalmente nos municípios da região da bacia do Rio Pomba, situados no Estado de Minas Gerais, de modo a elevar o índice de atendimento da rede de distribuição de água nos municípios mineiros. A CEDAE e a Águas de Pádua apresentam índices satisfatórios, com mais de 80% de atendimento total nos municípios fluminenses nesse indicador na bacia do Rio Pomba.

Nos perímetros urbanos percebe-se um atendimento satisfatório, porém outros municípios da Bacia do Rio Pomba não apresentam índices de atendimento aceitáveis, o que compromete o abastecimento e o acesso dos

usuários a água em padrões de qualidade e quantidade suficientes para o atendimento de grande parte da população. No contexto geral de análise da Bacia do rio Pomba apenas alguns municípios localizados na parte da Bacia no território do Estado de Minas Gerais apresentam uma cobertura da rede distribuição de água com menos de 59% de atendimento.

Um outro indicador de gestão é o índice de perdas na distribuição de água. Índices alarmantes de perdas são verificados em diversos municípios. Com o intuito de garantir um atendimento e diminuir a quantidade de água desperdiçada, ações de gestão de recursos hídricos para a minimização das perdas associadas a distribuição de água devem ser implementadas.

Figura 13 – Perdas na Distribuição de Água



Fonte: o autor

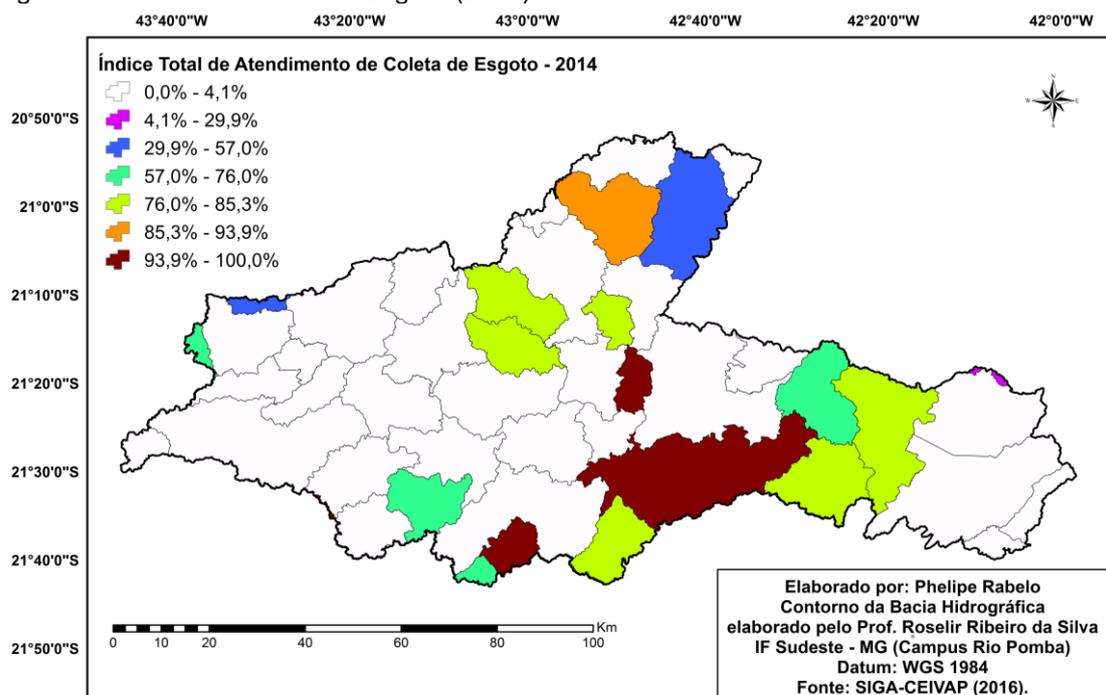
O índice de perdas de água na bacia hidrográfica é extremamente alarmante, acima de 30% em grande parte dos municípios integrantes da bacia do Rio Pomba. Neste contexto, pode-se destacar também os municípios fluminenses que apresentam altas perdas na distribuição de águas. Devido a esses altos índices de perdas constatados ações de gestão e controle de perdas devem ser adotadas de modo a otimizar o volume consumido e proporcionar

uma diminuição das perdas.

### 3.1.3 Índice de Coleta de Esgoto

A cobertura da rede de coleta de esgoto na bacia hidrográfica é um fator vital na avaliação da qualidade de águas. O lançamento de esgotos domésticos sem tratamento nos corpos hídricos é um dos fatores responsáveis pela degradação da qualidade de água. A avaliação do índice de cobertura da rede coletora de esgoto pode indicar piora nos parâmetros de qualidade de água ao avaliar-se a qualidade de água. A bacia do Rio Pomba apresenta baixos níveis de cobertura da coleta de efluentes sanitários, porém pela pequena densidade populacional as vazões são suficientes para a diluição e o enquadramento satisfatório dos corpos hídricos na Bacia do Rio Pomba. Na figura 14 encontram-se os dados de coleta de esgoto na Bacia referentes ao ano de 2014.

Figura 14- Índice de coleta de Esgoto (2014)



Fonte: O autor

Com a análise da situação de coleta de esgoto pode-se constatar que de forma geral o índice de coleta de esgoto é baixo. Deste modo, a implantação

de medidas para a promoção de infraestrutura, a ampliação da rede de coleta e a promoção do acesso ao saneamento básico na totalidade da bacia são essenciais para ampliar o percentual de esgoto coletado e tratado na região.

## 3.2 Sistema de Abastecimento Público da bacia do Rio Pomba

Após visita a unidade da CEDAE e da Águas de Pádua, realizada no dia 14/06/2017 com a aplicação de questionários aos respectivos gestores da CEDAE e da Águas de Pádua, foi possível analisar e caracterizar o sistema de abastecimento (etapas de tratamento e captação) dos diversos municípios fluminenses da Bacia do rio Pomba.

### 3.2.1 Santo Antônio de Pádua

#### 3.2.1.1 Captação

A captação em Santo Antônio de Pádua acontece na zona urbana da cidade do noroeste fluminense conforme figura 15:

Figura 15 - Localização da Captação Santo Antônio de Pádua



Fonte: O autor

Tabela 2- Dados Captação Santo Antônio de Pádua

Santo Antônio de Pádua	
Latitude	Longitude
21°31'55.77"S	42°11'20.75"O
Qcaptada = 120 l/s	

Fonte: O autor baseado em Águas de Pádua, 2017

O ponto de captação de água em Santo Antônio de Pádua apresenta apenas um gradeamento simples e estado precário, porém consegue mesmo assim, reter as partículas de solos e demais corpos maiores antes da entrada na estação de bombeamento conforme a figura 16:

Figura 16 - Ponto de Captação Santo Antônio de Pádua (14/06/2017 – 10:44)



Fonte: O autor

Conforme a figura 16 no ponto de captação em Santo Antônio de Pádua, é feita uma proteção da estação elevatória com um duplo gradeamento. Altas concentrações de sedimentos são evidenciadas também são vistas, também na figura 16 pela retenção nas grades. Percebe-se a coloração próxima ao “verde” da água perto do ponto de captação, o que pode indicar presença de cianobactérias.

Figura 17 - Rio Pomba no ponto de captação em Santo Antônio de Pádua (14/06/2017 – 10:45)



Fonte: O autor

Figura 18 - Rio Pomba no Ponto de Captação Santo Antônio de Pádua (14/06/2017 – 10:45)



Fonte: O autor

A coloração da água perto do ponto de captação indica a presença de cianobactérias na água um dos principais problemas na região. Esse parâmetro será analisado com mais profundidade no tópico relativo ao estressor de qualidade de água.

### 3.2.1.2 Tratamento

As adaptações para enfrentamento de estiagens e secas também são muito parecidas, ambas apresentam o sistema de anéis, que permite a captação em diversas seções do manancial. Uma estação de tratamento da Águas de Pádua localizada também no município de Miracema (Campelo/ Paraoquena), com pouca vazão de captação cerca de 8L/s. A estação de tratamento de Santo Antônio de Pádua (ETA principal) capta 120 L/s e o tratamento utilizado é classificado como convencional.

Figura 19 - ETA Campelo em Miracema gerenciada pela Águas de Pádua (14/06/2017 - 07: 47)



Fonte: O autor

O tratamento de água na região é considerado satisfatório baseado na avaliação e controle de qualidade realizada pelos operadores das ETA analisadas nesse estudo. Em termos comparativos de tratamento e infraestrutura, o município de Aperibé é o que apresenta menores dimensões da estação de tratamento, a demanda municipal de captação é menor do que as demandas de captação nos respectivos pontos dos municípios de Santo Antônio de Pádua e Miracema.

### 3.2.2 Miracema

#### 3.2.2.1 Captação

A análise do sistema de captação do município de Miracema é realizada na localidade apresentada na tabela 3:

Tabela 3- Dados de captação Miracema

Miracema	
Latitude	Longitude
21°29'38.92"S	42°15'11.83"O
Qcaptada = 90 l/s	

Fonte: O autor baseado em CEDAE, 2017

Figura 20 - Vista aérea da Captação em Miracema



Fonte: O autor

Figura 21 – Captação em Miracema (Dia 14/06/2017 – 8:17)



Fonte: O autor

A entrada do ponto captação da ETA de Miracema, no Rio Pomba, de

acordo com a localização da tabela 3, apresenta pontos de assoreamento, deposição de sedimentos na entrada do ponto afluyente de água, o que requer uma retirada desse sedimento que se acumula nesse ponto.

A retirada dessas partículas sólidas requer um aporte financeiro elevado uma vez que, por ser uma cidade do interior do Estado do Rio de Janeiro, os equipamentos são alugados em outras cidades, o que eleva ainda mais o custo de um processo, que em situações normais já apresenta alto investimento financeiro para a sua execução. A frequência de execução desse processo de retirada dessas partículas sólidas é de aproximadamente dois anos. Cabe ressaltar ainda, que durante remoção do sedimento a captação da ETA é interrompida devido as partículas sólidas em suspensão na água que podem causar a abrasão nos equipamentos do local de captação como as bombas e demais equipamentos.

Um problema recorrente na região de Miracema são as enchentes que afetam de uma forma geral a população fluminense residente na bacia hidrográfica do rio Pomba. Na figura 22 pode-se ter noção do nível do Rio Pomba na época das cheias.

Figura 22 - Captação Miracema variação do nível do Rio Pomba na ETA (14/06/2017 08:19)



Fonte: O autor

O nível da cheia varia de acordo com as marcas na figura 23, cerca de 10 ou 8 metros de elevação em relação ao nível normal do manancial superficial.

Essa foto reforça a resposta dos gestores da unidade de captação de que a cheia não atrapalhou a captação e não atingiu o nível da estação de captação. Sendo assim, o funcionamento da unidade não foi suspenso durante as ocorrências de eventos climáticos extremos (cheias) na região.

O sistema de captação apresenta diversas adaptações para enfrentar as ameaças e riscos associados as estiagens severas que acontecem na região de forma a propiciar a captação em diversas seções e profundidades do manancial conforme a figura 23. Devido a essas adaptações as estiagens severas de 2014 e 2015 não tiveram muitos impactos sobre o abastecimento urbano na região.

Figura 23 - Sistema de Captação em Miracema (14/06/2017 08:21)



Fonte: O autor

O sistema de anéis da figura abaixo funciona basicamente com dois cilindros de diâmetros diferentes de forma a permitir que o cilindro de menor raio possa deslizar sobre o de maior aumentando assim o tamanho e a extensão do cano utilizado para a captação, propiciando a captação em maiores profundidades.

Figura 24 - Sistemas de Anéis (14/06/2017 – 08:27)



Fonte: O autor

Esses cilindros acoplados permitem a captação em diversas profundidades e em diferentes distâncias em relação as margens em situações de estiagem (diminuição da cota da superfície livre do escoamento) e deixando a captação em pontos mais próximos quando o nível do manancial aumenta (aumento da cota da superfície livre do escoamento) e viabiliza a captação de água no manancial em tempos de estiagem.

### 3.2.2.2 Tratamento de no Município de Miracema

. No caso de Miracema, tem-se a realização do tratamento de água bruta conforme mostrado na figura abaixo:

Figura 25 - ETA Miracema (14/06/2017 - 07: 28)



Fonte: O autor

O tratamento convencional realizado na ETA é composto dos seguintes processos de tratamento: floculação, decantação, filtração, correção de pH, desinfecção (cloração) e fluoretação.

Figura 26 – ETA Miracema entrada de água no vertedor



Fonte: O autor

Os processos de tratamento de água nas cidades de Miracema e Santo Antônio de Pádua apresentam as mesmas características e processos característicos de tratamento. Uma vez que as cidades eram gerenciadas pela CEDAE, o projeto das duas ETA's é bem semelhante. Atualmente, a unidade de Santo Antônio de Pádua é gerenciada pela Águas de Pádua.

### 3.2.3 Aperibé

#### 3.2.3.1 Captação

Aperibé é o menor dos municípios da região noroeste fluminense da bacia o Rio Pomba, em termos de extensão territorial e com o menor número de habitantes, o que resulta em vazões de captação relativamente baixas quando comparadas com os outros dois municípios estudados, de acordo com a tabela 4:

Tabela 4- Dados Captação Aperibé

Aperibé	
Latitude	Longitude
21°37'7.61"S	42°6'31.72"O
Qcaptada = 25 l/s	

Fonte: o autor baseado em CEDAE, 2017

O ponto de captação em Aperibé é localizado na zona rural da cidade, que apresenta pouca urbanização. A figura 28 ilustra o ponto de captação ponto de captação em Aperibé no Rio Pomba.

Figura 27 - Rio Pomba na captação em Aperibé (14/06/2017 – 11:09)



Fonte: o autor

O ponto de captação em Aperibé apresenta um alto índice de assoreamento, de acordo com relatos dos técnicos consultados, porém esses fatores não influenciaram na gestão e na captação da ETA.

### 3.2.3.2 Tratamento

O tratamento da estação de Aperibé é realizado por uma ETA metálica compactada com tratamento convencional com as etapas floculação, decantação, filtração, correção de PH, desinfecção (cloração) e fluoretação, apresentando uma estrutura reduzida e que otimiza o espaço ocupado para tratamento.

Figura 40 – ETA Compacta Metálica em Aperibé (14/06/2017 – 10:50)



Fonte: O autor

A Estação de Tratamento de Aperibé possui ainda um agitador mecânico alimentado por energia elétrica. Embora exista a dependência da energia elétrica na localidade existe gerador na unidade de tratamento, minimizando assim o risco de interrupção do serviço de tratamento mesmo em casos de problemas na rede de fornecimento de energia na região.

### 3.3 Síntese dos Resultados

De acordo com os dados das visitas técnicas realizadas, os principais dados dos sistemas de captação e tratamento dos municípios fluminenses da bacia do Rio Pomba são apresentados na tabela 5:

Tabela 5: Dados Consolidados de Captação e Tratamento

Cidade	ETA	Qcaptada (L/s)	Tipo de Tratamento
Santo Antônio de Pádua	Normal	120	Convencional
Miracema	Normal	90	Convencional
Aperibé	Metálica compacta	25	Convencional

Fonte: o autor baseado em CEDAE; Águas de Pádua; 2017

#### **4. APLICAÇÃO DO MODELO ANALÍTICO – PARTE 1: RISCOS ASSOCIADOS À SEGURANÇA HIDRICA DA ÁGUA BRUTA**

A segurança hídrica do abastecimento urbano, nesta dissertação, é avaliada conforme:

- Avaliação qualitativa do nível de segurança da disponibilidade de água bruta, associado a um determinado risco; e
- Avaliação qualitativa da vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano.

Este capítulo se dedica à primeira parte, que envolve estritamente a água bruta, no contexto da bacia hidrográfica, mediante a avaliação dos estressores na bacia hidrográfica do Rio Pomba, a montante do ponto de captação, bem como seus impactos e riscos associados para a quantidade e qualidade de água captada para abastecimento urbano dos três municípios fluminenses da área de estudo. Este conjunto informa o nível de segurança hídrica quali-quantitativo, perante cada estressor, que é associado a um determinado risco.

Os estressores devem representar os principais fatores com potencial de impacto sobre a quantidade e qualidade de água bruta para abastecimento humano na Bacia Hidrográfica do Rio Pomba. A análise dos estressores, considerada a entrada de dados no esquema conceitual metodológico tem relações com os riscos apresentados. Os diversos estressores analisados representam riscos, ameaças e desafios que podem influenciar a gestão de recursos hídricos na determinada unidade hidrográfica de planejamento e gestão.

Cabe ressaltar ainda que, os estressores representam ainda eventuais desvios e condições anormais que podem ou não ocasionar impactos significativos na gestão de recursos hídricos. Os estressores podem representar a causa associada a determinada situação de conflito ou escassez hídrica. Sendo assim, torna-se essencial estudar os diversos estressores de modo a otimizar o planejamento e a mitigação dos impactos associados a exposição e contato na unidade de planejamento. De forma a mensurar os estressores, de forma qualitativa ou semi-quantitativa, foram então utilizadas as principais bases

disponíveis, além de aplicação de questionários e entrevistas com atores-chave na Bacia.

#### 4.1 Estressor da água bruta (1): Pressão sobre as condições ambientais

A análise da pressão sobre as condições ambientais da bacia tem por objetivo mensurar as características físicas e ambientais referentes ao uso e ocupação do solo que podem influenciar a dinâmica ambiental da bacia hidrográfica e, por consequente, a quantidade e qualidade da água de abastecimento urbano.

##### 4.1.1 Uso e ocupação do Solo

A cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica reflete a condição ambiental de uma determinada área. O desmatamento sobre determinadas regiões pode acentuar os processos erosivos, perda de solo ocasionando o assoreamento dos corpos hídricos com eventuais consequências para a geração de energia, afetar os ecossistemas aquáticos e o balanço hídrico regional. Na região de estudo constam as tipologias de ocupação do solo apresentadas na tabela 6:

Tabela 6 - Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio Pomba

Classificação	Área (km <sup>2</sup> )	
Área Agrícola	436,00	5,08%
Área Não-Classificada	0,52	0,01%
Área Urbanizada	322,68	3,76%
Campos / Pastagens	4628,00	53,97%
Corpo Hídrico	102,74	1,20%
Vegetação Arbórea Densa	1517,57	17,70%
Vegetação Arbórea Esparsa	1567,36	18,28%
Total Geral	8574,88	100,00%

Fonte: O autor, baseado em SIGA-CEIVAP & COHIDRO, 2013.

Esta tabela indica que mais de 60% da área total da Bacia não tem cobertura vegetal, evidenciando uma situação de degradação ambiental da sub-bacia do Rio Pomba. Mesmo a área de vegetação é marcada por uma ligeira maioria de vegetação esparsa, em relação à vegetação densa. Somente 36 %

da área total apresenta algum tipo de cobertura vegetal. A região ainda é marcada pela baixa urbanização e a presença de pequenas áreas agrícolas. Existem pequenas discrepâncias entre a cobertura e o uso do solo e a divisão territorial estadual (Tabela 7).

Tabela 7 - Uso e Ocupação do Solo por Estados

Classificação	Estado (RJ)		Estado (MG)	
	Área (km <sup>2</sup> )		Área (km <sup>2</sup> )	
Área Agrícola	65,51	7,29%	370,49	4,83%
Área Não-Classificada	-	-	0,52	0,01%
Área Urbanizada	27,05	3,01%	295,63	3,85%
Campos / Pastagens	451,72	50,25%	4176,28	54,41%
Corpo Hídrico	20,38	2,27%	82,37	1,07%
Vegetação Arbórea Densa	141,43	15,73%	1376,14	17,93%
Vegetação Arbórea Esparsa	192,83	21,45%	1374,53	17,91%
Total Parcial do Estado	898,93	100,00%	7675,95	100,00%
Representação em relação a área total	0,11	10,48%	0,90	89,52%

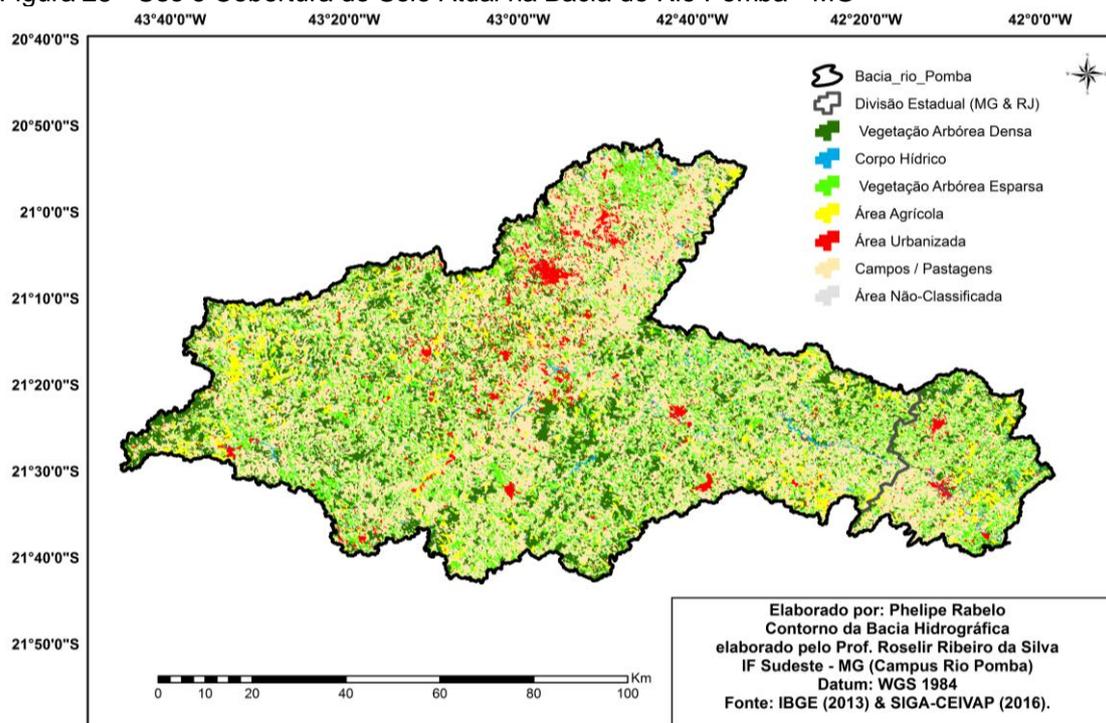
Fonte: O autor.

Conforme apontado anteriormente, a maior extensão territorial da Bacia está inserida em Minas Gerais, que compreende cerca de 90% da área total; o restante 10% encontram-se no estado do Rio de Janeiro.

Em ambos os Estados, verifica-se que os campos e pastagens predominam de forma absoluta na Bacia, sendo muitas vezes áreas fortemente erodidas e degradadas.

Segundo dados do CEIVAP (2015) a região noroeste do Estado do Rio de Janeiro apresenta um dos maiores índices de desmatamento, devido principalmente as atividades de extração de areia e atividades agrícolas que acentuam o desmatamento na região (Figura 28).

Figura 28 - Uso e Cobertura do Solo Atual na Bacia do Rio Pomba - MG



Fonte: o autor.

Os municípios fluminenses da Bacia do Rio Pomba (Santo Antônio de Pádua, Miracema e Aperibé) apresentam também, em grande parte de seu território, áreas desmatadas, o que pode implicar em impactos ambientais significativos na disponibilidade hídrica em termos qualitativos nas localidades. De fato, observa-se uma diminuição da quantidade de água em alguns mananciais da Bacia, conforme exposto de forma detalhada no mapa da figura 34, que já se tornou crítica em algumas regiões, como na sub-bacia do ribeirão Ubá, que abastece precariamente a cidade de Ubá, além de problemas relatados também em várias regiões rurais onde a atividade agrícola sofre por escassez de água (CEIVAP, 2013).

#### 4.1.2 Área de Preservação Permanente - APP fluvial

A situação da área de preservação permanente é de vital importância para a verificação das condições ambientais na bacia do Rio Pomba sobretudo dos impactos nos recursos hídricos.

O Novo Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) estabelece em seu 4º artigo e dá diretrizes para delimitação de Áreas de Proteção Permanente em zonas rurais e urbanas:

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:

a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;

b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;

De acordo com as delimitações estabelecidas pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, foram calculadas as APPs na Bacia do rio Pomba em função da situação da largura variável dos seus cursos d'água de acordo com o usos e ocupação do solo identificados nessas áreas conforme apresentado na tabela 8.

Tabela 8 – Uso e ocupação de áreas de APPs de margens de rio na Bacia do Rio Pomba para os cursos d'água

Classificação	APP <sub>200</sub>	APP <sub>100</sub>	APP <sub>50</sub>
Área Agrícola	6,01%	4,30%	4,87%
Área Não-Classificada	0,00%	0,00%	0,01%
Área Urbanizada	5,91%	7,82%	5,11%
Campos / Pastagens	56,67%	63,43%	63,92%
Corpo Hídrico	10,69%	3,14%	3,96%

Classificação	APP <sub>200</sub>	APP <sub>100</sub>	APP <sub>50</sub>
Vegetação Arbórea Densa	11,04%	11,92%	11,31%
Vegetação Arbórea Esparsa	9,67%	9,39%	10,81%

Fonte: o autor, 2016

A área de proteção permanente para os cursos de água com cobertura mínima de 200 metros encontra-se altamente degradada, acarretando perda da cobertura vegetal, aumento do carreamento de partículas sólidas de solo (erosão) e aumentando a possibilidade de assoreamento.

Apenas em 20% da área total das regiões enquadradas com faixa marginal de 200 metros, existe algum tipo de vegetação. É mais um fator que evidencia a degradação ambiental regional na região da bacia do Rio Pomba.

Outro fator utilizado na análise da pressão sobre as condições ambientais da bacia hidrográfica é a concentração urbana. Esse fator tem influência direta sobre a qualidade de água na Bacia, uma vez que grandes concentrações populacionais geram maiores volumes de despejos de efluentes (esgoto sanitário) nos corpos hídricos próximos, além do processo de impermeabilização do solo que aumenta o escoamento superficial.

Segundo Reis (2013), em sua tese de doutorado na Universidade Federal de Viçosa, em um cenário com a expansão agrícola o cenário de desmatamento na bacia deve aumentar trazendo inúmeros impactos ambientais como a desertificação, impossibilidade de utilização do solo para a agricultura e erosão.

Com o aumento das zonas de pastagem e diminuição das zonas agrícolas em um cenário futuro, haverá aumento de diversos estressores. Por exemplo, a aumento da erosão associada a perda de cobertura vegetal pode aumentar o assoreamento dos reservatórios e a perda da qualidade de água na região.

