UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ANA PAULA CALMON SANTOS
JOSELINE CORRÊA SOUZA

ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE ENQUADRAMENTO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM SOB A ÓTICA DO SETOR DE SANEAMENTO BÁSICO

VITÓRIA
2012

ANA PAULA CALMON SANTOS

JOSELINE CORRÊA SOUZA

ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE ENQUADRAMENTO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM SOB A ÓTICA DO SETOR DE SANEAMENTO BÁSICO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental apresentado à Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental sob orientação do prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis.

VITÓRIA

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE ENQUADRAMENTO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM SOB A ÓTICA DO SETOR DE SANEAMENTO BÁSICO

ANA PAULA SANTOS CALMON
JOSELINE CORRÊA SOUZA

Prof. **José Antônio Tosta** dos Reis
Orientador – DEA/CT/UFES

Maria Helena Alves
Examinadora Externa

Prof. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça
Examinador Interno – DEA/CT/UFES

Vitória, 05 de Julho de 2012.

DEDICATÓRIA

Aos nossos pais que são a razão de nossa existência e os alicerces de nossas conquistas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos pais e irmãos pelo suporte, amizade, incentivo e carinho fundamentais para a execução desse trabalho.

Aos nossos amigos, namorado e familiares que nos incentivaram e souberam compreender as nossas ausências.

Aos nossos professores que nos conduziram na jornada pelo conhecimento, e a todos que contribuíram e contribuem para que essa jornada seja possível.

A todas as concessionárias prestadoras de serviço de água e esgoto e colaboradores que contribuíram para este trabalho subsidiando-nos com informações.

Ao nosso orientador, que fez jus ao sentido pleno dessa palavra, por sua dedicação, presteza, apoio e compreensão – aqui expressamos o nosso muito mais que obrigada.

EPÍGRAFE

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

O crescimento populacional estabelece maior demanda por recursos hídricos, assim como elevação da quantidade de esgotos domésticos produzidos. Objetivando a manutenção da disponibilidade de água, tanto em termos de quantidade como de qualidade, às gerações atuais e futuras, a Política Nacional de Recursos Hídricos estabeleceu uma série de instrumentos para o gerenciamento dos recursos hídricos de todo território nacional. Dentre eles se destaca o enquadramento, que define os usos pretendidos para os recursos hídricos e o nível de qualidade relacionado a cada uso. Considerando a relevância do enquadramento como instrumento de gestão, o presente trabalho teve como objetivo avaliar cenários de enquadramento para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim considerando o setor de saneamento básico como único gerador de cargas poluidoras na bacia. Para composição dos diferentes cenários de enquadramento foram estabelecidos quatro panoramas de tratamento associados a distintas eficiências de remoção de DBO e a diferentes horizontes de tempo (2012, 2020 e 2030). A bacia hidrográfica do rio Itapemirim foi dividida em nove subbacias, para as quais foram determinadas, a partir de curvas de permanências regionalizadas, as vazões associadas ao intervalo de permanências de 50% a 95%. A partir das referidas curvas foram produzidas curvas de permanência de qualidade correspondentes às cargas associadas às Classes de enquadramento 1, 2 e 3. A sobreposição das curvas de qualidade e cargas remanescentes totais correspondentes aos diferentes cenários propiciou a apropriação da permanência em cada classe de enquadramento das subbacias analisadas. A comparação entre a carga remanescente total destinada para cada subbacia com as respectivas cargas associadas a cada classe de qualidade permitiu estimar a carga remanescente total a ser tratada e a capacidade de diluição dos corpos d'água. Uma vez determinada a carga remanescente a ser tratada para se alcançar um cenário de enquadramento desejado foi possível, através de funções de custos, apropriar os investimentos que eventualmente seriam necessários para se atingir um nível de qualidade desejado. Os resultados permitiram indicar a compatibilidade entre as condições de qualidade dos corpos d'água da bacia do rio Itapemirim e os padrões de qualidade ambiental e, adicionalmente, sugerem que a

metodologia considerada para a condução do presente trabalho pode ser utilizada para subsidiar decisões acerca do enquadramento dos corpos d’água superficiais.

Palavra chave: Enquadramento. Saneamento ambiental. Qualidade de água. Esgoto doméstico.

ABSTRACT

Population growth increases water resources demands and wastewater production. Aiming at preserving availability of water, both in terms of amount and quality, to the actual and future generations, the Política Nacional de Recursos Hídricos (Water Resources National Policy) established a series of instruments for management of water resources in Brazil. Among these instruments, is the definition of water classes bases on intended uses. This instrument defines the intended water uses and the quality levels related to each use. Taking into account the relevance of water classification as a management instrument, this work has as its main objective the evaluation of scenarios for the Itapemirim river hydrographic basin water courses classification, considering sanitation sector as the unique pollution source. To compose the different scenarios, four treatment conditions related to different DBO removal efficiencies and timelines (2012, 2020 e 2030) were assumed. The Itapemirim river watershed was divided into nine sub-basins. For each of these, flows associated to the permanence interval of 50% to 95% were determined from regionalized permanence curves. From these curves, quality permanence curves correspondent to Classes 1, 2 and 3 associated pollution charges were produced. The overlapping of quality and total remaining charges curves related to the different scenarios provided the permanence appropriation in each class for the evaluated sub-basins. The total remaining charge for each sub-basin with its related charges associated to each class comparison, allowed the estimation of the total remaining charge to go under treatment and water bodies dilution capacities. Once established the remaining charge to go under treatment for reaching the desired scenario, it was possible, through costs functions, to estimate the necessary investments in order to obtain the required quality level. The results allowed the analysis of the compatibility between water bodies quality conditions and environmental quality standards. Additionally, it is concluded that the work methodology can be used to help decisions about definition of classes for surface water bodies quality definition of classes.

Keywords: Squaring. Environmental sanitation. Water quality. Domestic sewage.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Registro de Dados Hidrológicos do Período Comum das Estações Fluviométricas 59

Tabela 2 - Área de drenagem contribuinte para cada subbacia.....63

Tabela 3 - Valores observados e estimados da vazão Q_{50} para as estações fluviométricas selecionadas.....80

Tabela 4 - Valores observados e estimados da vazão Q_{95} para as estações fluviométricas selecionadas.....80

Tabela 5 - Equações das curvas de permanência de vazões regionalizadas no trecho de 50% a 95% para as estações fluviométricas selecionadas. 81

Tabela 6 - Vazões específicas estimadas (Q_{50R} e Q_{95R}) para as subbacias 83

Tabela 7 - Equações das curvas de permanência de vazões regionalizadas, de 50% a 95% 83

Tabela 8 - Cargas remanescentes totais originadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 1.....85

Tabela 9 - Cargas remanescentes totais originadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 2.....86

Tabela 10 - Cargas totais remanescentes originadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 3.....87

Tabela 11 - Cargas totais remanescentes originadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 4.....88

Tabela 12 - Cargas totais remanescentes destinadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 1.....98

Tabela 13 - Cargas totais remanescentes destinadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 2.....99

Tabela 14 - Cargas totais remanescentes destinadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 3.....100

Tabela 15 - Cargas totais remanescentes destinadas nas subbacias avaliadas considerando o panorama 4 101

Tabela 16 - Probabilidade de compatibilidade com as diferentes classes de enquadramento 104

Tabela 17 - Cargas remanescentes a serem tratadas por subbacia, de acordo com a população a ser atendida 107

Tabela 18 - Investimentos necessários para se alcançar o enquadramento (Classes 1, 2 e 3), relativo ao panorama 1, por subbacia, considerando o sistema de tratamento 'UASB + BAS' para atendimento das populações rural e urbana..... 108

Tabela 19 - Investimentos necessários para alcançar o enquadramento (Classes 1, 2 e 3), relativo ao panorama 1, por subbacia, considerando o sistema de tratamento 'UASB + BAS' para atendimento da população rural e 'LODOS$_{AC}$' para atendimento da população urbana..... 108

Tabela I.1 - Populações rural e urbana por subbacia 121

Tabela IX.1 - Investimentos necessários para alcançar o enquadramento (Classes 1, 2 e 3), relativo ao panorama 1, por subbacia, considerando o sistema de tratamento 'UASB + BAS' para atendimento da população rural e urbana 167

Tabela IX.2 - Investimentos necessários para alcançar o enquadramento (Classes 1, 2 e 3), relativo ao panorama 1, por subbacia, considerando o sistema de tratamento 'UASB + BAS' para atendimento à população rural e 'LODOS$_{AC}$' para atendimento à população urbana 168

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Concessionárias de água e esgoto existentes na bacia hidrográfica do rio Itapemirim e os respectivos municípios atendidos 55

Quadro 2 - Série histórica das 15 estações pré-selecionadas 59

Quadro 3 - Identificação e localização das estações fluviométricas da bacia do rio Itapemirim.....60

Quadro 4 - Origem e destino das cargas totais remanescentes de DBO nas subbacias 71

Quadro 5 - Matriz representativa dos cenários de enquadramento.....73

Quadro 6 - Funções de custo de implantação de sistemas de tratamento de esgoto 76

Quadro 7 – Alternativas de tratamento da carga remanescente a ser tratada 76

Quadro A.1 - Dados fornecidos pelas concessionárias que prestam serviço de esgotamento sanitário para municípios da bacia hidrográfica do rio Itapemirim 120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de permanência de vazão e tempo percentual em que a vazão Q_t foi igualada ou excedida.....48

Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do rio Itapemirim no estado do Espírito Santo.....54

Figura 3 - Divisão por subbacia da porção da bacia hidrográfica do rio Itapemirim situada no Estado do Espírito Santo 56

Figura 4 - Localização das estações fluviométricas selecionadas na porção capixaba da bacia do rio Itapemirim 58

Figura 5 - Representação das áreas contribuintes consideradas na construção das curvas de permanência das diferentes subbacias.....64

Figura 6 - Representação esquemática da origem e do destino das cargas.....71

Figura 7 - Parcelas da carga remanescente a ser tratada 74

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (trecho entre 50% e 95% de permanência) para a estação Terra Corrida - Montante (57370000) 81

Gráfico 2 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas, entre 50% a 95% de permanência, para a estação Terra Corrida – Montante (57370000) 82

Gráfico 3 - Relação entre as cargas originadas nas subbacias, de acordo com o panorama 1 85

Gráfico 4 - Relação entre as cargas originadas nas subbacias, de acordo com o panorama 2 86

Gráfico 5 - Relação entre as cargas originadas nas subbacias, de acordo com o panorama 3 87

Gráfico 6 - Relação entre as cargas originadas nas subbacias, de acordo com o panorama 4 88

Gráfico 7 - Contribuições das subbacias para a carga remanescente total gerada na bacia do rio Itapemirim em 2012. 96

Gráfico 8 - Contribuições das subbacias para a carga remanescente total gerada na bacia do rio Itapemirim estimadas para 2020.....96

Gráfico 9 - Contribuições das subbacias para a carga remanescente total gerada na bacia do rio Itapemirim estimadas para 2030.....96

Gráfico 10 - Relação entre as cargas destinadas nas subbacias, de acordo com o panorama 1 98

Gráfico 11 - Relação entre as cargas destinadas nas subbacias, de acordo com o panorama 2 99

Gráfico 12 - Relação entre as cargas destinadas nas subbacias, de acordo com o panorama 3 100

Gráfico 13 - Relação entre as cargas destinadas nas subbacias, de acordo com o panorama 4 101

Gráfico 14 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento da subbacia Foz do Rio Itapemirim (SB9) para o ano de 2012 102

Gráfico 15 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcela das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2012. 105

Gráfico 16 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 2 e ano 2012 106

Gráfico II. 1 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Usina Fortaleza (57350000) 124

Gráfico II. 2 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Terra Corrida - Montante (57370000) 124

Gráfico II. 3 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Itaici (57400000) 125

Gráfico II. 4 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Ibitirama (57420000) 125

Gráfico II. 5 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Rive (57450000) 126

Gráfico II. 6 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Usina São Miguel (57550000) 126

Gráfico II. 7 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Coutinho (57555000) 127

Gráfico II. 8 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Usina Paineiras (57580000) 127

Gráfico III. 1 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Braço Norte Direito (SB1), ano 2012 128

Gráfico III. 2 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Pardinho (SB2), ano 2012 128

Gráfico III. 3 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Braço Norte Esquerdo (SB3), ano 2012 129

Gráfico III. 4 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia córrego Lambari Frio (SB4), ano 2012 129

Gráfico III. 5 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Castelo (SB5), ano 2012 130

Gráfico III. 6 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia ribeirão Vala do Souza (SB6), ano 2012 130

Gráfico III. 7 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia córrego Coqueiro (SB7), ano 2012 131

Gráfico III. 8 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Muqui do Norte (SB8), ano 2012 131

Gráfico III. 9 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia Foz do rio Itapemirim (SB9), ano 2012 132

Gráfico IV. 1 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Braço Norte Direito (SB1), ano 2020 133

Gráfico IV. 2 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Pardinho (SB2), ano 2020 133

Gráfico IV. 3 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Braço Norte Esquerdo (SB3), ano 2020 134

Gráfico IV. 4 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia córrego Lambari Frio (SB4), ano 2020 134

Gráfico IV. 5 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Castelo (SB5), ano 2020 135

Gráfico IV. 6 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia ribeirão Vala do Souza (SB6), ano 2020 135

Gráfico IV. 7 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia córrego Coqueiro (SB7), ano 2020 136

Gráfico IV. 8 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Muqui do Norte (SB8), ano 2020 136

Gráfico IV. 9 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia Foz do rio Itapemirim (SB9), ano 2020 137

Gráfico V. 1 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Braço Norte Direito (SB1), ano 2030 138

Gráfico V. 2 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Pardinho (SB2, ano 2030 138

Gráfico V. 3 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Braço Norte Esquerdo (SB3), ano 2030 139

Gráfico V. 4 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia córrego Lambari Frio (SB4), ano 2030 139

Gráfico V. 5 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Castelo (SB5), ano 2030 140

Gráfico V. 6 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia ribeirão Vala do Souza (SB6), ano 2030 140

Gráfico V. 7 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia córrego Coqueiro (SB7), ano 2030 141

Gráfico V. 8 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Muqui do Norte (SB8), ano 2030 141

Gráfico V. 9 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia Foz do rio Itapemirim (SB9), ano 2030 142

Gráfico VI. 1 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2012, considerando o Panorama 1.....143

Gráfico VI. 2 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2012, considerando o Panorama 1.....143

Gráfico VI. 3 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2012, considerando o Panorama 1.....143

Gráfico VI. 4 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 1 e ano 2012 144

Gráfico VI. 5 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 2 e ano 2012 144

Gráfico VI. 6 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 3 e ano 2012 144

Gráfico VI. 7 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2012, considerando o Panorama 2.....145

Gráfico VI. 8 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2012, considerando o Panorama 2.....145

Gráfico VI. 9 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2012, considerando o Panorama 2.....145

Gráfico VI. 10 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 1 e ano 2012 146

Gráfico VI. 11 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 2 e ano 2012 146

Gráfico VI. 12 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 3 e ano 2012 146

Gráfico VI. 13 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2012, considerando o Panorama 3.....147

Gráfico VI. 14 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2012, considerando o Panorama 3.....147

Gráfico VI. 15 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2012, considerando o Panorama 3.....147

Gráfico VI. 16 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 1 e ano 2012 148

Gráfico VI. 17 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 2 e ano 2012 148

Gráfico VI. 18 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 3 e ano 2012 148

Gráfico VI. 19 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2012, considerando o Panorama 4.....149

Gráfico VI. 20 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2012, considerando o Panorama 4.....149

Gráfico VI. 21 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2012, considerando o Panorama 4.....149

Gráfico VI. 22 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 1 e ano 2012 150

Gráfico VI. 23 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 2 e ano 2012 150

Gráfico VI. 24 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 3 e ano 2012 150

Gráfico VII.1 - Capacidades de diluição do corpo d’água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2020, considerando o Panorama 1.....151

Gráfico VII.2 - Capacidades de diluição do corpo d’água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2020, considerando o Panorama 1.....151

Gráfico VII.3 - Capacidades de diluição do corpo d’água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2020, considerando o Panorama 1.....151

Gráfico VII.4 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 1 e ano 2020 152

Gráfico VII.5 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 2 e ano 2020 152

Gráfico VII.6 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 3 e ano 2020 152

Gráfico VII.7 - Capacidades de diluição do corpo d’água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2020, considerando o Panorama 2.....153

Gráfico VII.8 - Capacidades de diluição do corpo d’água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2020, considerando o Panorama 2.....153

Gráfico VII.9 - Capacidades de diluição do corpo d’água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2020, considerando o Panorama 2.....153

Gráfico VII.10 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 1 e ano 2020 154

Gráfico VII.11 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 2 e ano 2020 154

Gráfico VII.12 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 3 e ano 2020 154

Gráfico VII.13 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2020, considerando o Panorama 3.....155

Gráfico VII.14 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2020, considerando o Panorama 3.....155

Gráfico VII.15 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2020, considerando o Panorama 3.....155

Gráfico VII.16 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 1 e ano 2020 156

Gráfico VII.17 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 2 e ano 2020 156

Gráfico VII.18 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 3 e ano 2020 156

Gráfico VII.19 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2020, considerando o Panorama 4.....157

Gráfico VII.20 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2020, considerando o Panorama 4.....157

Gráfico VII.21 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2020, considerando o Panorama 4.....157

Gráfico VII.22 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 1 e ano 2020 158

Gráfico VII.23 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 2 e ano 2020 158

Gráfico VII.24 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 3 e ano 2020 158

Gráfico VIII. 1 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2030, considerando o Panorama 1.....159

Gráfico VIII. 2 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2030, considerando o Panorama 1.....159

Gráfico VIII. 3 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2030, considerando o Panorama 1.....159

Gráfico VIII. 4 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 1 e ano 2030 160

Gráfico VIII. 5 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 2 e ano 2030 160

Gráfico VIII. 6 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 3 e ano 2030 160

Gráfico VIII. 7 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2030, considerando o Panorama 2.....161

Gráfico VIII. 8 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2030, considerando o Panorama 2.....161

Gráfico VIII. 9 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2030, considerando o Panorama 2.....161

Gráfico VIII. 10 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 1 e ano 2030 162

Gráfico VIII. 11 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 2 e ano 2030 162

Gráfico VIII. 12 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 3 e ano 2030 162

Gráfico VIII. 13 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2030, considerando o Panorama 3.....163

Gráfico VIII. 14 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2030, considerando o Panorama 3.....163

Gráfico VIII. 15 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2030, considerando o Panorama 3.....163

Gráfico VIII. 16 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 1 e ano 2030 164

Gráfico VIII. 17 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 2 e ano 2030 164

Gráfico VIII. 18 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 3 e ano 2030 164

Gráfico VIII. 19 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2030, considerando o Panorama 4.....165

Gráfico VIII. 20 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2030, considerando o Panorama 4.....165

Gráfico VIII. 21 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2030, considerando o Panorama 4.....165

Gráfico VIII. 22 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 1 e ano 2030 166

Gráfico VIII. 23 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 2 e ano 2030 166

Gráfico VIII. 24 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 3 e ano 2030 166

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

$\mathbf{A}$	Área de drenagem da bacia
ANA	Agência Nacional de Águas
$\boldsymbol{a}, \boldsymbol{b}$	Coeficientes da equação exponencial
$\boldsymbol{c}, \boldsymbol{d}$	Parâmetros da equação de regressão
$\boldsymbol{Cb_{DBO_{5,20}}}$	Concentração de $DBO_{5,20}$ doméstica de esgoto bruto
CESAN	Companhia Espírito Santense de Saneamento
$\boldsymbol{CDr_{DBO_{5,20}}}$	Carga direta de $DBO_{5,20}$ doméstica, relativa à população rural
$\boldsymbol{CDu_{DBO_{5,20}}}$	Carga direta de $DBO_{5,20}$ doméstica, relativa à população urbana não atendida com esgotamento sanitário
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
$\boldsymbol{Cpc_{DBO_{5,20}}}$	Carga *per capita* de $DBO_{5,20}$ doméstica (54 g DBO_5/hab.d)
$\boldsymbol{CR_{ast}}$	Carga remanescente a ser tratada para alcançar o enquadramento, considerando 50% da Q_{90}
$\boldsymbol{CRu_{DBO_{5,20}}}$	Carga remanescente de $DBO_{5,20}$ doméstica de esgoto tratado, relativa à população urbana
$\boldsymbol{CRT(P_1)_{DBO_{5,20}}}$	Carga remanescente total de $DBO_{5,20}$ doméstica na subbacia, relativa ao panorama 1
$\boldsymbol{CRT(P_{2,3,4})_{DBO_{5,20}}}$	Carga remanescente total de $DBO_{5,20}$ doméstica na subbacia, relativa aos panoramas 2, 3 ou 4
$\boldsymbol{Ct_{DBO_{5,20}}}$	Concentração de $DBO_{5,20}$ doméstica de esgoto tratado
$\boldsymbol{CustoTc_{DBO_{5,20}}}$	Custo total corrigido de remoção de $DBO_{5,20}$
$\boldsymbol{CustoT_{DBO_{5,20}}}$	Custo total de remoção de $DBO_{5,20}$
$\boldsymbol{CustoUc_{STE}}$	Custo unitário corrigido de implantação do sistema de tratamento de esgoto
$\boldsymbol{CustoU_{DBO_{5,20}}}$	Custo de remoção de 1 tonelada de $DBO_{5,20}$ por dia

$CustoU_{STE}$	Custo unitário de implantação do sistema de tratamento de Esgoto
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETEs	Estações de Tratamento de Esgoto
GEOBASES	Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo
GPRH	Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos
HidroWeb	Sistema de Informações Hidrológicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INCC	Índice Nacional da Construção Civil
N_l	Número de economias residenciais ativas de esgoto na zona urbana do município
NQi	Número de vazões de cada intervalo
NT	Número total de vazões
P	Probabilidade de ocorrência das vazões (%)
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
$\mathbf{P_u}$	População urbana
$\mathbf{P_{U_r}}$	População urbana residente do município
$\mathbf{P_r}$	População rural
$P_{Sub_{na}}$	População contida na subbacia não atendida com serviço de esgotamento sanitário
QPC	Quota *per capita* de água
Q_{P_R}	Vazão de permanência regionalizada
$\mathbf{Q_u}$	Vazão doméstica média de esgotos inerente à população urbana

$\mathbf{Q_r}$	Vazão doméstica média de esgotos inerente à população rural
$\mathbf{Q_{50}}$	Vazão de permanência de 50%
$\mathbf{Q_{50R}}$	Vazão de permanência regionalizada de 50%
$\mathbf{Q_{90}}$	Vazão de permanência de 90%
$\mathbf{Q_{95}}$	Vazão de permanência de 95%
$\mathbf{Q_{95R}}$	Vazão de permanência regionalizada de 90%
$\boldsymbol{R}$	Coeficiente de retorno esgoto/água
$\boldsymbol{R^2}$	Coeficiente de correlação
SB1	Rio Braço Norte Direiro
SB2	Rio Pardinho
SB3	Rio Braço Norte Esquerdo
SB4	Córrego Lambari Frio
SB5	Rio Castelo
SB6	Ribeirão Vala do Souza
SB7	Córrego Coqueiro
SB8	Rio Muqui do Norte
SB9	Foz do Rio Itapemirim
SisCAH	Sistema Computacional para Análise Hidrológica
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
$\mathbf{T_{oc}}$	Taxa média de habitantes por domicílio do município
$\mathbf{UASB + BAS}$	UASB + Biofiltro Aerado Submerso
$\mathbf{LODOSAC}$	Lodos Ativados Convencional
$\boldsymbol{Y}$	Custo total de implantação do sistema de tratamento de esgoto

$\%\mathbf{E_a}$	Percentual efetivo de atendimento à população com serviço de coleta e tratamento de esgoto
$\%\mathbf{Esg_{C_t}}$	Percentual do esgoto coletado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 30

2. OBJETIVOS 33

2.1. OBJETIVO GERAL 33

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 33

3. REVISÃO DE LITERATURA 34

3.1. ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA EM CLASSES SEGUNDO OS USOS PREPONDERANTES DA ÁGUA 34

3.2. VAZÃO DE REFERÊNCIA 41

3.3. REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA 43

3.3.1. Fases do desenvolvimento da regionalização 45

3.3.2. Regionalização da Curva de Permanência 47

3.3.2.1. Curva de Permanência 47

3.3.2.2. Regionalização 50

4. METODOLOGIA 53

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 53

4.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 54

4.2.1. ETAPA 1 – Coleta de dados 54

4.2.2. ETAPA 2 – Subdivisão da bacia do rio Itapemirim 55

4.2.3. ETAPA 3 - Determinação da disponibilidade hídrica superficial das subbacias 56

4.2.3.1. Seleção das estações fluviométricas 57

4.2.3.2. Construção das curvas de permanência de vazões regionalizadas das estações fluviométricas selecionadas 61

4.2.3.3. Construção das curvas de permanência de vazões regionalizadas das subbacias 63

4.2.4. ETAPA 4 - Determinação da capacidade de carga dos rios, em função das diferentes classes de qualidade 64

4.2.5. Estimativa das cargas totais remanescentes de DBO por subbacia 65

4.2.5.1. Considerações realizadas para a estimativa das cargas totais remanescentes por subbacia 71

4.2.6. ETAPA 5 – Elaboração de cenários de enquadramento 72

4.2.7. ETAPA 6 – Determinação das cargas de DBO a serem tratadas em cada subbacia segundo os cenários propostos 73

4.2.8. ETAPA 7 – Estimativa dos custos para atendimento de cenário de enquadramento proposto 75

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 79

5.1. REGIONALIZAÇÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES 79

5.2. CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES REGIONALIZADAS PARA AS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS 80

5.3. CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES PARA AS SUBBACIAS 82

5.4. CARGAS REMANESCENTES TOTAIS PRODUZIDAS EM CADA SUBBACIA 83

5.5. CARGAS REMANESCENTES TOTAIS EM CADA SUBBACIA 97

5.6. PROBABILIDADE DE PERMANÊNCIA NAS CLASSES DE ENQUADRAMENTO 102

5.7. CARGAS REMANESCENTES A SEREM TRATADAS POR SUBBACIA 105

5.8. ESTIMATIVA DOS CUSTOS ASSOCIADOS AO PANORAMA ATUAL 107

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES 110

7. REFERÊNCIAS 113

ANEXO E APÊNDICES 119

ANEXO A - Dados obtidos das concessionárias 120

APÊNDICE I - Populações rural e urbana por subbacia e subdistrito 121

APÊNDICE II - Curvas de permanência e respectivos trechos regionalizados 124

APÊNDICE III - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento para o ano de 2012 128

APÊNDICE IV - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento para o ano de 2020 133

APÊNDICE V - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento para o ano 2030 138

APÊNDICE VI - Parcelas de cargas abrangidas pela capacidade de diluição, parcela de diluição não utilizada e cargas a serem tratadas e níveis de estresse para o ano de 2012143

APÊNDICE VII - Parcelas de cargas abrangidas pela capacidade de diluição, parcela de diluição não utilizada e cargas a serem tratadas e níveis de estresse para o ano de 2020151

APÊNDICE VIII - Parcelas de cargas abrangidas pela capacidade de diluição, parcela de diluição não utilizada e cargas a serem tratadas e níveis de estresse para o ano de 2030159

APÊNDICE IX - Investimentos necessários para alcançar enquadramento nas Classes 1,2 e 3 167

1. INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento urbano tem propiciado relevante destaque ao gerenciamento dos recursos hídricos em virtude do aumento pela demanda desse recurso, além da disponibilidade d'água se constituir em fator essencial para o desenvolvimento socioeconômico e cultural de uma região (BRITES, 2010).

No Brasil, a disponibilidade de água doce para os usos múltiplos encontra-se ameaçada em determinadas regiões devido ao descaso na gestão da qualidade de águas e consequente poluição dos cursos d'água superficiais. Esse aspecto é agravado pela irregularidade na distribuição de águas e da população no País, acrescido ainda das especificidades existentes em cada bacia hidrográfica relativas às suas características socioeconômicas, políticas e naturais (MORAES JR. et al., 2006).

De forma complementar, Souza (2007) ressalta que as desigualdades regionais de desenvolvimento econômico, com diferentes graus de ocupação, acrescidos dos impactos decorrentes da rede de influências antrópicas, resultam em situações de estresse hídrico e ambiental, afetando a integridade dos sistemas hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, representa um marco na gestão integrada dos corpos hídricos brasileiros ao adotar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, o comitê de bacia hidrográfica como organismo de decisão e ao prever que o enquadramento dos corpos d'água (principal instrumento de integração de qualidade e quantidade de água) deve ser parte do processo de planejamento descentralizado e de gestão participativa (MORAES JR. et al., 2006).

De acordo com a PNRH, o enquadramento dos corpos d'água em classes tem por finalidade assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas.

Segundo ANA (2009), o enquadramento deve ser visto como instrumento de planejamento ambiental, baseado não somente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que devem ser alcançados ou mantidos para atender às necessidades

estabelecidas pela comunidade. Nesse sentido, Porto (2002) ressalta que o enquadramento, na qualidade de instrumento de planejamento, trabalha com a visão futura da bacia, permitindo a definição dos objetivos de usos da água que darão sustentabilidade aos mesmos.

Conforme Porto (2002), nos sistemas de gestão de qualidade da água que privilegiam o caráter local de controle de poluição, a obtenção de maior eficiência nesse controle é alcançado por meio do uso de padrões de qualidade. Os padrões ambientais são definidos de forma a alcançar os objetivos de qualidade pretendidos para determinada bacia hidrográfica e os padrões de lançamento de efluentes, de forma a viabilizar o atendimento dos padrões ambientais. Esse enfoque local, acrescenta a autora, possibilita que se atinja de forma flexível um progresso gradativo no controle da poluição, por meio do estabelecimento de critérios que atendam particularidades regionais quanto às condições econômicas, sociais e geográficas de cada região.

Souza (2007), Marcon (2005) e Porto (2002) observam que o envolvimento da comunidade no processo de enquadramento é relevante, uma vez que neste é definido o nível de investimento necessário para que sejam alcançados os objetivos de qualidade da água de maior interesse regional. Portanto, o valor do investimento será mensurado de acordo com as prioridades definidas para a bacia, como o controle de qualidade da água, controle de cheias ou aumento do serviço de saneamento básico.

Dessa forma, o enquadramento é um processo decisório que procura assegurar “padrões de qualidade da água compatíveis com os usos que dela se faz ou se pretende, em equilíbrio com a capacidade de investimentos da sociedade, representada por governos e atores envolvidos” (ANA, 2009, p.16).

No que diz respeito ao saneamento básico, o lançamento de esgotos domésticos constitui o principal problema de qualidade de água e de pressão sobre os corpos d’água superficiais do País (ANA, 2005, 2009), sendo a carga orgânica doméstica total estimada para o País em aproximadamente 6.389 t $DBO_{5,20}$/d (ANA, 2005).

Guerra (2011) registra que os atuais sistemas de tratamento de esgoto sanitário são insuficientes para o atendimento das demandas do setor, tendo em vista que apenas

cerca da metade dos municípios brasileiros realiza coleta de esgoto e que grande parte desse esgoto não recebe tratamento adequado antes de ser lançado em corpos de água.

Portanto, vários são os desafios a serem superados nos próximos anos no tocante à Política Nacional de Saneamento Básico, destacando-se, dentre outros, a ampliação da cobertura da coleta de esgotos domésticos e implantação de várias estações de tratamento de esgotos (HELLER, 2010).

De forma associada, dentre os desafios para articulação e efetivação do enquadramento, abrangem-se garantir interface entre as metas de enquadramento, os instrumentos de gestão dos recursos hídricos e o setor de saneamento (DINIZ et al., 2006).

A ANA (2009) registra que os custos das ações para implantação das metas progressivas e da efetivação do enquadramento dos corpos d’água devem ser estimados, visto que as obras de saneamento são relativamente dispendiosas e os recursos financeiros normalmente não são suficientes para atendimento de todas as ações necessárias.

Adicionalmente, Brites (2010) ressalta que a análise econômica de medidas de despoluição hídrica é essencial para o estabelecimento de metas ou objetivos de qualidade em um corpo d’água, visto que a disponibilidade de recursos financeiros poderá afetar a escolha e implementação de alternativas para alcance da classe de enquadramento almejada.

Apesar do instrumento de enquadramento de corpos d’água existir no Brasil desde 1976, a sua efetiva implementação ainda é muito incipiente, de caráter tecnocrático, pouco participativo e não considerada os aspectos financeiros (ANA, 2007b, 2009).

Neste contexto, o presente trabalho busca discutir alternativas de enquadramento para cursos d’água da bacia do rio Itapemirim, considerando-se exclusivamente as demandas associadas ao setor de saneamento.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar diferentes cenários de enquadramento para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim selecionando o setor de saneamento básico, especificamente o esgotamento sanitário, como gerador de cargas poluidoras a ser avaliado.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos para alcance do objetivo geral proposto alinham-se, a seguir:

- Estabelecer funções regionais para estabelecimento de curvas de permanência de vazões;
- Construir, para os exutórios de subbacias da área de estudo, curvas de permanência de qualidade (curvas de permanência de carga);
- Estimar, para subbacias da área de estudo, cargas produzidas, tratadas e remanescentes, referentes à Demanda Bioquímica de Oxigênio;
- Estimar, para diferentes horizontes de tempo e cenários de tratamento de esgotos domésticos, a frequência de atendimento dos padrões de qualidade associados às diferentes possíveis classes de uso;
- Estimar, para a atual condição de tratamento de esgoto na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, custos associados ao enquadramento nas diferentes classes de uso.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA EM CLASSES SEGUNDO OS USOS PREPONDERANTES DA ÁGUA

Historicamente, a diversificação dos usos múltiplos da água pelo homem, o despejo de resíduos líquidos e sólidos em rios, lagos e represas e a destruição das áreas alagadas têm produzido contínua deterioração e perdas elevadas em quantidade e qualidade da água, resultando numa multiplicidade de impactos nos ecossistemas aquáticos, danos ao balanço hídrico, com riscos a saúde humana (TUNDISI, 2003).

A Lei Nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), estabelece que a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar o uso múltiplo das águas, sem a dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade, adequando-se às diversidades regionais e integrando-se à gestão ambiental, de forma a regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos, adotando-se a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento.

Na área da gestão de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo os usos preponderantes da água, constitui um dos instrumentos da PNRH, estando previsto também na Política Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo (Lei Nº 5.818, de 29 de dezembro de 1998).

Moraes Jr. et al. (2006) destacam que a instituição da PNRH propicia enorme progresso na gestão da qualidade de água, quando introduz o enquadramento de corpos d'água como principal instrumento de integração, inserido numa concepção de planejamento descentralizado e participativo.

Conceitualmente, o enquadramento corresponde ao estabelecimento de objetivos de qualidade de água (classe) que o corpo d'água deve manter ou atingir, por meio de metas progressivas intermediárias e final de qualidade de água, em conformidade com os usos preponderantes pretendidos para atendimento às necessidades da comunidade (BRASIL, 2005; BRASIL, 2008).

Essencialmente, duas formas de se realizar o enquadramento sobressaem-se dentre as experiências de vários países (ANA, 2009):

- enquadramento pelos usos desejados para o corpo d'água;
- enquadramento por classes de qualidade, que reúnem vários usos com requisitos próximos de qualidades da água.

No Brasil se realiza o enquadramento por classes de qualidade (ANA, 2009). Neste contexto, a classificação dos corpos de água superficiais[1] em função dos usos preponderantes, para o seu enquadramento, é estabelecida pela Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, em treze classes de qualidade (05 classes para águas doces, 04 classes para águas salinas e 04 classes para águas salobras).

A ANA (2009) ressalta que o enquadramento de corpo d'água deve considerar 03 aspectos principais:

- <u>O corpo d'água existente</u>, que retrata a condição atual do corpo d'água e que condiciona os seus usos, podendo apresentar as seguintes situações:

  a) o corpo d'água possui boa condição de qualidade, sendo capaz de atender a todos os usos da água (atuais ou previstos). Assim, devem ser tomadas ações que impeçam a sua degradação, de forma a garantir seu uso múltiplo no futuro;

  b) o corpo d'água apresenta alguns parâmetros de qualidade da água que inviabilizam alguns usos da água, sendo necessário controlar as fontes de poluição;

  c) o corpo d'água apresenta níveis elevados de poluição para grande parte dos parâmetros, inviabilizando a maioria dos usos. Assim, são necessários maiores investimentos e tempo para a recuperação do mesmo.

[1] As diretrizes ambientais para o enquadramento de águas subterrâneas são estabelecidas pela Resolução CONAMA N° 396, de 03 de abril de 2008.

- O corpo d'água desejado, que retrata a 'visão de futuro' do curso d'água, ou seja, expressa a vontade da comunidade por meio dos usos que ela deseja para o corpo d'água, normalmente sem levar em conta às limitações tecnológicas e de custos.

- O corpo d'água possível, que retrata a visão mais realista, uma visão de futuro incorporando as restrições técnicas, financeiras, sociais e políticas existentes, no intuito de transformar o corpo d'água existente no corpo d'água desejado num horizonte de 10 a 20 anos.

Os procedimentos para o enquadramento de corpos d'água superficiais e subterrâneos são normatizados pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), ente integrante do SNGRH, por meio da Resolução Nº 91, de 05 de novembro de 2008. Essa Resolução estabelece que o processo de enquadramento pode determinar classes diferenciadas por trecho ou porção de um mesmo corpo de água, que correspondem a exigências a serem alcançadas ou mantidas conforme as condições e os padrões de qualidade a elas associadas (§ 2º, Inciso II, Artigo 2º).

De acordo com a referida Resolução, o processo de elaboração da proposta de enquadramento deverá ocorrer com ampla participação da comunidade da bacia hidrográfica, sendo que a discussão e aprovação da mesma acontecem no âmbito do Comitê de Bacia Hidrográfica, em conformidade com o Plano de Recursos Hídricos da bacia, para posterior deliberação pelo Conselho de Recursos Hídricos competente. ANA (2005) destaca que esse processo envolve um amplo diagnóstico da bacia, no intuito de se estabelecer os usos (atuais e futuros) vinculados à vocação e às características socioeconômico e culturais da região.

Porto (2002) observa que o uso de objetivos de qualidade da água como instrumento de gestão apresenta como uma das maiores vantagens o estabelecimento de uma visão de conjunto dos problemas específicos a serem resolvidos na bacia, em detrimento de uma visão individualizada, pois esta última conduz apenas a soluções de cunho local, sem relevância para o todo.

A autora complementa ainda que esses objetivos podem ser definidos de dois modos:

- Objetivos de larga escala

Esses objetivos se aplicam a grandes regiões ou mesmo a todo país, sendo adotado por países que estão próximos do nível da 'segunda' geração de sistemas de gestão de qualidade d'água[2]. Na maioria, as necessidades básicas da população já foram atendidas e há disponibilidade de recursos para intensificar a melhoria desses sistemas. Esses países também adotam a política anti-degradação, não permitindo que sejam instituídos objetivos menos restritivos do que aqueles que a situação atual do corpo d'água sustente.