Nesse contexto, a análise do percentual de áreas protegidas e regiões com vegetação densa na Bacia estão protegidas por unidades de conservação (UCs) indica o comprometimento com a proteção ambiental na bacia do Rio Pomba.

#### 4.1.3 Áreas Protegidas (UCs)

As unidades de conservação surgem da necessidade de proteção de

determinadas áreas com características ambientais relevantes. A Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000 instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, estabeleceu critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. A definição dada para Unidade de Conservação por esta Lei é a seguinte:

Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.

A implantação de unidades de conservação é um importante instrumento de gestão e preservação ambiental (SNUC, 2000):

- I - contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais;
- II - proteger as espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional;
- III - contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais;**
- IV - promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais;**
- V - promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento;
- VI - proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica; VII - proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural;
- VIII - proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos;**
- IX - recuperar ou restaurar ecossistemas degradados;**
- X - proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental;
- XI - valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica;
- XII - favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico;
- XIII - proteger os recursos naturais necessários à subsistência de populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e sua cultura e promovendo-as social e economicamente.

Por meio do SIGA CEIVAP, foi feito um levantamento das UCs existentes na Bacia do Rio Pomba (Tabela 9).

Tabela 9 - Unidades de Conservação Bacia do Rio Pomba

<b>Nome</b>	<b>Categoria</b>	<b>Uso</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
E.E.E.	EEE	Integral	0,70
Rio Preto	APAM	Sustentável	0,07
Serra das Pedras	APAM	Sustentável	4,74
Usina Maurício	RPPNF	Sustentável	1,86
Faz. Pedra Bonita	RPPNF	Sustentável	8,02
Fazenda São Lourenço	RPPNE	Sustentável	0,61
Fazenda Boa Esperança	RPPNE	Sustentável	0,49
Serra do Pito Acesso	APAM	Sustentável	31,66
Serrana	APAM	Sustentável	2,85
Serra das Pedras	APAM	Sustentável	50,77
Serra da Piedade	APAM	Sustentável	15,82
Montanha Santa	APAM	Sustentável	24,51
Silverânia	APAM	Sustentável	66,16
Santa Helena	APAM	Sustentável	0,00
Município de Rio Pomba	APAM	Sustentável	90,54
Miraí	APAM	Sustentável	0,11
APA de Ervália	APAM	Sustentável	40,09
<b>Nome</b>	<b>Categoria</b>	<b>Uso</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
Alto Rio Doce	APAM	Sustentável	0,29
Lapinha	RB	Integral	3,69
<b>Total</b>			<b>343,01</b>

\* UCs não georreferenciadas      \*\* não encontrados dados sobre a unidade

Fonte: SIGA-CEIVAP, 2016.

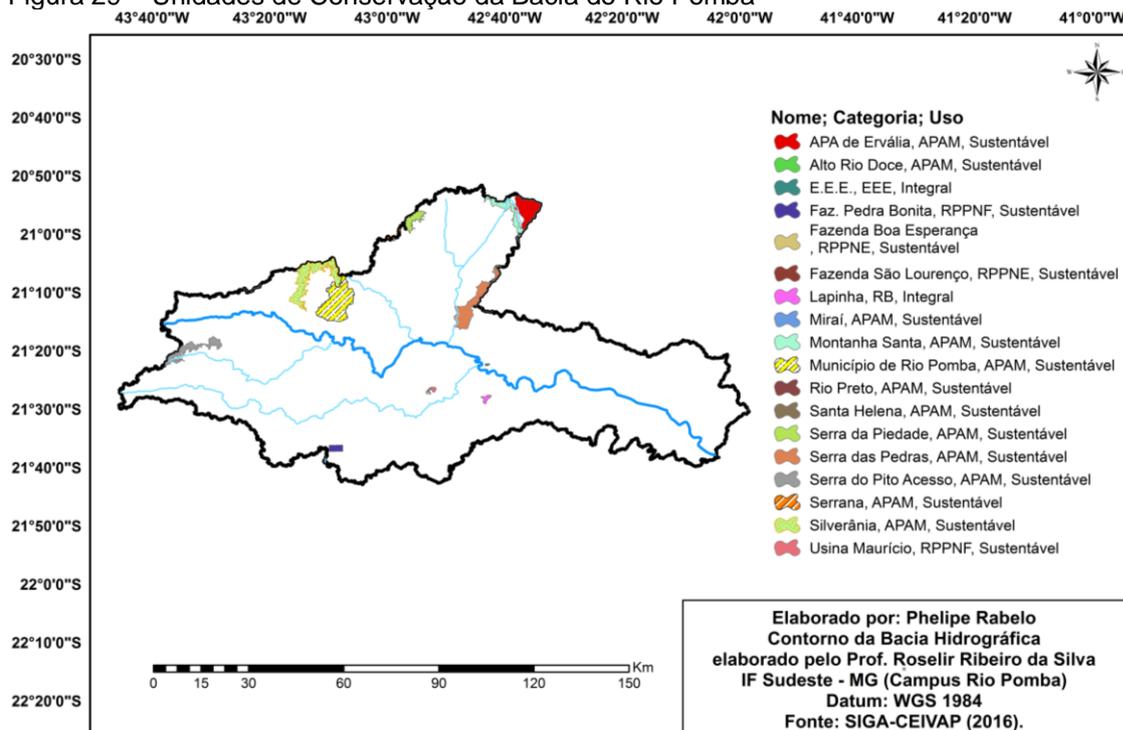
Constatou-se também que as áreas ocupadas pelas UCs ocupam cerca de 3,98% da sua área total da bacia do Rio Pomba, uma fração muito pequena, sobretudo em uma região que sofre com frequência por desmatamento o que está representado na Tabela 10 e na Figura 29.

Tabela 10 – Percentual de áreas protegidas na Bacia do Rio Pomba

Área Total da Bacia (km <sup>2</sup> )	8620
Áreas "conservadas" (Km <sup>2</sup> )	343,01
Percentual de áreas conservadas na Bacia	<b>3,98%</b>

Fonte: O autor, baseado em SIGA-CEIVAP, 2016.

Figura 29 – Unidades de Conservação da Bacia do Rio Pomba



Fonte: O autor.

Além do mais, é importante observar que a quase totalidade das UCs são de uso sustentável (a exemplo de APAs), que protege apenas parcialmente o território, quando comparado com UCs de proteção integral (a exemplo de parques).

Mais recentemente, outras unidades de conservação foram criadas na região, na modalidade Reserva Particular de Patrimônio Nacional (RPPN), que é uma UC totalmente privada, com a particularidade de ser obrigatório assim permanecer para sempre, os dados das novas unidades criadas na região são apresentadas na tabela 11.

Tabela 11- Áreas de Proteção Ambiental criadas recentemente na Bacia do Rio Pomba

Ano	Nome	Área (ha)	Município - UF
2008	RPPN Alto da Boa Vista II	7,3	Descoberto - MG
2010	RPPN Jurerê	7,0	Descoberto - MG
2010	RRPPN Cachoeira da Roça Grande	30,7	São João Nepomuceno - MG

Fonte: o autor, baseado em Agevap, 2014.

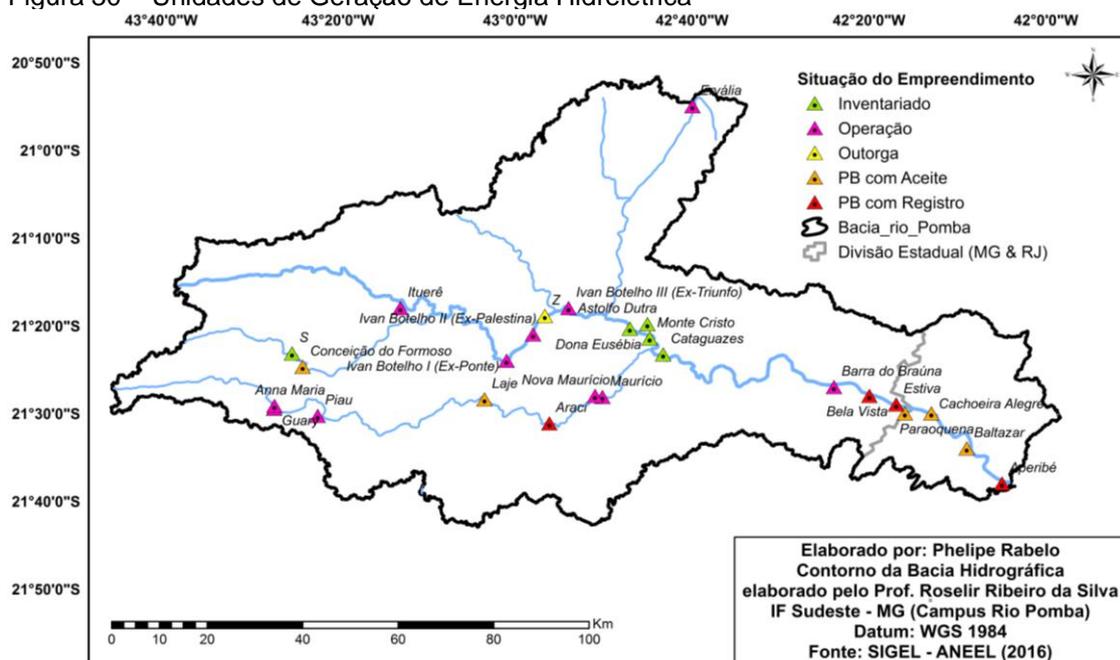
Em suma, a bacia possui somente uma minúscula parte do seu território coberto por UCs e, ainda por cima, são quase todas de uso sustentável. Além do incentivo à criação de RPPNs, esta situação implica na necessidade de boas políticas de estímulo à conservação ambiental em propriedades rurais já que a maior parte da área com remanescentes florestais encontra-se em propriedades privadas.

Nesse sentido, os instrumentos recentes de regularização ambiental rural por meio do Cadastro Ambiental Rural (CAR) constituem a iniciativa de melhor potencial de indução à proteção ambiental e dos recursos hídricos em áreas rurais.

#### 4.1.4 Empreendimentos de Geração de Energia Hidrelétrica

A Bacia do Rio Pomba tem sido cada vez mais pressionada pela atividade de geração de energia hidrelétrica. Durante as visitas de campo, técnicos dos serviços de água relataram problemas associados à qualidade de água depois da implementação de determinadas hidrelétricas. A Figura 30 aponta a localização das usinas identificadas, com base em informações da ANEEL.

Figura 30 – Unidades de Geração de Energia Hidrelétrica



Fonte: O autor, baseado em SIGEL (ANEEL), 2016.

De acordo com Tucci (2006) os efeitos a montante da construção de barragens de aproveitamento hidrelétricos são:

- Qualidade da água na saída das turbinas tende a ser anaeróbica e com altas cargas poluidoras. Cabe ressaltar que a qualidade da água efluente de saída é função da cota de onde é retirada nos reservatórios.
- Aumento da erosão de jusante, uma vez que com o aumento da velocidade da água que escoar tem poucos sedimentos, sendo assim com maior potencial erosivo. Conseqüentemente ocorre uma diminuição da turbidez e de nutrientes, reduzindo a produção primária dos ecossistemas aquáticos;
- Um outro impacto da redução da turbidez é uma maior penetração da luz solar que pode atuar sobre depósito bentônico no fundo do reservatório e proporcionar condições ideais para a reprodução de algas.
- Inundação a jusante do reservatório pode ser amplificada em função da operação; pode-se usar o reservatório para o controle e amortecimento de cheias.
- O rompimento de barragem pode produzir efeitos desastrosos, é essencial a elaboração de um plano de emergência e de evacuação da população residente a jusante, além do monitoramento constante das condições estruturais das barragens.

#### 4.1.5 Riscos associados ao estressor “pressão sobre as condições ambientais da Bacia”

A metodologia de análise de riscos proposta por Formiga-Johnsson et al. (2017), avalia a severidade e a ocorrência do estressor na Bacia do Rio Pomba.

Avaliou-se de forma subjetiva como alta a severidade do estressor “pressão ambiental sobre a Bacia”, o maior grau associado ao estressor: a bacia do Rio Pomba apresenta altos níveis de degradação da cobertura vegetal, acentuada pelos altos níveis de desmatamento, tanto nas áreas de APPs de margens de rio como nas áreas rurais, tendo ainda muito baixo percentual de áreas protegidas. Hidrelétricas tem sido também uma pressão crescente, nos últimos anos.

Quanto à ocorrência do estressor, constatou-se que ele ocorre de forma frequente e acentuada em toda a extensão territorial da bacia, inclusive em áreas de APPs, tanto nos Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro.

Figura 31 - Matriz de Riscos associados ao estressor “pressão sobre as condições ambientais da bacia”

Matriz de Riscos Associados				
Ocorrência do Estressor	Alta			Pressão sobre as condições ambientais
	Média			
	Baixa			
		Baixa	Média	Alta
		Severidade do Impacto		

Risco	
	Aceitáveis
	Toleráveis
	Inaceitáveis

Fonte: o autor.

Portanto, o risco estimado associado a disponibilidade de água bruta em qualidade e quantidade para abastecimento das cidades de Santo Antônio de Pádua, Miracema e Aperibé foi estimado como sendo “inaceitável” quanto ao estressor “pressão sobre as condições ambientais” sobre a Bacia do Rio Pomba.

Este nível é um alerta que demanda medidas de gestão imediatas. Idealmente, ações e programas de proteção dos mananciais, ou criação de UCs de proteção integral, devem ser empreendidas para reduzir o risco ao nível tolerável. Com o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e o PRAD (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas), existe uma janela de oportunidade para recuperar parte do passivo ambiental, além de fornecer conhecimento para outras medidas de proteção.

## 4.2 Estressor de água bruta (2): Demanda por água (pressão sobre a quantidade)

### 4.2.1 Disponibilidade

A bacia do Rio Pomba apresenta poucas informações atualizadas sobre a disponibilidade hídrica regional. Na tabela 12 são apresentados os dados para os pontos disponíveis:

Tabela 12 – Disponibilidade Hídrica na Bacia do Rio Pomba

Local	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Q <sub>95%</sub> (m <sup>3</sup> /s)	q <sub>95%</sub> (l/s.Km <sup>2</sup> )	QMLT (m <sup>3</sup> /s)	qMLT (l/s.km <sup>2</sup> )
Foz do Rio Pomba*	8616	63,2	7,33	163,43	18,97
Santo Antônio de Pádua II	8242	26,96	3,27	68,11	8,26

Fonte: O autor, baseado em Ceivap, 2011.

As vazões na Foz do Rio Pomba apresentam os valores relativos ao plano de recursos hídricos de 2007. Os dados para a estação de Santo Antônio de Pádua foram gerados pelo autor após consulta ao banco de dados da ANA (Hidroweb). Verifica-se a alta disponibilidade hídrica no Rio Pomba, no ponto utilizado como referência em Santo Antônio de Pádua. A vazão máxima outorgável é de 70% da Q<sub>95</sub> (vazão de referência).

### 4.2.2 Demanda por água (usos consuntivos)

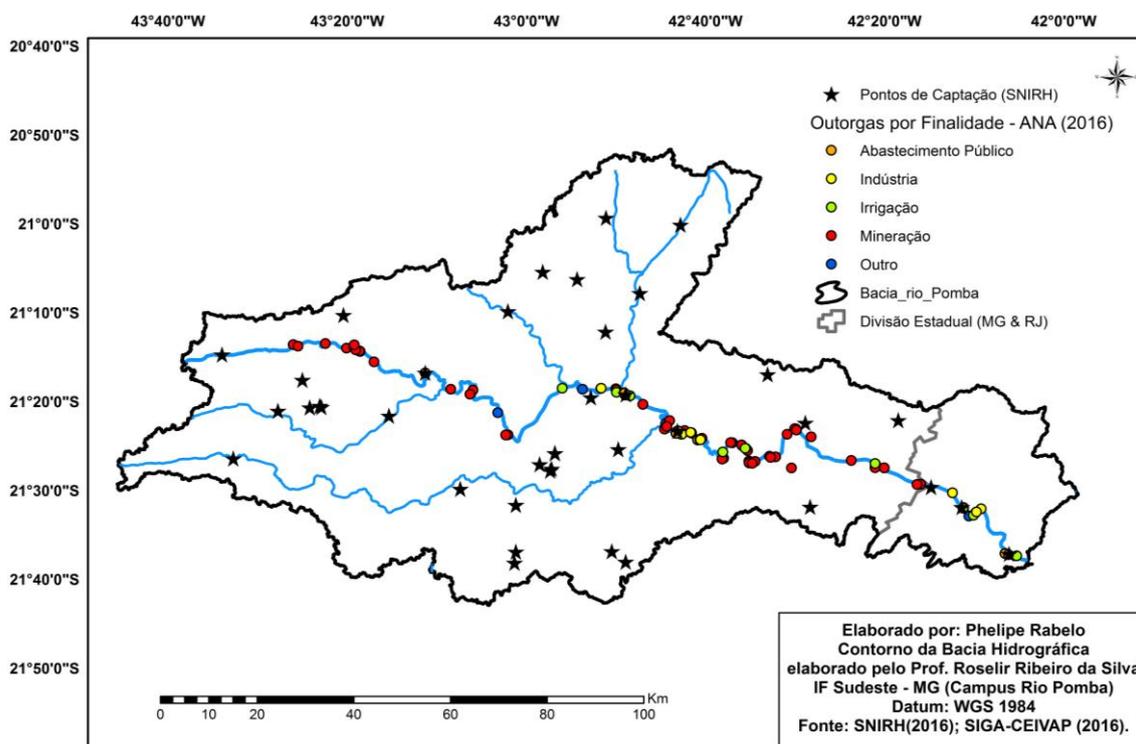
#### 4.2.2.1 Outorgas e usuários na Bacia do Rio Pomba

No contexto do trabalho desenvolvido a pressão por demanda de água é definida como os usos consuntivos e não-consuntivos à montante do ponto de captação analisado (abastecimento das sedes urbanas, irrigação, dessedentação de animais, mineração e demais usos).

Os principais usos destacados nos levantamentos nas bases de dados

disponíveis na ANA e na AGEVAP são: abastecimento público, industrial, irrigação e mineração, de acordo com a figura 32 e Tabela 13.

Figura 32 – Principais outorgas concedidas na Bacia do Rio Pomba



Fonte: o autor, baseado no SIGA-CEIVAP e COHIDRO, 2016.

Tabela 13 - Demandas de água na Bacia do Rio Pomba (m<sup>3</sup>/s)

Finalidade	Demanda de Vazão (m <sup>3</sup> /s)
Indústria	1,21902
Área Rural	0,0477
Área Urbana	1,13649
Pecuária	0,3152
Mineração	0,14844
Irrigação	2,74675
Total	5,6136

Fonte: O autor, baseado em CEIVAP, 2016.

Em termos de vazão de captação, os principais usos elencados na região em estudo são os de irrigação e o industrial, e abastecimento urbano (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Demanda de água (vazão de captação) na Bacia do Rio Pomba (%)



Fonte: O autor, baseado em CEIVAP, 2016.

Boa parte desses usos não são regularizados, conforme evidenciado pela análise das outorgas. As mais significativas da Bacia são as outorgas pelo uso das águas do Rio Pomba concedidas pela ANA (Tabela 14), destinadas sobretudo para o abastecimento de sedes urbanas.

Tabela 14 – Outorgas ANA

Finalidade	Volume (m <sup>3</sup> /s)
Abastecimento Público	1,27
Indústria	0,18
Irrigação	0,01
Mineração	0,07
Outro	0,00
Total Geral	1,54

Fonte: O autor.

Foi também avaliada a pressão futura deste estressor sobre a Bacia. As outorgas da ANA são em sua maioria destinadas ao abastecimento público e aos usos industriais e de mineração.

#### 4.2.2.2 Demandas Futuras

A análise das vazões de captação em um amplo horizonte de tempo pode direcionar as ações de gestão e possibilitar o planejamento adequado para

a viabilização da melhor alternativa para minimizar os impactos futuros identificados. O plano integrado de recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul contemplou os anos de 2025 e 2035 para geração de dados de planejamento e de projeção dos valores de captação.

Os dados de projeção da vazão de demanda indicadas na Tabela 15. Para fins de cálculo segundo ANA (2013) a vazão de retirada é o somatório das vazões captadas pelos municípios para atividades de uso consuntivo da água e a vazão de consumo é o somatório das diferenças entre as vazões de retirada e de retorno, ou seja, diferença das vazões lançadas e captadas.

Tabela 15- Demanda atuais e futuras na Bacia do Rio Pomba

Tipos de uso	2010		2025		2035	
	Q <sub>ret</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>cons</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ret</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>cons</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ret</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>cons</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Consumo Urbano	1,06	0,18	1,15	0,19	1,21	0,19
Consumo Rural	0,09	0,03	0,08	0,04	0,08	0,04
Consumo Animal	0,38	0,26	0,41	0,32	0,44	0,34
Irrigação	2,67	2,67	3,2	3,2	3,43	3,43
Indústria	0,13	0,02	0,16	0,03	0,18	0,04
Mineração	0,15	xxxx	0,17	xxxx	0,19	xxxx
Total	4,48	3,16	5,17	3,78	5,53	4,04

Fonte: O autor, baseado em ANA, 2013.

De acordo com os dados obtidos no relatório de usos e demandas elaborado pela ANA (2013), as demandas de água, ao longo dos anos, permanecem quase que inalteradas com poucas variações de acordo com as vazões de consumo (Q<sub>cons</sub>) e (Q<sub>ret</sub>). O uso mais elevado da bacia continuará sendo a irrigação. A análise da projeção populacional para os municípios da Bacia do Rio Pomba, indica um decréscimo ou estabilidade sem incremento acentuado do número de habitantes.

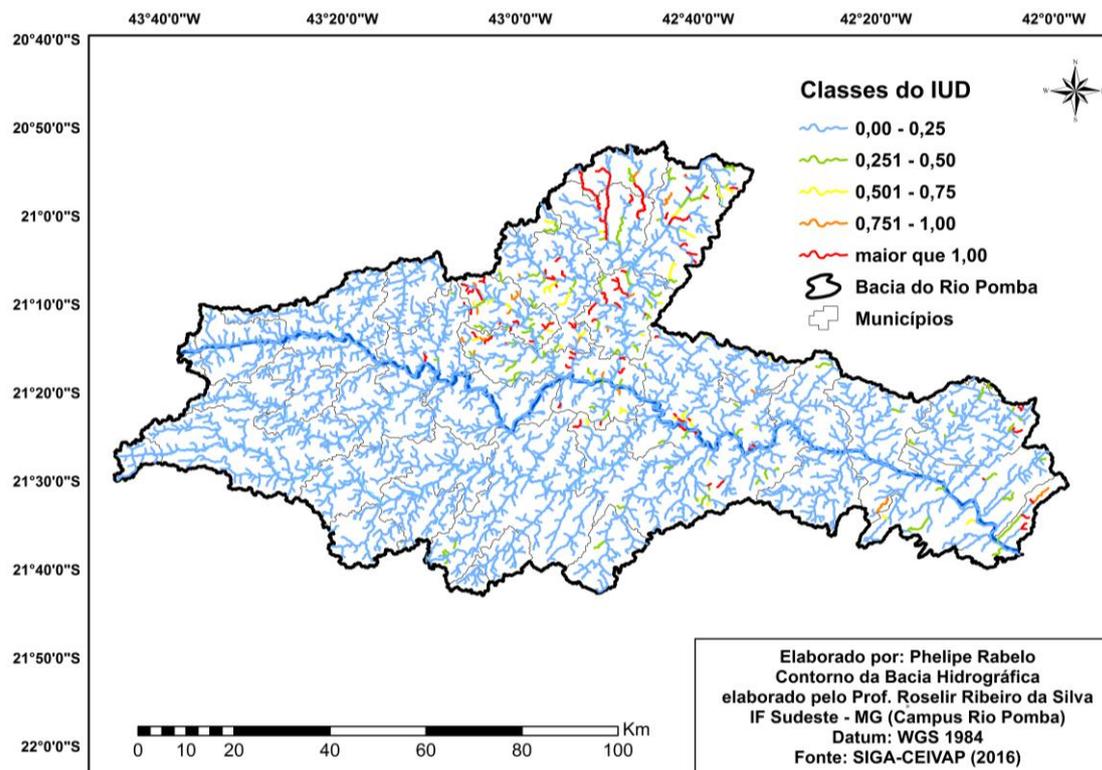
#### 4.2.3 Balanço Hídrico

##### 4.2.3.1 Índice de Disponibilidade Hídrica

Um outro indicador para a avaliação do nível de comprometimento da

vazão disponível é o índice IUD - Índice de Disponibilidade Hídrica, que reflete a relação entre demanda de água e a disponibilidade total de água. A figura 33 apresenta o IUD em diversos trechos de rios da Bacia do Rio Pomba.

Figura 33 – Valores de IUD para os diversos corpos hídricos da Bacia do Rio Pomba



Fonte: O autor

O IUD reflete o comprometimento das vazões dos corpos hídricos: um IUD de 0,25 reflete um comprometimento de 25% da vazão disponível ( $Q_{95}$ ), para atendimento das demandas totais no manancial. Quanto menor o comprometimento, melhor a situação do corpo hídrico uma vez que existe um excedente de vazões, sendo assim é reduzida a probabilidade de conflitos uma vez que existe uma alta disponibilidade desse recurso natural nas condições atuais apresentadas. Em contrapartida, valores de IUD maiores que 1 refletem um “*estresse hídrico*” acentuado uma vez que a demanda de água supera a disponibilidade.

Os maiores valores de IUD (Índice de Disponibilidade Hídrica) estão concentrados nos municípios de Ubá e Visconde do Rio Branco (ver Figura 9, na página 55), que possuem baixos índices de coleta de esgoto sanitário.

Em regiões com o índice (IUD) acima de 0,75 devem ser tomadas medidas emergenciais para evitar o surgimento de conflitos entre os usuários nesses pontos de escassez de água. Neste sentido, faz-se necessário a implantação de uma sólida infraestrutura para a gestão de recursos hídricos. Na região do rio dos Bagres e Rio Xopotó verifica-se um comprometimento quase que total dos cursos d'água para fins de diluição.

#### 4.2.3.2 Índice de Retirada de Água (IRA) ou Water Exploitation Index (WEI)

A *European Environment Agency* e as Nações Unidas utilizam o Índice de Retirada de Água ou *Water Exploitation Index*, que é igual ao quociente entre a retirada total anual e a vazão média de longo período (ANA, 2005). Ainda segundo a ANA o índice utiliza a seguinte classificação:

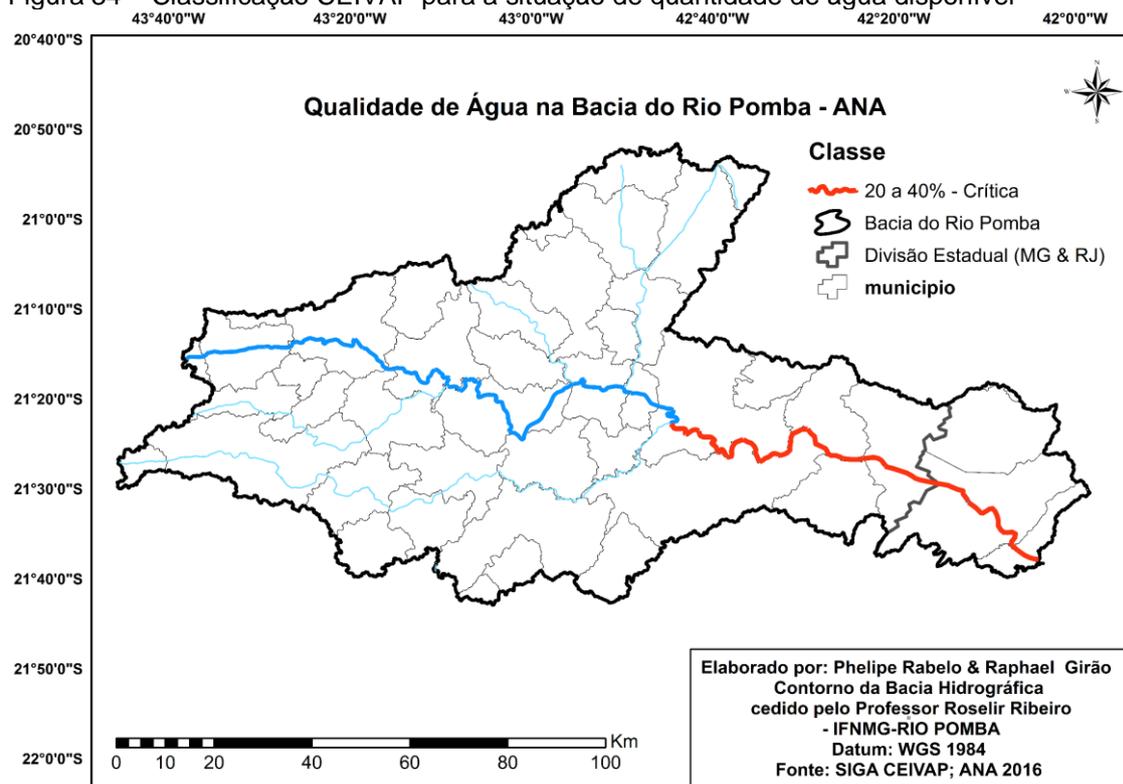
Quadro 3 – Classificação do Índice de Retirada de Água

< 5%	Excelente. Pouca ou Nenhuma atividade de gerenciamento é necessária. A água é considerada um bem livre;
5 a 10%	A situação é confortável, podendo ocorrer necessidade de gerenciamento para a solução de problemas de abastecimento;
10 a 20%	Preocupante. A atividade de gerenciamento é indispensável, exigindo realização de investimentos médios;
20% a 40%	A situação é crítica exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos
> 40%	A situação é muito crítica

Fonte: ANA,2005.

A aplicação deste índice aponta maior nível de criticidade no rio Pomba a jusante da cidade de Cataguases (20% a 40%), o que pode impactar os diversos usuários de água a jusante deste manancial (Figura 34).

Figura 34 – Classificação CEIVAP para a situação de quantidade de água disponível



Fonte: O autor

De acordo com o limite de classificação proposta pela CEIVAP o trecho do Rio Pomba de Cataguases até Aperibé apresenta valores críticos para a quantidade de água disponível. Ações de melhoria e eficiência no uso da água devem ser implantadas de modo a otimizar o uso da água na região.

#### 4.2.4 Riscos associados ao estressor “demanda por água (pressão sobre a quantidade)”

A ocorrência do estressor foi considerada alta, já que múltiplos usos estão presentes em toda a Bacia, em especial ao longo do Rio Pomba. Destacam-se sobretudo os seguintes usos: irrigação, demanda industrial e abastecimento urbano.

Quanto à severidade do impacto relacionada a este estressor, avaliou-se como sendo de baixa intensidade, embora uma das duas metodologias utilizadas para avaliação do estresse hídrico tenha considerado um trecho do Rio Pomba como crítico. O cálculo do IUD corroborou a classificação da severidade adotada pelo indicador de estresse hídrico. Entrevistas com técnicos dos serviços de

água relataram que mesmo durante secas não houve interrupção da captação para o abastecimento urbano. Demandas futuras foram estimadas como não impactantes perante a disponibilidade de água, em quantidade.

Figura 35 - Matriz de risco para a água bruta associado estressor “demanda de água (pressão sobre a quantidade)”

Matriz de Riscos Associados				
Ocorrência do Estressor	Alta	Demanda de água (pressão sobre a quantidade)		
	Média			
	Baixa			
		Baixa	Média	Alta
		Severidade do Impacto		

Risco	
	Aceitáveis
	Toleráveis
	Inaceitáveis

Fonte: O autor.

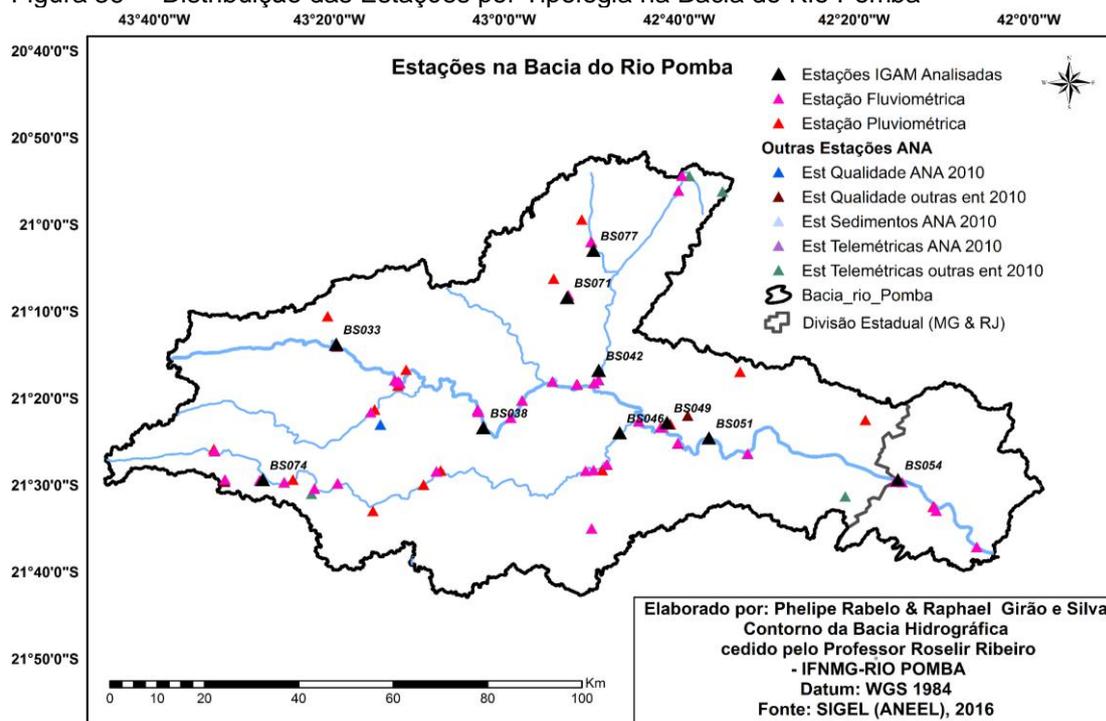
O risco para a disponibilidade de água bruta, em quantidade, associado à demanda por água foi, portanto, considerado como tolerável, resultante da combinação de uma alta ocorrência de usos consuntivos, mas de baixa intensidade.

### 4.3 Estressor de água bruta (3): Carga poluidora (pressão sobre a qualidade das águas)

#### 4.3.1 Monitoramento e controle

A bacia é monitorada por diversas estações distribuídas no seu território, conforme retratada na figura 36.

Figura 36 – Distribuição das Estações por Tipologia na Bacia do Rio Pomba

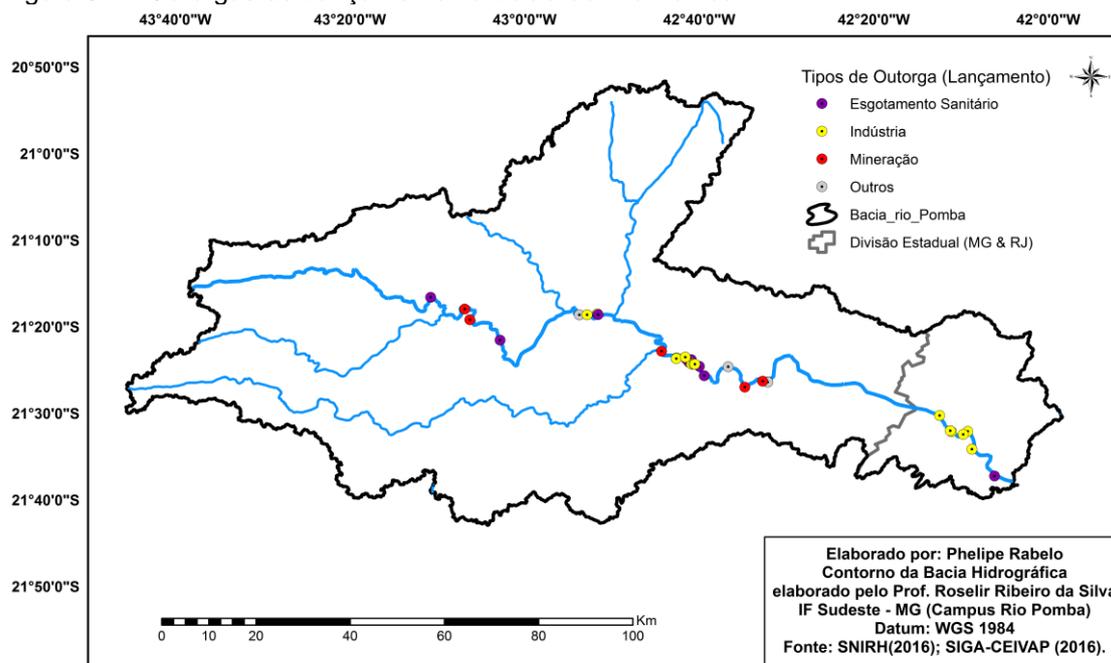


Fonte: O autor

A rede de monitoramento de qualidade da água na Bacia do Rio Pomba é considerada eficiente com série de dados de disponibilizados no sítio eletrônico da ANA, na página do aplicativo *hidroweb*. Esse aplicativo (programa) da base de dados da ANA lista a série histórica de todas as estações operadas pela ANA gratuitamente.

Em termos de controle, o principal instrumento é a outorga de diluição de efluentes, concedida pela ANA por se tratar de um rio federal conforme disposto na figura 37.

Figura 37 - Outorgas de Lançamento na Bacia do Rio Pomba



Fonte: O autor

Na região de Cataguases, pela alta presença de indústrias e atividades de mineração, é a região com o maior número de outorgas na bacia do Rio Pomba. Na região fluminense da bacia, há uma concentração de outorgas para lançamento de rejeitos industriais.

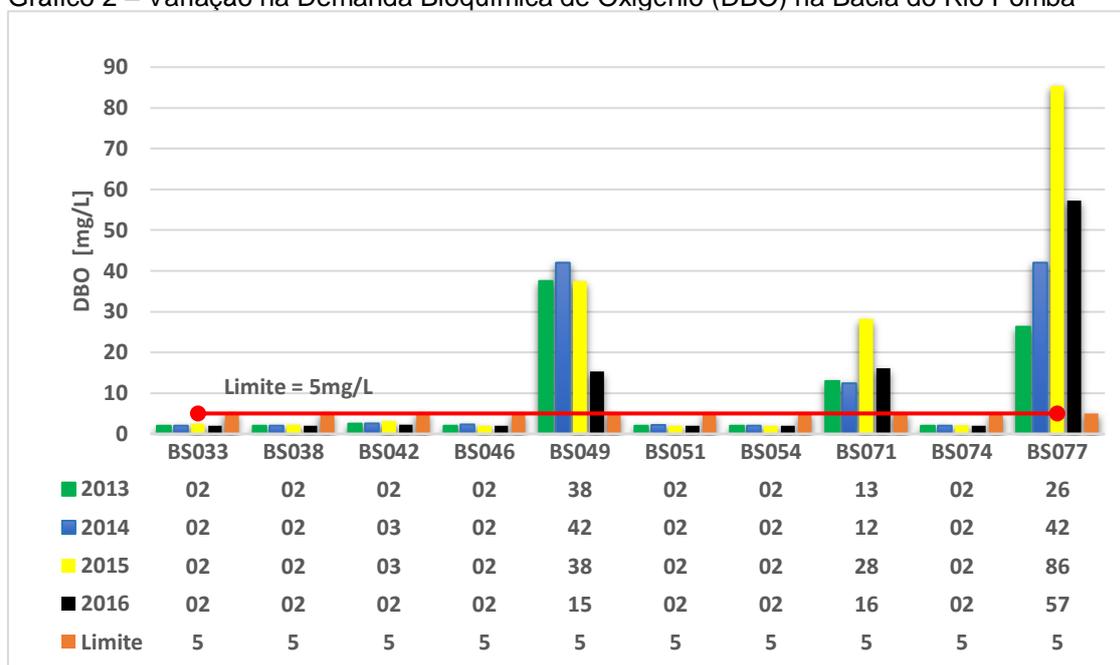
#### 4.3.2 Parâmetros de Qualidade da Água

O Rio Pomba e seus afluentes estão enquadrados na Classe 2, conforme disposto na Resolução CONAMA 357/2005. Com base nas informações do IGAM, foram analisados os parâmetros: *Escherichia Coli*, que indica a contaminação fecal, e outros parâmetros importantes como DBO, OD, DQO, Fósforo Total, Chumbo Total, Ferros Dissolvido, Manganês, Zinco Total, Turbidez, Cor verdadeira e Clorofila a. Para cada um deles, foram gerados gráficos que indicam os pontos de desconformidade com a legislação vigente para o enquadramento.

Os parâmetros de **DBO** nos diversos pontos da bacia (Gráfico 2) apresenta valores extremos e violações nos parâmetros, a exemplo da estação BS077 no município de Visconde do Rio Branco, que chegou a atingir o valor

máximo de 86mg/L em 2015, quando o limite legal é de 5mg/L. Esse alto valor revela a presença de efluentes *in natura* nos corpos hídricos que contribuem para a degradação da qualidade ambiental dos corpos d'água.

Gráfico 2 – Variação na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na Bacia do Rio Pomba



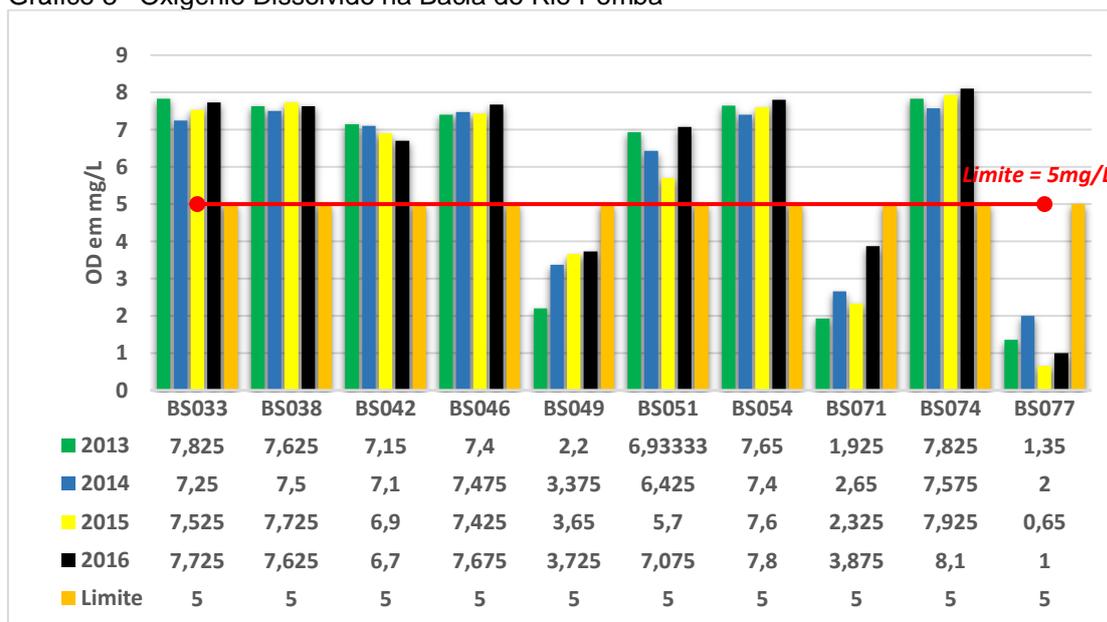
Estações ao longo do Rio Pomba: BS033; BS038; BS046; BS051; e BS054.

Fonte: O autor, baseado em IGAM,2016.

Diversas outras violações de DBO foram observadas sistematicamente nas estações BS049 e BS071 desde 2013, localizadas nos municípios de Ubá e Cataguases respectivamente, devido à alta concentração urbana e industrial sem o tratamento adequado. As medições em Santo Antônio de Pádua no ponto de referência de captação (BS054) não apresentaram desvios em relação a esse parâmetro.

Outro parâmetro utilizado para avaliar as condições atuais de qualidade da água foi o **Oxigênio Dissolvido** (Gráfico 3). Na bacia do Rio Pomba, o problema da qualidade de água devido a este parâmetro poluidor é um dos mais graves, já que seus níveis de concentração são alarmantes, o que reforça novamente o lançamento de esgotos sanitários *in natura* e o alto risco de doenças de veiculação hídrica.

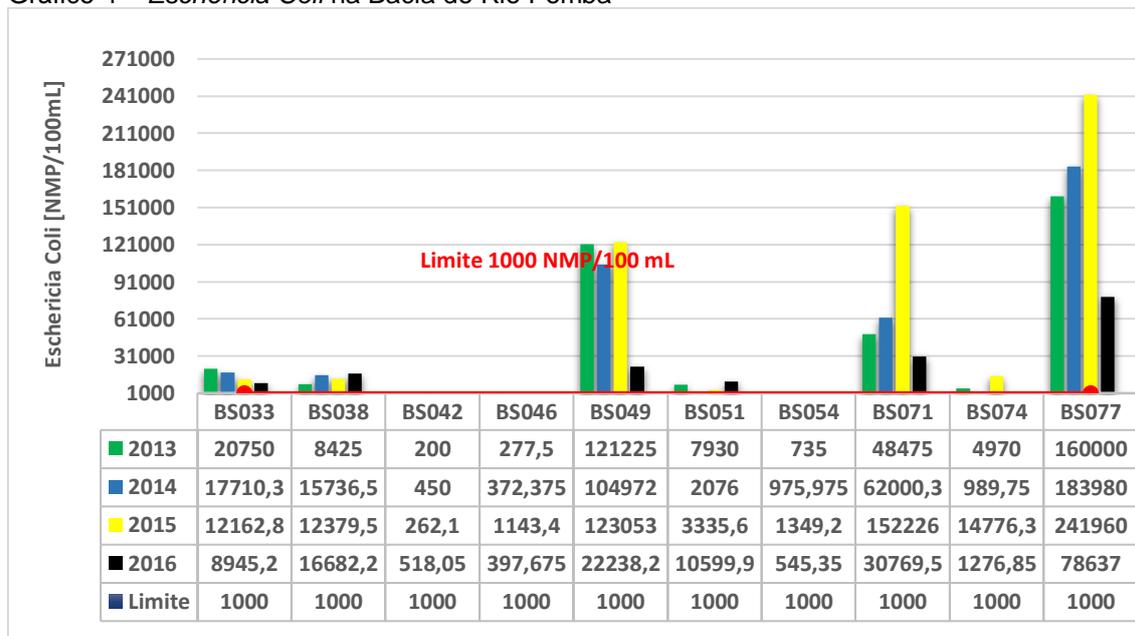
Gráfico 3 –Oxigênio Dissolvido na Bacia do Rio Pomba



Estações ao longo do Rio Pomba: BS033; BS038; BS046; BS051; e BS054.

Fonte: O autor, baseado em IGAM, 2017.

O risco à saúde humana pelas águas do rio Pomba é confirmado pela alta ocorrência de *Escherichia coli* em vários pontos da Bacia (Gráfico 4).

Gráfico 4 – *Escherichia Coli* na Bacia do Rio Pomba

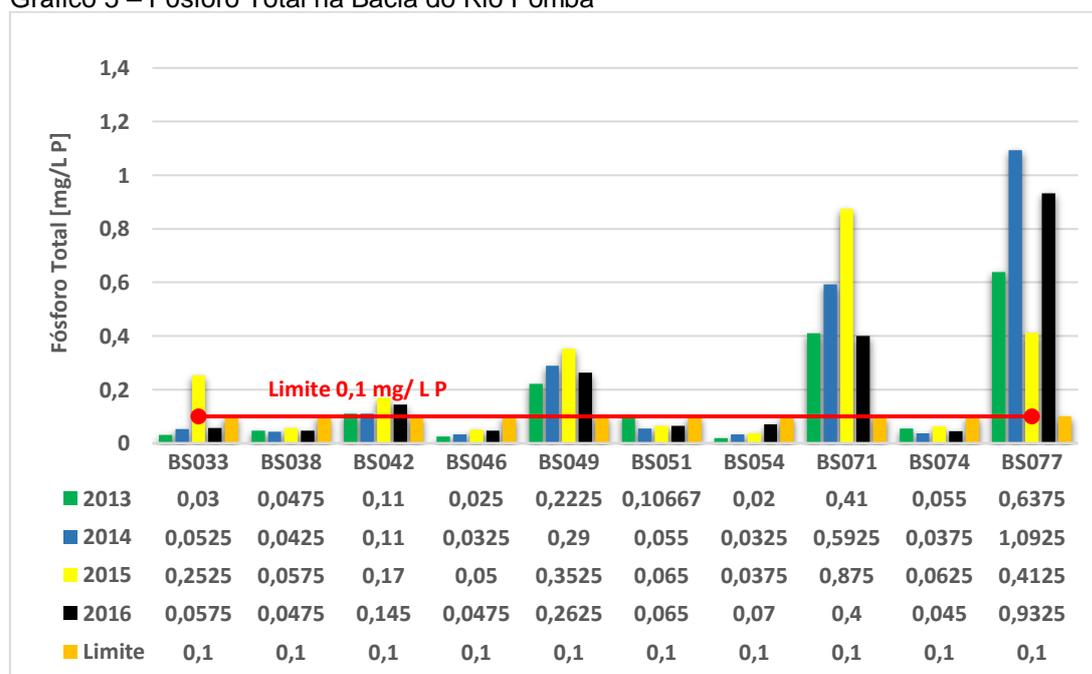
Estações ao longo do Rio Pomba: BS033; BS038; BS046; BS051; e BS054.

Fonte: O autor, baseado em IGAM, 2017.

Conforme indicado no gráfico acima, apenas uma (BS042) das dez estações de monitoramento da qualidade da água na região em estudo apresentou valores dentro do estabelecido pela legislação vigente durante todo o período de análise, entre 2013 e 2016. Este cenário crítico reflete um alto grau de comprometimento da qualidade ambiental dos corpos hídricos, sobretudo pela deficiência do setor de saneamento e baixo nível de coleta de esgoto na bacia do Rio Pomba. A questão de saneamento deve ser, portanto, tratada com prioridade nessa região.

Um outro elemento associado à descarga de efluentes domésticos é o **fósforo total**, presente na matéria orgânica fecal e nos detergentes empregados nas atividades domésticas. Além dessas fontes domésticas, as indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. Cabe ainda ressaltar que as águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo nos corpos d'água. Nesse sentido, ressalta-se a importância do controle deste parâmetro para a área de estudo como exposto no gráfico 5:

Gráfico 5 – Fósforo Total na Bacia do Rio Pomba



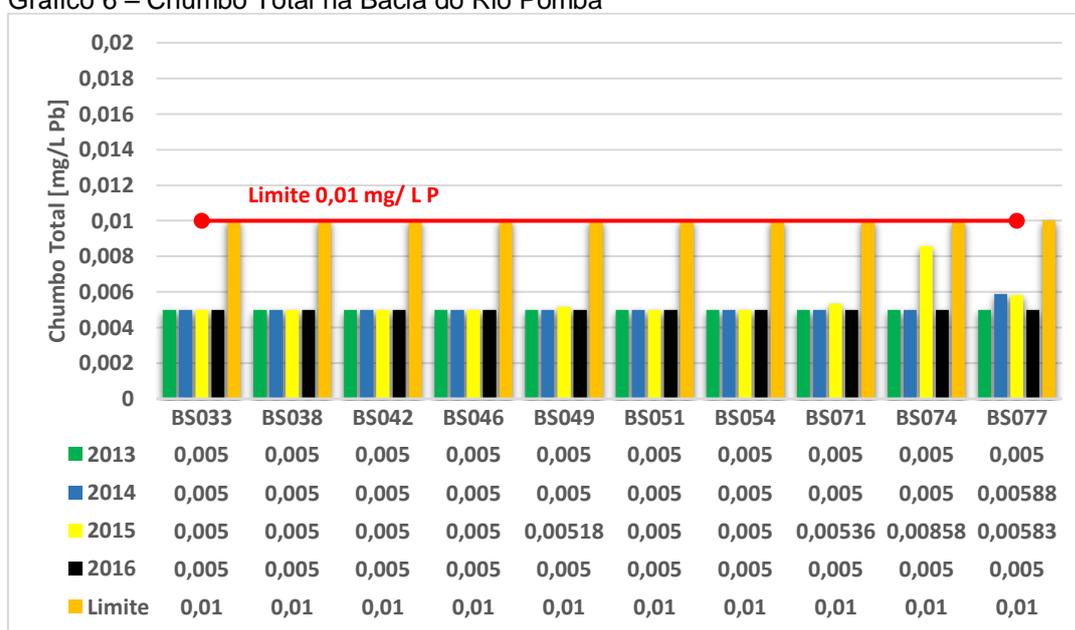
Estações ao longo do Rio Pomba: BS033; BS038; BS046; BS051; e BS054.