A abordagem em larga escala apresenta uma visão ecossistêmica do processo de gestão, tendo uma maior garantia de sustentabilidade em longo prazo. As desvantagens associadas são que essa abordagem requer um alto investimento e apresenta um difícil gerenciamento, pois demanda um grande esforço de fiscalização, por impor grandes restrições a um número elevado de poluidores.

- Objetivos de escala local

Esses objetivos permitem atribuir a cada corpo d'água usos determinados e mais próximos à realidade da bacia. Portanto, essa abordagem se aplica melhor aos países em desenvolvimento, com menor capacidade financeira de investimento, podendo direcionar esses recursos de forma mais eficiente para usos mais apropriados à aptidão da bacia hidrográfica.

Porto (2002), citando Houck (1999)[3], registra que as críticas negativas da abordagem local dizem respeito à redução da eficiência do processo devido à descentralização que ocorre no controle da poluição, bem como, à redução de custos, por meio do uso da capacidade de assimilação dos corpos d'água como parte do 'tratamento' dos efluentes. Em relação a este último, os críticos

[2] Nos países desenvolvidos que já passaram para a 'segunda' geração da gestão da qualidade da água ou 'segunda' geração dos instrumentos de controle da poluição existe a preocupação com o aperfeiçoamento dos processos de tratamento de esgotos domésticos, a modernização e adequação das redes antigas de coleta de efluentes, o melhor controle de substâncias tóxicas, os problemas relativos às cargas difusas e industriais e, principalmente, a evolução dos sistemas de monitoramento e informação. Por outro lado, a 'primeira' geração está associada aos países em desenvolvimento que, por insuficiência de recursos financeiros e capacidade institucional, ainda está longe de resolver problemas básicos como universalização dos serviços de saneamento básico e de tratamento de esgotos domésticos (PORTO, 2002, 2003).

[3] Houck, O.A. **The Clean Water Act TMDL Program: Law, Policy and Implementation**. Envirenmental Law Institute. Washington, DC, EUA, 1999.

ressaltam a dificuldade de se trabalhar com essa variável, devido à grande demanda de informações sobre a bacia e em função do fato de que existem poluentes para os quais a capacidade de assimilação é zero.

Entretanto, a autora argumenta que não há respaldo científico para o não uso da capacidade natural de assimilação de poluentes pelos corpos de água, desde que não ocorram prejuízos que se contraponham aos objetivos pretendidos, devendo ser levado em conta também os usos futuros da bacia (aumento de cargas poluidoras devido ao crescimento populacional e econômico), de forma que o planejamento do controle da poluição preveja esses usos.

O controle da poluição hídrica é normatizado por meio de padrões de qualidade, que são sistemas do tipo comando-controle, representado por valores numéricos ou narrativos. Na gestão da qualidade da água são normalmente utilizados dois tipos de padrões de qualidade: o Padrão ambiental, que estabelece a qualidade que um corpo de água deve ter para garantir um determinado uso, servindo de balizador na gestão da bacia hidrográfica em relação ao controle global da qualidade d'água; e, o Padrão de lançamento (emissão), que é de caráter essencialmente tecnológico, tendo por objetivo restringir a quantidade de poluentes que pode ser lançada num corpo d'água por uma atividade qualquer (PORTO, 2002).

A Resolução CONAMA N° 357/2005 determina os padrões de qualidade das águas por classe para subsidiar a proposta de enquadramento, estabelecendo limites individuais para cada substância. Assim, o termo padrão é definido por essa resolução como o valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água ou efluente.

Porto (2002), ao propor um sistema de gestão da qualidade da água para o Brasil, recomenda que a seleção dos parâmetros a serem utilizados para o enquadramento seja realizada com base nos impactos preponderantes na bacia, ou seja, na principal fonte de poluição a ser controlada.

Observa-se, na literatura, que a maior fonte de poluição hídrica no Brasil é o esgoto doméstico, apesar de haver grande contribuição da agricultura, da pecuária e das indústrias (KLIGERMAN, 2001; PORTO, 2002; ANA, 2005; BRAGA, 2005).

No que concerne ao saneamento, a Política Nacional de Saneamento, estabelecida por meio da Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007, elenca como um dos seus princípios a universalização do acesso aos serviços públicos de saneamento básico. Contudo, o IBGE (2011) registra que a universalização do acesso da população aos serviços de abastecimento de água, coleta de esgoto e manejo de resíduos sólidos ainda se constitui num grande desafio no Brasil, apesar da redução de 42,1% da proporção de domicílios com saneamento inadequado[4], entre os períodos de 2000 e 2010. No Brasil, a proporção de domicílios com saneamento inadequado em 2000 foi de 14,0% e de 8,1% em 2010. Já no Estado do Espírito Santo, essa proporção foi de 14,3% em 2000 e de 8,5% em 2010, representando uma redução de 40,7%.

Rodrigues (2011) destaca que o esgotamento sanitário é o que apresenta a menor abrangência municipal dentre os serviços de saneamento, tendo sido verificado, em 2008, por meio da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), a inexistência de rede coletora de esgoto em 2.495 municípios distribuídos pelas Unidades da Federação[5], equivalendo a 44,8% dos municípios brasileiros, situados em grande parte nos estados das Regiões Nordeste e Norte do País. Deste modo, a autora observa adicionalmente que a falta da rede de esgotamento sanitário configura a realidade da maioria dos municípios com menos de 50 mil habitantes[6].

Não obstante, a PNRH estabelece a necessidade de integração entre as políticas locais de saneamento básico e as políticas Federal e estaduais de recursos hídricos.

Observa-se ainda que a Lei Nº 11.445/2007 determina que “A autoridade ambiental competente estabelecerá metas progressivas para que a qualidade dos efluentes de unidades de tratamento de esgotos sanitários atenda aos padrões das classes dos

---

[4] Um domicílio com saneamento considerado inadequado é aquele que conjuga as formas mais degradantes à saúde e ao meio ambiente simultaneamente, a saber: lixo não coletado (ou seja, enterrado, queimado, jogado em terreno baldio, rio, lago ou mar, entre outros); sem tratamento de esgoto sanitário (ou seja escoado para fossa rudimentar, vala, rio, lago, mar ou outro); e sem abastecimento de água por rede geral (ou seja, acesso à água via poços ou nascentes, carro-pipa, armazenamento da água da chuva, rios, açudes etc.) (IBGE, 2011).

[5] O Estado de São Paulo se apresentava como uma exceção, onde apenas uma cidade não apresentava o serviço de esgotamento através de rede coletora (RODRIGUES, 2011).

[6] Nesse estrato populacional, concentra-se um grande número de municípios preponderantemente rurais e com população dispersa (densidade demográfica inferior a 80 habitantes por quilômetro quadrado), o que acarreta maior dificuldade para ofertar os serviços de coleta de esgoto (RODRIGUES, 2011).

corpos hídricos em que forem lançados, a partir dos níveis presentes de tratamento e considerando a capacidade de pagamento das populações e usuários envolvidos" (§ 2º, Artigo 2º). Evidencia-se, assim, que o conceito de progressividade para atingir as metas do enquadramento foi inserido como diretriz do setor de saneamento (ANA, 2009).

Dessa forma, complementa ANA (2009), como o esgoto doméstico se constitui na principal fonte de poluição na maioria das bacias hidrográficas, a elaboração dos programas de efetivação de enquadramento depende de intensa articulação dos Comitês de Bacias Hidrográficas com o setor de saneamento, devendo, portanto, haver conformidade entre as metas do enquadramento e os planos de saneamento[7], de forma que haja compatibilidade entre os investimentos a serem realizados na bacia e os usos da água desejados pela sociedade.

O enquadramento no Brasil existe há mais de 30 anos[8]. Contudo, ainda é baixa a aplicação desse instrumento no país. No País, apenas 10 estados (AL, BA, MG, MS, PE, PR, RN, RS, SC, SP) possuem algum corpo d'água de seu domínio enquadrado e somente as bacias do Paranapanema, Paraíba do Sul e São Francisco apresentam instrumento legal enquadrando os cursos d'água (ANA, 2009). Porto (2002) acrescenta que, no Brasil, esse instrumento tem sido empregado somente na emissão de licenças de lançamento de efluente em corpos d'água carecendo, a maior parte do País, de integração entre gestão da quantidade e da qualidade da água, de forma que as ações da área ambiental se coadunem com as da área de recursos hídricos.

A qualidade da água é função da quantidade de água disponível no curso d'água, variando esta espacialmente e temporalmente. Portanto, a seleção da vazão de referência integra o processo de enquadramento, havendo uma recomendação da

---

[7] Os planos de saneamento básico são elaborados pelos titulares dos serviços públicos de saneamento básico, para formulação da respectiva política pública de saneamento básico (Inciso I, Artigo 9º, Lei Nº 11.445/2007).

[8] Em 1976, por meio da Portaria do Ministério do Interior Nº 13, surge a base legal federal para o instrumento de enquadramento dos corpos hídricos. Em 1981, em um processo de maturidade legal sobre qualidade das águas, essa Portaria é revista e são estabelecidos diversos parâmetros de qualidade e classes por meio da Resolução CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986, posteriormente alterada pela Resolução CONAMA 357/2005, tendo sido esta última alterada e complementada pela Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011 (MORAES JR. et al., 2006).

ANA (2009) de que sejam adotadas vazões de referência ou curvas de permanência das concentrações de poluentes monitorados para auxiliar esse processo.

3.2. VAZÃO DE REFERÊNCIA

A Resolução CNRH Nº 91/2008 estabelece que o enquadramento, como um instrumento de planejamento, é expresso por meio do estabelecimento de metas progressivas de qualidade de água, sendo que nas baías de água doce essas metas deverão ser atingidas em regime de vazão de referência (§ 4º, Artigo 38, Cap. V, CONAMA 357/005).

A resolução CONAMA Nº 357/2005 define a vazão de referência como a “vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH”. Nesse sentido, deve-se considerar a vazão mínima de forma a assegurar que a qualidade da água esteja compatível com o uso preponderante dos corpos d’água enquadrados, durante a maior parte do tempo (ANA, 2009).

Quanto menor o risco de violação dos usos de qualidade da água estabelecidos ou quanto mais restritiva a vazão de referência, maior será o custo associado ao nível de tratamento dos efluentes e menores os riscos à contaminação dos recursos hídricos e, consequentemente, à saúde da população (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2002; ANA, 2009).

Como o enquadramento dos corpos d’água visa assegurar qualidade às águas compatível com os usos preponderantes definidos e minimizar os custos com despoluição, esse instrumento torna-se fundamental para a análise e emissão das outorgas pelos gestores de recursos hídricos para que sejam mantidos os padrões de qualidade estabelecidos (ANA, 2007a).

“No Brasil, cada Estado tem adotado critérios particulares pragmáticos para o estabelecimento das vazões de referência para outorga, sem, porém, apresentar justificativas da adoção desses valores” (CRUZ, 2001, p.47). No Estado do Espírito Santo, a Instrução Normativa IEMA Nº 13, de 09 de dezembro de 2009, no que

tange ao processo de emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos, adota a vazão de referência Q_{90} (vazão de permanência de 90%). Essa Instrução Normativa estabelece ainda que o somatório das vazões outorgadas para uso de águas superficiais fica limitado a 50% da vazão de referência do corpo de água (§ 1º, Artigo 9º).

A Lei Nº 9.433/1997, no seu Artigo 12, determina que está sujeito a outorga o "lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final".

A Instrução Normativa IEMA Nº 007, de 23 de junho de 2008, que altera a Instrução Normativa IEMA Nº 007, de 26 de junho de 2006, estabelece que, no caso de lançamento em cursos d'água, a outorga para fins de diluição de efluentes será emitida em termos da vazão de diluição[9]. As vazões de diluição, a jusante de cada lançamento, poderão ser novamente disponibilizadas, desde que observada à capacidade de autodepuração do curso de água e à respectiva classe de enquadramento (Artigo 6º, Instrução Normativa IEMA Nº 007/2006).

Ribeiro e Lanna (2003) ressaltam que apesar da outorga dos direitos de uso de recursos hídricos já está legalmente instituída, vários são os desafios a serem vencidos no tocante aos aspectos teóricos e de concepção ou aos aspectos práticos de operacionalização dos sistemas de outorga.

Nesse sentido, a definição de parâmetros de qualidade se constitui um critério técnico de avaliação dos pedidos de outorga para fins de diluição de efluentes em corpos d'água. No Estado do Espírito Santo adota-se a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) como parâmetro de avaliação de emissão de outorga, estabelecido por meio da Instrução Normativa IEMA Nº 007/2006 e, no caso de corpos lênticos, também se avalia o fósforo.

De acordo Von Sperling (2005), o parâmetro DBO é amplamente utilizado para se medir o potencial de poluição de um efluente por matéria orgânica, visto que os

[9] Considera-se como vazão de diluição a quantidade de água do corpo receptor necessária para diluição da carga de determinado poluente presente no efluente em função da classe de enquadramento do respectivo corpo de água (Instrução Normativa IEMA Nº 007/2006).

critérios de dimensionamento de vários processos de tratamento de esgotos são expressos em termos da DBO. Adicionalmente, a legislação para lançamento de efluentes e, consequentemente, a avaliação do cumprimento aos padrões de lançamento, é geralmente baseada nesse parâmetro.

Outro critério de apoio à decisão sobre a outorga de direito de uso da água é a disponibilidade hídrica, que se refere ao volume de água disponível para atender as necessidades dos usuários, bem como, as condições relativas aos parâmetros qualitativos, sendo os mesmos indicativos de maior ou menor capacidade de diluição de poluentes (CRUZ, 2001).

Nesse contexto, a estimativa da disponibilidade hídrica se torna fundamental no processo de outorga e, consequentemente, nos procedimentos de enquadramento de corpos d'água, visto que a Lei Nº 9433/97 estabelece que "toda outorga estará condicionada as prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado" (Artigo 13).

Assim, dada a relevância de se estimar as características do regime de vazão, na falta de dados hidrológicos observados para a realização dessa estimativa, a regionalização hidrológica constitui metodologia que pode ser aplicada para inferência desses dados em locais de interesse (ANA, 2009).

3.3. REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA

Nos estudos de hidrologia e de recursos hídricos, a regionalização tem como objetivo estimar variáveis hidrológicas em locais onde há lacunas espaciais e/ou temporais de dados ou pela insuficiência dos mesmos, por meio da otimização de informações hidrológicas disponíveis. Assim, a regionalização caracteriza a transferência de dados de um local para outro dentro de uma região com comportamento hidrológico semelhante, devendo haver, portanto, similaridades espaciais de informações (TUCCI, 2002, 2004; TUCCI; CLARKE, 2003).

Tucci (2002, 2004) e Tucci e Clarke (2003) registram que essas informações podem se apresentar na forma de uma variável, parâmetro ou função, permitindo-se, assim, a aplicação da regionalização hidrológica para:

- Variáveis: quando as variáveis (precipitação média, vazão mínima, etc) podem ser determinadas numa região baseadas em relações estabelecidas pelos dados pontuais existentes;

- Parâmetros de modelos hidrológicos: quando os parâmetros de uma função ou modelo matemático são estabelecidos por meio da sua relação com as características físicas das bacias, baseados em dados observados de algumas bacias representativas;

- Funções: quando uma função hidrológica pode ser estabelecida por meio de dados hidrológicos existentes. A função hidrológica representa uma relação entre uma variável hidrológica e uma ou mais variáveis explicativas ou estatísticas. Assim, têm-se:

- Funções estatísticas de variáveis hidrológicas: método que corresponde à regionalização de distribuições estatísticas (curva de probabilidade de vazões máximas, médias ou mínimas, curva de probabilidade de precipitações máximas, etc);

- Funções específicas que relacionam variáveis: método que relaciona variáveis hidrológicas por meio, geralmente, dos seguintes procedimentos:

    a) Adimensionalização da função, obtenção de uma curva média com base nas curvas adminensionais dos diferentes postos e regressão entre a variável de adimensionalização e características físicas e climáticas: metodologia útil quando a função de vários postos podem apresentar tendências similares, caso agregadas por sub-regiões;

    b) Ajuste de uma função matemática aos dados de cada posto e regionalização dos parâmetros da função matemática: metodologia útil quando a curva apresenta alteração de tendência, conforme as características da bacia (ex: curva de permanência).

Portanto, a regionalização pode ser empregada para diversos usos, como: melhorar as estimativas das variáveis, analisar a consistência das séries hidrológicas,

identificar a falta de postos de observação; aprimorar a rede de coleta de dados hidrológicos (TUCCI; CLARKE, 2003).

3.3.1. Fases do desenvolvimento da regionalização

Baseadas em Tucci (2002, 2004), seguem, resumidamente, as etapas usualmente empregadas no processo de regionalização de curva de permanência de vazões, objeto do presente estudo:

- **Análise dos dados hidrológicos básicos**

  Nos estudos sobre regionalização, a qualidade dos dados hidrológicos utilizados é fundamental para a obtenção de resultados condizentes com o objetivo estabelecido no estudo. Tucci e Clarke (2003) indicam duas etapas básicas para análise dos dados, quais sejam:

  a) Triagem preliminar dos dados: estabelecimento de metas para regionalização e eliminação de todos os postos que não atinjam as condições mínimas estabelecidas para a regionalização;

  b) Análise dos dados selecionados: análise da consistência básica de coerência local e regional.

  Tucci e Clarke (2003) ressaltam que na escolha das séries de vazões para regionalização de funções, como as curvas de permanência ou de probabilidade de vazões máximas ou mínimas, são utilizadas duas abordagens: (a) período comum: usa séries coincidentes, sendo que os postos do período escolhido não podem apresentar falhas. No caso de existência de falhas, as mesmas devem ser preenchidas por correlação; (b) sem período comum: usa a série disponível dos postos escolhidos sem preenchimento de falhas.

  Esses autores complementam que o uso de período comum se baseia na questão de que num mesmo local com características hidrológicas semelhantes, as vazões que ocorrem em determinado período poderão apresentar, aproximadamente, o mesmo tempo de retorno.

- **Apropriação das funções ou variáveis hidrológicas objeto da regionalização**

- **Análise de regressão**

Determinação, por análise de regressão, de curvas que associem as variáveis regionalizadas (dependentes) com variáveis físicas e climáticas das bacias consideradas (variáveis explicativas ou independentes).

Nas metodologias típicas de regionalização, a área de drenagem contribuinte quase sempre é uma variável física de maior peso utilizada na determinação das curvas por análise de regressão. Outras variáveis independentes utilizadas para explicar a variação de vazão são a pluviometria média anual (frequentemente utilizada), a declividade do rio, a densidade de drenagem e o comprimento do rio (ELETROBRÁS, 1985; SILVEIRA; SILVEIRA, 2003; TUCCI, 2002, 2004).

Tucci e Clarke (2003) ressaltam que a área de drenagem, normamente, embuti variáveis físicas como o comprimento e a declividade do rio; portanto, caso estas últimas não tenham significância no estabelecimento das funções regionais, possivelmente, a área já explicou a variabilidade dessas outras variáveis físicas. Já a precipitação dificilmente apresentará significância na análise da regressão se a sua variação em toda a região for diminuta; assim, neste caso, sua influência na vazão estará embutida no valor médio.

Tucci e Clarke (2003) observam ainda que as dificuldades inerentes ao uso de equações de regressão ocorrem quando a série de dados empregados não é homogênea. Nesse sentido, os postos fluviométricos constituídos de séries pequenas devem estimar valores de vazão para tempos de retorno elevados com grande erro.

- **Regiões homogêneas**

Tucci e Clarke (2003) destacam que as regiões homogêneas (regiões de comportamento hidrológico homogêneo) são definidas pela delimitação física que apresente melhor aproximação das funções regionais obtidas.

Tucci (2004) e Tucci e Clarke (2003) ressaltam que a definição de regiões homogêneas, estabelecida conforme critérios como tamanho das bacias, rios

principais e/ou geografia, pode ser realizada com base em métodos matemáticos e estatísticos, verificando se uma região, inicialmente escolhida, apresenta bom ajuste dos elementos principais de regionalização. Essa metodologia é bastante utilizada em estudos de regionalização hidrológica, exemplificada nos trabalhos desenvolvidos por Euclydes et al. (2001), Ribeiro, Marques e Silva (2005).

Nesse contexto, a Eletrobrás (1985) apresenta uma metodologia para identificação de regiões homogêneas, que resumidamente elenca os seguintes procedimentos: determina-se a melhor equação de regressão entre as características físicas e climáticas da bacia de drenagem; calcula-se a diferença entre a vazão estimada e a vazão observada para cada posto fluviométrico e agrupam-se as estações de acordo com os resíduos produzidos na comparação das vazões.

3.3.2. Regionalização da Curva de Permanência

3.3.2.1. Curva de Permanência

A curva de permanência ou curva de duração de vazões corresponde à “curva acumulativa de frequência da série temporal contínua dos valores das vazões”, indicando com que frequência uma determinada vazão é igualada ou superada durante o período de registro das vazões (PINTO et al., 1976, p.170).

A construção da curva de permanência é realizada por meio de dados de registros de vazões de determinada estação fluviométrica, podendo ser utilizadas vazões médias diárias, mensais ou anuais (TUCCI, 2002, 2004). Pinto et al.(1976) destacam que quanto maior for o intervalo de tempo empregado para a determinação da vazão média, menor será o volume de variação ao longo do eixo das ordenadas, decorrente da própria natureza do valor médio. Esses autores recomendam o uso de vazões médias diárias, de forma a evitar o efeito amortecedor da média de períodos mais amplos.

De acordo com Tucci (2002, 2004), a técnica usual para a determinação da curva de permanência é a metodologia empírica. Essa técnica gera curvas de permanência como funções cumulativas de probabilidade fundamentalmente empíricas e não-

paramétricas (FENNESSEY; VOGUEL, 1990) (Figura 1). De acordo com Tucci e Clarke (2003), o ajuste da curva a uma função matemática é feito somente quando se pretende regionalizar a função resultante.

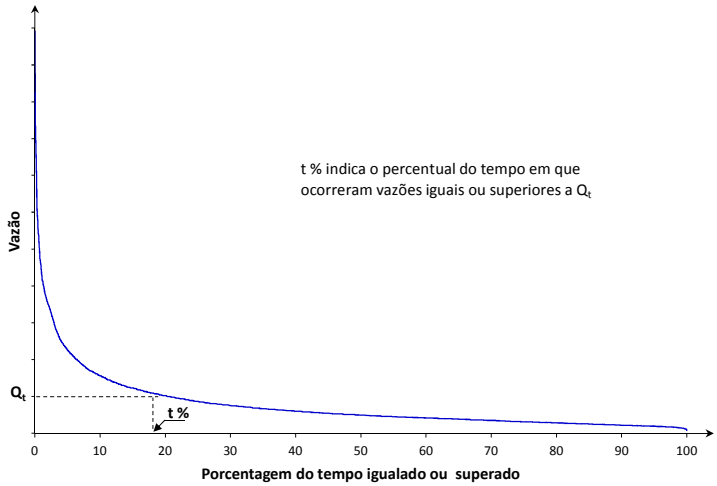

Figura 1 - Curva de permanência de vazão e tempo percentual em que a vazão Q_t foi igualada ou excedida

Pinto et al. (1976) ressaltam que a curva de permanência pode ser considerada como um hidrograma, no qual as vazões são arrumadas em ordem de intensidade, podendo-se observar a vazão mínima e o grau de permanência de qualquer valor de vazão.

No geral, nos extremos da curva ocorrem inflexões marcantes, que expressam o comportamento da vazão máxima e das vazões mínimas, sendo que a faixa média retrata o trecho dominante de vazões no corpo d'água (TUCCI; CLARKE, 2003).

Em estudos hidrológicos, a Q_{95} (vazão com 95% de permanência, ou seja, vazão com garantia de 95% no registro histórico) é frequentemente utilizada como vazão mínima característica da curva de permanência (SILVEIRA; SILVEIRA, 2003).

É relevante registrar que a declividade da curva se constitui indicativo de características do corpo d'água, sendo que uma curva plana (mais achatada) dá indícios da existência de elevados armazenamentos naturais no curso de água à montante da seção fluviométrica. De forma oposta, a ausência de armazenamentos significativos na calha do rio é indicada por meio de uma curva com elevada declividade.

Cruz (2001) apresenta uma crítica quanto à técnica convencional de construção da curva de permanência, no sentido que a curva elaborada com todos os registros do período histórico gera resultados que não contemplam a sazonalidade ao longo de cada ano, ou seja, as vazões relativas a cada permanência não mudam para qualquer período do ano. Cruz observa que uma solução alternativa para essa questão considerada por diversos autores, como Rossman (1989), Kelman (1997), Robaína et al. (1998) e Parrett e Cartier[10] (1990), é o uso de curvas de permanência empíricas mensais, ou seja, uma curva com dados diários de cada mês.

Contudo, Cruz (2001, p.23) complementa que o sentido da permanência (frequência) fica avariado, visto que às vazões médias diárias não se constituem em variáveis independentes entre si. Outra questão destacada pela autora é que a técnica convencional de elaboração da curva de permanência (curva mensais ou decorrentes do emprego de toda a série histórica) gera somente um resultado, independente da quantidade de anos de observações, pois considera a variável vazão de permanência como se fosse uma única realização estatística. Nesse sentido, 'a avaliação estatística com estabelecimento de intervalos de confiança desta variável fica prejudicada'.

Nos trabalhos de Cruz (2001) e de Cruz e Tucci (2008) é apresentada uma técnica para obtenção da curva de permanência de vazões, baseada na hipótese de que cada ano é um evento hidrológico independente, estabelecendo-se uma curva para cada ano, sendo a disponibilidade hídrica caracterizada pela média das curvas e respectivo intervalo de confiança estatístico. Conforme os autores, essa técnica possibilita conhecer os intervalos de confiança das vazões de permanência, permitindo ao gestor o equacionamento da otimização do uso dos corpos d'água.

Nessa linha de investigação, Pinto (2006) aplicou dois métodos para a regionalização de curvas de permanência: a) o método proposto por Tucci[11] (1991), empregado para a regionalização de curvas de permanência de longo termo[12], por

---

[10] PARRETT, C.; CARTIER, K. D. (1990). **Methods for estimating monthly streamflow characteristics at ungaged sites in western Montana**. U. S. Geological Survey Water-Supply Paper. Reston, VA, United States of America, 30p.

[11] O método para a regionalização, proposto por Tucci (1991), é apresentado em Tucci (2002, 2004).

[12] As curvas de permanência de longo termo são construídas a partir do uso da série histórica completa de dados. Embora, ao longo da história, o uso de curvas de permanência seja prolífico em estudos hidrológicos, sua

ser uma metodologia de uso frequente no Brasil; e, b) o método proposto por Claps e Fiorentino (1997), utilizado para a regionalização de curvas de permanência anuais[13], por ser uma metodologia com abordagem probabilística não difundida no Brasil.

Pinto (2006) verificou que o método proposto por Tucci (1991) apresentou um bom ajuste em todas as análises regionais realizadas para todas as estações estudadas. Já o método apresentado por Claps e Fiorentino (1997) mostrou bons resultados para duas das três regiões estudadas, sendo necessário ampliar o estudo dessa metodologia em regiões diferenciadas.

Pinto (2006) destaca que a desvantagem do modelo proposto por Claps e Fiorentino (1997) está relacionada ao número de regressões utilizadas para a estimação de variáveis e de parâmetros regionais, o que eleva a fonte de erro ao modelo.

Não obstante, vários são os usos da curva de permanência nos processos de gestão de recursos hídricos, tais como: estudos energéticos, hidrelétricos, navegação, qualidade da água, sedimentometria em rios; abastecimento de água; irrigação; entre outros (PINTO et al., 1976; TUCCI, 2002, 2004; CRUZ; TUCCI, 2008).

3.3.2.2. Regionalização

Apesar do uso frequente de curvas de permanência em estudos hidrológicos, a literatura sobre a regionalização das curvas de permanência ainda é incipiente quando comparada à literatura de regionalização de curvas de frequência (PINTO, 2006). Conforme Silveira, Silveira e Tucci (1998) e Silveira e Silveira (2003), no Brasil, as pesquisas que se destacam sobre essa temática são as de Kavisky e Fior[14] (1985) e Tucci (1991).

---

utilização é prejudicada por ser dependente exclusivamente do período de registros em que foi baseada e, portanto, sensível a períodos atipicamente úmidos ou secos, ao longo da série histórica (PINTO, 2006).

[13] As curvas de permanência anuais permite a construção de curvas em base de tempo anual, em um contexto probabilístico. O uso dessas curvas proporciona a possibilidade de se associar o conceito de probabilidade às curvas de permanência, ou a qualquer valor de vazão associado às mesmas, além da possível construção de intervalos de confiança (PINTO, 2006).

[14] KAVISKY, E; FIOR, M. T. A. B. Regionalização de Curvas de Permanência de Vazões Médias diárias em Pequenas Bacias Hidrográficas do Estado do Paraná. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos,

Tucci (2002, 2004) indica dois procedimentos para a regionalização das curvas de permanência. São eles: (a) parametrização da curva de permanência, relacionando os parâmetros de ajuste da equação com características fisiográficas e climatológicas; e, (b) interpolação (gráfica ou analítica) de uma curva, passando por vazões com permanência pré-definidas (usualmente Q_{50} e Q_{95}), obtidas da curva empírica.

De acordo com Tucci (2002, 2004), a metodologia de ajuste da curva de permanência a uma função matemática apresenta limitações, pois há uma tendência da função matemática não representar o formato da função de distribuição empírica, criando-se anomalias nos extremos por meio do ajuste. Outro fator observado é que a amostra não contem os valores de todos os dias dos anos estudados, devido à correlação serial das vazões, sendo a probabilidade estimada com tendenciosidade.

Tucci e Clarke (2003) observam que o ajuste da curva a uma equação exponencial normalmente apresenta resultados satisfatórios apenas para a faixa de valores dos pontos utilizados para seu ajuste.

Silveira, Silveira e Tucci (1998) e Silveira e Silveira (2003) ressaltam que os estudos desenvolvidos por Dingman[15] (1978), Quimpo et al.[16] (1983), Mimikou e Kaemaki[17] (1985), Kavisky e Fior (1985), Fenessey e Vogel (1990) e Tucci (1991) mostram que existem diversas abordagens para a regionalização da curva de permanência, seja pelo método paramétrico ou interpolativo, sem que haja preponderância entre qualquer um destes métodos.

Contudo, os modelos de regionalização por interpolação quando comparados aos modelos na forma parametrizada apresentam menores erros relacionados às estimativas do ramo inferior da curva, onde os escoamentos são menores, visto que

---

6 e Simposio Internacioanl de Recursos Hídricos em Regiões Metropolitanas. **Anais**, ABRH, v. 3, p. 188-200, 1985.

[15] DINGMAN, S. L. (1978). Sintesys of flow-duration curves for unregulated streams in New Hampire. In: **Water Resour. Bull**., 14 (6), 1481-1502.

[16] QUIMPO, R. G.; McNALLY, T.A. (1983). Regionalized flow duration for Philippines. In***:*** **Journal of Water Resources Planning and Management**. Vol. 109, n°4, p. 320-330. Oct. 1983.

[17] MIMIKOU, M.; KAEMAKI, S. (1985). Regionalization of flow duration characteristics. In: **Journal of Hydrology**. Vol. 82, p. 77-91.

os primeiros modelos estimam ponto a ponto da curva no trecho de interesse (SILVEIRA; SILVEIRA; TUCCI, 1998; SILVEIRA; SILVEIRA, 2003).

4. METODOLOGIA

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Itapemirim (Figura 2), importante bacia do sul do estado do Espírito Santo, localizada entre os meridianos 40º48' e 41º52' de Longitude Oeste e entre os paralelos 20º10' e 21º15' de Latitude Sul, delimitada ao norte com as bacias dos rios Novo, Jucu e Doce; ao sul, com a bacia do rio Itabapoana; ao noroeste, com o Estado de Minas Gerais; e ao leste, com o Oceano Atlântico.

A bacia do rio Itapemirim abrange um município de Minas Gerais (Lajinha) e dezessete municípios do Espírito Santo (Alegre, Atílio Vivácqua, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo, Conceição do Castelo, Ibitirama, Jerônimo Monteiro, Muniz Freire e Venda Nova do Imigrante, em suas totalidades; e, parcialmente inseridos na bacia, Ibatiba, Irupi, Itapemirim, Iúna, Marataízes, Muqui, Presidente Kennedy e Vargem Alta). A maior parte da bacia está localizada no território espírito-santense e corresponde a uma área de 5.913,68 km² (GEOBASES, 2012).

O rio Itapemirim, principal curso d'água dessa bacia hidrográfica, possui uma vazão média de 95 m^3/s e extensão de 135,44 km a partir da confluência do rio Braço Norte Esquerdo (83,28 km) e do Braço Norte Direito (70,95 km), no município de Alegre. Esses dois rios, acrescidos dos rios Castelo e Muqui do Norte, constituem os principais grandes afluentes do rio Itapemirim (KLIGERMAN, 2001).

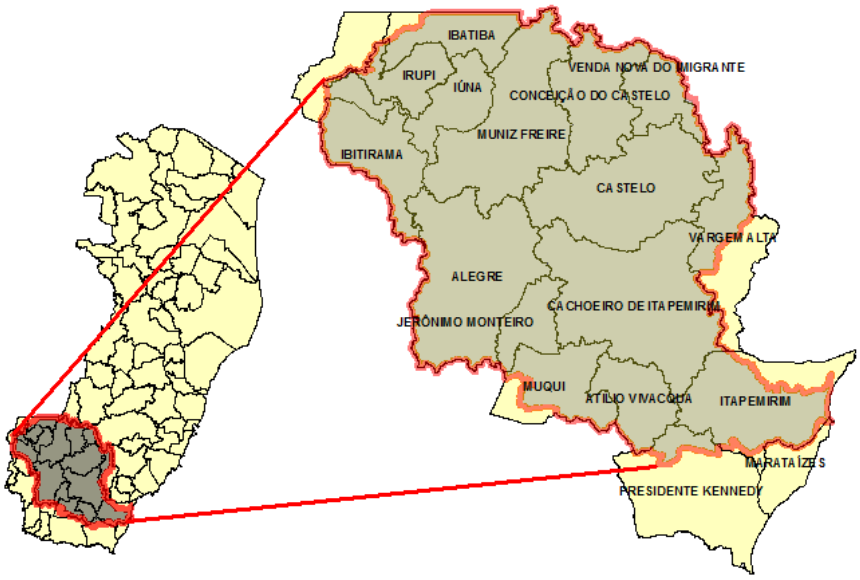

Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do rio Itapemirim no estado do Espírito Santo.

4.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos adotados nessa pesquisa, baseados no trabalho desenvolvido por Garcia et al. (2012), serão sumariamente descritos nas seções subsequentes.

4.2.1. ETAPA 1 – Coleta de dados

Para a condução do presente trabalho, constituíram fonte de informações: concessionárias responsáveis pela prestação de serviços de esgotamento sanitário aos municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Itapemirim; ~~o~~ Censo Demográfico referente ao ano de 2010, realizado pelo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); ~~o~~ Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, referente ao ano de 2009 (SNIS, 2011) e ~~o~~ Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas.

Para os municípios objetos de análise foram apropriadas as seguintes informações:

- Populações rural e urbana;
- Áreas das unidades territoriais contidas nos limites da bacia;

- Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) existentes e respectivas localizações;
- Localidade da população atendida com sistema de tratamento de esgoto;
- Sistema de tratamento de esgoto utilizado pela concessionária responsável pela prestação do serviço de esgotamento sanitário;
- Quantidade de ligações à rede coletora de esgoto com destinação para tratamento;
- Corpo d'água no qual a concessionária lança o efluente final após o tratamento do esgoto.

O QUADRO 1 apresenta a relação das concessionárias que prestam serviço de esgotamento sanitário e o(s) respectivo(s) município(s) por elas atendido(s).

Quadro 1 - Concessionárias de água e esgoto existentes na bacia hidrográfica do rio Itapemirim e os respectivos municípios atendidos

Concessionárias responsáveis pelo serviço de esgotamento sanitário	**Município(s) atendido(s)**
Companhia Espírito Santense de Saneamento - CESAN	Atílio Viváqua, Castelo, Conceição do Castelo, Ibatiba, Irupi, Iúna, Muniz Freire, Muqui, Presidente Kenedy e Venda Nova do Imigrante
Foz do Brasil	Cachoeiro de Itapemirim
Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE de Alegre	Alegre
SAAE de Ibitirama	Ibitirama
SAAE de Itapemirim	Itapemirim e Marataízes
SAAE de Jerônimo Monteiro	Jerônimo Monteiro
SAAE de Vargem Alta	Vargem Alta

No Quadro A.1 (Anexo A) são apresentados os dados fornecidos pelas referidas concessionárias e que efetivamente foram utilizados nesta pesquisa.

4.2.2. ETAPA 2 – Subdivisão da bacia do rio Itapemirim

Foi adotada a subdivisão da bacia do rio Itapemirim segundo o método desenvolvido por Otto Pfafstter, considerando-se o nível 5, cuja definição de limites encontra-se disponível na base de dados do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do

Estado do Espírito Santo (GEOBASES). Os referidos limites estão apresentados na Figura 3.

A subdivisão da bacia foi adotada para viabilizar a análise segmentada da região de estudo, de modo que os resultados obtidos possam servir como um instrumento de suporte à decisão para as ações de gerenciamento e planejamento da bacia.