Fonte: O autor, baseado em IGAM, 2017.

De acordo com o observado no gráfico 5, diversas estações apresentam valores acima do permitido pelas legislações em vigor, principalmente nas áreas industriais de Cataguases no estado de Minas Gerais e nas áreas agrícolas do estado do Rio de Janeiro. O fósforo é um dos principais nutrientes dos processos biológicos, uma alta presença desse nutriente pode aumentar a probabilidade de eutrofização dos corpos hídricos.

O Gráfico 6 apresenta os resultados quanto ao parâmetro poluidor **chumbo** nos corpos hídricos da região. Os parâmetros de chumbo em todas as estações utilizadas nesse estudo não apresentaram anormalidades em relação ao disposto na legislação ambiental em vigor. Devido a sua alta toxicidade e alto potencial de geração de efeitos graves sobre a saúde humana esse parâmetro deve ser controlado sob os mais rígidos controles de qualidade de modo a evitar a exposição da população a esse contaminante.

Gráfico 6 – Chumbo Total na Bacia do Rio Pomba



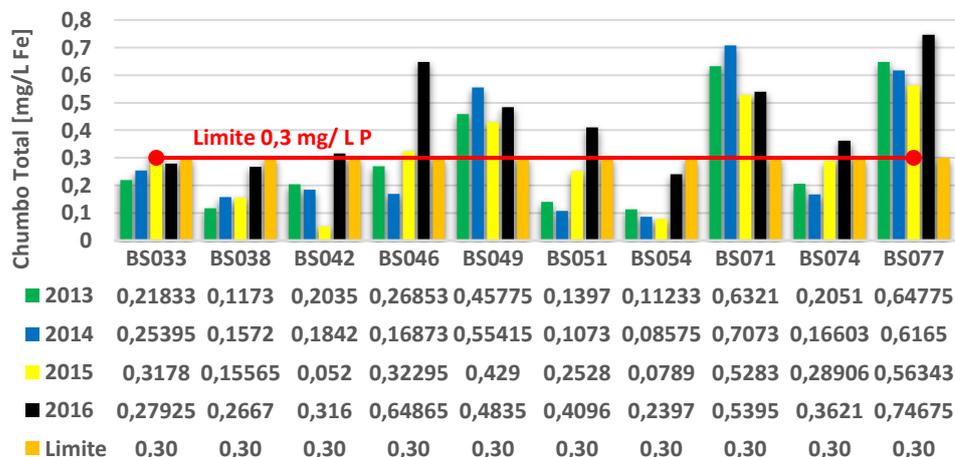
Estações ao longo do Rio Pomba: BS033; BS038; BS046; BS051; e BS054.

Fonte: O autor, baseado em IGAM, 2017.

O **ferro dissolvido** foi um outro fator analisado cujos valores estão plotados no gráfico 7. A bacia do rio Pomba apresenta áreas industrializadas principalmente nos municípios de Cataguases no Estado de Minas Gerais e muitas atividades de mineração nessa região, o que pode ser o principal fator

dessa elevada concentração de ferro que em muitos casos é superior ao limite legal.

Gráfico 7 – Ferro Dissolvido na Bacia do Rio Pomba

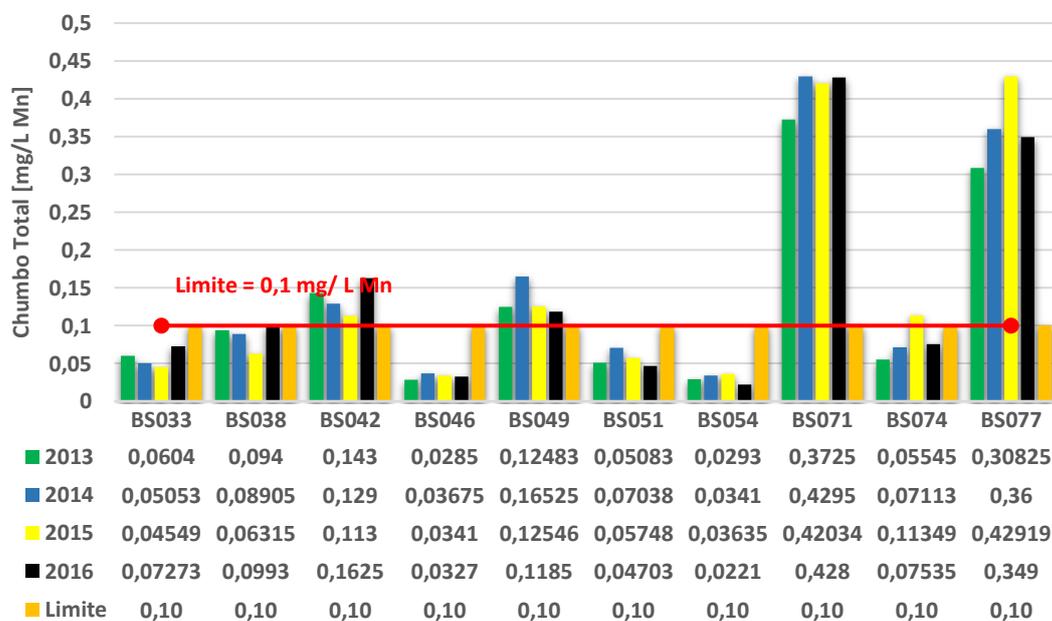


Estações ao longo do Rio Pomba: BS033; BS038; BS046; BS051; e BS054.

Fonte: O autor, baseado em IGAM, 2017.

Um outro fator analisado foi a concentração de **manganês** na água superficial em diversos trechos da Bacia do Rio Pomba conforme o disposto no gráfico 8:

Gráfico 8 – Manganês Total na Bacia do Rio Pomba



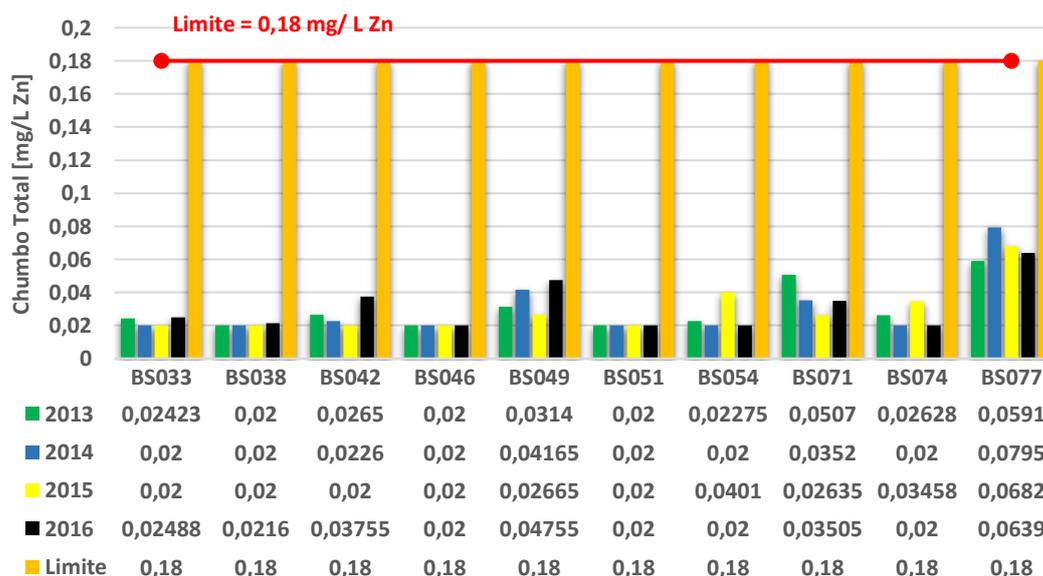
Estações ao longo do Rio Pomba: BS033; BS038; BS046; BS051; e BS054.

Fonte: O autor, baseado em IGAM, 2017.

Através da análise do gráfico 8, constata-se a violação de parâmetros em diversos pontos da bacia do Rio Pomba. Como o manganês é muito utilizado em processos industriais e em fertilizantes agrícolas, as violações desse parâmetro são mais acentuadas nas localidades em zonas agrícolas e a industriais.

Quanto ao **zinco**, em todos os pontos analisados da bacia do Rio Pomba os limites estão bem abaixo dos limites recomendados (gráfico 9).

Gráfico 9 – Zinco Total na Bacia do Rio Pomba

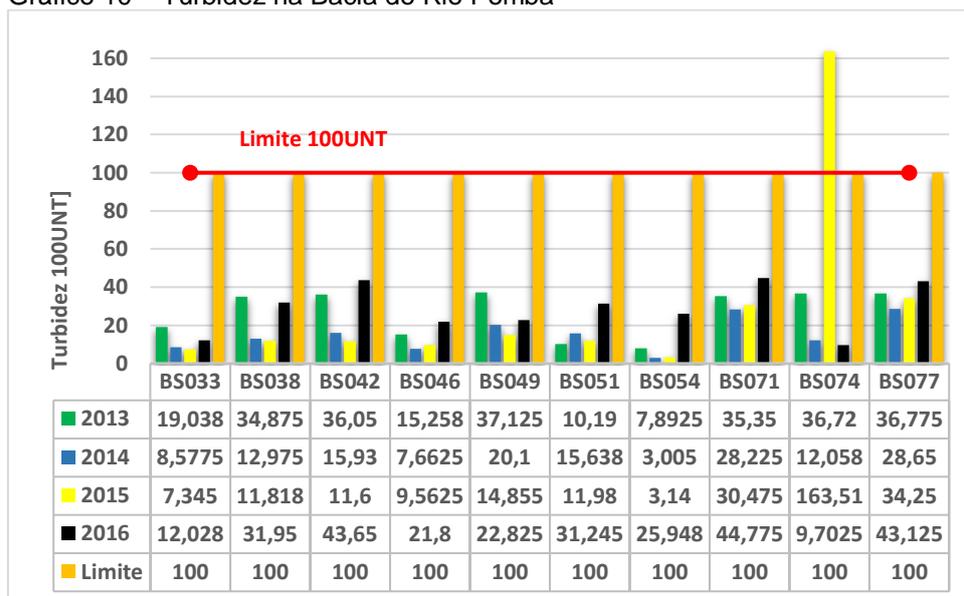


Estações ao longo do Rio Pomba: BS033; BS038; BS046; BS051; e BS054.

Fonte: O autor, baseado em IGAM, 2017

Um outro parâmetro analisado foi a **turbidez** cujos resultados são apresentados no gráfico 10. A turbidez nas águas superficiais ainda pode ser um indicador do uso e ocupação do solo regional, dos graus de erosão da região da bacia hidrográfica e a susceptibilidade ao assoreamento dos cursos d'água. Os parâmetros de turbidez para a região de estudo apresentam apenas um dado crítico para o ano de 2015 e apenas para uma estação de monitoramento (BS074), sendo que esta apresentou valores normais e bem abaixo dos valores limites no ano de 2016.

Gráfico 10 – Turbidez na Bacia do Rio Pomba

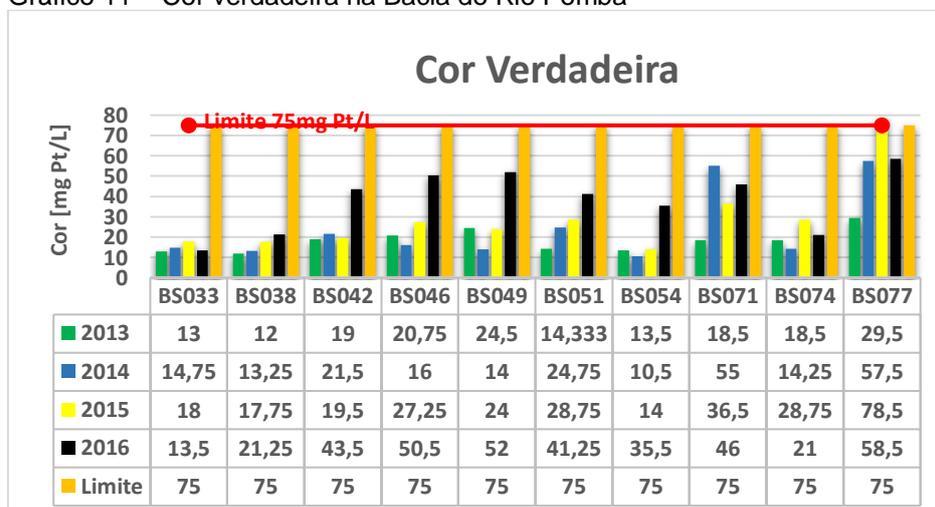


Estações ao longo do Rio Pomba: BS033; BS038; BS046; BS051; e BS054.

Fonte: O autor, baseado em IGAM, 2017

Quanto ao parâmetro “**cor verdadeira**”, ele indica a redução da intensidade da água ao atravessar um corpo d’água. O principal problema do parâmetro cor é a recusa de consumo ou de utilização da água para certas atividades como o consumo humano caso a água apresente coloração anormal. No caso da região estudada esse parâmetro apresentou-se dentro da normalidade, exceto um ponto em somente um ano, conforme resultados no gráfico11.

Gráfico 11 – Cor verdadeira na Bacia do Rio Pomba

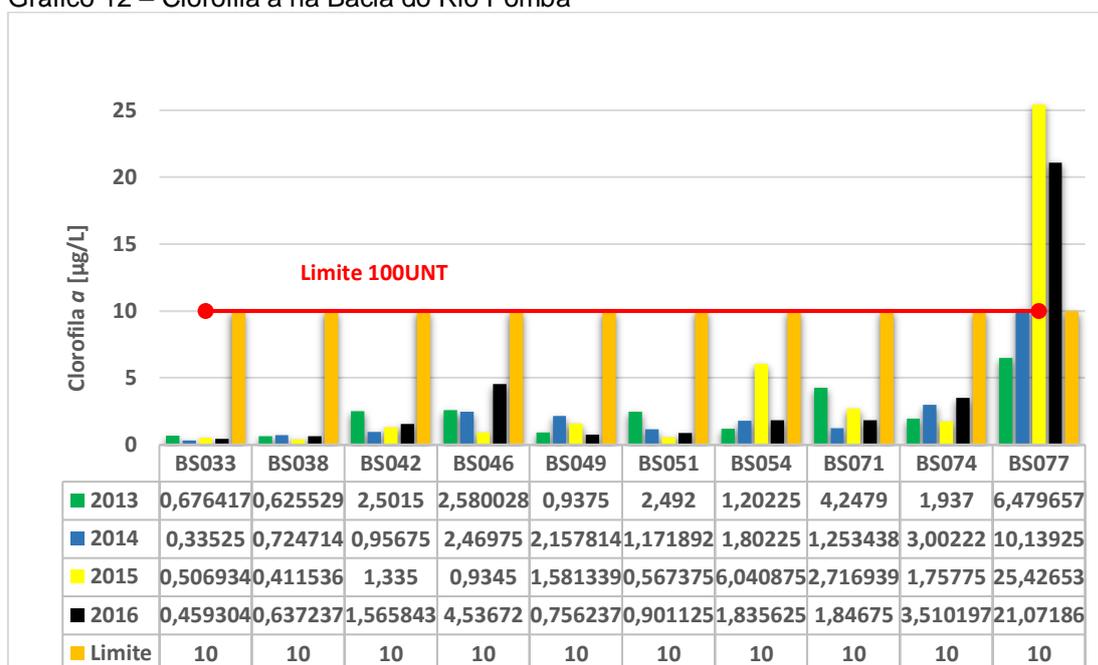


Estações Rio Pomba: BS033; BS038; BS046; BS051; BS054.

Fonte: O autor, baseado em IGAM, 2017.

Um outro parâmetro analisado foi a **clorofila a** conforme gráfico 12. Os dados de análises para este parâmetro apresentaram valores superiores na região do Rio dos Bagres (BS077), a jusante do município de Visconde do Rio Branco. Nas outras localidades ao longo da bacia do Rio Pomba os parâmetros ficam abaixo dos índices determinados pela legislação.

Gráfico 12 – Clorofila a na Bacia do Rio Pomba



Estações ao longo do Rio Pomba: BS033; BS038; BS046; BS051; e BS054.

Fonte: O autor, baseado em IGAM, 2017.

Um problema também enfrentado na região são os elevados índices de **cianobactérias**, conforme resultados das análises de cianobactérias feita pela CEDAE (Tabela 16). Em Miracema, município do noroeste do Estado, as análises de cianobactérias no mês de maio de 2017 apresentaram valores altos, com nível de alerta 1 com necessidade de medição semanal da água bruta captada no Rio Pomba. Em Aperibé, os valores ficaram dentro da faixa aceitável com menos de 10.000 céls/ml de água analisada.

Tabela 16 - Dados Cianobactérias Miracema e Aperibé

Local da Coleta	Miracema	Aperibé
Data da coleta	16/05/2017	16/05/2017
Aphanocapsa sp.	13001	0
Cyanogranis ferruginea	184	0
Microcystis sp.	0	0
Pseudanabaena sp.	0	0
<b>TOTAL CIANOBACTERIAS (céls/mL)</b>	<b><u>13185</u></b>	<b>0</b>
<b>TOTAL OUTRAS ALGAS (inds/mL)</b>	<b>3859</b>	<b>643</b>
<b>MÉTODO: UTERMÖHL (1958)</b>		

Fonte: CEDAE, 2017.

#### 4.3.3 Índice de Qualidade das Águas

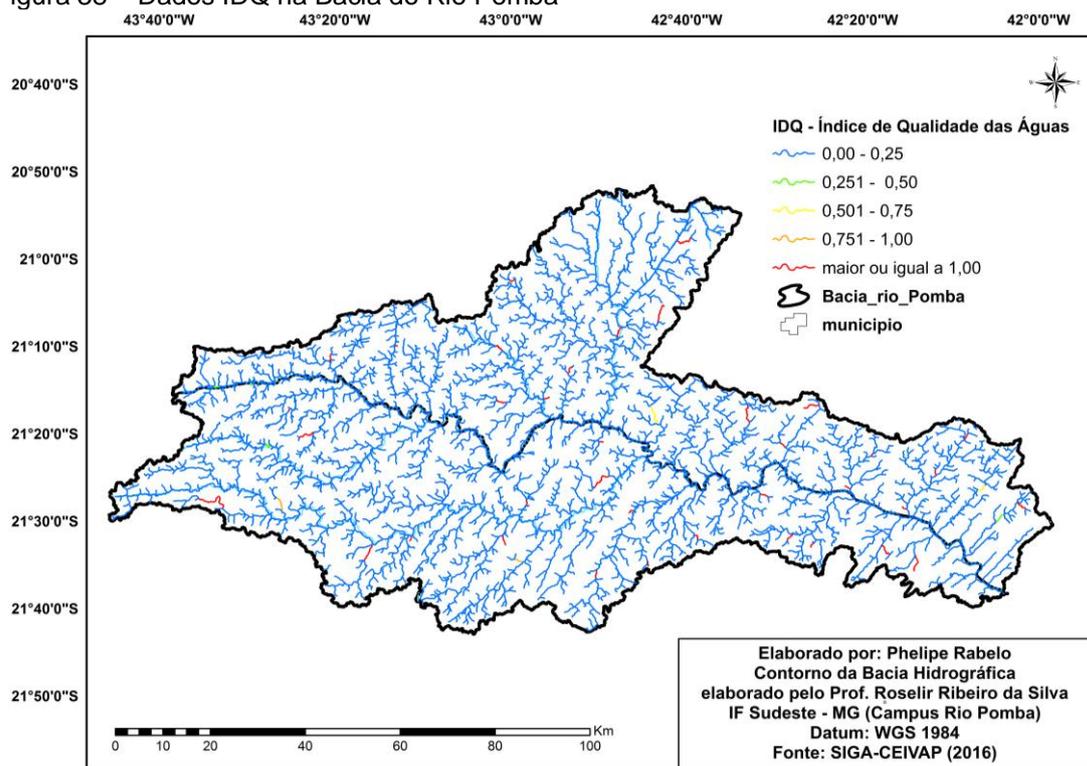
O Índice de Qualidade das Águas (IDQ) - obtido dividindo-se a 'vazão de diluição' pela 'disponibilidade hídrica' de cada trecho de rio -, indica se há vazão suficiente no rio para diluir a carga poluidora de determinados parâmetros de qualidade de água (Veiga, 2016).

O índice IDQ foi utilizado no presente trabalho por possibilitar a avaliação conjunta dos parâmetros poluidores, nos diversos trechos da bacia do Rio Pomba, possibilitando assim uma análise completa da condição da qualidade de água.

Para efeito dos cálculos utilizados nos mapas abaixo, a vazão disponível considerada para a disponibilidade hídrica é  $Q_{95}$  (vazão de referência adotada pela Agência Nacional de Águas - ANA), sendo que a máxima vazão outorgável é 70% desta vazão de referência. Pode-se considerar a vazão de diluição como uma restrição no uso e nos aproveitamentos de captação de água superficial.

O cálculo do IDQ para a Bacia do Rio Pomba indica o comprometimento da qualidade em diversos trechos tanto dos afluentes como no rio principal, conforme ilustrado na Figura 38.

Figura 38 – Dados IDQ na Bacia do Rio Pombo



Fonte: O autor.

Verifica-se que são poucos os trechos que indicam comprometimento total ou maior que 100% da vazão de diluição. Sendo assim os parâmetros de qualidade da água não são violados na zona de mistura, refletindo-se em quase a extensão total da Bacia a disponibilidade de uma vazão suficiente para a diluição dos efluentes com exceção de alguns trechos que apresentam uma disponibilidade de vazão menor que a demanda para fins de diluição.

#### 4.3.4 Riscos para a água bruta associados ao estressor “carga poluidora: pressão sobre a qualidade da água”

Com base na avaliação do estressor “carga poluidora”, foi avaliado o risco associado à qualidade de água, no ponto de captação dos municípios analisados:

- A **ocorrência do estressor é de média intensidade**, em função da presença de fontes de carga poluidora em diferentes pontos da Bacia, conforme evidenciado no estressor “pressão sobre as condições ambientais”. Foram

também verificados casos esparsos de ocorrência das cianobactérias o que caracteriza a ocorrência como atípica e inconstante, sendo classificada como média devido a sua ocorrência irregular.

Já o **impacto** foi considerado de **média severidade**, diante da violação do enquadramento para alguns parâmetros poluidores, por vezes de forma sistemática ao longo dos anos em determinados pontos do Rio Pomba. As entrevistas com os gestores responsáveis pelo tratamento de água confirmaram algumas violações no enquadramento, o que pode ocasionar problemas ao sistema de abastecimento.

Figura 39 – Matriz de Riscos para a água bruta associados ao estressor “pressão sobre a qualidade de água”.

Matriz de Riscos Associados													
Ocorrência do Estressor	Alta				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Risco</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #008000;"></td> <td>Aceitáveis</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffff00;"></td> <td>Toleráveis</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ff0000;"></td> <td>Inaceitáveis</td> </tr> </tbody> </table>	Risco			Aceitáveis		Toleráveis		Inaceitáveis
	Risco												
		Aceitáveis											
	Toleráveis												
	Inaceitáveis												
Média		Pressão sobre a qualidade de água											
Baixa													
		Baixa	Média	Alta									
		Severidade do Impacto											

Fonte: O autor.

Portanto, o **risco resultante para a qualidade de água** em relação ao estressor “carga poluidora” é **considerado tolerável**.

#### 4.4 Estressor de água bruta (4): Acidentes Ambientais (fontes fixas e móveis)

Na bacia hidrográfica do Rio Pomba há ocorrência de grandes acidentes ambientais nos últimos anos. Acidentes ambientais são eventos indesejados de

natureza antrópica com o potencial de causar danos, impactos negativos no meio ambiente ou ainda qualquer outra forma de degradação ambiental.

No presente trabalho acidentes ambientais referem-se a qualquer evento com potencial de impactar a qualidade da água bruta disponível para a captação ou ainda inviabilizá-la. Dois tipos de acidentes principais analisados no trabalho: acidentes rodoviários e acidentes com barragens de rejeito.

#### 4.4.1 Acidentes rodoviários

Acidentes rodoviários são incidentes ocorridos na área em estudo com potencial de impactar o ecossistema local de forma a inviabilizar a captação de água superficial respeitados os padrões de qualidade para os diversos usos.

A análise desses acidentes e da sua probabilidade de ocorrência é realizada mediante análise quantitativa do número de estradas que atravessam rios da Bacia. Não foram identificadas ferrovias ou hidrovias, que são também fontes potenciais de acidentes na região da bacia do Rio Pomba.