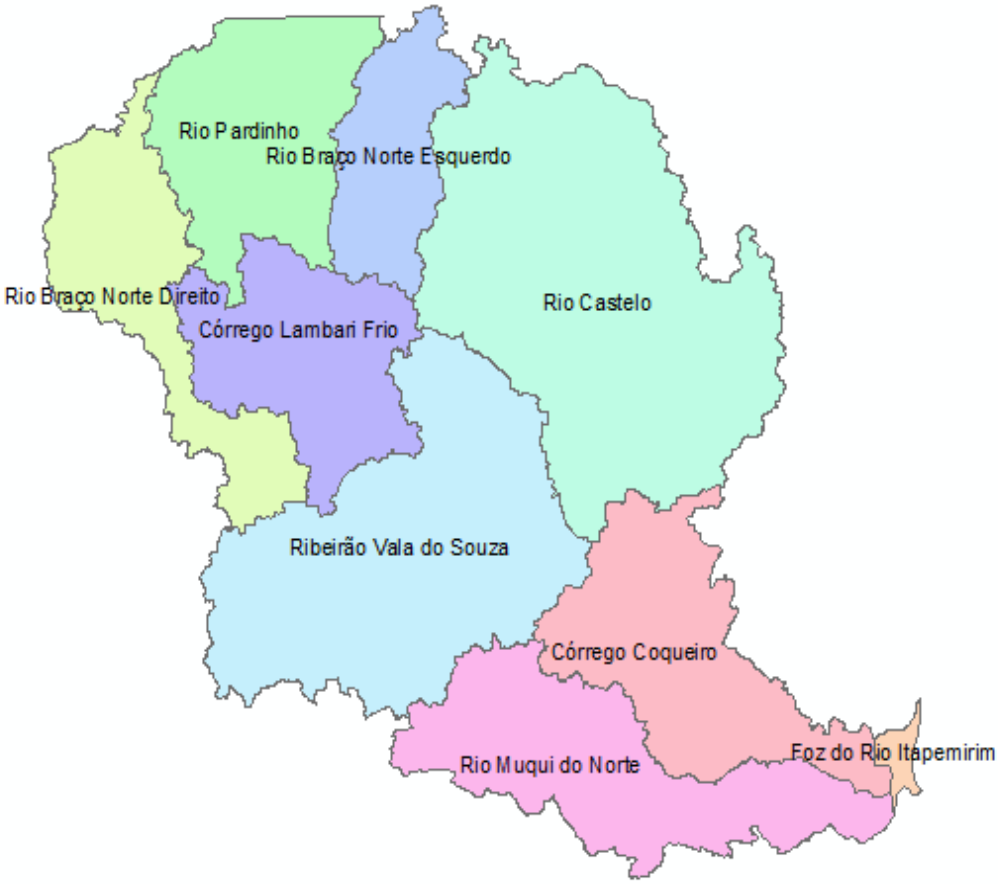

Figura 3 - Divisão por subbacia da porção da bacia hidrográfica do rio Itapemirim situada no Estado do Espírito Santo

4.2.3. ETAPA 3 - Determinação da disponibilidade hídrica superficial das subbacias

A disponibilidade hídrica superficial das subbacias foi estimada a partir de curvas de permanência de vazões médias regionalizadas. Essas curvas de permanência foram obtidas por meio dos seguintes procedimentos:

4.2.3.1. Seleção das estações fluviométricas

As séries históricas das estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Itapemirim foram obtidas na base dados do HidroWeb. Inicialmente, foram identificadas 63 estações fluviométricas cadastradas, das quais apenas 15 possuem registros de vazão disponíveis.

Na seleção das estações fluviométricas foram observados, principalmente, localização em relação à rede fluvial da bacia do rio Itapemirim, extensão da série história e qualidade das observações realizadas durante a operação da estação (percentual de falhas). O Quadro 2 apresenta extensão da série histórica das 15 estações pré-selecionadas.

Para a análise da qualidade e da quantidade dos dados hidrológicos das estações fluviométricas selecionadas, utilizou-se a ferramenta 'Disponibilidade de Dados' do Sistema Computacional para Análise Hidrológica[18] (SisCAH 1.0). A seleção das estações fluviométricas e respectivas séries históricas de vazões envolveu os seguintes critérios:

- Foram eliminadas as estações com série históricas inferiores a 20 anos;
- Foram eliminados os anos com percentuais de falhas iguais ou superiores a 5% dos dados registrados. Desta forma, foram considerados apenas os anos com percentuais de dados válidos iguais ou maiores que 95%.

A adoção dos referidos critérios conduziu a seleção de 9 estações fluviométricas com período comum de observações de 23 anos. A ocorrência das falhas nas estações e período selecionados foi considerada insignificante (menor ou igual a 3% em apenas 4 estações). Deste modo, optou-se por não realizar o preenchimento de falhas e considerar a série como um período contínuo de registro, conforme pode ser observado na Tabela 1.

[18] SisCAH – Software desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, para a realização de análises hidrológicas de séries históricas de vazão.

Em análise posterior, a estação fluviométrica de Castelo foi descartada, conforme discussão estabelecida em seção subsequente. Observa-se na Figura 4 a localização das estações fluviométricas consideradas no presente estudo. O Quadro 3, por sua vez, apresenta códigos e nomes das estações selecionadas, municípios e rios principais nos quais as estações estão localizadas; áreas de drenagem, extensão das séries históricas de vazões e coordenadas geográficas.

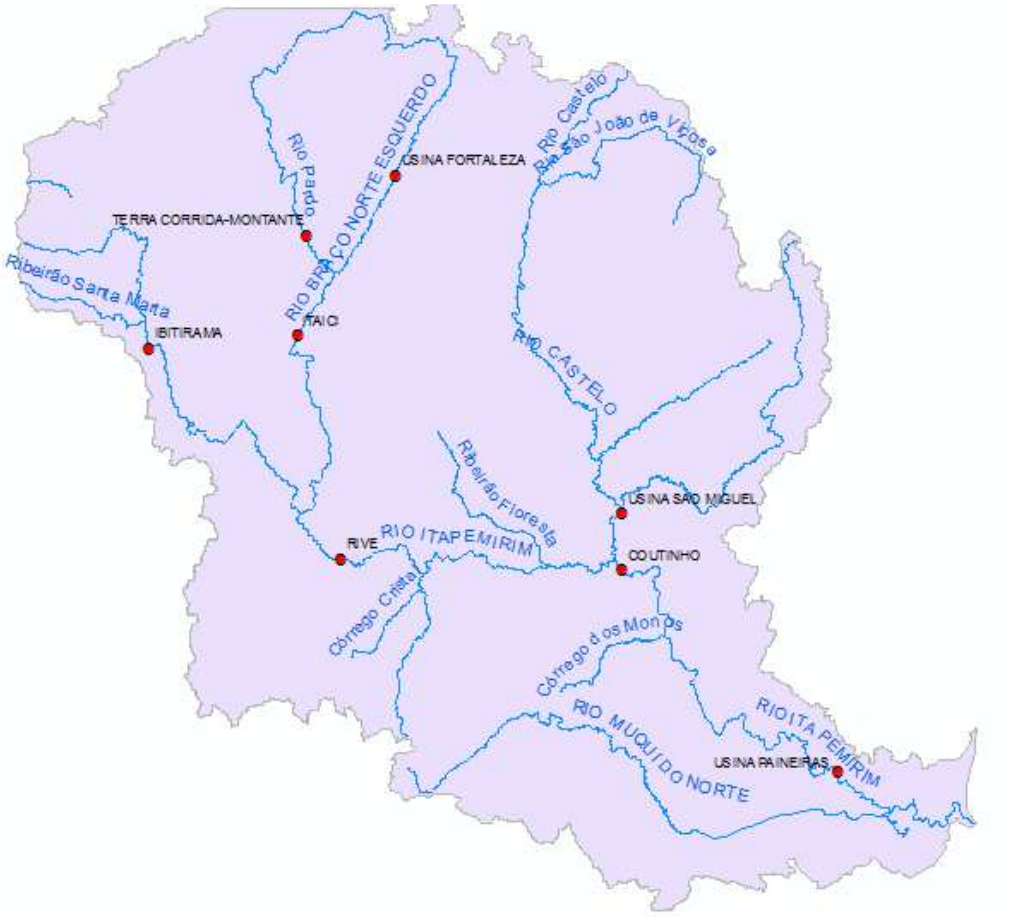

Figura 4 - Localização das estações fluviométricas selecionadas na porção capixaba da bacia do rio Itapemirim

Quadro 2 - Série histórica das 15 estações pré-selecionadas

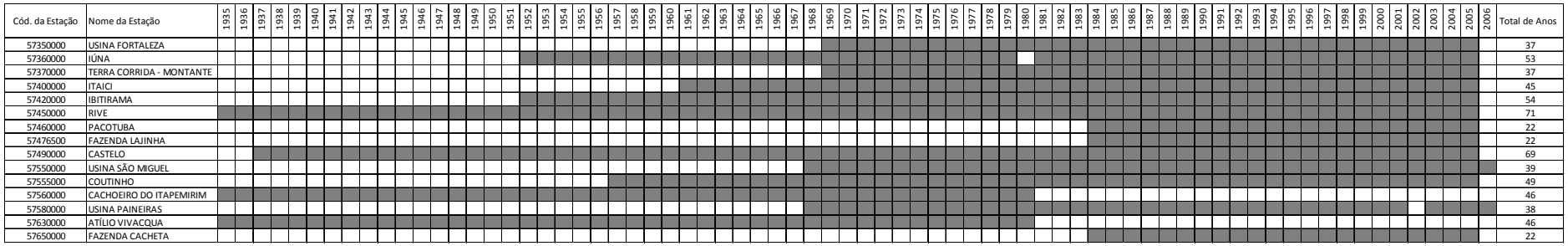

Tabela 1 - Registro de Dados Hidrológicos do Período Comum das Estações Fluviométricas

Código da Estação	Nome da Estação	Registro de Dados Hidrológicos por Ano (%)																						
		1973	1974	1975	1976	1977	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1989	1990	1993	1994	1995	2000	2001	2003	2005
57350000	Usina Fortaleza	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100
57370000	Terra Corrida - Montante	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
57400000	Itaici	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	100	100	100	100	100
57420000	Ibitirama	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
57450000	Rive	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
57490000	Castelo	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
57550000	Usina São Miguel	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
57555000	Coutinho	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
57580000	Usina Paineiras	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98

Registro de dados hidrológicos com % de falhas ≤ 3

Quadro 3 - Identificação e localização das estações fluviométricas da bacia do rio Itapemirim

Cód. da Estação	Nome da Estação	Município	Rio Principal	Área de Drenagem (Km^2)	Extensão da Série Histórica de Vazões (*)	Coord. Geográficas	
						Latitude	Longitude
57350000	Usina Fortaleza	Muniz Freire	rio Braço Norte Esquerdo	192	37	-20º22’17’’	-41º24’25’’
57370000	Terra Corrida - Montante	Muniz Freire	rio Pardo	544	37	-20º25’49’’	-41º30’10’’
57400000	Itaici	Muniz Freire	rio Braço Norte Esquerdo	1020	45	-20º31’42’’	-41º30’41’’
57420000	Ibitirama	Alegre	rio Braço Norte Direito	337	54	-20º32’26’’	-41º39’56’’
57450000	Rive	Alegre	rio Itapemirim	2220	71	-20º44’49’’	-41º27’58’’
57550000	Usina São Miguel	Cachoeiro de Itapermirim	rio Castelo	1450	39	-20º42’09’’	-41º10’25’’
57555000	Coutinho	Cachoeiro de Itapermirim	rio Itapemirim	4600	49	-20º45’30’’	-41º10’25’’
57580000	Usina Paineiras	Itapemirim	rio Itapemirim	5170	38	-20º57’09’’	-40º57’10’’

(*) Quantidade de anos com registros de vazões disponíveis na base de dados do HidroWeb.

4.2.3.2. Construção das curvas de permanência de vazões regionalizadas das estações fluviométricas selecionadas

O pré-processamento das séries históricas de vazões das estações selecionadas permitiu remover os anos com percentual de falha superior a 5% e garantiu a padronização da extensão das séries históricas com o descarte dos anos que não compunham o período comum de observações, definido para todas as estações.

A partir dos dados pré-processados foram construídas as curvas de permanência de vazões para as estações fluviométricas selecionadas utilizando-se os recursos disponíveis no programa SisCAH. Neste programa computacional é empregada a metodologia empírica para determinação dessas curvas, baseada na análise de frequência associada a cada dado de vazão. Nessa metodologia, o programa organiza as séries de dados de vazões em ordem decrescente e determina a frequência (f_i) associada a cada valor de vazão por meio da Equação 01:

$$fi = \left(\frac{NQi}{NT}\right).100 \qquad (Equação\ 01)$$

Na expressão anterior:

NQi: número de vazões de cada intervalo;

NT: número total de vazões.

Posteriormente, para a regionalização das curvas de permanência de vazões das estações fluviométricas selecionadas, foi adotada a metodologia indicada por Tucci (1991, apud SILVEIRA; SILVEIRA; TUCCI, 1998), a partir da qual se ajusta uma função (Equação 02) às vazões com permanência variando entre 50% (Q_{50}) e 95% (Q_{95}).

$$Q_R = e^{[(a.P)+b]} \qquad (Equação\ 02)$$

Na Equação 02:

Q_R: vazão regionalizada;

P: probabilidade de ocorrência das vazões (frequência %);

a e b : coeficientes determinados por meio das Equações 03 e 04, respectivamente.

$$a = -\frac{ln\left(Q_{50R}/_{Q_{95R}}\right)}{0{,}45} \qquad (Equação\ 03)$$

$$b = ln(Q_{50R}) - (0{,}5.a) \qquad (Equação\ 04)$$

Nas duas últimas expressões:

Q_{50R}: vazão de permanência regionalizada de 50%;

Q_{95R}: vazão de permanência regionalizada de 90%.

Para o estabelecimento das funções regionais para apropriação das vazões Q_{50R} e Q_{95R} foram estabelecidas, por análise de regressão, curvas que relacionassem as vazões Q_{50} e Q_{95} das estações fluviométricas estudadas com áreas de drenagem. Essas assumiram a forma de uma equação do tipo potência, conforme Equação 05.

$$Q_{P_R} = c.A^d \qquad (Equação\ 05)$$

onde:

Q_{P_R}: vazão de permanência regionalizada;

c e d: parâmetros da equação;

A: área de drenagem da bacia (variável independente da função regional).

A verificação da existência de homogeneidade hidrológica da região de estudo foi realizada por meio da análise da qualidade do ajuste do modelo de regressão de vazões específicas (Q_{50} e Q_{95}). Essa análise foi baseada na significância do coeficiente de correlação (R^2) da equação de regressão, no desvio percentual entre os valores das vazões observadas e estimadas pelo modelo de regressão e no erro padrão[19] da estimativa.

[19] Desvio padrão dos erros de ajustamento quantifica a dispersão dos valores observados da variável independente em torno da função ajustada. Um valor baixo desta estatística denota um ajustamento adequado (ELETROBRÁS, 1985). De acordo Naguetti e Pinto (2007), o desvio padrão mede a dispersão dos resíduos em torno da reta de regressão.

4.2.3.3. Construção das curvas de permanência de vazões regionalizadas das subbacias

Para a determinação das curvas de permanência de vazões regionalizadas de cada subbacia, entre Q_{50} a Q_{95}, foi utilizada a Equação 02. Os coeficientes dessa equação foram apropriados a partir da Equação 05, empregando-se a área de drenagem associada a cada subbacia, incluindo-se naturalmente as eventuais subbacias de montante, conforme divisão hidrográfica adotada neste estudo (Tabela 2).

Tabela 2 - Área de drenagem contribuinte para cada subbacia

Subbacia	**Sigla**	**Área contribuinte (km^2)**
Rio Braço Norte Direiro	SB1	509,96
Rio Pardinho	SB2	573,59
Rio Braço Norte Esquerdo	SB3	333,52
Córrego Lambari Frio	SB4	1432,73
Rio Castelo	SB5	1481,89
Ribeirão Vala do Souza	SB6	3086,43
Córrego Coqueiro	SB7	5882,85
Rio Muqui do Norte	SB8	683,9
Foz do Rio Itapemirim	SB9	5913,68

A determinação da área de cada subbacia foi realizada com base no arquivo das Ottobacias de Nível 5, em formato *shapefile*, adquiridos na base de dados do Instituto GEOBASES. As informações coletadas foram trabalhadas com o auxílio da ferramenta computacional ArcMap, componente do pacote ArcGIS 9.3. A Figura 5 apresenta uma representação das áreas de drenagem consideradas na construção das curvas de permanência das diferentes subbacias.

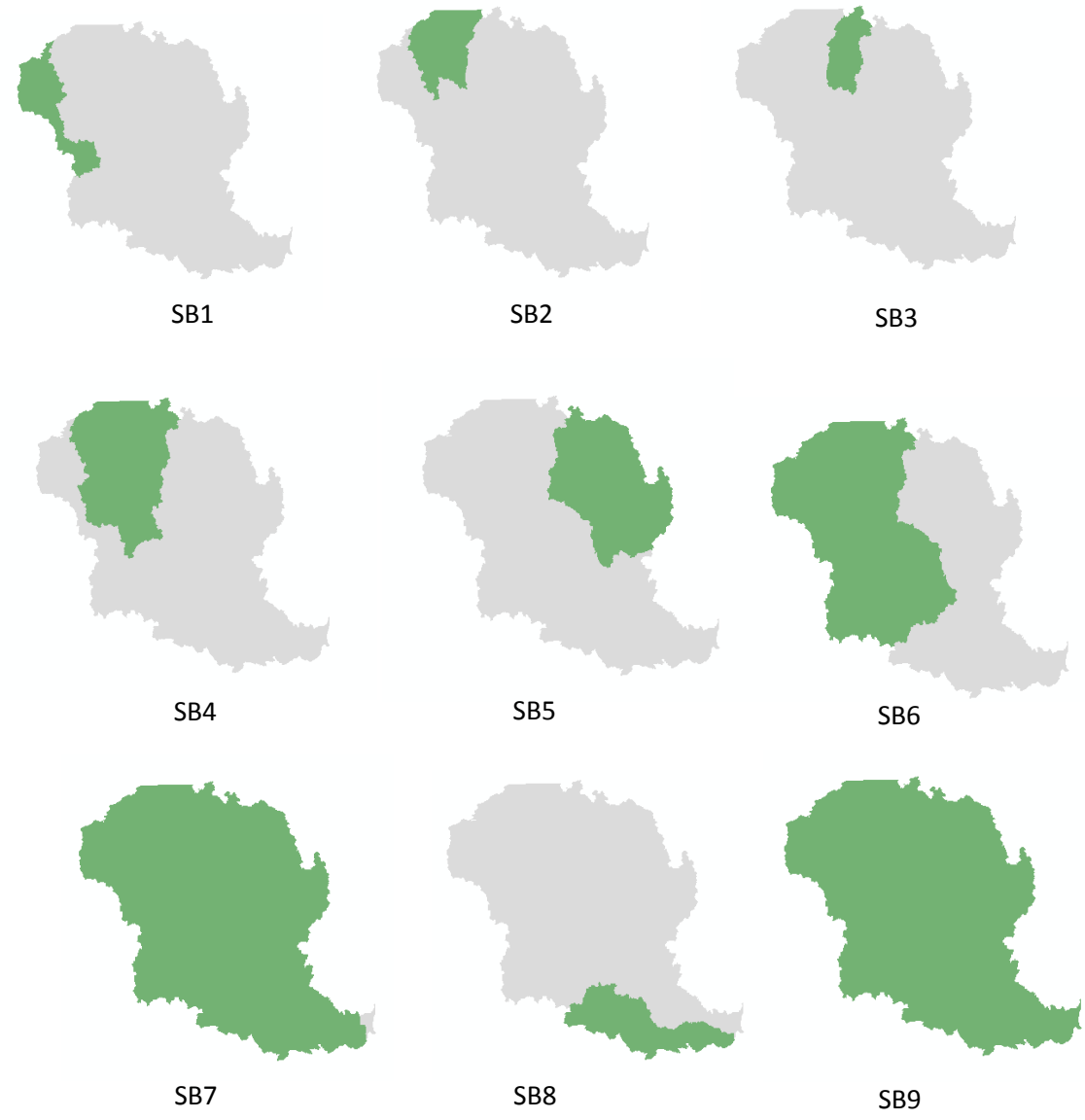

Figura 5 - Representação das áreas contribuintes consideradas na construção das curvas de permanência das diferentes subbacias

4.2.4. ETAPA 4 - Determinação da capacidade de carga dos rios, em função das diferentes classes de qualidade

A capacidade de carga dos rios, em função das diferentes classes de qualidade, foi obtida correlacionando-se as informações referentes à carga total remanescente e às curvas de permanência de cargas de cada subbacia.

As curvas de permanência de cargas de cada subbacia foram estabelecidas por meio do produto das vazões associadas às curvas de permanência de vazões regionalizadas pela concentração de DBO, referentes aos padrões ambientais

estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005, para rios Classes 1, 2 e 3 (3, 5 e 10 mg/l, respectivamente).

4.2.5. Estimativa das cargas totais remanescentes de DBO por subbacia

Neste estudo foram consideradas apenas as cargas totais remanescentes de DBO do setor de saneamento básico, especificamente aquelas associadas ao esgotamento sanitário, que correspondem às cargas de DBO domésticas produzidas não coletadas (cargas diretas) e às cargas oriundas do tratamento de esgoto (cargas remanescentes de DBO efluentes dos sistemas de tratamento de esgoto).

Foram estabelecidos quatro panoramas para a determinação das cargas remanescentes totais de DBO doméstica na região de estudo, assim descritos:

- **Panorama 1**

  Foram considerados os dados fornecidos pelas concessionárias responsáveis pelo serviço de esgotamento sanitário nos municípios inseridos na região de estudo para se estimar as cargas de DBO doméstica. Neste panorama foram consideradas informações sobre número de ligações à rede coletora de esgoto com destinação para tratamento e tipo de sistema de tratamento de esgoto utilizado.

- **Panoramas 2, 3 e 4**

  Foram consideradas para os panoramas 2, 3 e 4, respectivamente, eficiências de 0%, 70% e 85% para o tratamento de esgoto, em relação à remoção de DBO das cargas oriundas da população urbana da subbacia. Nesses panoramas assumiu-se que 100% da população urbana seria atendida com serviço de coleta e tratamento de esgoto.

A estimativa das cargas totais remanescentes em todos os panoramas foi realizada para os anos 2012, 2020 e 2030. As projeções de crescimento populacional para os anos de interesse foram realizadas por meio da aplicação da taxa média geométrica de crescimento anual da população residente, indicada pelo IBGE, de acordo com tendência média anual verificada entre os anos de 2000 e 2010 para o Estado do

Espírito Santo[20] (IBGE, 2011). Essa taxa de crescimento populacional (1,27%) foi aplicada sobre a população da região de estudo obtida do Censo 2010.

A determinação da população contida de cada subbacia foi realizada utilizando-se a sobreposição das imagens correspondentes aos limites das subbacias e dos limites dos setores censitários utilizados para levantamento das informações do CENSO 2010 (Malha digital dos setores censitários). Os arquivos dessas imagens, em formato *shapefile,* foram manipulados no ArcMap, que consiste em uma das ferramentas do pacote ArcGIS 9.3 da empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute). Através da superposição de imagens foram identificadas as parcelas dos setores censitários contidos em cada subbacia.

Os setores foram considerados integralmente em uma dada subbacia quando 95% ou mais de sua área estavam nela contido. Neste caso, toda a população do setor censitário foi então associada à bacia a qual ele foi vinculado. Para os casos em que a fração de área contida na bacia foi identificada como inferior a 95%, a população residente foi dada pela Equação 06:

$$\mathrm{P_{Sub}} = \left(\frac{\text{área do setor contida na bacia}}{\text{área total do setor}}\right) . \mathrm{P_{Set}} \qquad \text{(Equação 06)}$$

onde:

P_{Sub} : População do setor censitário contida na subbacia;

P_{Set}: População do setor censitário.

É relevante registrar que as populações dos setores censitários foram estabelecidas com base na variável População Residente (V014) apresentada na tabela Base de Informações dos Setores 2010[21]. As populações dos setores censitários urbanos (tipos 1, 2 e 3) foram classificadas como urbana, assim como as populações dos setores rurais (tipos 4, 5, 6, 7 e 8) foram classificadas como rural.

[20] Neste estudo foi considerada a taxa média geométrica de crescimento populacional para o Estado do Espírito Santo no intuito de se estabelecer um crescimento vegetativo positivo dos municípios da região em estudo. Ressalta-se, entretanto, que o Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) indica taxas médias negativas de crescimento geométrico verificadas entre os anos de 2000 e 2011 para alguns municípios da região de estudo (IJSN, 2011).

[21] Disponível no diretório do IBGE:

ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Sinopse/Agregados_por_Setores_Censitarios

Considera-se relevante assinalar que, como as concessionárias que prestam serviço de esgoto atuam no âmbito do município, as cargas estimadas de DBO, inerentes à população urbana, foram alocadas nas subbacias onde a população urbana de cada município está contida, tendo em vista que existem municípios cujas áreas estão distribuídas por mais de uma subbacia.

Por outro lado, considerou-se que o esgoto doméstico gerado pela população rural não é coletado e tratado, sendo o mesmo disposto na própria região onde a população reside. Assim, para o cálculo da carga de DBO associada à população rural, foi utilizada a população contida em cada subbacia.

Na Tabela I.1 (Apêndice I) são apresentadas as subbacias, com suas respectivas localidades, as populações rural e urbana.

- **Estimativa do Percentual de Atendimento Urbano com Esgotamento Sanitário:**

O percentual de atendimento urbano com esgotamento sanitário foi estimado baseado no cálculo do Índice de Atendimento Urbano de Esgoto (I_a), apropriado pela Equação 07 (SNIS, 2011):

$$I_a = [(N_l \,.\, T_{oc})/P_{U_r})] \,.\, 100 \qquad (Equação\ 07)$$

Na expressão 07:

P_{U_r}: População urbana residente do município[22];

N_l: Número de economias residenciais ativas de esgoto na zona urbana[23] do município;

T_{oc} : Taxa média de habitantes por domicílio do município[24].

[22] Inclui tanto a população beneficiada quanto a que não é beneficiada com o serviço de esgotamento sanitário (SNIS, 2009).

[23] Na realização da estimativa da população urbana beneficiada com esgotamento sanitário deverá ser abatido da quantidade de economias residenciais ativas de esgoto, existentes na zona urbana, o quantitativo correspondente aos domicílios atendidos e que não contam com população residente. Como, por exemplo, em domicílios utilizados para veraneio, em domicílios utilizados somente em finais de semanas, imóveis desocupados, dentre outros (SNIS, 2011). Nesse sentido, considerou-se neste estudo que o número de ligações à rede coletora de esgoto, fornecido pela concessionária responsável, corresponde a domicílios atendidos com população residente.

Tendo em vista que algumas concessionárias forneceram o número de ligações[25] à rede coletora de esgoto da localidade atendida, com o respectivo valor do percentual do esgoto coletado que de fato recebe tratamento, o percentual efetivo de atendimento à população com esgotamento sanitário foi estimado por meio da Equação 08.

$$\%Ef_a = I_a \,.\, \%Esg_{C_t} \qquad (Equação\ 08)$$

Onde:

$\%E_a$: percentual efetivo de atendimento à população com serviço de coleta e tratamento de esgoto;

$\%Esg_{C_t}$: percentual do esgoto coletado.

Nas localidades urbanas sem tratamento de esgoto e para população rural esse percentual foi considerado igual à zero.

- **<u>Estimativa da Vazão Doméstica Média de Esgoto</u>**

A vazão doméstica média de esgotos da população urbana e rural foi calculada por meio das Equações 09 e 10, respectivamente, baseadas em Von Sperling (2005):

$$Q_u = P_u \,.\, QPC \,.\, R \qquad (Equação\ 09)$$

$$Q_r = P_r \,.\, QPC \,.\, R \qquad (Equação\ 10)$$

onde:

Q_u: vazão doméstica média de esgotos inerente à população urbana (l/d);

Q_r: vazão doméstica média de esgotos inerente à população rural (l/d);

P_u: população urbana;

P_r: população rural;

---

[24] O SNIS (2009) indica que o valor da Taxa média de habitantes por domicílio do município seja obtida no último Censo ou Contagem de População do IBGE. Neste estudo, adotou-se o valor da Média de Moradores em Domicílios Particulares Ocupados, por município, fornecida no Censo 2010.

[25] O número de ligações à rede coletora de algumas concessionárias reflete a soma de ligações do esgoto que é apenas coletado com a do esgoto que é coletado e tratado.

QPC: Quota per capita de água (l/hab.d);

R: Coeficiente de retorno esgoto/água[26].

Neste estudo, assumiu-se coeficiente de retorno de 0,8. O valor adotado para a QPC[27] (150 l/hab.d) corresponde aproximadamente ao consumo médio *per capita* de água no Brasil, relativo ao ano de 2009, conforme SNIS (2011) (148,5 l/hab.d).

- **Estimativa das Cargas Diretas de DBO Doméstica**

Para o cálculo da carga direta de DBO doméstica, relativa à população rural e à população urbana não atendida com esgotamento sanitário, foram empregadas as Equações 11 e 12 baseadas em Von Sperling (2005):

$$CDu_{DBO_{5,20}} = Q_u \,.\, (1 - \%Ef_a) \,.\, Cb_{DBO_{5,20}} \qquad (Equação\ 11)$$

$$CDr_{DBO_{5,20}} = Q_r \,.\, Cb_{DBO_{5,20}} \qquad (Equação\ 12)$$

Nas expressões anteriores:

$CDu_{DBO_{5,20}}$: Carga direta de $DBO_{5,20}$ doméstica, relativa à população urbana não atendida com esgotamento sanitário;

$CDr_{DBO_{5,20}}$: Carga direta de $DBO_{5,20}$ doméstica, relativa à população rural;

$Cb_{DBO_{5,20}}$: Concentração de $DBO_{5,20}$ doméstica de esgoto bruto[28] (neste estudo, 400 mg/l).

- **Estimativa da Carga Remanescente de DBO Doméstica do Esgoto Tratado**

A carga remanescente de DBO doméstica do esgoto tratado, relativa à população urbana, foi calculada utilizando-se a Equação 13:

---

[26] R: corresponde a fração da água fornecida que adentra a rede de coleta na forma de esgoto (vazão de esgoto/vazão de água) (VON SPERLING, 2005).

[27] O consumo médio *per capita* de água é definido, no SNIS, como o volume de água consumido, excluído o volume de água exportado, dividido pela população atendida com abastecimento de água. Ou seja, é a média diária, por indivíduo, dos volumes utilizados para satisfazer os consumos doméstico, comercial, público e industrial (SNIS, 2011).

[28] Adotou-se o valor de 400 mg/l para a concentração de $DBO_{5,20}$ doméstica de esgoto bruto. Esse valor corresponde ao limite superior da faixa de concentração de $DBO_{5,20}$ característica de esgoto bruto doméstico, indicada por Von Sperling (2005) e Jordão e Pessôa (2009).

$$CRu_{DBO_{5,20}} = Q_u \,.\, \%Ef_a \,.\, Ct_{DBO_{5,20}} \qquad (Equação\ 13)$$

sendo:

$CRu_{DBO_{5,20}}$: Carga remanescente de $DBO_{5,20}$ doméstica de esgoto tratado, relativa à população urbana;

$Ct_{DBO_{5,20}}$: Concentração de $DBO_{5,20}$ doméstica de esgoto tratado.

Neste estudo, adotou-se o valor superior [29] da faixa de concentração média remanescente de $DBO_{5,20}$ doméstica, indicada por Von Sperling (2005), de acordo com o tipo de sistema de tratamento de esgoto utilizado pela concessionária. A exceção foi considerada para as localidades de Castelo, Piaçu (Muniz Freire) e Venda Nova do Imigrante, uma vez que a concessionária responsável pelo serviço de esgoto nessas regiões forneceu o valor da concentração $DBO_{5,20}$ do esgoto tratado.

- **<u>Estimativa da Carga Remanescente Total de DBO Doméstica por subbacia</u>**

A carga remanescente total de DBO doméstica em cada subbacia, para o panorama 1 e para os panoramas 2, 3 e 4 foram determinadas, respectivamente, por meio das Equações 14 e 15:

$$CRT(P_1)_{DBO_{5,20}} = \mathrm{CDu}_{DBO_{5,20}} + \mathrm{CDr}_{DBO_{5,20}} + \mathrm{CRu}_{DBO_{5,20}} \qquad (\text{Equação } 14)$$

$$CRT(P_{2,3,4})_{DBO_{5,20}} = \mathrm{CDr}_{DBO_{5,20}} + \mathrm{CRu}_{DBO_{5,20}} \qquad (Equação\ 15)$$

Onde:

$CRT(P_1)_{DBO_{5,20}}$: Carga remanescente total de $DBO_{5,20}$ doméstica na subbacia, relativa ao panorama 1.

$CRT(P_{2,3,4})_{DBO_{5,20}}$: Carga remanescente total de $DBO_{5,20}$ doméstica na subbacia, relativa aos panoramas 2, 3 ou 4.

---

[29] Adotou-se o valor superior da faixa de concentração média remanescente de $DBO_{5,20}$ doméstica, com vistas a se trabalhar com o pior cenário.

Observa-se que no cálculo da carga remanescente total de $DBO_{5,20}$ doméstica, relativa aos panoramas 2, 3 e 4, não foi inserida a carga direta de $DBO_{5,20}$, referente à população não atendida, tendo em vista que, nesses panoramas, foi considerado que toda população urbana é atendida com serviços de esgotamento sanitário.

4.2.5.1. Considerações realizadas para a estimativa das cargas totais remanescentes por subbacia

Definiu-se a origem (subbacias contribuintes) e o destino (subacias de lançamento) do esgoto doméstico produzido nas nove subbacias estudadas (Quadro 4), conforme representação gráfica apresentada pela Figura 6.

Quadro 4 - Origem e destino das cargas totais remanescentes de DBO nas subbacias

Origem	Destino
SB1	SB1
SB2	SB2
SB3	SB3
SB2, SB3 e SB4	SB4
SB5	SB5
SB1, SB2, SB3, SB4 e SB6	SB6
SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, SB6, SB7 e SB8	SB7
SB8	SB8
SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, SB6, SB7, SB8 e SB9	SB9

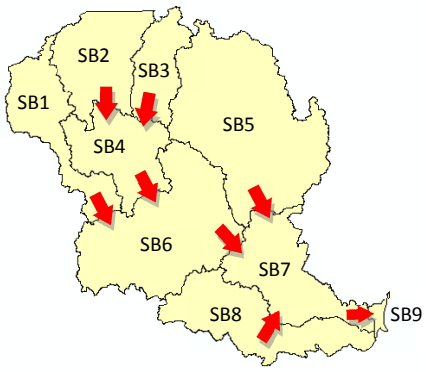

Figura 6 - Representação esquemática da origem e do destino das cargas

Foram realizadas as seguintes considerações para a estimativa das cargas totais remanescentes por subbacias:

- No panorama 1 não foi considerada a ocorrência de investimentos para a ampliação do percentual de atendimento urbano com serviço de esgotamento sanitário, durante o período analisado, mantendo-se constante a população atendida por esse serviço. Dessa forma, avaliou-se o impacto que o crescimento vegetativo da população produziu em cada subbacia, de acordo com o cenário de enquadramento considerado. Nos demais panoramas, conforme já observado, foi considerado que 100% da população urbana é atendida por serviço de esgotos em todo período analisado.

- A avaliação das cargas totais remanescentes na bacia do rio Itapemirim se restringiu à carga gerada pela população efetivamente situada nos limites da bacia. Deste modo, não foram considerados os casos em que ocorre a transposição de cargas de esgoto doméstico. A exceção a esta regra consiste no caso da população urbana de Marataízes, cuja ETE que recebe os efluentes gerados por ela se encontra dentro da bacia do rio Itapemirim;

- Não foi considerado o processo de autodepuração nos corpos d'água, reproduzindo-se condições de avaliação estabelecidas por Garcia et al. (2012);

- A carga gerada em uma subbacia contribuinte é encaminhada para a subacia situada à jusante (subbacia de lançamento), sendo somada à carga gerada nesta segunda. Tal processo se dá continuamente até que se atinja o exutório da bacia.

4.2.6. ETAPA 5 – Elaboração de cenários de enquadramento

Foram considerados, por panorama avaliado, nove cenários de enquadramento, estabelecidos a partir de três possíveis classes de enquadramento (Classes 1, 2 e 3) e três horizontes de tempo (2012, 2020 e 2030). O QUADRO 5 apresenta a matriz representativa dos cenários propostos.

Quadro 5 - Matriz representativa dos cenários de enquadramento

		Classe 1	Classe 2	Classe 3
Panorama	2012	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
	2020	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
	2030	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 9

A avaliação qualitativa, para cada subbacia, foi realizada com base na probabilidade de enquadramento da subbacia em determinada classe de uso. Dessa forma, a probabilidade de permanência nas classes de enquadramento pode ser compreendida como o tempo de permanência da vazão natural necessária à diluição da carga de DBO remanescente da subbacia, de forma a se permitir o enquadramento do rio nas Classes 1, 2 ou 3.

A avaliação da disponibilidade hídrica superficial possibilitou a análise da relação entre DBO (carga total remanescente) e vazão disponível e a interpretação de níveis de concentração em função do tempo de permanência. Dessa forma, foi avaliada a máxima carga admissível pelo corpo hídrico na seção considerada, de forma a se conservar o curso d'água numa determinada classe de uso, para uma dada vazão de referência. Nesta etapa, foi considerado como vazão 50% da vazão de 90% de permanência (50% da vazão Q_{90}).

4.2.7. ETAPA 6 – Determinação das cargas de DBO a serem tratadas em cada subbacia segundo os cenários propostos

A determinação da carga remanescente de DBO a ser tratada em cada subbacia, por classe de enquadramento, foi realizada em função da capacidade de suporte dos cursos d'água e da carga total remanescente do corpo receptor.

Assim, para a fração da vazão de referência adotada neste estudo (50% da vazão Q_{90}), foi obtida, por subbacia e por classe de enquadramento, a parcela correspondente à carga remanescente a ser tratada, para cada um dos panoramas estabelecidos.

Reproduzindo a abordagem apresentada por Garcia et al. (2012), onde foi buscado priorizar que os investimentos a serem feitos para a remoção de cargas remanescentes na subbacia sejam direcionados à população não atendida, neste estudo também foi considerado que o rio dilui, preferencialmente, a parcela de carga total remanescente da subbacia relativa à população atendida, ou seja, a carga remanescente do tratamento de esgoto. Nesse contexto, duas situações foram consideradas (Figura 7):

- No caso da carga remanescente do tratamento de esgoto ser superior à capacidade de diluição do rio, a parcela relativa à carga remanescente a ser tratada foi formada pela carga produzida não coletada (carga direta) acrescida da parcela excedente da carga remanescente do tratamento não diluída pelo rio;

- No caso da carga remanescente do tratamento de esgoto ser inferior à capacidade de diluição do rio, a parcela referente à carga remanescente a ser tratada foi composta apenas pela carga direta.

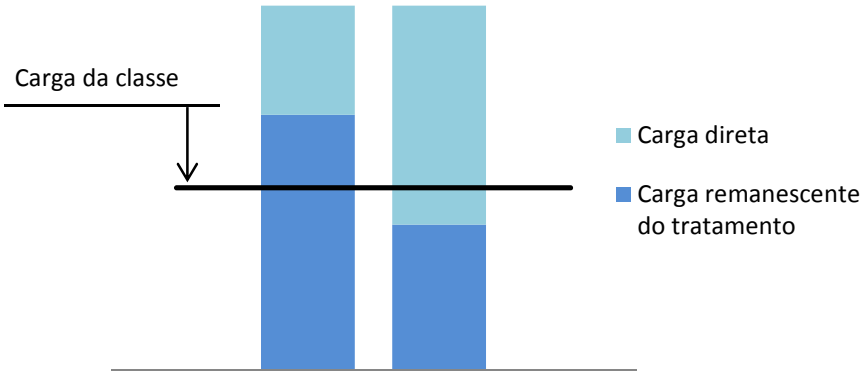

Figura 7 - Parcelas da carga remanescente a ser tratada
Fonte: Garcia et al. (2012)

4.2.8. ETAPA 7 – Estimativa dos custos para atendimento de cenário de enquadramento proposto

As avaliações de custos constantes deste trabalho, de caráter preliminar e amparada em informações apresentadas por Garcia et al. (2012) e Porto et al. (2007), ficou limitada ao panorama 1 associado ao ano de 2012.