Tabela 17 – Ocorrência de acidentes ambientais em rodovias da Região em estudo

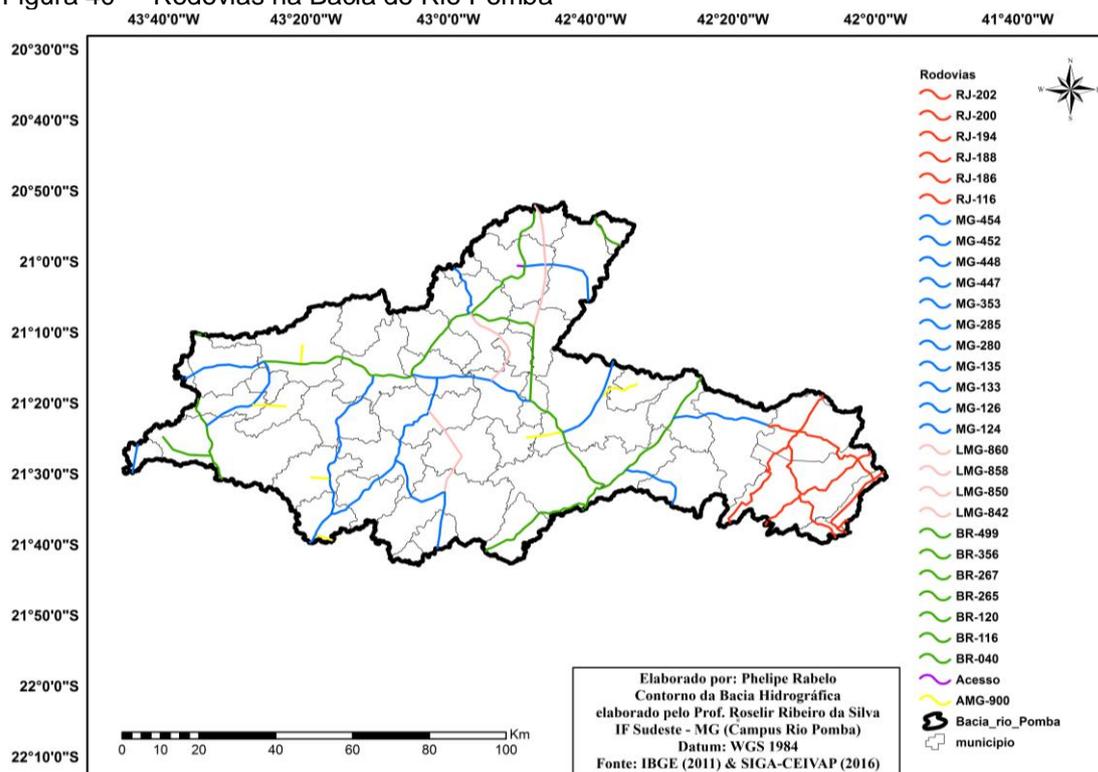
Data	Município	Localidade	Produto	Danos Potenciais
02/09/2016	Ubá	Rodovia BR 265, Km 04	óleo do motor	Contaminação do solo
27/04/2016	Leopoldina	Rodovia BR 116, km 783	produtos inflamáveis	Incêndio atingindo a vegetação(mata ciliar), em uma área de aproximadamente de 2,5 ha; Contaminação do Solo; mananciais
25/03/2015	Santos Dumont	BR 040, Km 749 + 500m	minério de ferro granulado	Contaminação do solo e mananciais
24/03/2015	Mercês	LMG 265, km 137	óleo diesel	contaminação do solo
21/02/2015	Santos Dumont	Rua Doutor Constantino Horta, próximo ao número 172	óleo diesel	Contaminação do solo e da rede de distribuição

Data	Município	Localidade	Produto	Danos Potenciais
11/12/2014	Santos Dumont	BR-040, km 740	produto perigoso	Contaminação do solo
07/12/2014	Leopoldina	BR 116, Km 781	Insumo para a produção de amaciantes de roupa	Contaminação do Solo
26/10/2014	Mercês	Rodovia MGC 265	Álcool Combustível	Contaminação do solo e mananciais
09/09/2014	Leopoldina	BR 116, km 754	óleo lubrificante e fluido para radiadores	Derramamento de óleo na pista
02/06/2014	Ubá	FAZENDA BOA VISTA	produto não identificado	Contaminação do solo
24/03/2014	Cataguases	Industrial-HidroAzul	cloros, algidas e oxidantes	Poluição do ar resultante da combustão

Fonte: O autor, baseado em IGAM, 2016.

Pela tabela 17, percebe-se que o número de acidentes nos anos de 2014, 2015 e 2016 na região da bacia do Rio Pomba é relativamente baixo, com apenas 11 acidentes nesse período. Em grande parte desses acidentes rodoviários nem um manancial foi contaminado. O principal dano causado por esses acidentes foram: contaminação do solo e o derramamento de óleo na rodovia. De acordo com a figura 40 a região da bacia do Rio Pomba engloba trechos de poucas rodovias federais e estaduais (mineiras e fluminenses).

Figura 40 – Rodovias na Bacia do Rio Pomba



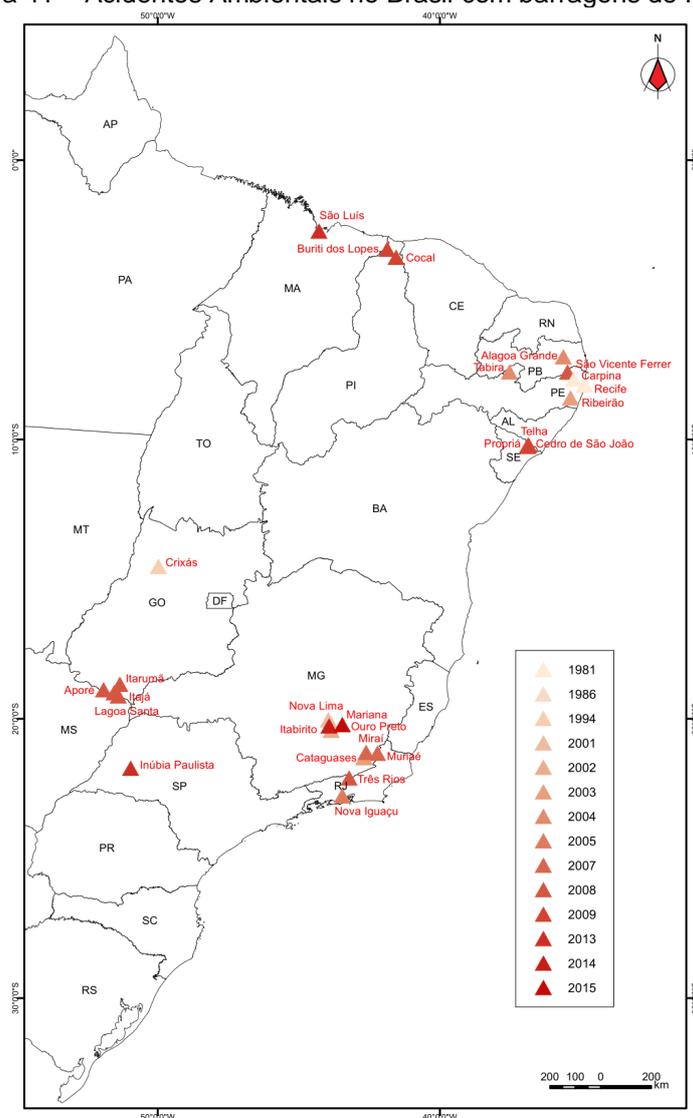
Fonte: O autor.

De acordo com a análise dos acidentes rodoviários (tabela 19) e o mapa da figura 40, foi possível concluir que não houve relatos de paralisação dos sistemas de abastecimento relacionados a acidentes rodoviários.

#### 4.4.2 Acidentes com barragens de rejeito

Em nível nacional, verifica-se a ocorrência de inúmeros acidentes com esses tipos de estruturas. O Brasil apresenta uma alta frequência de acidentes com barragens de rejeito nos últimos anos, conforme indicado na figura 41.

Figura 41 – Acidentes Ambientais no Brasil com barragens de Rejeito



Fonte: CENAD apud ANA, 2015

No entanto, somente com o rompimento da Barragem de Mariana, em Minas Gerais, e a gravidade do impacto ambiental resultante, o maior da história do Brasil, é que as barragens de rejeito passaram a ser mais controladas em nível nacional.

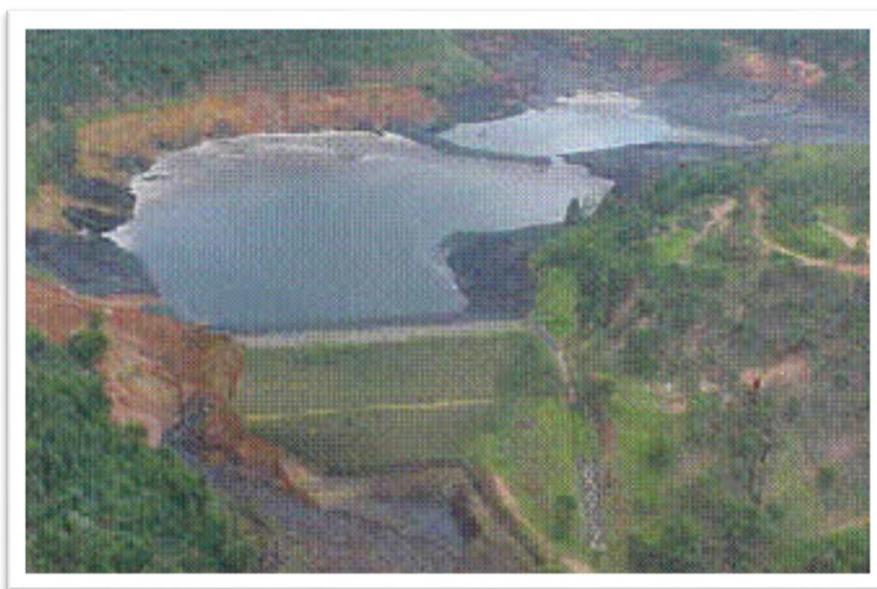
A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída pela Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, tem como objetivos principais garantir a observância de padrões de segurança de barragens, de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências e regulamentar as ações e os padrões de segurança. Entre os instrumentos da Política destacam-se: o Sistema Nacional de Segurança de Barragens (SNISB), o sistema de

classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado, o Plano e o Relatório de Segurança de Barragens (ANA,2015).

#### 4.4.2.1 Histórico de Acidentes Ambientais na Região da Bacia do Rio Pomba<sup>1</sup>

Em 29 de março, em Cataguases, na Zona da Mata mineira, a barragem de um dos reservatórios da Indústria Cataguases de Papel Ltda. se rompeu, liberando nos corpos d'água cerca de 1,4 bilhão de litros de lixívia – ou licor negro –, uma sobra industrial da produção de celulose. Os rejeitos da indústria de papel atingiram o rio Pomba e, posteriormente, o rio Paraíba do Sul, comprometendo o abastecimento de água das cidades ribeirinhas da Zona da Mata e norte do Estado do Rio de Janeiro. Os agentes poluidores (soda cáustica, lignina, sulfeto de sódio, enxofre e organoclorados) produziram um composto de cor preta chamado de licor negro. Esse material estava armazenado havia mais de 15 anos. Eram resíduos da produção de celulose que remontam ao tempo em que o grupo Matarazzo comandava a fabricação de papel e celulose em Cataguases.

Figura 42 – Vista aérea do rompimento a barragem



Fonte: (Foto: Cataguases de Papel/Arquivo Pessoal) apud site G1

---

<sup>3</sup>Extraído integralmente de Filho (2005); Melo (2010); Alves (2013); ANA (2015)

Figura 43 - O município de Cataguases teve vazamento de 'licor negro' após rompimento de barreira em 2003.



Fonte: (Foto: Cataguases de Papel/Arquivo Pessoal) apud site G1

Segundo Melo (2010), o licor negro é um subproduto do processo de cozimento Kraft utilizado na fabricação de polpa celulósica para posterior utilização para fabricação de papel. O processo kraft usa hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S) como produtos químicos para o cozimento. Concluída a etapa de cozimento, os residuais químicos e as substâncias dissolvidas formam a solução aquosa que é chamada de licor negro um subproduto do processo de polpação da madeira.

Figura 44 – Dispersão de Poluentes no acidente de 2003



Fonte: Folha de São Paulo apud Filho, 2006

O acidente na barragem da Cataguases celulose afetou os Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Segundo Alves (2013) na esfera socioeconômica, os impactos sentidos pela população das cidades afetadas pelo acidente foram:

- Interrupção na distribuição de água para diversas indústrias e 36 municípios, prejudicando mais de 700.000 pessoas;
- Suspensão temporária das atividades da pesca e extração de areia para a construção civil;
- Custos com a perfuração de poços artesianos e aluguel de caminhões pipa;
- Queda na demanda por pescado oriundo das áreas afetadas;
- Morte da vida aquática nos trechos dos rios que foram afetados;

A importância e a magnitude desse acidente ambiental alertou, as eventuais autoridades governamentais, como também seus órgãos

fiscalizadores sobre a necessidade de vistorias periódicas nas barragens de rejeito. Este acidente impulsionou um marco regulatório com o início da fiscalização das condições das barragens com auditorias e cobranças ao empreendedor, responsável pela manutenção da estrutura em níveis aceitáveis de segurança, pelos órgãos de fiscalização tanto regionais (FEAM) como federal (DNPM).

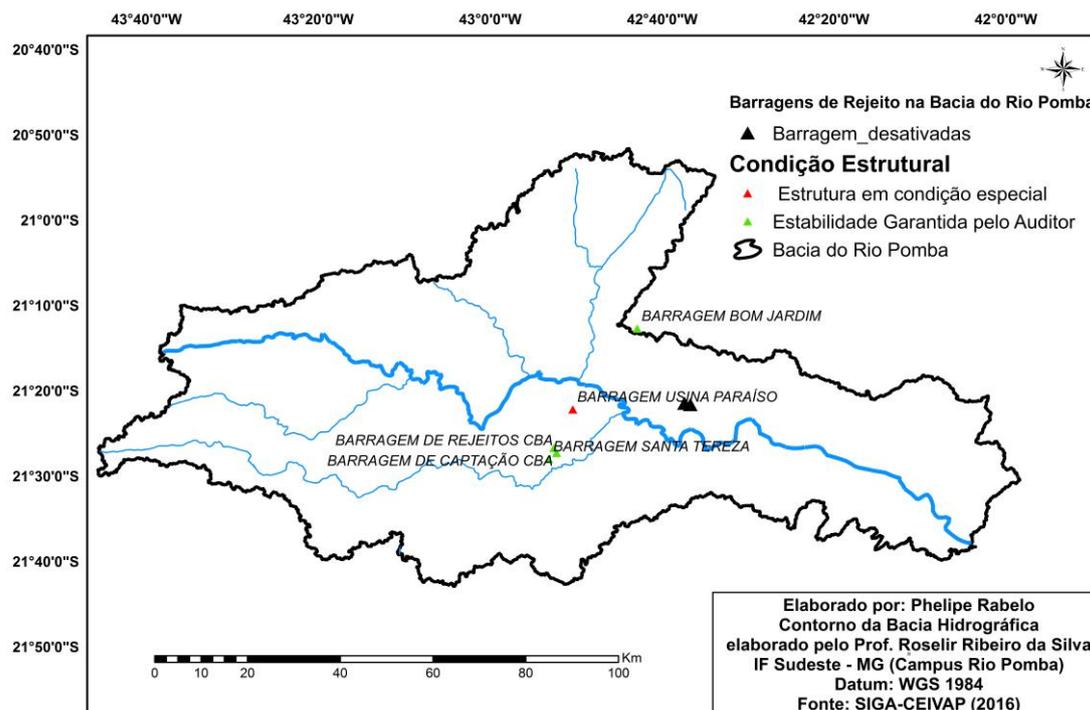
A ocorrência de desastres naturais na bacia do Rio Pomba ressaltou também a necessidade de implantação de um plano de gestão de riscos e planos de contingência para a minimização de impactos severos e do alto potencial de degradação da qualidade ambiental associados aos empreendimentos de mineração localizados na bacia.

#### 4.4.2.2 Inventário de Barragens de Rejeito

Em função das análises das estruturas das barragens de rejeito, estas são classificadas em “garantidas” ou em condição especial. As barragens de rejeito que são consideradas com “estruturas garantidas”, quando são avaliadas por auditor contratado pelos órgãos ambientais e o Departamento de Produção Mineral, apresentam risco nulo quanto de rompimento, com a estrutura em condições ideais e sem danos. Em contrapartida, as barragens de rejeito em “condição especial” apresentam algum risco de rompimento, ainda que mínimo, sendo assim exigidas medidas de contenção e controle de forma a diminuir os riscos associados ao rompimento da estrutura de contenção de rejeitos.

As barragens da área de estudo são mostradas na figura 45:

Figura 45 - Localização das Barragens de Rejeito na Bacia do Rio Pomba



Fonte: O autor

Conforme indicado na figura 45, as barragens de rejeito na bacia do Rio Pomba se situam no Estado de Minas Gerais, sendo duas com “estabilidade garantida pelo auditor” e uma outra em “condição especial”. As barragens desativadas são as barragens da indústria Cataguases Papel & Celulose S.A. (Barragem A e Barragem B) que foram esvaziadas depois do acidente ocorrido em 2003.

#### 4.4.3 Análise dos riscos de ocorrência de acidentes

Os recentes desastres com barragens de rejeito na cidade de Mariana-MG e o também rompimento de uma barragem na cidade de Cataguases em 2003 ressaltam a possibilidade de ocorrência do estressor e a severidade catastrófica dos seus impactos, com danos imensuráveis ao meio ambiente e a saúde humana.

Considerou-se, portanto, que a severidade do impacto é alta. Quanto à ocorrência do estressor, a probabilidade de um rompimento é de difícil

mensuração, pois nem sempre as vistorias e auditorias das condições de estabilidade das estruturas de barragens de rejeito são feitas por equipe técnica qualificada. Nesse contexto de incertezas, mesmo tendo uma barragem com estrutura em condição especial a montante das captações dos municípios de estudo, considerou-se a probabilidade de ocorrência do estressor como média devido a condição estrutural “especial” de uma barragem de rejeito na bacia do Rio Pomba.

Figura 46- Matriz de risco para a água bruta associado a acidentes ambientais

Matriz de Riscos Associados				
Ocorrência do Estressor	Alta			
	Média			Acidentes Ambientais
	Baixa			
		Baixa	Média	Alta
		Severidade do Impacto		

Risco	
	Aceitáveis
	Toleráveis
	Inaceitáveis

Fonte: o autor

Portanto, o risco foi estimado como sendo “inaceitável” quanto ao estressor “acidentes ambientais” relacionados a barragens de rejeitos na Bacia do Rio Pomba, a montante das captações dos municípios de estudo.

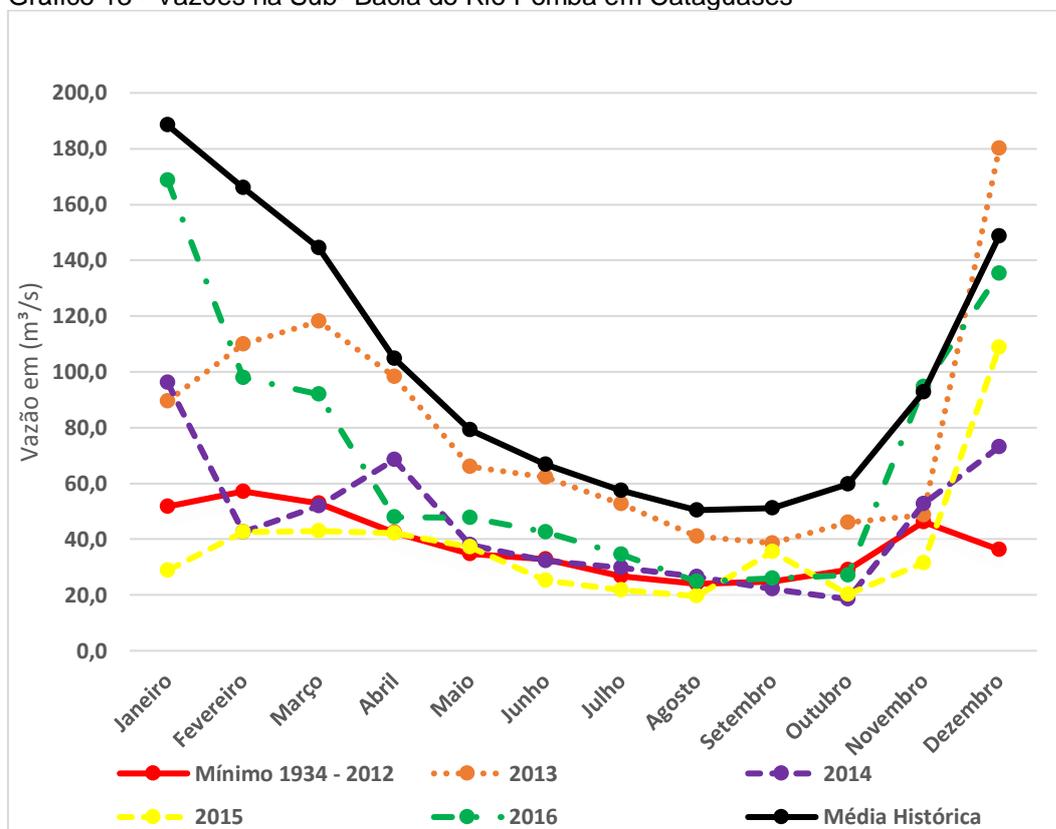
#### 4.5 Estressor de água bruta (5): eventos hidrológicos extremos

##### 4.5.1 Dados de Vazão e Precipitação

Segundo informações consultadas no banco de dados de informações hidrológicas da ANA – HIDROWEB, os dados de vazão média para os últimos indicam a influência das variáveis climáticas na sub-bacia do Rio Pomba,

principalmente no ano de 2014 que foi marcado por uma estiagem severa. O gráfico 13 retrata as vazões em Cataguases os últimos anos e a média histórica, com o objetivo de evidenciar e caracterizar os eventos climáticos ocorridos nos últimos anos.

Gráfico 13 - Vazões na Sub- Bacia do Rio Pomba em Cataguases



Fonte: O autor baseado em ANA (*Hidroweb*), 2017.

Pode-se ressaltar o resultado do ano de 2014 com os meses de fevereiro, setembro, outubro abaixo da mínima histórica, além de um ano 2015 também bem atípico, com muitos meses abaixo da média histórica com aumento da vazão média mensal nos meses de novembro e dezembro. O ano de 2016 propiciou uma melhora nas vazões na cidade de Cataguases-MG, com um aumento nos valores absolutos mensais médios, porém em agosto, setembro e outubro verificam-se reduções de vazões na região. O gráfico 13 evidencia o efeito das estiagens severas dos anos de 2014 e de 2015, os valores absolutos plotados no gráfico 13 estão discriminados na tabela 18 com uma comparação entre as vazões mínimas, médias anuais e médias históricas.

Tabela 18 – Vazões em Cataguases

Vazão Cataguases (m <sup>3</sup> /s)						
Mês	Mínimo 1934 - 2012	2013	2014	2015	2016	Média de Vazão
Janeiro	51,6	89,5	96,1	28,8	168,7	188,44
Fevereiro	57,1	109,9	42,6	42,5	97,9	165,92
Março	52,8	118,2	51,8	42,8	91,9	144,42
Abril	42,3	98,3	68,5	42,2	48,0	104,76
Maio	34,7	65,9	38,0	37,3	47,7	79,19
Junho	32,9	62,1	32,2	25,2	42,5	66,70
Julho	26,6	52,6	29,8	21,8	34,6	57,39
Agosto	24,0	41,0	26,6	19,6	24,8	50,40
Setembro	24,9	38,6	22,2	35,4	25,9	51,20
Outubro	28,9	46,0	18,5	20,3	27,1	59,68
Novembro	46,2	48,8	52,6	31,4	94,7	92,75
Dezembro	36,2	180,1	73,1	108,8	135,3	148,57

Fonte: o autor baseado em Hidroweb, 2016.

Para complementar a análise dos estressores climáticos extremos sobre a disponibilidade bruta no trecho a montante avalia-se a precipitação em Cataguases conforme a tabela 19 e o gráfico 14 abaixo:

Tabela 19- Precipitação em Cataguases

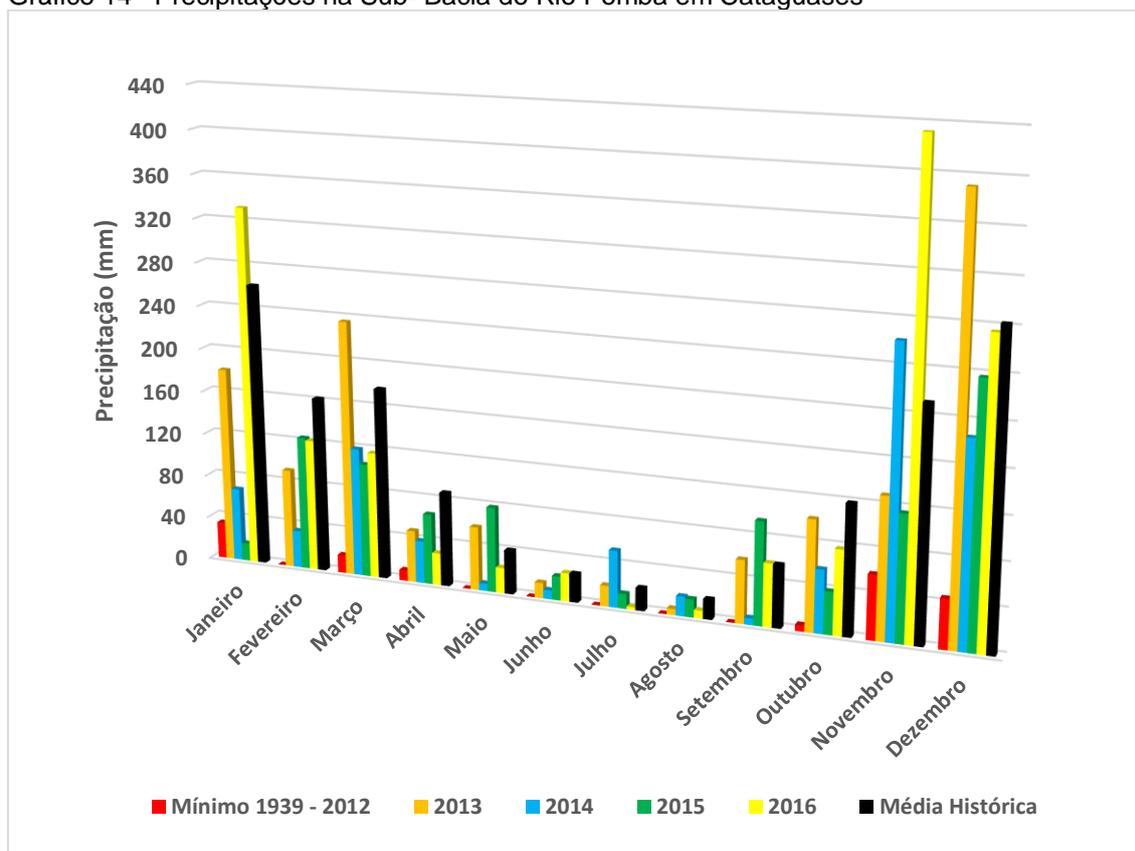
Precipitação em Cataguases (mm)						
Mês	Mínimo 1939 - 2012	2013	2014	2015	2016	Média
Janeiro	34	180,7	68,1	16,4	331,7	261,7
Fevereiro	0	91,7	34,9	124,1	122,2	162,4
Março	16,8	235,8	119,2	105,6	116,9	177,2
Abril	9,9	48,2	39,5	65,6	29,8	87,4
Maio	0	58,9	6,8	78,9	23,6	40,7
Junho	0	14,2	8,2	22,2	26,3	26,5
Julho	0	19,3	52,7	13,8	2,5	21,0
Agosto	0	5,7	18	16,6	7,2	18,5
Setembro	0	58,3	6,1	95	58	57,6
Outubro	5,8	101,9	58,1	39,2	77,9	119,3
Novembro	59,2	129,3	261,8	115,7	432,3	212,0

Dezembro	45,6	391	186,2	237,2	275,3	282,9
----------	------	-----	-------	-------	-------	-------

Fonte: o autor baseado em (Hidroweb, 2016)

A precipitação média nos anos de 2014, 2015 e 2016 foram bem próximas as vazões registradas ao longo do tempo principalmente nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro conforme disposto também no gráfico 14.