No trabalho apresentado por Porto et al. (2007) foram estabelecidas funções de custos de implantação de sistemas de tratamento de esgoto em função do tipo de sistema de tratamento e da população atendida, com ano base de 2002. Para a determinação dessas funções, os referidos autores utilizaram dados de literatura técnica referentes ao custo médio de implantação e custo médio de operação e manutenção de cada tipo de sistema de tratamento de esgoto considerado no estudo. Os custos estimados por meio dessas funções não abrangem valores referentes ao projeto, desapropriações, topografia, estudos geotécnicos, testes, pré-operação, seguros, rede coletora de esgoto, interceptores e encargos sociais.

Nesse contexto, definiram-se os seguintes procedimentos para estima dos custos inerentes à remoção da carga orgânica doméstica a ser tratada no ano de 2012:

- **Estimativa do Custo Unitário de Remoção de DBO**

Para esta pesquisa foram sugeridos[30] dois tipos de sistemas de tratamento de esgoto, cujos custos de implantação foram estimados por meio das funções de custo estabelecidas por Porto et al. (2007), conforme apresentado no Quadro 6.

[30] A escolha dos sistemas de tratamento de esgoto citados no Quadro 6 foi realizada apenas com o intuito de se aplicar as funções de custo propostas no trabalho de Porto et al. (2007), não devendo, portanto, ser entendido que os sistemas sugeridos sejam os mais adequados para serem empregados na região deste estudo.

Quadro 6 - Funções de custo de implantação de sistemas de tratamento de esgoto

Tipo de Sistema de Tratamento de Esgoto	Função de custo de implantação da ETE (Y)
UASB + Biofiltro Aerado Submerso (UASB + BAS)	$Y = 10{,}155\,.X$
Lodos Ativados Convencional ($LODOS_{AC}$)	$Y = 15{,}065\,.\,X^{0{,}9934}$

A variável 'X' nas funções de custo apresentadas no Quadro 6 corresponde à população atendida pelo sistema de tratamento de esgoto. Neste estudo, essa variável foi aplicada à população rural e à população urbana não atendida com serviço de esgotamento sanitário.

Foi considerado que os investimentos a serem feitos nas subabacias, para a remoção de cargas remanescentes de DBO a serem tratadas, sejam direcionados, prioritariamente, à população urbana não atendida e, posteriormente, à população rural. Desta forma, a população rural será considerada na aplicação de investimentos caso a carga remanescente a ser tratada tenha valor superior à carga direta de DBO gerada pela população urbana não atendida.

Nesse contexto, foram estabelecidas alternativas para tratamento da carga remanescente a ser tratada, conforme o tipo de população a ser atendida (Quadro 7).

Quadro 7 – Alternativas de tratamento da carga remanescente a ser tratada

Alternativas	População a ser atendida	Tipo de sistema de tratamento considerado
Alternativa 1	População urbana e rural	'UASB + BAS'
Alternativa 2	População urbana	'$LODOS_{AC}$'
	População rural	'UASB + BAS'

Assim, a partir das funções de custo (Quadro 6), estabelecidas para o ano base de 2002, obteve-se para cada classe de enquadramento referente ao panorama 1, o custo unitário de implantação dos sistemas de tratamento propostos, por meio da Equação 16.

$$CustoU_{STE}(R\$/hab) = \frac{Y\ (R\$)}{P_{Sub_{na}}(hab)} \qquad (Equação\ 16)$$

Na expressão 16:

Y : Custo total de implantação do sistema de tratamento de esgoto;

$CustoU_{STE}$: Custo unitário de implantação do sistema de tratamento de esgoto;

$P_{Sub_{na}}$: População contida na subbacia não atendida com serviço de esgotamento sanitário.

De forma similar ao trabalho de Porto et al. (2007), a correção dos valores obtidos dos custos unitários de implantação dos sistemas de tratamento de esgoto considerados neste estudo, para o ano de 2012, foi realizada por meio do Índice Nacional da Construção Civil (INCC).

O custo de remoção de 1 tonelada de DBO por dia, por sua vez, foi estimado por meio da Equação 17 (GARCIA et. al, 2012):

$$CustoU_{DBO_{5,20}}(R\$/(t\ DBO/d)) = \frac{CustoUc_{STE}\ (R\$/hab)}{Cpc_{DBO_{5,20}}(t\ DBO)/(d.hab)} \qquad (Equação\ 17)$$

onde:

$CustoU_{DBO_{5,20}}$: Custo de remoção de 1 tonelada de $DBO_{5,20}$ por dia;

$CustoUc_{STE}$: Custo unitário corrigido de implantação do sistema de tratamento de esgoto;

$Cpc_{DBO_{5,20}}$: Carga *per capita* de $DBO_{5,20}$ doméstica[31] (54 g $DBO_{5,20}$/hab.d).

- **<u>Estimativa do Custo Total de Remoção de DBO</u>**

Para estimativa do custo total de remoção de DBO, foi utilizada a Equação 18:

$$CustoT_{DBO_{5,20}}(R\$) = CustoU_{DBO_{5,20}}(R\$\ /\ (t\ DBO/d)).CR_{ast}\ ((t\ DBO)\ /\ d)$$

(Equação 18)

Na Equação 18:

[31] Cada indivíduo contribui por dia, em média, com o equivalente a 54 gramas de DBO (VON SPERLING, 2005).

$CustoT_{DBO_{5,20}}$: Custo total de remoção de $DBO_{5,20}$;

CR_{ast}: Carga remanescente a ser tratada para alcançar o enquadramento, considerando 50% da Q_{90}.

De forma que fossem considerados os custos adicionais relativos à desapropriação e à bonificação e despesas indiretas (BDI), foram acrescidos 40% sobre o custo total de remoção de DBO, baseado em Porto et al. (2007). Assim, tem-se:

$$CustoTc_{DBO_{5,20}} = CustoT_{DBO_{5,20}} + \left(40\% \,.\, CustoT_{DBO_{5,20}}\right) \qquad (Equação\ 19)$$

sendo:

$CustoTc_{DBO_{5,20}}$: Custo total corrigido de remoção de $DBO_{5,20}$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. REGIONALIZAÇÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES

As Equações 20 e 21 representam as funções regionais aplicáveis à apropriação das vazões Q_{50} e Q_{95} na bacia do rio Itapemirim, respectivamente. Ambas as equações apresentaram coeficiente de correlação muito próximos da unidade, com R^2 igual a 0,9879 para a vazão Q_{50} e igual a 0,9922 para a vazão Q_{95}. Nas referidas equações apenas a área (A) figurou como variável independente.

$$Q_{50R} = 0{,}0409 \,.\, A^{0{,}8338} \qquad (Equação\ 20)$$

$$Q_{95R} = 0{,}0163 \,.\, A^{0{,}8434} \qquad (Equação\ 21)$$

É relevante registrar, conforme já observado, que a estação de Castelo foi desconsiderada do processo de regionalização desenvolvido neste estudo, tendo em vista que o desvio percentual entre os valores de vazões observado e estimado da vazão Q_{95} para a estação apresentou magnitude superior ao valor limite (30%), sugerido como aceitável pela Eletrobrás (1985).

Adicionalmente, deve-se observar que a desconsideração da estação de Castelo do processo de regionalização não comprometeu a distribuição de estações fluviométricas na área de estudo, uma vez que a estação de Usina São Miguel, situada à jusante da estação de Castelo, possui área de drenagem semelhante e está localizada no mesmo corpo hídrico (o rio Castelo) onde se encontra instalada a estação removida.

A Tabela 3 e a Tabela 4 apresentam os valores observados e estimados da vazão com permanência de 50% e 95%, com os seus respectivos desvios percentuais.

Tabela 3 - Valores observados e estimados da vazão Q_{50} para as estações fluviométricas selecionadas

Código da Estação	Nome da Estação	Rio Principal	Área de Drenagem (km^2)	Q_{50} (m^3/s) (Observada)	Q_{50R} (m^3/s) (Estimada)	Desvios Percentuais (%)
57420000	Ibitirama	rio Braço Norte Direito	337	6,48	5,06	-19,19
57550000	Usina São Miguel	rio Castelo	1450	9,57	12,28	15,61
57350000	Usina Fortaleza	rio Braço Norte Esquerdo	192	3,04	3,16	7,95
57370000	Terra Corrida -Montante	rio Pardo	544	7,36	7,55	6,12
57450000	Rive	rio Itapemirim	2220	26,80	24,52	-5,86
57555000	Coutinho	rio Itapemirim	4600	15,30	17,16	-5,48
57400000	Itaici	rio Braço Norte Esquerdo	1020	12,65	12,78	4,31
57580000	Usina Paineiras	rio Itapemirim	5170	49,00	45,13	0,63
					Erro Padrão	0,11

Tabela 4 - Valores observados e estimados da vazão Q_{95} para as estações fluviométricas selecionadas

Código da Estação	Nome da Estação	Rio Principal	Área de Drenagem (km^2)	Q_{95} (m^3/s) (Observada)	Q_{95R} (m^3/s) (Estimada)	Desvios Percentuais (%)
57550000	Usina São Miguel	rio Castelo	1450	6,52	7,56	16,01
57450000	Rive	rio Itapemirim	2220	11,98	10,83	-9,61
57370000	Terra Corrida - Montante	rio Pardo	544	3,62	3,31	-8,64
57350000	Usina Fortaleza	rio Braço Norte Esquerdo	192	1,28	1,37	7,54
57420000	Ibitirama	rio Braço Norte Direito	337	2,37	2,21	-6,84
57400000	Itaici	rio Braço Norte Esquerdo	1020	5,37	5,62	4,67
57555000	Coutinho	rio Itapemirim	4600	19,16	20,02	4,46
57580000	Usina Paineiras	rio Itapemirim	5170	22,80	22,09	-3,14
					Erro padrão	0,089

Todos os desvios percentuais obtidos, tanto para Q_{50} quanto para a Q_{95}, apresentam-se abaixo do valor limite indicado pela Eletrobrás (30%). Os desvios percentuais relativos à vazão Q_{50} oscilaram em valor absoluto de 0,63% (estação Usina Paineiras) a 19,19% (estação Ibitirama) e os da vazão Q_{95} oscilaram de 3,14% (estação Usina Paineiras) a 16,01% (estação Usina São Miguel).

5.2. CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES REGIONALIZADAS PARA AS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

As equações empíricas obtidas para construção das curvas de permanência de vazões regionalizadas entre 50% e 95%, com os respectivos coeficientes dessas equações, estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Equações das curvas de permanência de vazões regionalizadas no trecho de 50% a 95% para as estações fluviométricas selecionadas.

Código da Estação	Nome da Estação	a	b	Equação Empírica (Vazão estimada)
57350000	Usina Fortaleza	-1,93	2,15	$Q_R = e^{(-1,93.P + 2,15)}$
57370000	Terra Corrida - Montante	-1,91	3,01	$Q_R = e^{(-1,91.P + 3,01)}$
57400000	Itaici	-1,90	3,53	$Q_R = e^{(-1,90.P + 3,53)}$
57420000	Ibitirama	-1,92	2,62	$Q_R = e^{(-1,92.P + 2,62)}$
57450000	Rive	-1,88	4,17	$Q_R = e^{(-1,88.P + 4,17)}$
57550000	Usina São Miguel	-1,89	3,82	$Q_R = e^{(-1,89.P + 3,82)}$
57555000	Coutinho	-1,86	4,77	$Q_R = e^{(-1,86.P + 4,77)}$
57580000	Usina Paineiras	-1,86	4,86	$Q_R = e^{(-1,86.P + 4,86)}$

O Gráfico 1 apresenta uma comparação entre a curva de permanência de vazões reais e a de vazões regionalizadas (entre 50% e 95% de permanência) para a estação Terra Corrida - Montante. No Gráfico 2, essas curvas são apresentadas para o trecho regionalizado, objetivando maior nível de detalhamento.

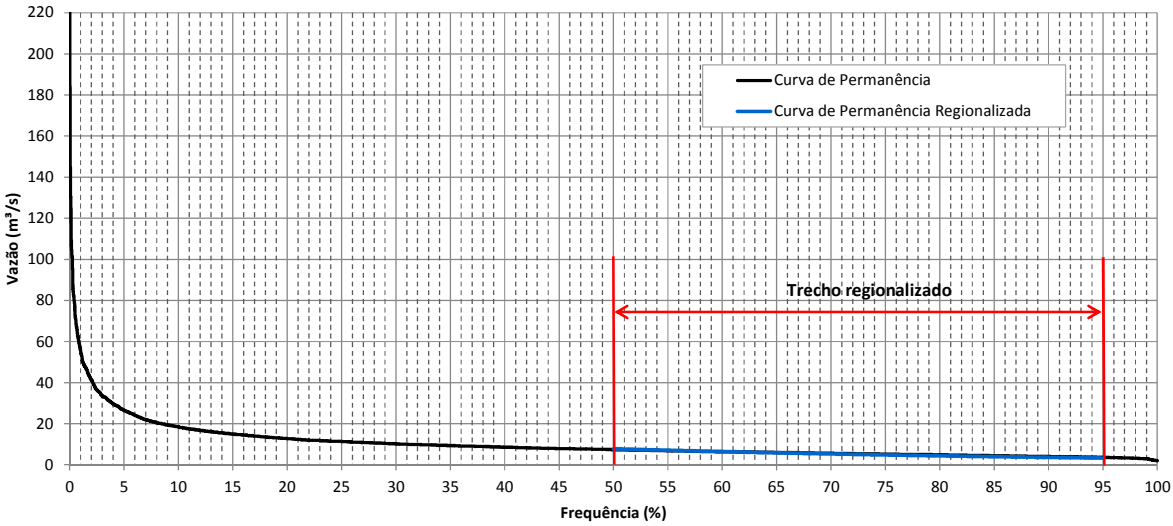

Gráfico 1 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (trecho entre 50% e 95% de permanência) para a estação Terra Corrida - Montante (57370000)

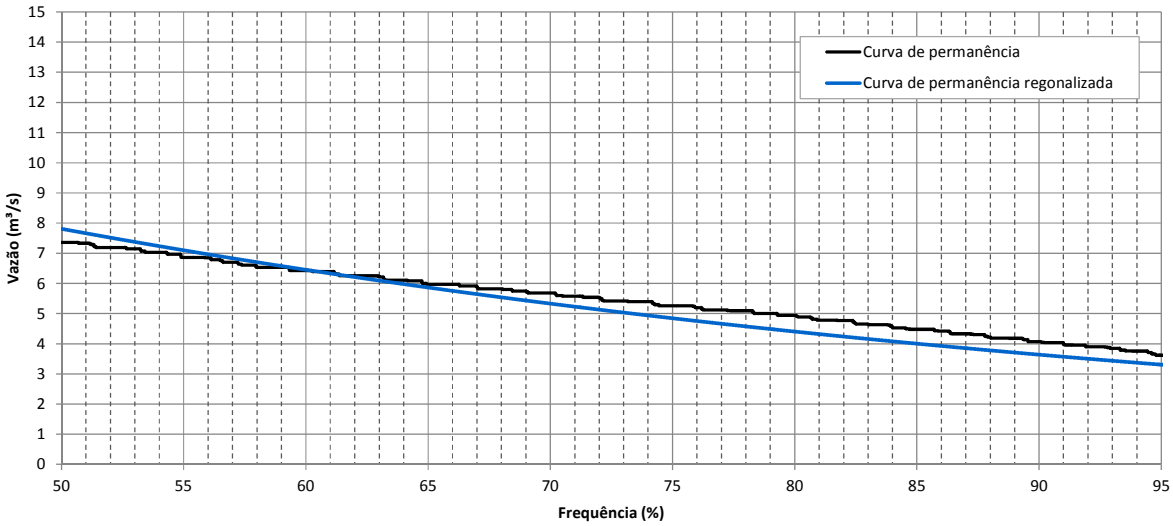

Gráfico 2 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas, entre 50% a 95% de permanência, para a estação Terra Corrida – Montante (57370000)

Analisando-se o Gráfico 2, observa-se que, para a estação Terra Corrida - Montante, a vazão regionalizada foi superestimada para valores entre 50% a 60% de permanência e, subestimada para tempo de duração superior a 60%.

Esse quadro reflete os valores dos desvios percentuais obtidos da vazão de 50% e 95% para essa estação (6,12 % e - 8,64 %, respectivamente). Curvas de permanência (reais e regionalizadas) referentes às demais estações fluviométricas são apresentadas no Apêndice B.

5.3. CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES PARA AS SUBBACIAS

A partir das funções regionais estabelecidas foram construídas curvas de permanência de vazões aplicáveis às subbacias. As vazões estimadas para permanências de 50% e 95% são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Vazões específicas estimadas (Q_{50R} e Q_{95R}) para as subbacias

Código da Subbacia	Nome da Subbacia	Área de Drenagem Contribuinte (km^2)	Q_{50R} (m^3/s)	Q_{95R} (m^3/s)
SB1	Rio Braço Norte Direito	509,96	7,40	3,13
SB2	Rio Pardinho	573,59	8,16	3,46
SB3	Rio Braço Norte Esquerdo	333,52	5,19	2,19
SB4	Córrego Lambari Frio	1432,73	17,51	7,48
SB5	Rio Castelo	1481,89	18,01	7,70
SB6	Ribeirão Vala do Souza	3086,43	33,21	14,30
SB7	Córrego Coqueiro	5882,85	56,86	24,63
SB8	Rio Muqui do Norte	683,9	9,45	4,01
SB9	Foz do Rio Itapemirim	5913,68	57,11	24,74

As equações empíricas obtidas para construção das curvas de permanência de vazões regionalizadas para permanência de 50% a 95% são apresentadas na Tabela 7, juntamente com os coeficientes dessas equações.

Tabela 7 - Equações das curvas de permanência de vazões regionalizadas, de 50% a 95%

Sigla da Subbacia	Nome da Subbacia	a	b	Equação Empírica
SB1	Rio Braço Norte Direito	-1,91	2,96	$e^{(-1,91.P + 2,96)}$
SB2	Rio Pardinho	-1,91	3,05	$e^{(-1,91.P + 3,05)}$
SB3	Rio Braço Norte Esquerdo	-1,92	2,61	$e^{(-1,92.P + 2,61)}$
SB4	Córrego Lambari Frio	-1,89	3,81	$e^{(-1,89.P + 3,81)}$
SB5	Rio Castelo	-1,89	3,84	$e^{(-1,89.P + 3,84)}$
SB6	Ribeirão Vala do Souza	-1,87	4,44	$e^{(-1,87.P + 4,44)}$
SB7	Córrego Coqueiro	-1,86	4,97	$e^{(-1,86.P + 4,97)}$
SB8	Rio Muqui do Norte	-1,91	3,20	$e^{(-1,91.P + 3,20)}$
SB9	Foz do Rio Itapemirim	-1,86	4,97	$e^{(-1,86.P + 4,97)}$

5.4. CARGAS REMANESCENTES TOTAIS PRODUZIDAS EM CADA SUBBACIA

As cargas remanescentes totais produzidas em cada subbacia, tanto de origem direta (sem tratamento), quanto à remanescente do tratamento, quando existente, considerando os diferentes panoramas estabelecidos e a evolução destes no tempo (2012, 2020 e 2030), estão apresentadas nas Tabelas 8, 9,10 e 11. Os gráficos 3, 4, 5 e 6, apresentados após cada tabela, ilustram a relação existente entre as cargas

diretas e as cargas remanescentes de tratamento que são geradas em cada subbacia, considerando os quatro panoramas propostos.

Tabela 8 - Cargas remanescentes totais originadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 1.