Gráfico 14 –Precipitações na Sub- Bacia do Rio Pomba em Cataguases



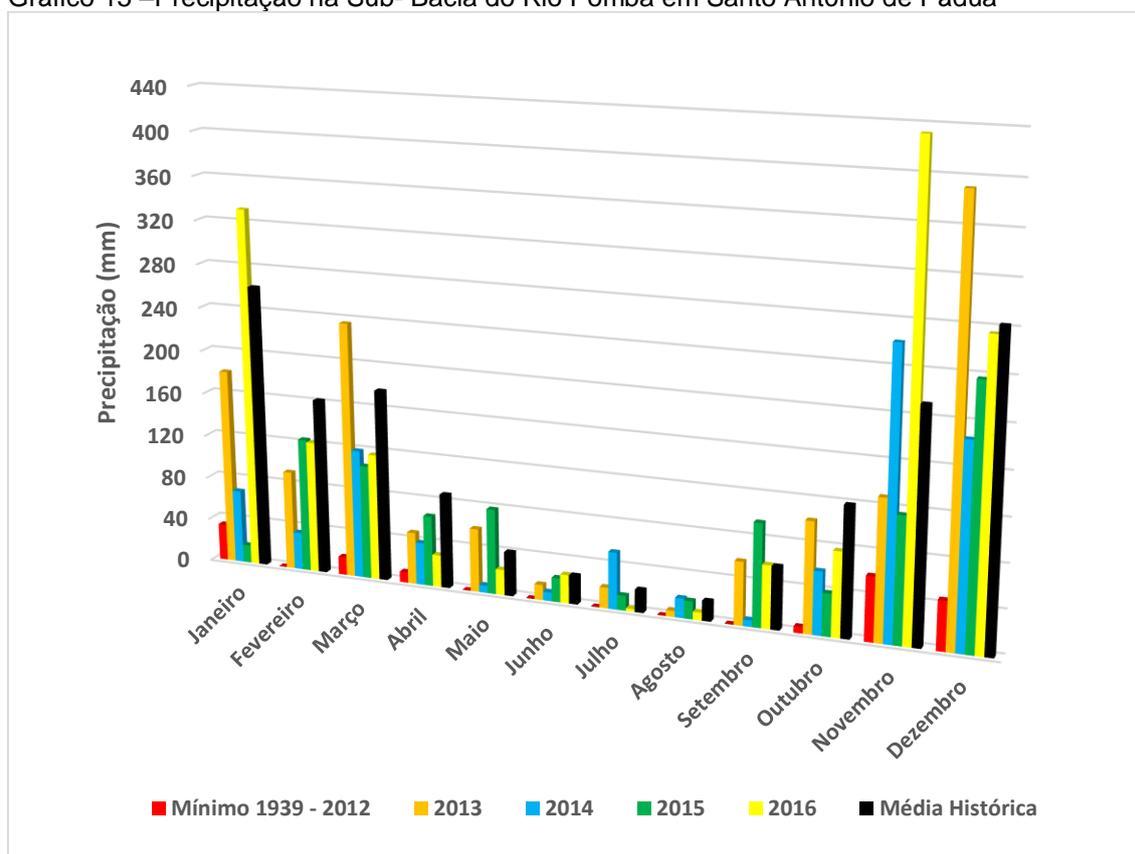
Fonte: O autor baseado em ANA (Hidroweb), 2017.

O ano de 2014 e de 2015 apresentaram quedas bruscas na precipitação quando comparadas com a precipitação média de longo tempo. Nos meses de maio, junho e setembro referentes a estiagem de 2014 e em julho e agosto referentes ao ano de 2015 verifica-se a ocorrência de precipitações muito inferiores à média mensal. Apenas no final desse período de 2014 que tivemos a ocorrência de precipitações com maiores valores absolutos. Essa estiagem atípica dos anos de 2014 e 2015 foi extrema e com potencial de gerar impactos

severos sobre a disponibilidade de água para a captação tendo em vista o abastecimento urbano, dessedentação de animais, irrigação e outros usos de água que poderiam não ser totalmente atendidos pela redução a disponibilidade hídrica com a redução de vazão e da precipitação em Cataguases, na região da Bacia do Rio Pomba.

Uma outra localidade da bacia do Rio Pomba para análise das vazões e precipitações é a cidade de Santo Antônio de Pádua, localizada no Estado do Rio de Janeiro. O gráfico 15 apresenta a precipitação em Santo Antônio de Pádua – RJ.

Gráfico 15 –Precipitação na Sub- Bacia do Rio Pomba em Santo Antônio de Pádua



Fonte: O autor baseado em ANA (*Hidroweb*), 2017.

Conforme análise do gráfico 15, o ano de 2014 apresentou precipitação atípica com registros de valores abaixo da média histórica como no mês de outubro. Os valores de precipitação são dispostos na tabela 20 com a mínima histórica, média mensal anual e média histórica.

Tabela 20- Precipitação Santo Antônio de Pádua

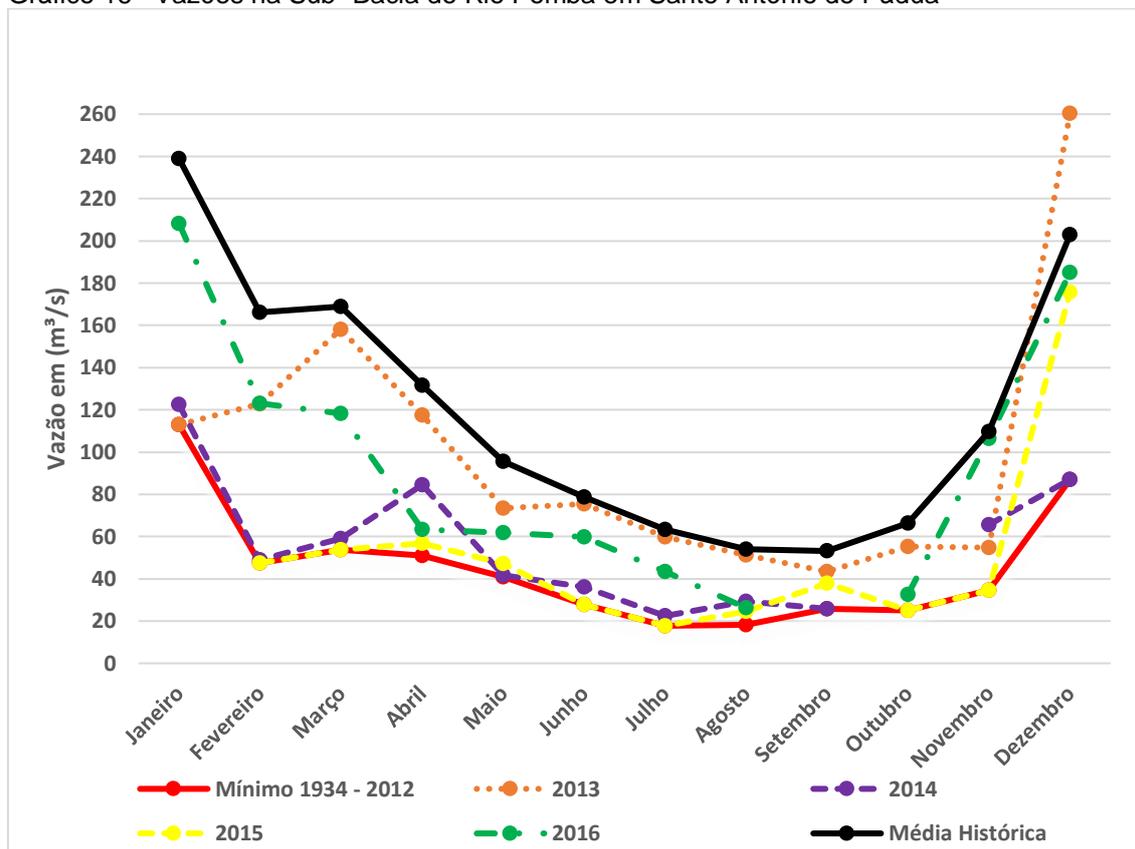
Dados Precipitação Pádua (mm)						
Mês	Mínimo 1966 - 2012	2013	2014	2015	2016	Média Histórica
Janeiro	26,8	177,3	22,7	27,3	149,5	194,2
Fevereiro	1	40,1	0	162,9	111,1	104,4
Março	6,4	282,3	38,4	152,3	38,2	108,1
Abril	0,9	44,5	50	51,9	65,4	70,8
Maio	0	38,3	11,5	86,4	5,4	36,8
Junho	0	43,9	21	10,6	68,6	21,5
Julho	0	13,6	12,3	30,3	0	19,8
Agosto	0	25,4	28,2	11,7	4	25,6
Setembro	0	44,2	0	62,5	36,5	59,8
Outubro	18	57,2	13,3	29,3	45,4	107,9
Novembro	57,9	219,8	292,5	247,9	199,2	189,8
Dezembro	32	288,7	125,1	146,8	258,8	227,0

Fonte: O autor baseado em ANA (*Hidroweb*), 2017.

As mínimas históricas baseadas na análise de dados do *hidroweb* refletem vazões muito próximas as mínimas históricas tanto nos anos de 2016, no mês de julho, um 2015 com vazões abaixo da média histórica em todos os meses, com exceção do mês de novembro. No ano de 2014, também foram registrados meses sem a ocorrência de precipitações e com valores registrados abaixo da média.

As vazões do Rio Pomba na cidade de Santo Antônio de Pádua são analisadas conforme o gráfico 16:

Gráfico 16 –Vazões na Sub- Bacia do Rio Pomba em Santo Antônio de Pádua



Fonte: O autor baseado em ANA (*Hidroweb*), 2017.

As vazões mensais registradas em Santo Antônio de Pádua 2014 (setembro) e 2015, foram atípicas com meses de fevereiro, março, junho, julho, outubro e novembro com as menores vazões mensais registradas pela estação de monitoramento conforme tabela 21.

Tabela 21 - Vazão em Santo Antônio de Pádua

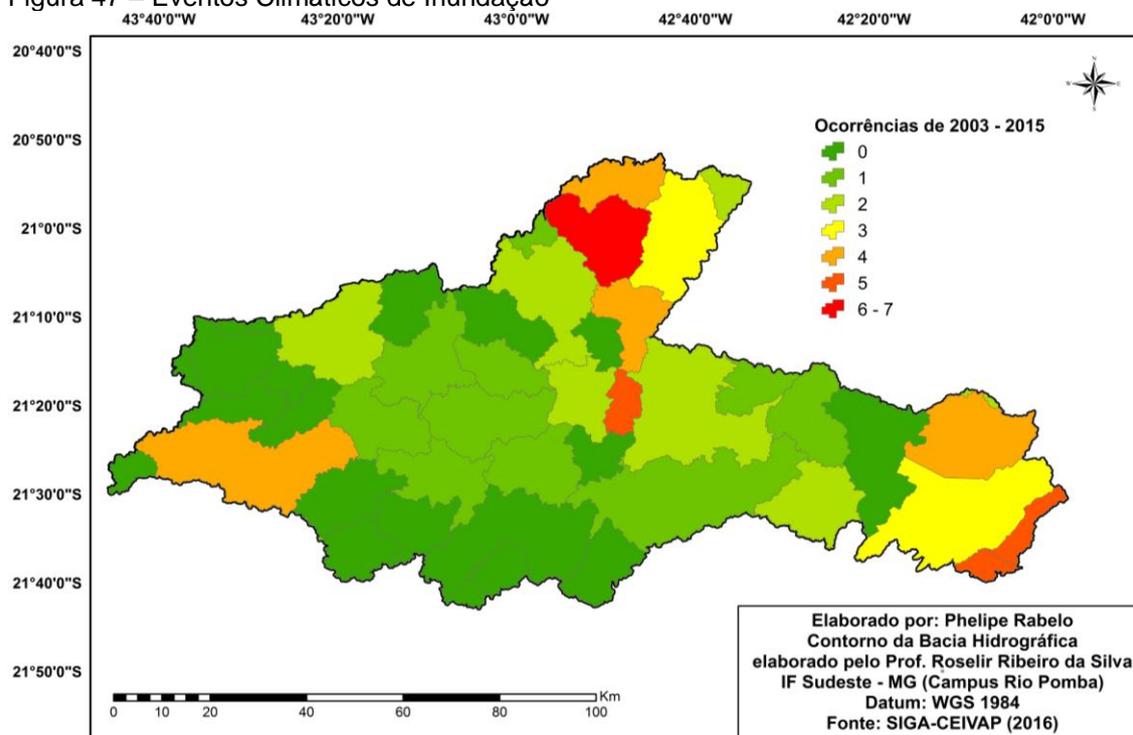
Vazão Pádua						
Mês	Mínimo 2001- 2016	2013	2014	2015	2016	Média de Vazão
Janeiro	112,98	112,98	122,49		208,27	239,0
Fevereiro	47,53	122,76	49	47,53	122,95	166,1
Março	53,85	158,04	58,99	53,85	118,31	168,9
Abril	50,88	117,51	84,63	56,9	63,41	131,6
Maio	40,91	73,52	41,79	47,26	61,71	95,6
Junho	27,83	75,33	36,22	27,83	59,89	78,8

Julho	17,76	59,7	22,44	17,76	43,45	63,4
Agosto	18,3	51,27	29,3	24,54	26,22	54,0
Setembro	25,78	43,39	25,78	37,95		53,2
Outubro	25,13	55,34		25,13	32,66	66,3
Novembro	34,6	54,76	65,7	34,6	106,55	109,8
Dezembro	87,15	260,28	87,15	175,69	185,05	203,1

Fonte: O autor baseado em ANA (*Hidroweb*), 2017.

Apesar da estiagem na região com reduções de vazões nos anos de 2014 e 2015 conforme tabela 21 os municípios fluminenses da Bacia do rio Pomba sofrem com diversos outros eventos críticos como: alagamentos, deslizamentos, tempestades. Em especial, a bacia em estudo apresenta diversos casos de inundações conforme a figura 47 abaixo.

Figura 47 – Eventos Climáticos de Inundação



Fonte: O autor

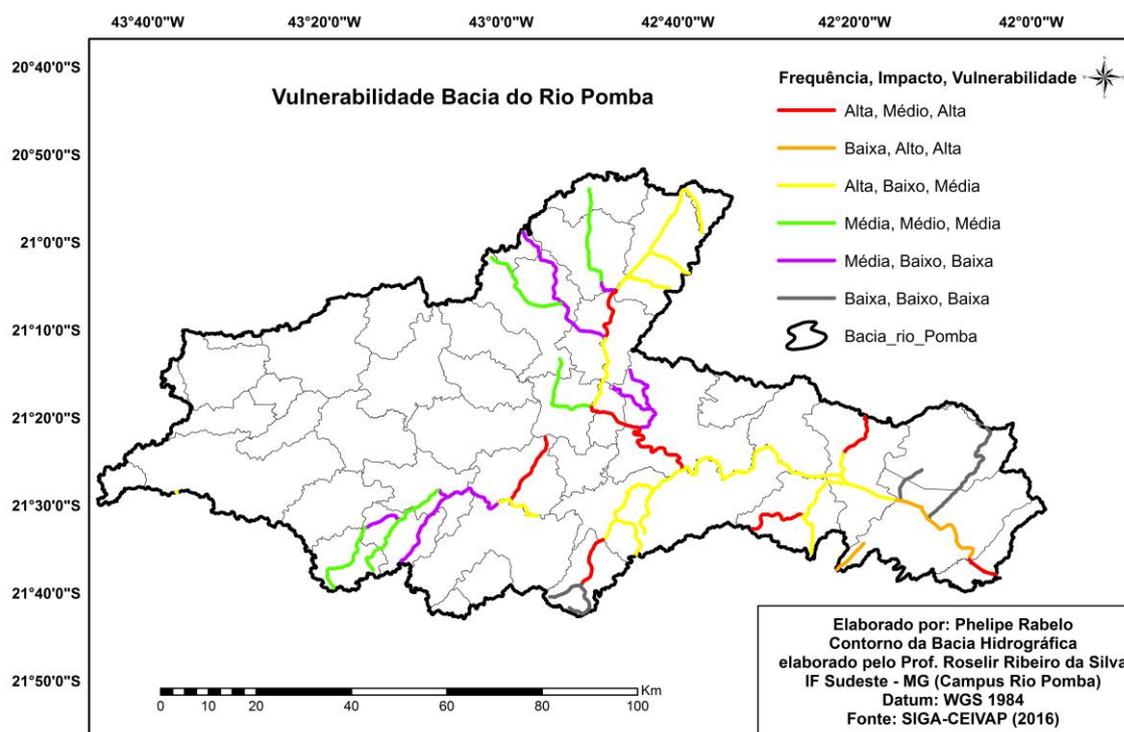
Esses eventos que ocorrem com frequência e afetam diversos municípios podem comprometer os sistemas de abastecimento por diversos fatores como:

- Alto aporte de sedimentos e lixo urbano devido a altas vazões impossibilitando a operação da estação de tratamento;
- Piora da água afluyente a Estação de Tratamento de Água;

#### 4.5.2 Inundações

A vulnerabilidade de uma região ou corpo hídrico a um determinado estressor, considera as ações tomadas pelos gestores face as inundações como a características de catástrofe natural. O estressor ocorre com frequência na região da Bacia do Rio Pomba. Determinadas características regionais como a situação sócio-econômica, ausência de plano de evacuação, fragilidade dos órgãos de prevenção e resposta aos eventos críticos são alguns dos responsáveis diretos pela alta sensibilidade da região a esses eventos. Na figura 48 é apresentado um mapa de vulnerabilidade em casos de inundação.

Figura 48 - Vulnerabilidade a Inundações na Bacia do Rio Pomba



Fonte: O autor

Os municípios fluminenses são altamente vulneráveis a eventos de inundações conforme a figura 48. Nesse contexto, o abastecimento das sedes urbanas apresenta grande probabilidade de ser interrompido caso ocorram esses eventos críticos em alguns pontos da bacia hidrográfica.

Observou-se que nos três municípios analisados (Santo Antônio de Pádua, Miracema e Aperibé), a vulnerabilidade a inundação é alta. Para avaliar se esta alta vulnerabilidade já teve impactos na infraestrutura de captação ou na qualidade da água captada pelos municípios, realizou-se uma pesquisa de campo para entrevistar técnicos dos serviços de abastecimento. Os resultados são apresentados no próximo capítulo.

#### 4.5.3 Estiagem Severa / Seca

A estiagem severa de 2014 e 2015 representou valores abaixo da média de longo tempo na bacia do Rio Pomba. A estiagem é caracterizada como um período de baixa precipitação. A estiagem severa pode ser interpretada com base nos desvios dos gráficos gerados pelos estressores no item 4.5.3.1.

##### 4.5.3.1 Análise de Precipitação

Os desvios de precipitação são expressos na diferença relativa aos índices médios: dados históricos médios mensais e dados mensais mínimos históricos referentes a precipitação. Na tabela 22 são apresentadas a diferença das precipitações anuais e a mínima histórica.

Tabela 22 - Desvios Precipitação em relação à mínima histórica - Santo Antônio de Pádua - RJ

Mês	2013	2014	2015	2016
Janeiro	150,5	<u>-4,1</u>	0,5	122,7
Fevereiro	39,1	<u>-1</u>	161,9	110,1
Março	275,9	32	145,9	31,8
Abril	43,6	49,1	51	64,5
Maio	38,3	11,5	86,4	5,4
Junho	43,9	21	10,6	68,6
Julho	13,6	12,3	30,3	0

Agosto	25,4	28,2	11,7	4
Setembro	44,2	0	62,5	36,5
Outubro	39,2	<u>-4,7</u>	11,3	27,4
Novembro	161,9	234,6	190	141,3
Dezembro	256,7	93,1	114,8	226,8

Fonte: o autor

Conforme a tabela 22 os desvios de precipitação em relação à média histórica confirmam que o ano de 2014 apresentou os menores valores registrados de vazão ao longo dos anos de operação das medições da estação. A tabela 23 apresenta os desvios mensais de precipitação em relação à média histórica.

Tabela 23- Desvio de Precipitação em relação à média histórica - Santo Antônio de Pádua - RJ

<b>Mês</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Janeiro	<u>-16,9</u>	<u>-171,5</u>	<u>-166,9</u>	<u>-44,7</u>
Fevereiro	<u>-64,3</u>	<u>-104,4</u>	58,5	6,7
Março	174,2	<u>-69,7</u>	44,2	<u>-69,9</u>
Abril	<u>-26,3</u>	<u>-20,8</u>	<u>-18,9</u>	<u>-5,4</u>
Maio	1,5	<u>-25,3</u>	49,6	<u>-31,4</u>
Junho	22,4	<u>-0,5</u>	<u>-10,9</u>	47,1
Julho	<u>-6,2</u>	<u>-7,5</u>	10,5	<u>-19,8</u>
Agosto	<u>-0,2</u>	2,6	<u>-13,9</u>	<u>-21,6</u>
Setembro	<u>-15,6</u>	<u>-59,8</u>	2,7	<u>-23,3</u>
Outubro	<u>-50,7</u>	<u>-94,6</u>	<u>-78,6</u>	<u>-62,5</u>
Novembro	30,0	102,7	58,1	9,4
Dezembro	61,7	<u>-101,9</u>	<u>-80,2</u>	31,8

Fonte: o autor

De acordo com a tabela 23 no ano de 2013, 2014, 2015 e 2016 a precipitação em grande maioria dos meses dos anos analisados apresentou valores de precipitação abaixo das médias históricas. A tabela 24 apresenta uma análise dos desvios de precipitações em relação a mínima histórico na cidade de Cataguases.

Tabela 24 - Desvios de Precipitação em relação a mínima histórica – Cataguases - MG

<b>Mês</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Janeiro	146,7	34,1	<b><u>-17,6</u></b>	297,7
Fevereiro	91,7	34,9	124,1	122,2
Março	219	102,4	88,8	100,1
Abril	38,3	29,6	55,7	19,9
Maio	58,9	6,8	78,9	23,6
Junho	14,2	8,2	22,2	26,3
Julho	19,3	52,7	13,8	2,5
Agosto	5,7	18	16,6	7,2
Setembro	58,3	6,1	95	58
Outubro	96,1	52,3	33,4	72,1
Novembro	70,1	202,6	56,5	373,1
Dezembro	345,4	140,6	191,6	229,7

Fonte: o autor

Em relação a mínima histórica apenas o mês de janeiro de 2015 apresentou valores de precipitação abaixo da média histórica. Os desvios relativos à precipitação média em Cataguases são apresentados na tabela 25.

Tabela 25- Desvios de Precipitação em relação à média histórica - Cataguases-MG

<b>Mês</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Janeiro	<b><u>-81,0</u></b>	<b><u>-193,6</u></b>	<b><u>-245,3</u></b>	70,0
Fevereiro	<b><u>-70,7</u></b>	<b><u>-127,5</u></b>	<b><u>-38,3</u></b>	<b><u>-40,2</u></b>
Março	58,6	<b><u>-58,0</u></b>	<b><u>-71,6</u></b>	<b><u>-60,3</u></b>
Abril	<b><u>-39,2</u></b>	<b><u>-47,9</u></b>	<b><u>-21,8</u></b>	<b><u>-57,6</u></b>
Maio	18,2	<b><u>-33,9</u></b>	38,2	<b><u>-17,1</u></b>
Junho	<b><u>-12,3</u></b>	<b><u>-18,3</u></b>	<b><u>-4,3</u></b>	<b><u>-0,2</u></b>
Julho	<b><u>-1,7</u></b>	31,7	<b><u>-7,2</u></b>	<b><u>-18,5</u></b>
Agosto	<b><u>-12,8</u></b>	<b><u>-0,5</u></b>	<b><u>-1,9</u></b>	<b><u>-11,3</u></b>
Setembro	0,7	<b><u>-51,5</u></b>	37,4	0,4
Outubro	<b><u>-17,4</u></b>	<b><u>-61,2</u></b>	<b><u>-80,1</u></b>	<b><u>-41,4</u></b>
Novembro	<b><u>-82,7</u></b>	49,8	<b><u>-96,3</u></b>	220,3
Dezembro	108,1	<b><u>-96,7</u></b>	<b><u>-45,7</u></b>	<b><u>-7,6</u></b>

Fonte: o autor

De acordo com os dados mostrados na tabela 25 pode-se afirmar que durante os últimos anos (2014, 2015 e 2016 principalmente) a bacia do Rio Pomba foi acometida por graves estiagens e secas severas dadas as variações de chuva na região da bacia do Rio Pomba e as médias históricas e mínimas históricas de precipitação.

#### 4.5.3.2 Análise de vazões

A análise de vazões na bacia do Rio Pomba é essencial para analisar os efeitos das estiagens severas dos anos de 2014 e 2015 na bacia do Rio Pomba ao longo desses anos. A vazão nos últimos anos em Santo Antônio de Pádua e os seus desvios em relação a mínima histórica estão dispostos na tabela 26.

Tabela 26-Desvios de Vazão em relação a mínima histórica Santo Antônio de Pádua - RJ

<b>Mês</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Janeiro	0	9,51		95,29
Fevereiro	75,23	1,47	0	75,42
Março	104,19	5,14	0	64,46
Abril	66,63	33,75	6,02	12,53
Maio	32,61	0,88	6,35	20,8
Junho	47,5	8,39	0	32,06
Julho	41,94	4,68	0	25,69
Agosto	32,97	11	6,24	7,92
Setembro	17,61	0	12,17	
Outubro	30,21		0	7,53
Novembro	20,16	31,1	0	71,95
Dezembro	173,13	0	88,54	97,9

Fonte: o autor

Em relação a mínima histórica de acordo com a tabela 28 não foram apresentadas variações em relação a mínima histórica, porém nos anos de 2013 (janeiro), 2014 (setembro) e 2015 (fevereiro, março, junho, julho, outubro, novembro) apresentaram os menores valores de vazão registrados em Santo Antônio de Pádua. A análise das vazões na mesma localidade, em relação a vazão média apresenta os seguintes valores representados na tabela 27.

Tabela 27 - Desvio de Vazões em relação à média histórica – Santo Antônio de Pádua - MG

Mês	2013	2014	2015	2016
Janeiro	<u>-126,0</u>	<u>-116,5</u>	<u>-239,0</u>	<u>-30,7</u>
Fevereiro	<u>-43,3</u>	<u>-117,1</u>	<u>-118,6</u>	<u>-43,1</u>
Março	<u>-10,8</u>	<u>-109,9</u>	<u>-115,0</u>	<u>-50,6</u>
Abril	<u>-14,1</u>	<u>-47,0</u>	<u>-74,7</u>	<u>-68,2</u>
Maio	<u>-22,1</u>	<u>-53,8</u>	<u>-48,4</u>	<u>-33,9</u>
Junho	<u>-3,5</u>	<u>-42,6</u>	<u>-51,0</u>	<u>-19,0</u>
Julho	<u>-3,7</u>	<u>-41,0</u>	<u>-45,7</u>	<u>-20,0</u>
Agosto	<u>-2,7</u>	<u>-24,7</u>	<u>-29,4</u>	<u>-27,7</u>
Setembro	<u>-9,8</u>	<u>-27,4</u>	<u>-15,2</u>	<u>-53,2</u>
Outubro	<u>-10,9</u>	<u>-66,3</u>	<u>-41,1</u>	<u>-33,6</u>
Novembro	<u>-55,0</u>	<u>-44,1</u>	<u>-75,2</u>	<u>-3,2</u>
Dezembro	57,2	<u>-115,9</u>	<u>-27,4</u>	<u>-18,0</u>

Fonte: o autor

Em relação as vazões médias mensais, em grande parte dos meses dos anos de 2013, 2014, 2015, 2016 apresentam valores menores do que a média histórica de vazão na região. A tabela 28 apresenta os valores de desvios de vazão em Cataguases em relação as vazões mínimas históricas.

Tabela 28 -Desvio de Vazões em relação à mínima histórica – Cataguases -MG

Mês	2013	2014	2015	2016
Janeiro	37,8	44,5	<u>-22,8</u>	117,0
Fevereiro	52,7	<u>-14,6</u>	<u>-14,6</u>	40,8
Março	65,4	<u>-1,0</u>	<u>-9,9</u>	39,1
Abril	56,0	26,2	<u>-0,1</u>	5,7
Maio	31,3	3,3	2,6	13,0
Junho	29,3	<u>-0,7</u>	<u>-7,6</u>	9,6
Julho	26,0	3,1	<u>-4,9</u>	8,0
Agosto	17,0	2,6	<u>-4,4</u>	0,8
Setembro	13,7	<u>-2,7</u>	10,6	1,0
Outubro	17,1	<u>-10,4</u>	<u>-8,7</u>	<u>-1,9</u>
Novembro	2,6	6,5	<u>-14,7</u>	48,5
Dezembro	143,9	36,9	72,6	99,1

Fonte: o autor

As vazões em Cataguases apresentam valores menores que as vazões mínimas nos meses de fevereiro, março, junho, setembro, outubro relativos ao ano de 2014, em 2015 todos os meses com exceção dos meses de maio, setembro e dezembro.

Tabela 29 – Desvio de Vazões em relação à média histórica – Cataguases - MG

Mês	2013	2014	2015	2016
Janeiro	<u>-99,0</u>	<u>-92,3</u>	<u>-159,6</u>	<u>-19,8</u>
Fevereiro	<u>-56,0</u>	<u>-123,3</u>	<u>-123,4</u>	<u>-68,0</u>
Março	<u>-26,3</u>	<u>-92,6</u>	<u>-101,6</u>	<u>-52,5</u>
Abril	<u>-6,5</u>	<u>-36,3</u>	<u>-62,5</u>	<u>-56,8</u>
Maio	<u>-13,3</u>	<u>-41,2</u>	<u>-41,9</u>	<u>-31,5</u>
Junho	<u>-4,6</u>	<u>-34,5</u>	<u>-41,5</u>	<u>-24,2</u>
Julho	<u>-4,8</u>	<u>-27,6</u>	<u>-35,6</u>	<u>-22,8</u>
Agosto	<u>-9,4</u>	<u>-23,8</u>	<u>-30,8</u>	<u>-25,6</u>
Setembro	<u>-12,6</u>	<u>-29,0</u>	<u>-15,8</u>	<u>-25,3</u>
Outubro	<u>-13,6</u>	<u>-41,2</u>	<u>-39,4</u>	<u>-32,6</u>
Novembro	<u>-44,0</u>	<u>-40,1</u>	<u>-61,3</u>	1,9
Dezembro	31,5	<u>-75,5</u>	<u>-39,8</u>	<u>-13,2</u>

Fonte: o autor

Com a análise dos parâmetros de vazão com base nas medições das cidades de Santo Antônio de Pádua e Cataguases pode-se concluir que nos últimos anos a bacia apresentou uma grande redução nas vazões quando comparadas as médias de vazões registrada durante a série histórica das estações analisadas.

#### 4.5.4 Ações de gestão

Os sistemas de abastecimento e tratamento dos três municípios analisados estão altamente adaptados para a manutenção da operação em níveis normais e até mesmo em condições extremas. Um dos principais problemas das enchentes em nível regional é a erosão das margens do manancial e o consequente carreamento pela força do escoamento de um

número elevado de partículas sólidas que pode impossibilitar o tratamento e a operação da ETA.

Existem obras de contenção e minimização de cheias em Santo Antônio de Pádua e obras na melhoria da drenagem urbana conforme figura 49.

Figura 49- Obra de Contenção em Santo Antônio de Pádua



Fonte: o autor

A foto tirada reflete a obra para evitar o alagamento e erosão das margens no Rio Pomba na cidade de Santo Antônio de Pádua no Estado do Rio de Janeiro. A obra ainda está em fase de execução.

#### 4.5.5 Riscos – Eventos Climáticos Extremos

A severidade dos estressores relacionados ao desenvolvimento do modelo conceitual quanto a proporção em relação a vazão medida mensalmente e a vazão de referência adotada aqui como a Q95% pode ser classificada de acordo com a severidade como predominantemente média conforme a tabela 30:

Tabela 30 - Severidade das Secas

Mês	(Qm / Qref) 2013	(Qm / Qref) 2014	(Qm / Qref) 2015	(Qm / Qref) 2016
Janeiro	2,71	2,94		5,00
Fevereiro	2,95	1,18	1,14	2,95
Março	3,79	1,42	1,29	2,84

Abril	2,82	2,03	1,37	1,52
Maio	1,77	1,00	1,13	1,48
Junho	1,81	<u>0,87</u>	<u>0,67</u>	1,44
Julho	1,43	<u>0,54</u>	<u>0,43</u>	1,04
Agosto	1,23	<u>0,70</u>	<u>0,59</u>	<u>0,63</u>
Setembro	1,04	<u>0,62</u>	<u>0,91</u>	
Outubro	1,33		<u>0,60</u>	<u>0,78</u>
Novembro	1,31	1,58	<u>0,83</u>	2,56
Dezembro	6,25	2,09	4,22	4,44
Baixa	5	3	1	5
Média	7	4	4	4
Alta	<u>0</u>	<u>4</u>	<u>6</u>	<u>2</u>

Fonte: o autor

De acordo com o item 2.4.3.1 (b) a relação ( $Q_{\text{mensal}} / Q_{\text{ref}}$ ) maior que 2 retrata situação de baixo impacto das secas como nos meses de dezembro em todos os anos ressaltando o mês de dezembro de 2013. Na situação com a proporção ( $Q_{\text{mensal}} / Q_{\text{ref}}$ ) maior ou igual a 1 e menos que 2 o impacto da seca é considerado moderado. Em situações com na qual a relação ( $Q_{\text{mensal}} / Q_{\text{ref}}$ ) é menor que 1 temos uma situação com altos impactos causados pela estiagem severa como em julho de 2014. A ocorrência de secas e de eventos extremos pode afetar a disponibilidade de vazões principalmente na região em estudo. De acordo com o mapa retratado na figura 44 e figura 45 retrata a vulnerabilidade e alta ocorrência de enchentes. Dada a alta ocorrência de enchentes e os impactos acentuados na região considera-se esses impactos como altos, embora não impacta, segundo relatos dos responsáveis pela gestão dos serviços de água a captação na região.

A ocorrência do estressor é frequente, com ocorrência regular ou quase contínua, inúmeros registros de cheias e estiagens extremas acontecem na região dos municípios da bacia do Rio Pomba principalmente os integrantes da área fluminense da bacia como: Santo Antônio de Pádua, Miracema e Aperibé.

Em tempos de incertezas e de mudanças climáticas globais, esses eventos climáticos extremos tendem a ocorrer com ainda mais frequência, sendo assim uma mensuração prévia dos riscos é essencial para adoção e

planejamento em tempo hábil das medidas de controle e mitigação desses impactos.

A matriz de riscos que reflete a criticidade e a vulnerabilidade das cidades quanto aos eventos climáticos extremos como a seca e as inundações e enchentes na região da bacia do rio Pomba são retratadas na matriz de riscos da figura 50.

Figura 50 - Matriz de riscos para a água bruta associada a eventos extremos

Matriz de Riscos Associados					
Ocorrência do Estressor	Alta				
	Média			Estiagem Severa (Seca) & Cheias	
	Baixa				
		Baixa	Média	Alta	
		Severidade do Impacto			

Risco	
	Aceitáveis
	Toleráveis
	Inaceitáveis

Fonte: o autor

#### 4.6 Síntese dos Resultados

Os dados de riscos dos diversos estressores em relação ao grau de severidade podem ser expressos na tabela 31:

Tabela 31 – Síntese dos resultados de estressores

Estressor	Indicador	Característica de Referência	Situação	Unidade	Resultados	
Pressão sobre as condições ambientais da bacia	Uso e ocupação do solo	Área antropizada	322,7	km <sup>2</sup>	Percentual em relação à área da bacia do Rio Pomba	3,76%
	Desmatamento da cobertura vegetal na bacia (exceto Áreas de Preservação Permanente – APPs)	Área desmatada na totalidade da bacia	5386,52	km <sup>2</sup>		62,82%
	Degradação da cobertura vegetal nas APP hídricas	APP-fluvial	118,29	km <sup>2</sup>	Percentual em relação a área total de APP fluvial	78,99%
Demanda po água (pressão sobre a quantidade)	Usos atuais e usuários de água	Vazão outorgada	4,48	m <sup>3</sup> /s	Ieh/%	23,74%
		% Vazão outorgada em relação a Vazão disponível	5,53			29,30%
	Disponibilidade Hídrica Atual	Índice de Estresse Hídrico	IUD em alguns trechos >= 1,00	Não Possui	Faixa do IUD	Crítica
		Balanço Hídrico (IUD)	20% < IRA < 40%	-	Faixa do IRA	Crítica

Estressor	Indicador	Característica de Referência	Situação	Unidade	Resultados	
Carga poluidora (pressão sobre a qualidade)	Avaliação de 12 parâmetros de qualidade de água	Violações de Enquadramento	Estações e Anos com violações no enquadramento	Unidade relativa a cada parâmetro	Valor de cada parâmetro	xxxxx
	Condição qualitativa atual do corpo de água em relação ao Enquadramento	IDQ (Índice de Qualidade)	IDQ >= em alguns trechos da da Bacia do Rio Pomba	xxxxx	Faixa do IQ	Crítica
Eventos hidrológicos extremos	Estiagem/seca recente (2013-2016)	vazões anuais 2013-2016 em relação às vazões médias e mínimas históricas	Vazões menores que as mínimas	m <sup>3</sup> /s	Análise em Santo Antônio de Pádua e Cataguases	Variação mensais
	Inundações	Frequência	Ocorrência de eventos	alta; média ou baixa	Análise nos pontos de	Baixa
		Impacto	Danos na região	alta; média ou baixa	Análise nos pontos de	Alta
		Vulnerabilidade	Combinação do potencial e capacidade de resposta	alta; média ou baixa	Análise nos pontos de captação	Alta
Acidentes Ambientais	Barragens de rejeito	Acidentes com barragens de rejeito	Histórico de acidentes a partir do ano 2000	número de acidentes	Análise a montante do ponto de	(1) acidente em Cataguases 2003
		Situação Estrutural das Barragens de Rejeito na Bacia	Estabilidade garantida pelo auditor	Sim ou Não	Análise a montante do ponto de captação	(1) Barragem sem estabilidade garantida

Conforme o disposto nas partes anteriores do presente trabalho referentes as análises de riscos dos diversos estressores associados a disponibilidade e qualidade de água bruta, os resultados do modelo conceitual apontam que os estressores de maior risco à segurança hídrica para o abastecimento urbano dos municípios de Santo Antônio de Pádua, Miracema e Aperibé, em termos de quantidade e qualidade de água bruta nos pontos de captação respectivas, são os seguintes: as “condições ambientais da bacia” e os “eventos climáticos extremos” e acidentes ambientais (barragens de rejeitos) seguidos da pressão sobre a demanda por água (quantidade) pressão sobre a qualidade de água que foram considerados como riscos toleráveis (figura 51).

Figura 51- Matriz de Riscos consolidada

Matriz de Riscos Associados				
Ocorrência do Estressor	Alta	Demanda de água (pressão sobre a quantidade)		Pressão sobre as condições ambientais
	Média		Pressão sobre a qualidade de água	Estiagem Severa (Seca) & Cheias - Acidentes Ambientais
	Baixa			
		Baixa	Média	Alta
Severidade do Impacto				

Risco	
	Aceitáveis
	Toleráveis
	Inaceitáveis

Fonte: o autor

Como medidas de mitigação de riscos que podem ser adotadas na região algumas ações podem ser adotadas de acordo com o risco ambiental associado:

Condições ambientais da bacia: as condições ambientais apresentam altos índices de desmatamento, necessitam de planos de recuperação ambiental das faixas marginais dos rios, incentivo ao uso racional do solo e programas de educação da população residentes nas áreas de APPs sobre a importância da conservação dessa área.

Eventos climáticos extremos: Com uma relação cada vez mais evidente do aquecimento global, mudanças climáticas e o aumento da frequência de eventos climáticos extremos é essencial buscar alternativas de captação de modo a enfrentar situação de adversidade climática.

Gestão de demanda: é essencial ainda que a demanda de água bruta seja muito inferior a capacidade que pode ser fornecida pelo manancial, é essencial uma melhora no controle de perdas associadas a distribuição de água bruta principalmente nos municípios mineiros integrantes da bacia do rio Pomba, programas de uso racional da água nas atividades de irrigação, reúso de águas nas atividades, entre outras.

Acidentes Ambientais: Avaliação das estruturas das barragens de rejeito em Minas Gerais, por técnicos qualificados. Adoção de um plano de contingência para eventuais rompimentos de barragens e planejamento de uma estratégia alternativa para a captação de água.

Qualidade da água: embora a qualidade da água, atenda aos critérios estabelecidos pela CONAMA 357/05, é essencial uma melhora dos índices de atendimento da rede de coleta de esgoto, programas de gestão de efluentes industriais e de controle dos defensivos agrícolas utilizados no cultivo nas zonas integrantes da bacia.

Diante do exposto, ações de gestão e de planejamento são necessárias de forma a minimizar o impacto dos estressores e os seus riscos na gestão de recursos hídricos na região fluminense com a formulação de Políticas, Planos e Programas direcionados para o enfrentamento das situações de risco, o fortalecimento e ampliação das ações existentes que tiveram resultado satisfatório em relação a preservação e recuperação ambiental.

## 5. APLICAÇÃO DO MODELO ANALÍTICO – PARTE 2: AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Conforme o modelo proposto, a avaliação da vulnerabilidade dos Sistemas de abastecimento de água potável, em relação à exposição dos riscos associados à quantidade e qualidade de água bruta no ponto de captação, é efetuada para os subsistemas de captação e tratamento, de cada município estudado:

- Vulnerabilidade do subsistema de captação face à disponibilidade de água em quantidade, em situações de normalidade hidrológica e de secas, e face à integridade da infraestrutura em situações de inundação;
- Vulnerabilidade do subsistema de tratamento face à qualidade de água no ponto de captação em situações de normalidade hidrológica, secas inundações e face à integridade da infraestrutura em situações de inundação.

### 5.1 Santo Antônio de Pádua

#### 5.1.1 Subsistema de captação

A vulnerabilidade resultante do subsistema de captação de Santo Antônio de Pádua, em relação às três situações hidrológicas, são indicadas na Figura 52, e detalhadas na sequência.

Figura 52 - Matriz de Vulnerabilidade do Subsistema de Captação de Santo Antônio de Pádua

Matriz de Vulnerabilidade													
Sensibilidade / Adaptação	Alta				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Vulnerabilidade</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: red;"></td> <td>Alta</td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow;"></td> <td>Média</td> </tr> <tr> <td style="background-color: green;"></td> <td>Baixa</td> </tr> </tbody> </table>	Vulnerabilidade			Alta		Média		Baixa
	Vulnerabilidade												
		Alta											
	Média												
	Baixa												
Média		Cheias											
Baixa	Estiagem Severa; Seca & Normalidade Hidrológica												
		Baixa	Média	Alta									
		Exposição											

Fonte: o autor

A **vulnerabilidade** do subsistema de captação tanto em **situações de normalidade hidrológica** quanto de **estiagem severa/seca** foi considerada **baixa**, resultante da combinação dos fatores:

- Exposição, estimada como de baixa intensidade, porque o balanço hídrico indica ainda haver boa disponibilidade hídrica em relação ao limite outorgável;
- Sensibilidade, avaliada sendo de baixa intensidade, pois mesmo em momentos de seca a captação do sistema de abastecimento não foi interrompida, segundo relatos dos técnicos dos serviços de água.

Por fim, a **vulnerabilidade** do subsistema de captação **em situações de inundação foi considerada média**, pois a sua exposição é média (o ponto de captação sofre com inundações recorrentes) e a sensibilidade foi também avaliada como média, pois de acordo com relatos de técnicos que trabalham na ETA, a cota da Estação de Elevação em relação ao rio Pombo, em condições normais de vazão, é de apenas três ou quatro metros. Isso significa que o sistema pode ser impactado com a ocorrência de cheias.

### 5.2.2 Subsistema de tratamento

A vulnerabilidade resultante do subsistema de tratamento de Santo Antônio de Pádua, em relação às três situações hidrológicas e de acidentes ambientais, são indicadas na Figura 53, e detalhadas na sequência.

Figura 53 - Vulnerabilidade do Subsistema de Tratamento de Santo Antônio de Pádua

Matriz de Vulnerabilidade				
Sensibilidade / Adaptação	Alta		Acidentes Ambientais	
	Média			
	Baixa		Estiagens Severas ; Normalidade Hidrológica & Cheias	
		Baixa	Média	Alta
		Exposição		

Vulnerabilidade	
	Alta
	Média
	Baixa

Fonte: o autor

A **vulnerabilidade** do subsistema de tratamento foi considerada de **baixa intensidade em todas as situações hidrológicas (de normalidade, seca/estiagem severa e cheias)**, resultante da combinação dos seguintes fatores:

- Exposição, estimada como de média intensidade, porque há comprometimento de alguns parâmetros poluidores em relação ao enquadramento em tempos de 'normalidade hidrológica'. Durante secas, não houve relatos de que a qualidade da água tenha piorado, em função da redução da vazão no manancial; cabe ressaltar, no entanto, que os gráficos de redução de vazão em anos de estiagem severa como 2014 e

2015, apontam a piora de um maior número de parâmetros poluidores para limites acima do permitido pela legislação vigente (CONAMA 357/05). Por outro lado, durante cheias, a desconformidade dos parâmetros de qualidade da água foi considerada como ainda na faixa de média intensidade, ainda que alguns parâmetros piores. Portanto, a exposição é de média intensidade para todas as situações;

- Sensibilidade, avaliada sendo de baixa intensidade, por conta da tecnologia de tratamento convencional (etapas de floração, decantação, filtração, correção de ph, desinfecção (cloração) e fluoretação) que, segundo a Resolução CONAMA 357/2005, é capaz de tratar água bruta de qualidade Classe II (ou até mesmo III – convencional ou avançado). Além dessas etapas do tratamento, existe um monitoramento dos parâmetros de qualidade de água realizado em períodos contínuos com intervalos de duas horas para verificação dos parâmetros de qualidade da água que são fornecidos a população.

Em situações de **acidentes ambientais, o subsistema de tratamento foi avaliado como de alta vulnerabilidade** pois a sua exposição é média (a área a montante da bacia tem barragens de rejeito, uma inclusive em situação especial) e a sensibilidade foi avaliada como alta; em um cenário de acidente ambiental, com o rompimento de barragens em Minas Gerais, a ETA não teria capacidade de realizar a transformação da água altamente contaminada com rejeitos de mineração em água potável de acordo com os padrões exigidos pelas normas legais.

## 5.2 Miracema

### 5.2.1 Subsistema de captação

A vulnerabilidade resultante do subsistema de captação de Miracema, em relação às três situações hidrológicas, são indicadas na Figura 54, e detalhadas na sequência.

Figura 54 - Vulnerabilidade do Sistema de Captação de Miracema

Matriz de Vulnerabilidade				
Sensibilidade / Adaptação	Alta			
	Média			
	Baixa	Estiagem Severa/ Seca & Normalidade Hidrológica	Cheias	
		Baixa	Média	Alta
		Exposição		

Vulnerabilidade	
	Alta
	Média
	Baixa

Fonte: o autor

A **vulnerabilidade** do subsistema de captação tanto em todas as situações (**de normalidade hidrológica, estiagem severa/seca e cheias**) foi considerada **baixa**, resultante da combinação dos fatores:

- Exposição, estimada como de baixa intensidade, pois o manancial apresenta superávit hídrico, com vazões muito superiores a vazão de captação, mesmo durante estações secas.
- Sensibilidade, avaliada sendo de baixa intensidade, pois mesmo em momentos de seca a captação do sistema de abastecimento não foi interrompida, segundo relatos dos técnicos dos serviços de água. Não existe reservação, mas o sistema de captação se apresenta em condições apropriadas, sendo altamente adaptado pois permite mudanças do local de captação em função da variação do nível do Rio Pomba. Também não existem relatos dos funcionários de interrupção da captação. Quanto às

cheias, relatos afirmam que não existe histórico de danos à infraestrutura e que a sinuosidade do rio, no ponto de captação, constitui uma barreira natural de proteção para situações de alta correnteza e inundações.

Por fim, a **vulnerabilidade** do subsistema de captação **em situações de inundação foi considerada baixa**, pois a sua exposição é média (o ponto de captação sofre com inundações recorrentes, assim como Santo Antônio de Pádua) e a sensibilidade foi avaliada como baixa; técnicos relataram que o sistema de abastecimento não é impactado apesar da possibilidade de as cheias intensificarem a deposição de partículas sólidas no ponto de captação, obstruírem a tomada de água e causarem danos aos equipamentos da estação elevatória.

### 5.2.2 Subsistema de tratamento

A vulnerabilidade resultante do subsistema de tratamento de Miracema, em relação às três situações hidrológicas e de acidentes ambientais, são indicadas na Figura 55, e detalhadas na sequência.

Figura 55 – Vulnerabilidade do Subsistema de Tratamento de Miracema

Matriz de Vulnerabilidade				
Sensibilidade / Adaptação	Alta		Acidentes Ambientais	
	Média			
	Baixa		Estiagens Severas; Normalidade Hidrológica & Cheias	
		Baixa	Média	Alta
		Exposição		

Vulnerabilidade	
	Alta
	Média
	Baixa

Fonte: o autor

A **vulnerabilidade** do subsistema de tratamento foi considerada de **baixa intensidade em todas as situações hidrológicas (de normalidade, seca/estiagem severa e cheias)**, resultante da combinação dos fatores:

- Exposição, estimada como de média intensidade, porque há comprometimento de alguns parâmetros poluidores em relação ao enquadramento (Classe 2) em tempos de 'normalidade hidrológica', que se agravam durante secas e cheias;
- Sensibilidade, avaliada sendo de baixa intensidade, por conta da tecnologia de tratamento convencional que é capaz de tratar água bruta de qualidade Classe II e até mesmo III (Resolução CONAMA 357/2005). Além do mais, foi reportado que o monitoramento na qualidade da água tratada não reflete em impactos ou perda da eficiência do tratamento. Durante cheias, técnicos responsáveis pelo gerenciamento da unidade relataram que não ocorre perda de eficiência nem danos a estrutura de tratamento.

Em situações de **acidentes ambientais**, Miracema foi avaliado com o mesmo nível de vulnerabilidade de Santo Antônio de Pádua, ou seja, o **subsistema de tratamento foi avaliado como de alta vulnerabilidade**: a situação de exposição (barragens de rejeito a montante) e sensibilidade (ETA não seria capaz de tratar a água contaminada pelos efluentes de rejeito).

### 5.3 Aperibé

#### 5.3.1 Subsistema de captação

A vulnerabilidade resultante do subsistema de captação de Aperibé, em relação às três situações hidrológicas, são indicadas na Figura 56, e detalhadas na sequência.

Figura 56- Matriz de Vulnerabilidade do Subsistema de Captação de Aperibé

Matriz de Vulnerabilidade					
Sensibilidade / Adaptação	Alta				
	Média				
	Baixa		Normalidade Hidrológica; Estiagens Severas & Cheias		
		Baixa	Média	Alta	
		Exposição			

Vulnerabilidade	
	Alta
	Média
	Baixa

Fonte: o autor

A **vulnerabilidade** do subsistema de captação tanto em **situações de normalidade hidrológica** quanto de **estiagens severas/cheias** foi considerada **baixa**, resultante da combinação dos fatores:

- Exposição, estimada como de média intensidade, porque o manancial; apresenta boa disponibilidade hídrica, mesmo durante secas;
- Sensibilidade, avaliada sendo de baixa intensidade, pois mesmo em momentos de seca não há relatos de interrupção da captação do sistema de abastecimento de água, que é a fio d'água.

Por fim, a **vulnerabilidade** do subsistema de captação **em situações de inundação foi considerada baixa**, embora sua exposição seja média (o ponto de captação sofre com inundações recorrentes); no entanto, a sensibilidade foi reportada como baixa, pois não há relatos de danos à integridade do subsistema de captação, segundo relatos dos funcionários consultados.

### 5.2.2 Subsistema de tratamento

A vulnerabilidade resultante do subsistema de tratamento de Aperibé, em relação às três situações hidrológicas e de acidentes ambientais, são indicadas na Figura 57, e detalhadas na sequência.

Figura 57 – Matriz de Vulnerabilidade do Sistema de Tratamento em Aperibé

Matriz de Vulnerabilidade				
Sensibilidade / Adaptação	Alta		Acidentes Ambientais	
	Média		Normalidade Hidrológica - Estiagem Severa Cheias	
	Baixa			
		Baixa	Média	Alta
		Exposição		

Vulnerabilidade	
	Alta
	Média
	Baixa

Fonte: o autor

A **vulnerabilidade** do subsistema de tratamento foi considerada de **média intensidade em todas as situações (de normalidade hidrológica, seca/estiagem severa e inundações)**, resultante da combinação dos fatores:

- Exposição, estimada como de média intensidade, porque há comprometimento de alguns parâmetros poluidores em relação ao enquadramento em tempos de 'normalidade hidrológica', que se agravam durante secas e cheias, mas permanecem na mesma faixa de intensidade.
- Sensibilidade, avaliada sendo de média intensidade, pois o sistema é mais impactado pela qualidade da água captada por ser uma tecnologia de tratamento simplificado da ETA compacta, apresentando, portanto, baixa adaptabilidade do sistema. Durante cheias, não há relatos de danos à integridade da infraestrutura de tratamento.

Em situações de **acidentes ambientais**, o **subsistema de tratamento foi avaliado como de alta vulnerabilidade**, pois é a mesma situação dos municípios que captam a montante (Pádua e Miracema): a exposição é média (a área a montante da bacia tem barragens de rejeito, uma inclusive em situação especial) e a sensibilidade foi avaliada como alta, pois nenhuma das ETAs teriam capacidade de tratar uma água com alta concentração de poluentes característicos das barragens de rejeito a montante.

### **5.3 Síntese dos Resultados**

A síntese dos resultados tem por objetivos analisar os resultados consolidados para vulnerabilidade dos sistemas de captação e de tratamento dos municípios da bacia do Rio Pomba.

#### **5.3.1 Análise Qualitativa da Vulnerabilidade do Sistemas de Captação**

Conforme a consolidação dos dados na matriz de vulnerabilidade consolidada abaixo pode identificar os estressores com maior potencial de impacto sobre a segurança hídrica regional.

Figura 58 - Matriz de Vulnerabilidade do Sistema de Captação

Matriz de Vulnerabilidade				
Sensibilidade / Adaptação	Alta			
	Média		PC	
	Baixa	PES PNH MES MNH	MC NA AES AC	
		Baixa	Média	Alta
		Exposição		

Vulnerabilidade	
	Alta
	Média
	Baixa

AC - Aperibé Cheias; AES - Aperibé Estiagem Severa; ANH - Aperibé Normalidade Hidrológica; MC= Miracema Cheias; MES - Miracema Estiagem Severa; MNH - Miracema Normalidade Hidrológica; PC= Pádua Cheias; PES = Pádua Estiagem Severa; PNH= Pádua Normalidade Hidrológica

Fonte: o autor

Os principais riscos ao sistema de captação são as cheias em Santo Antônio de Pádua, os outros riscos são aceitáveis reforçando a alta disponibilidade hídrica local.

### 5.3.2 Análise Qualidade da Vulnerabilidade do Sistema de Tratamento

A Análise Qualitativa dos sistemas de Tratamento considera os fatores de maior impacto no sistema de tratamento e na garantia do fornecimento de água em qualidade para o abastecimento urbano.

Figura 59 - Matriz de Vulnerabilidade do Sistema de Tratamento

Matriz de Vulnerabilidade				
Sensibilidade / Adaptação	Alta		AAA PAA MAA	
	Média		ANH AES AC	
	Baixa		PES PNH PC MÊS MNH MC	
		Baixa	Média	Alta
		Exposição		

Vulnerabilidade	
	Alta
	Média
	Baixa

AAA- Aperibé Acidente Ambiental ;AC - Aperibé Cheias ; AES - Aperibé Estiagem Severa;  
 ANH - Aperibé Normalidade Hidrológica; MAA - Miracema Acidente Ambiental; MC -  
 Miracema Cheias; MES - Miracema Estiagem Severa; MNH - Miracema Normalidade  
 Hidrológica; PAA -Pádua Acidente Ambiental; PC Pádua Cheias; PES - Pádua Estiagem

Fonte: o autor

De acordo com a matriz de consolidação dos riscos associados o parâmetro mais crítico que poderia ocorrer em um cenário de acidente ambiental a ETA não teria capacidade de tratamento e de melhora na qualidade da água para consumo humano.

## 6. CONCLUSÃO

A dissertação teve por objetivo analisar a segurança hídrica sob a ótica da disponibilidade de água bruta, em quantidade e qualidade para o abastecimento das sedes urbanas, a capacidade de adaptação e a sensibilidade dos sistemas de abastecimento e captação perante as ameaças e exposição aos estressores climáticos e não climáticos analisados no modelo conceitual. O modelo desenvolvido entre maio de 2016 e junho de 2017 no âmbito do Grupo de Pesquisa “Água, Gestão e Segurança Hídrica em tempos de Mudanças Ambientais Globais”, sob a coordenação da Prof. Rosa Formiga, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ/FEN/DESMA), conseguiu expressar em resultados quali-quantitativos essa vulnerabilidade com uma avaliação de riscos aplicada aos municípios fluminenses da bacia do Rio Pomba.

A análise qualitativa evidenciou uma boa capacidade adaptativa dos sistemas de abastecimento municipais (ETAs e sistemas de captação), uma vez que os impactos dos eventos climáticos severos nos últimos anos não impactaram a captação nem o tratamento da água bruta. Cabe ressaltar que, a montante dos pontos de captação dos municípios estudados, nas captações nos rios Bagres e Paraopeba, existem conflitos de uso e a vazão outorgável está muito próxima da demanda de água. No entanto, este trecho de montante não influencia as captações nos municípios fluminenses da bacia.

Os acidentes ambientais associados às atividades de mineração na Bacia também apresentam um risco elevado para o abastecimento e a captação de água bruta, com uma barragem sem garantia de estabilidade definida por auditor, a montante dos pontos de captação. Com o desastre de Mariana-MG de alta magnitude, danos irreversíveis, imensuráveis ao meio ambiente, economia e a população é de vital importância que esses acidentes sejam evitados ou que pelo menos essas barragens com pouca garantia de estabilidade com rejeito sejam esvaziadas para que em caso de rompimento o impacto seja minimizado.

Quanto aos eventos climáticos extremos, evidenciou-se sua ocorrência frequente na bacia do rio Pomba, principalmente enchentes e secas frequentes de alto impacto. No entanto, funcionários dos serviços de água afirmam que

estes extremos não têm impactado nem a captação nem o tratamento de água nos três municípios analisados, pois estes dispõem de adaptações (por exemplo, sistemas que permitem mudar a seção de captação do rio).

No tocante à gestão de demanda, os índices utilizados para avaliação da demanda o  $I_{eh}$  estão dentro das faixas recomendadas e consideradas boas, o que não significa que as unidades de planejamento hidrográfico não precisam de ações relacionadas a mitigação de riscos associados a esse estressor. Existem conflitos registrados na região do córrego de Bom Jardim em Santo Antônio de Pádua e em outras regiões adjacentes a bacia do Rio Pomba. Ainda foram relatados conflitos e paralisações no serviço nas regiões de Portela no município de Itaocara.

Apesar de trechos dos rios da Bacia terem pontos com qualidade comprometida em relação ao enquadramento, constatou-se que a água do Rio Pomba, nos pontos de captação, é suficientemente adequada ao nível de tratamento dos sistemas de abastecimento dos municípios analisados. Ressalte-se, porém, que a situação ainda é longe do ideal com regiões com altos desvios de indicadores de qualidade da água estabelecidos na resolução CONAMA 357/05.

Globalmente, os riscos associados aos diversos estressores analisados no modelo conceitual refletem grande ameaças à disponibilidade de água bruta na região da bacia hidrográfica do Rio Pomba (municípios de Santo Antônio de Pádua, Miracema e Aperibé). Contudo, o Rio Pomba apresenta baixa demanda de água, baixa densidade populacional, grande disponibilidade de água e um sistema de captação e tratamento de água adaptado para operar em situações adversas não sendo impactado, apesar das severas pressões relacionadas aos estressores de água bruta (pressão sobre a qualidade de água, pressão de demanda e eventos climáticos extremos).

As condições ambientais da Bacia do Rio Pomba se mostraram um estressor com risco alto e maior pressão associada à disponibilidade de água bruta, em qualidade e quantidade, para o abastecimento das sedes urbanas, reflexo do desmatamento e falta de cobertura vegetal na Bacia do Rio Pomba.

Os acidentes ambientais com barragens de rejeito têm baixa probabilidade de ocorrência, mas, se ocorrerem, serão de grande severidade.

### **6.1 Sugestão de estudos futuros**

Este estudo – por ser parcialmente baseado em análises qualitativas de risco – tem uma parcela razoável de subjetividade. Sua robustez seria muito maior se fosse validado por um painel de especialistas.

Sugere-se, ainda, que estudos futuros pudessem remeter a avaliação da ferramenta de avaliação ambiental estratégica com uma análise de risco quantitativa e mais robusta para a mensuração de riscos e detecção das oportunidades e ameaças, contribuindo para a melhoria da gestão integrada de recursos hídricos.

Um estudo importante é a avaliação dos impactos da Usina Hidrelétrica de Barra do Braúna (MG) sobre a qualidade das águas do Rio Pomba, uma vez que foi relatado a proliferação recorrente de cianobactérias na região desde sua implantação.

Outro estudo a ser aplicado na bacia do Rio Pomba poderia ser uma modelagem da disponibilidade hídrica em extremos climáticos de seca de precipitação extrema, consistindo uma previsão confiável dos desafios a serem enfrentados pelos na gestão ambiental em um futuro próximo.

Seria desejável avaliar a segurança do abastecimento mediante modelagem dos eventuais impactos e avanço da pluma de contaminação em caso de rompimento das barragens de rejeito de mineração e o estudo consequente de alternativas de captação e tratamento de água.

## REFERÊNCIAS

Adger, W.N. *Vulnerability. Global Environmental Change*, v.16. n.3, p. 268–281.2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Diagnóstico e prognóstico do plano de recursos hídricos da bacia do Rio Paraíba do Sul*: PGRH-RE-09-R1. Brasília: ANA, 2001. Disponível em: <<http://www.hidro.ufrj.br/pgrh/pgrh-re-009-r1/pgrh-re-009-r1-cap13.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

AGEVAP; *Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Resumo-Caderno de Ações do Rio Pomba*. 2007.

AGEVAP; *RELATÓRIO TÉCNICO - BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL - SUBSÍDIOS ÀS AÇÕES DE MELHORIA DA GESTÃO*. 2011. Disponível em <<http://www.agevap.org.br/downloads/Relatorio%20Geral%20versao%20para%200site%2029dez11.pdf>>. Acessado em 2 de fevereiro de 2015.

Alves, V. B. S. et al. *Impactos do acidente na Indústria de Papel e Celulose Cataguases, no Rio Paraíba do Sul*. Educação Pública. Fundação Cecierj. 2013. Disponível em: <<http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/meioambiente/0040.html>> Acessado em 10 de novembro de 2015.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Portal de qualidade das águas – Indicadores de qualidade – Índices de qualidade das águas*, 2009. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>. Acesso em: 19 de junho de 2013.

ANA (Agência Nacional de Águas); *Termo de Referência PLANO NACIONAL DE SEGURANÇA HÍDRICA – CRITÉRIOS, SELEÇÃO E DETALHAMENTO DE INTERVENÇÕES ESTRATÉGICAS*. Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica, Ministério da Integração Nacional. 2013. Brasília.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil – 2012*. Brasília: ANA, 2012.

ANA. *AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE NOVAS TRANSPOSIÇÕES DE VAZÃO NO RIO PARAÍBA DO SUL R4: DEMANDAS DE USO DA ÁGUA CONSUNTIVOS E NÃO CONSUNTIVOS*. 2013.

Anne V. W.; Ian B. *Institute for Environmental Studies, University of Toronto, Canada. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions (ICSU) in collaboration with the United Nations Environment Programme*. Disponível em <[http://dgc.stanford.edu/SCOPE/SCOPE\\_15/SCOPE\\_15.html](http://dgc.stanford.edu/SCOPE/SCOPE_15/SCOPE_15.html)>. Acessado em 17 de abril de 2015.

BRASIL, Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. *Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional*. Publicado no D.O.U.

CEIVAP: *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e Planos de Ação de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes. Relatório diagnóstico- Tomo III.* 2014.

CEIVAP; *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e Planos de Ação de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes. Relatório diagnóstico- Tomo I.* 2014.

CEIVAP; *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e Planos de Ação de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes. Relatório diagnóstico- Tomo II.* 2014.

CERH-MG, *Deliberação Normativa CERH/MG nº 49*, de 25 de março de 2015.  
CETESB. NORMA P4.261 -*Manual de orientação de estudos para a análise de riscos.* São Paulo. 2003.

CETESB. *Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem.* Série Relatórios. Apêndice A. Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. 2009. Disponível em: < <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf> >. Acessado em 10 de janeiro de 2017.

CGEE; BANCO MUNDIAL. *Secas no Brasil Política e gestão proativas. Vida e seca no Brasil.* 2016 disponível em: <[https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/seca\\_brasil-web.pdf](https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/seca_brasil-web.pdf)>. Acessado em 3 de abril de 2017.

CHAPMAN, C.B.; Cooper, D.F. (1983). Risk engineering: Basic controlled interval and memory models. *Journal of the Operational Research Society*, v.34, n.1, p. 51-60.

COSO (*Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission*). *Enterprise Risk Management - Integrated Framework.* v.2. 2004. Disponível em <<http://www.coso.org/erm-integratedframework.htm>>. Acessado em 17 de agosto de 2016.

Cox, A. *What is water security? An international perspective.* Head, Climate, Biodiversity and Water Division Environment Directorate. OCDE. WRRRC Conference “Water Security from the Ground Up” Tucson, Arizona. 2013.

Eakin, H., Luers, A.L., Assessing the vulnerability of social-environmental systems. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 31, p365–394, 2006.

ENGLE, N.; LEMOS, M. C. *Capacidade de adaptação às mudanças climáticas e gerenciamento de recursos hídricos no nordeste brasileiro: estudo preliminar.* São Paulo: SBRH, 2007.

Engle, N. L., Adaptive capacity and its assessment. *Global Environmental Change*, v.21 p.647–656, 2011.

EPA. *Definição de Risco*. Disponível em <<https://www.epa.gov/risk/about-risk-assessment>>. Acessado em 13 de janeiro de 2016.

FERNANDES, R. J. A., R. *Instrumentos para a Avaliação da Sustentabilidade Hídrica em Regiões Semiáridas*. 2002. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia. São Paulo.

FILHO, G. R. de. *Análise dos Impactos Sócio-Ambientais da Organização do Espaço Industrial de Cataguases*. Dissertação (Mestrado em Geografia – Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal Fluminense, Niterói: UFF, 2006.

FORMIGA-JOHNSSON, R. M.; MELO, M. C DE; RABELO, P.; e DIAS, M.A.F. *Esquema conceitual e metodológico para avaliação de segurança hídrica de sistemas de abastecimento público*. Rio de Janeiro: UERJ, 2016.

FORMIGA-JOHNSSON, R.M.; MELO, M. C.; BERNARDELI, M.A.F.; e SILVA, P. R. DA. *Modelo conceitual e metodológico para análise qualitativa da segurança hídrica no abastecimento público de áreas urbanas*. Relatório final do Grupo de Pesquisa “Água, Gestão e Segurança Hídrica em tempos de Mudanças Ambientais Globais” Rio de Janeiro, 2017.

G1 (site de notícias do Grupo Globo). Fotos da Barragem rompida em Cataguases. Disponível em <<http://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2015/11/em-cataguases-barragem-rompida-foi-desativada-apos-acidente-em-2003.html>>. Acessado em 10 de janeiro de 2016.

Gallopín, G.C., 2003. Box 1. *A systemic synthesis of the relations between vulnerability, hazard, exposure and impact, aimed at policy identification In: Economic Commission for Latin American and the Caribbean (ECLAC). Handbook for Estimating the Socio-Economic and Environmental Effects of Disasters*. ECLAC, LC/MEX/G.S., Mexico, D.F., p. 2–5

Gallopín, G.C., 2006. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, n.16, p. 293–303.

GLEICK, P.H. Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. *Water International*, v. 21, n. 2, p. 83-92, 1996.

GWP (Global Water Partnership). *Increasing Water Security A Development Imperative*. 2012.

IBGE. IDHM. Disponível em <[http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/o\\_atlas/idhm/](http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/o_atlas/idhm/)> Acessado em 10 de abril de 2015.

IBGE. *Shapefiles de divisões territoriais e dados populacionais do Brasil*. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/> >. Acessado em 16 de maio de 2015.

IGAM, Dados de Qualidade da água. Disponível em <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/>>. Acessado em 10 de abril de 2017.

INEA (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE-RJ) *Lista de indicadores de qualidade de água: IQANSF*. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mde0/~edisp/inea0014751.pdf>>. Acesso em: 04 de agosto de 2016.

Jonhson; R.M.F. *Crise e Segurança Hídrica no Estado do Rio de Janeiro*. 2015.

KOLLURU, R. *Risk Assessment and Management: a Unified Approach*. In: Kolluru, R.; Bartell, S.; Pitblado, R.; Stricoff, S. *Risk Assessment and Management Handbook: for Environmental, Health and Safety Professionals*. Boston, Massachusetts: McGraw Hill. cap. 1, p. 1.3 - 1.41. 1996.

LIMA, Gilson B.A. *Uma Abordagem Multicritério para a Avaliação do Grau de Risco dos Ramos de Atividade Econômica*. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2001.

MCNULTY, S. N., *et al.* Impacts of impervious cover, water withdrawals, and climate change on river flows in the conterminous US. *Hydrology and Earth System Science, Munich*, v.16, n.8, p. 2839-2857, 2010.

MELO *et al*, Joelma. R. de. *Estudo das Características do Licor Negro*. 5º Encontro de Engenharia & Tecnologia de Campos Gerais. 2010.

MELO, M. C. de. *SEGURANÇA HÍDRICA PARA ABASTECIMENTO DE ÁREAS URBANAS: Proposta de um modelo analítico e sua aplicação na Bacia do rio das Velhas, MG*. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia apresentado ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2016.

MELO, M. C. de. *Segurança Hídrica. Encontro Nacional de Comitês de Bacia Hidrográfica*. Caldas Novas. 2015.

NOGUEIRA, M. A. R. B. *Variabilidade Climática, Disponibilidade Hídrica e ETA Ghandu: Uma análise Qualitativa de Vulnerabilidade*. Dissertação Mestrado em Engenharia Ambiental – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2011.

OCDE. *Studies on Water. Water Security for better lives*. 2013 Disponível em: <[dx.doi.org](http://dx.doi.org/)>. Acesso em 30 de maio de 2016.

OECD. *OECD Environmental Outlook to 2050: the Consequences of Inaction.* , 2012. Disponível em <<http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/oecdenvironmentaloutlookto2050theconsequencesofinaction.htm>> . Acessado em 17 de março de 2015.

OECD. *Moving toward a working definition of adaptive capacity. Global Environmental. OECD DEVELOPMENT CENTRE Working Paper No. 237 NATURAL DISASTERS AND ADAPTIVE CAPACITY* by Jeff Dayton-Johnson Research programme on: Market Access, Capacity Building and Competitiveness. 2004.

PEREIRA, D. dos R. *Simulação Hidrográfica na Bacia do Rio Pomba utilizando o Modelo SWAT*, 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola Programa de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Rio de Janeiro) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Minas Gerais: UFV, 2013.

RABER, W.; JOHNS, O; NOGUEIRA, M. A. R. B. *Assessing vulnerability of domestic water supply towards climate variability in major river basins of the state Rio de Janeiro, Brazil. Relatório de pesquisa. Projeto Variabilidades e mudanças climáticas & abastecimento urbano de água no Estado do Rio de Janeiro: impactos, vulnerabilidade e capacidade de adaptação.* Rio de Janeiro, 2010.

RASKIN, P. H. *et. al. Water Futures: Assessment of Long-range Patterns and Prospects* - Estocolmo: Stockholm Environment Institute, 1997.

RIBEIRO, R. da S.. *BACIA DO RIO POMBA (MG): USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E IMPACTOS AMBIENTAIS NOS RECURSOS HÍDRICOS*, 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola Programa de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Goiás) – Universidade Federal de Goiás: UFG, 2014.

RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETTO, J.M. de. *Tratamento de água: tecnologia atualizada.* São Paulo, Edgard Blücher, 1991.

Rijsberman, F.R., *Water scarcity: fact or fiction?. Agricultural Water Management.* v. 80, p.5–22, 2006.

SANDERS, M.S.; McCORMICK, E. J. *Human Error, Accidents, and Safety.* In: SANDERS, M.S.; McCORMICK, E. J. *Human Factors in Engineering and Design.* 7<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 1993. chap. 20, p. 655 - 695.

SHINAR, D., GURION, B.; FLASCHER, O. M. *The Perceptual Determinants of Workplace Hazards. Proceedings of the Human Factors Society: 35<sup>th</sup> Annual Meeting,* São Francisco, California: v.2, p. 1095 - 1099,1991.

SIGA-CEIVAP. *Shapefiles da bacia do Rio Paraíba do Sul.* Disponível em <<http://sigaceivap.org.br/siga-ceivap/map#>> . Acessado em 15 de maio de 2015.

SIGEL. *Shapefiles de localização dos Empreendimentos Elétricos no Brasil.* Disponível em <<https://sigel.aneel.gov.br/Down/>> . Acessado em 16 de maio de

2015.

SPERLING, M. V. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. v.1. 3ª ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.

TUCCI, C.E.M. *Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica*. Ministério do Meio Ambiente. 2006. Brasília.

UN, 2012. *World Urbanisation Prospects e the 2011 Revision*. Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm>>. Acessado em 10 de agosto de 2015.

UNESCO-IHE, 2009. *Research Themes. Water Security*. Disponível em: <<http://www.unesco-ihe.org/Research/Research-Themes/Water-security> > Acessado em 10 de agosto de 2015.

United Nations University. *Water Security & the Global Water Agency: A UN-Water Analytical Brief*. Nova Iorque.2013.

Veiga, M.W. A *et al.* Gestão qualitativa dos recursos hídricos. Proposta metodológica para o planejamento de uma rede de estações para monitoramento da qualidade de águas superficiais. Estudo de caso: bacia hidrográfica do Rio Muriaé. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 2016.

Vorosmarty, C. *et al.* Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science* v.289, p. 284–288, 2000.

YOHE, G. E. TOL, R. S. Indicators for social and economic coping capacity—moving toward a working definition of adaptive capacity. *Global Environmental Change*, v. 12, n. 1, p. 25–40, 2002.

## ANEXO I – QUESTIONÁRIO ENCAMINHADO A CEDAE E ÁGUAS DE PÁDUA<sup>2</sup>

### QUESTIONÁRIO

Objetivo: Coletar informações que permitam analisar a segurança hídrica do abastecimento municipal face a estressores relacionados a quantidade e qualidade de água bruta.

#### I. IDENTIFICAÇÃO

Declarante:

Instituição:

Função:

E-mail:

Tel / Fax:

#### I. MANANCIAL DE ABASTECIMENTO E VAZÃO DE CAPTAÇÃO

Quantas são as captações?

---

Qual o (s) corpo (s) d'água onde são realizadas as captações?

---

Qual a vazão de captação em cada ponto? (em l/s)

---

#### II. ASPECTOS OPERACIONAIS/ CARACTERÍSTICAS DA ETA

Como é o sistema de captação da água?

( ) Extração de água subterrânea

( ) Fio d'água (diretamente nos rios sem barramento)

( ) Com barramento

( ) Outros \_\_\_\_\_

Qual é a tecnologia de tratamento utilizada pela Estação de Tratamento de Água?

---

<sup>2</sup> Adaptado de Nogueira (2011).

- ( ) Tratamento com simples desinfecção (cloração)  
( ) Tratamento simplificado (fluoretação)  
( ) Tratamento convencional (floculação, decantação, filtração, correção de pH, desinfecção (cloração) e fluoretação)  
( ) Tratamento avançado: clarificador de contato, pré-oxidação, flotação, centrifugação, membranas filtrantes.  
( ) Outros \_\_\_\_\_

Qual é a capacidade total de tratamento de água da ETA?

\_\_\_\_\_

### III. QUALIDADE DE ÁGUA

Existe monitoramento de qualidade da água pelo serviço de abastecimento público?

- ( ) Sim  
( ) Não

Qual a frequência do monitoramento?

\_\_\_\_\_

Principais parâmetros avaliados:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

IV. Preencha o quadro abaixo, para os últimos 10 anos, com as seguintes informações referentes à captação de água e operação da Estação de Tratamento de Água:

- Mês de cada paralisação.
- Tempo de duração de cada paralisação.
- Intensidade de cada paralisação (Total ou Parcial)
- O motivo de cada paralisação

1. Problemas técnicos
- 2- Estiagem / Seca

- 3- Chuvas Intensas
- 4- Inundações / Cheias
- 5- Poluição por esgoto doméstico
- 6- Poluição oriunda do lançamento de efluentes industriais
- 7- Poluição acidental de fontes móveis
- 8- Poluição acidental de fontes fixas
- 9- Contaminação por agrotóxicos
- 10- Sólidos em suspensão
- 11- Sedimentos / Assoreamentos
- 12- Outros.

Exemplo:

**ANO 2014**

Paralisação	Mês	Tempo	Intensidade	Motivos
1	Março	10 dias	Parcial	3

\*Caso tenha algum evento extremo com impacto sobre a captação e operação da ETA fora do intervalo, agradecemos pela indicação.

V. Sobre a estiagem severa de 2014, 2015 e 2016:

Durante o período de 2014, 2015 e 2016, a vazão de captação da ETA foi atendida integralmente?

( ) Sim

( ) Não

Caso a resposta seja negativa, qual foi o déficit de captação?

---

Durante esse período, a captação teve que ser interrompida em função da estiagem?

---



---

Qual foram os meses mais críticos, em relação à quantidade e qualidade de água, nos anos de 2014, 2015 e 2016?

---



---

Ocorreram conflitos com usuários de montante ou jusante que captam no mesmo manancial?

---



---

## VII. ESTUDOS EXISTENTES

Se possível, indicar estudos existentes sobre os impactos dos diversos fatores citados como possível causa da paralisação na ETA.