Subbacia	População			Cargas remanescentes totais (t DBO/dia)											
	2012	2020	2030	Direta rural	Direta urbana	Remanescente do tratamento	Total 2012	Direta rural	Direta urbana	Remanescente do tratamento	Total 2020	Direta rural	Direta urbana	Remanescente do tratamento	Total 2030
SB1	13183	14584	16544	0,40	0,09	0,02	0,50	0,44	0,11	0,02	0,57	0,50	0,15	0,02	0,67
SB2	55836	61768	70077	1,04	1,64	0,00	2,68	1,15	1,81	0,00	2,96	1,31	2,06	0,00	3,36
SB3	14511	16053	18212	0,29	0,38	0,00	0,68	0,32	0,43	0,00	0,75	0,37	0,49	0,00	0,86
SB4	6898	7629	8655	0,26	0,07	0,00	0,33	0,28	0,08	0,00	0,37	0,32	0,09	0,00	0,42
SB5	80843	89431	101457	1,57	1,06	0,33	2,95	1,73	1,30	0,33	3,36	1,97	1,65	0,33	3,94
SB6	46982	51970	58965	0,73	1,23	0,03	1,99	0,80	1,39	0,03	2,23	0,91	1,62	0,03	2,56
SB7	189608	209749	237962	0,75	1,38	0,70	2,83	0,83	2,26	0,70	3,80	0,94	3,51	0,70	5,15
SB8	30001	33190	37656	0,61	0,83	0,00	1,44	0,67	0,92	0,00	1,59	0,76	1,05	0,00	1,81
SB9	42675	47209	53559	0,01	0,65	0,21	0,87	0,01	0,83	0,21	1,05	0,01	1,08	0,21	1,31

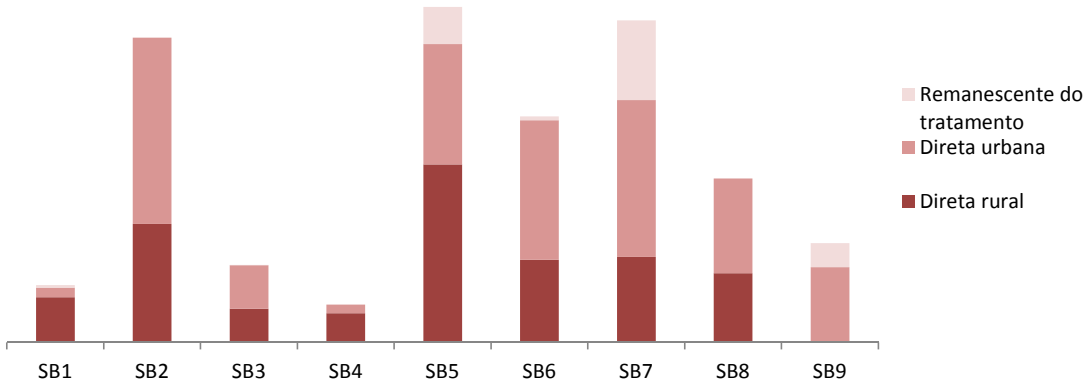

Gráfico 3 - Relação entre as cargas originadas nas subbacias, de acordo com o panorama 1

Tabela 9 - Cargas remanescentes totais originadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 2.

Subbacia	População			Cargas remanescentes totais (t DBO/dia)								
	2012	2020	2030	Direta	Remanescente	Total 2012	Direta	Remanescente	Total 2020	Direta	Remanescente	Total 2030
SB1	13183	14584	16544	0,40	0,24	0,63	0,44	0,26	0,70	0,50	0,30	0,79
SB2	55836	61768	70077	1,04	1,64	2,68	1,15	1,81	2,96	1,31	2,06	3,36
SB3	14511	16053	18212	0,29	0,40	0,70	0,32	0,45	0,77	0,37	0,51	0,87
SB4	6898	7629	8655	0,26	0,07	0,33	0,28	0,08	0,37	0,32	0,09	0,42
SB5	80843	89431	101457	1,57	2,31	3,88	1,73	2,56	4,29	1,97	2,90	4,87
SB6	46982	51970	58965	0,73	1,53	2,26	0,80	1,69	2,49	0,91	1,92	2,83
SB7	189608	209749	237962	0,75	8,35	9,10	0,83	9,24	10,07	0,94	10,48	11,42
SB8	30001	33190	37656	0,61	0,83	1,44	0,67	0,92	1,59	0,76	1,05	1,81
SB9	42675	47209	53559	0,01	1,70	1,71	0,01	1,88	1,89	0,01	2,13	2,15

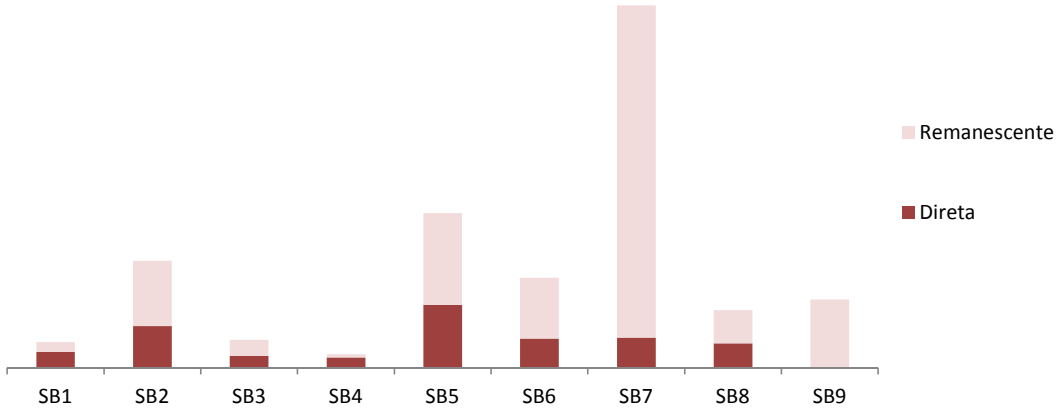

Gráfico 4 - Relação entre as cargas originadas nas subbacias, de acordo com o panorama 2

Tabela 10 - Cargas totais remanescentes originadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 3.

Subbacia	População			Cargas totais remanescentes (t DBO/dia)								
	2012	2020	2030	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2012	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2020	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2030
SB1	13183	14584	16544	0,40	0,07	0,47	0,44	0,08	0,52	0,50	0,09	0,59
SB2	55836	61768	70077	1,04	0,49	1,53	1,15	0,54	1,70	1,31	0,62	1,92
SB3	14511	16053	18212	0,29	0,12	0,41	0,32	0,13	0,46	0,37	0,15	0,52
SB4	6898	7629	8655	0,26	0,02	0,28	0,28	0,02	0,31	0,32	0,03	0,35
SB5	80843	89431	101457	1,57	0,69	2,26	1,73	0,77	2,50	1,97	0,87	2,84
SB6	46982	51970	58965	0,73	0,46	1,18	0,80	0,51	1,31	0,91	0,58	1,49
SB7	189608	209749	237962	0,75	2,50	3,26	0,83	2,77	3,60	0,94	3,14	4,09
SB8	30001	33190	37656	0,61	0,25	0,86	0,67	0,28	0,95	0,76	0,31	1,08
SB9	42675	47209	53559	0,01	0,51	0,52	0,01	0,56	0,58	0,01	0,64	0,65

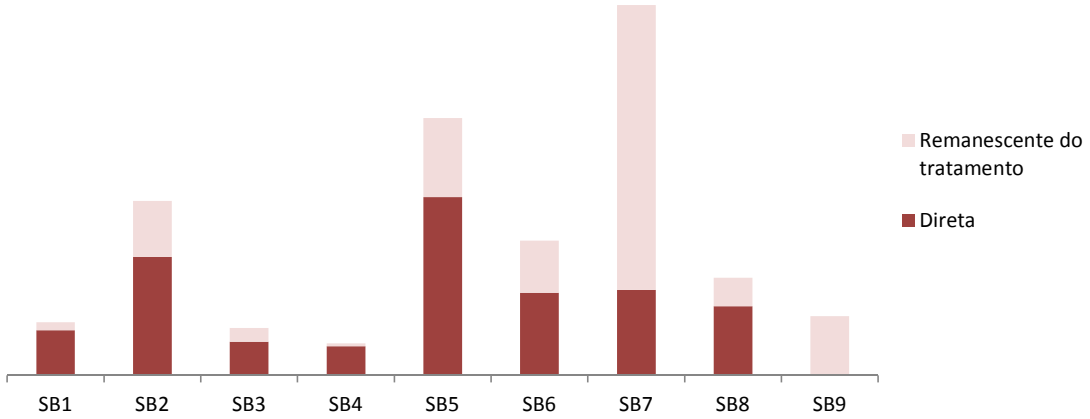

Gráfico 5 - Relação entre as cargas originadas nas subbacias, de acordo com o panorama 3

Tabela 11 - Cargas totais remanescentes originadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 4.

Subbacia	População			Cargas totais remanescentes (t DBO/dia)								
	2012	2020	2030	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2012	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2020	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2030
SB1	13183	14584	16544	0,40	0,04	0,43	0,44	0,04	0,48	0,50	0,04	0,54
SB2	55836	61768	70077	1,04	0,25	1,29	1,15	0,27	1,42	1,31	0,31	1,62
SB3	14511	16053	18212	0,29	0,06	0,35	0,32	0,07	0,39	0,37	0,08	0,44
SB4	6898	7629	8655	0,26	0,01	0,27	0,28	0,01	0,30	0,32	0,01	0,34
SB5	80843	89431	101457	1,57	0,35	1,91	1,73	0,38	2,12	1,97	0,44	2,40
SB6	46982	51970	58965	0,73	0,23	0,95	0,80	0,25	1,06	0,91	0,29	1,20
SB7	189608	209749	237962	0,75	1,25	2,00	0,83	1,39	2,22	0,94	1,57	2,52
SB8	30001	33190	37656	0,61	0,12	0,73	0,67	0,14	0,81	0,76	0,16	0,92
SB9	42675	47209	53559	0,01	0,25	0,27	0,01	0,28	0,29	0,01	0,32	0,33

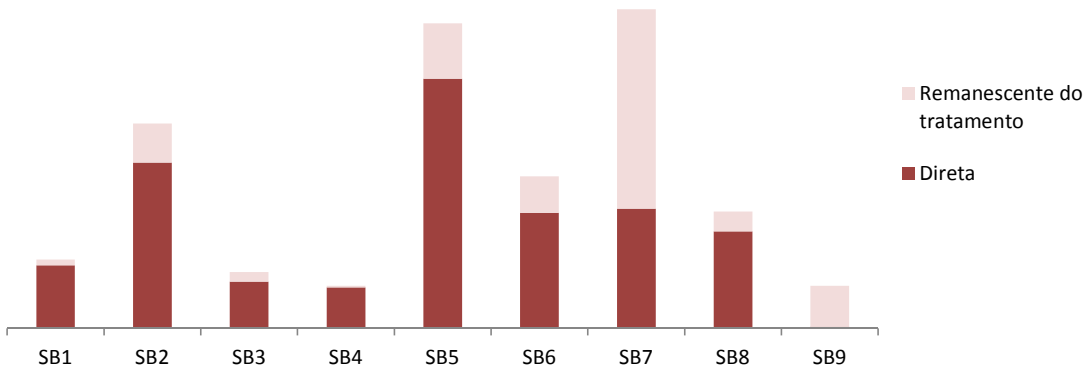

Gráfico 6 - Relação entre as cargas originadas nas subbacias, de acordo com o panorama 4

Para a discussão dos resultados apresentados nas tabelas 8, 9, 10 e 11 são apresentadas breves considerações sobre cada subbacia, buscando-se identificar as características que contribuem para uma maior ou menor geração de cargas associadas aos diferentes panoramas.

- **SUBBACIA DO RIO BRAÇO NORTE (SB1)**

A subbacia do rio Braço Norte Direito(SB1) concentra a maior parte da população do município de Ibitirama e parte dos municípios de Irupi e Alegre. Cerca de 62% da população desta subbacia é classificada como rural e 38% como urbana (IBGE, 2011). A população total desta subbacia representa 2,74% de toda a população contida na subbacia do rio Itapemirim. Comparada às demais subbacias, a SB1 possui a segunda menor população entre as nove bacias analisadas, e a 7ª posição em extensão territorial.

Esta subbacia tem como principais corpos d'água o rio Braço Norte Direito e o Ribeirão Santa Marta, e conta com quatro estações de tratamento de efluentes para atender as populações da sede de Ibitirama e as comunidades de Santa Marta, São José do Caparaó e São Francisco.

A maior parte da carga remanescente total originada nesta bacia é direta (95,48%), cuja origem está vinculada a população rural e a população urbana não atendida, no caso específico do panorama 1.

Conforme esperado, a carga remanescente total da subbacia considerando-se o panorama 1 é inferior à carga gerada considerando o panorama 2 (esgoto bruto), que consiste na pior situação prevista para subbacia.

Avaliando-se o ganho obtido em termos de redução da carga remanescente total, em relação ao panorama 1, observa-se que o panorama 3 promoveu uma redução de 6 % da carga originada em 2012. Em relação ao panorama 4, para os mesmo ano, essa redução foi de 14 %. A redução da carga promovida pelo panorama 4 em relação ao panorama 3 foi de 8,51%.

- **SUBBACIA DO RIO PARDINHO (SB2)**

A subbacia do rio Pardinho, cujo principal corpo d'água é o rio Pardo, possui a quinta maior área entre as subbacias analisadas e é composta por uma população predominantemente urbana (61%), com apenas 39% da população considerada rural.

A população desta subbacia representa 11,62% de toda população contida na bacia do rio Itapemirim, e corresponde a terceira subbacia mais populosa.

Dentro desta subbacia estão inseridas partes dos municípios de Ibatiba, Irupi, Iúna e uma pequena porção de Muniz Freire.

Nesta subbacia não existem estações de tratamento de esgoto instaladas. Portanto, toda a carga gerada pela população, tanto rural quanto urbana, foram consideradas cargas diretas. Este fato permite compreender a igualdade apresentada nos panoramas 1 e 2.

No panorama 3, estimando-se a redução de 70% da carga lançada pela população urbana, é possível obter uma redução de 42,91% na carga remanescente total gerada na subbacia, em relação aos panoramas 1 e 2. No panorama 4, estimando-se uma redução de 85% da carga direta urbana previstas nos panoramas 1 e 2, a redução da carga remanescente total é de 51,87%. Embora o tratamento do esgoto proporcione uma redução da carga direta urbana, e consequentemente, na carga remanescente total, a carga direta gerada pela população rural permanece inalterada. Esta subbbacia contém a segunda maior população rural da bacia do Itapemirim. Dessa forma, as cargas diretas geradas por essa população contribuem de maneira significativa para que seja configurado o cenário apresentado.

O panorama 4 apresenta uma redução em torno de 16% da carga remanescente total em relação ao panorama 3.

- **SUBBACIA DO RIO BRAÇO NORTE ESRQUERDO (SB3)**

A subbacia do rio Braço Norte Esquerdo é uma das menores subbacias da região de estudo (segunda menor). Possui a terceira menor população dentre as subbacias analisadas, representando 3,02% do total para a bacia. Tal população se encontra bem distribuída entre rural e urbana, apresentando os percentuais de 42% e 58% respectivamente.

Esta subbacia conta com uma Estação de Tratamento de Esgoto que atende ao distrito de Piaçu, localizado em Muniz Freire e outra, na sede deste último, que ainda não está em operação.

Em relação ao panorama1, os panoramas 3 e 4 apresentaram percentuais de redução da carga remanescente total de 39,71% e 47,53%, respectivamente, para o ano de 2012. Quando analisada a redução do panorama 4 em relação ao panorama 3 a redução é de aproximadamente 15%.

- **SUBBACIA DO CÓRREGO LAMBARI FRIO (SB4)**

A subbacia do Córrego Lambari Frio abrange partes dos municípios de Muniz Freire, Ibitirama e Alegre. É a subbacia com a menor população (1,44%), dentre as subbacias do rio Itapemirim, sendo que esta é predominantemente rural (77%).

Esta subbacia encontra-se à jusante das subbacias SB2 e SB3, e assim como a subbacia do rio Pardinho, também não possui estações de tratamento de esgoto instaladas em seu território (o que justifica a igualdade entre as cargas remanescentes totais geradas nos panoramas 1 e 2). Deste modo, toda carga lançada nos rios da região, cujo o principal é o Córrego Lambari Frio, foram consideradas cargas diretas sem qualquer tipo de tratamento.

Comparando-se os valores de cargas remanescentes totais apresentados nos panoramas 3 e 4 em relação ao panorama 1, para o ano 2012, observa-se que no primeiro caso, a redução da carga é de 15,15%, enquanto que no segundo este valor é de 18,18%.

Os baixos percentuais de redução obtidos nas estimativas previstas nos panoramas 3 e 4 devem-se a característica da população, predominantemente rural, de modo que a implantação do tratamento de esgoto para a população urbana pouco afeta o valor final da carga remanescente total gerada.

- **SUBBACIA DO RIO CASTELO (SB5)**

A subbacia do rio Castelo é a maior entre as subbacias analisadas, e concentra 16,82% da população total da bacia do rio Itapemirim, sendo predominantemente urbana (60%).

Nesta subbacia estão partes dos municípios de Conceição do Castelo, Castelo, Vargem Alta, Cachoeiro de Itapemirim e todo o município de Venda Nova do Imigrante.

A subbacia conta com duas estações de tratamento de esgoto, uma que atende o município de Venda Nova e outra que atende a população da sede de Castelo.

No ano de 2012, o panorama 3 representa uma redução de 23,39% da carga remanescente total em relação ao panorama 1, enquanto para o panorama 4 esta redução é de 35,25%. A redução promovida comparando-se o panorama 4 em relação ao panorama 3 é aproximadamente 15%.

Estes resultados indicam que para uma população predominantemente urbana, a melhoria na eficiência de tratamento prevista nos panoramas 3 e 4 proporcionaria resultados significativos na redução do valor de carga remanescente total na subbbacia.

- **SUBBACIA DO RIBEIRÃO VALA DO SOUZA (SB6)**

A subbacia Ribeirão Vala do Souza abrange todo o município de Jerônimo Monteiro, e partes dos municípios de Alegre, Muqui e Cachoeiro de Itapemirim. Nela se concentra 9,78% da população total da bacia sendo 32% população rural e 68% população urbana.

Esta subbacia contém a segunda maior área entre as subbacias estudadas, possui o rio Itapemirim como principal curso d'água e localiza-se à jusante das bacias SB1, SB2, SB3 e SB4.

Existem três estações de tratamento de esgoto instaladas na subbacia, uma que atende a população da sede do município de Jerônimo Monteiro e outras duas que atendem os subdistritos de Pacotuba e Burarama, localizadas no município de Cachoeiro.

Analisando-se as cargas remanescentes totais geradas e considerando-se os diferentes panoramas é possível observar que o panorama 1 aproxima-se muito do panorama 2, entretanto não o supera.

Os panoramas 3 e 4 apresentam uma significativa melhora em termos do valor da carga remanescente total gerada na subbacia, em relação ao panorama 1, com redução de 40,70% da carga no panorama 3 e 52,26% no panorama 4. Na comparação da carga remanescente total considerando esses dois panoramas, observa-se que ocorre uma redução em torne de 19% da carga gerada no panorama 4 em relação ao panorama 3.

- **SUBBACIA DO CÓRREGO COQUEIRO (SB7)**

A subbacia Córrego do Coqueiro abrange parte dos municípios de Cachoeiro do Itapemirim e Itapemirim, com a quarta maior área entre as bacias estudadas e a maior população entre elas.

Nesta subbacia estão concentradas 39,46% de toda a população da bacia do rio Itapemirim, cuja a maioria (92%) é classificada como urbana e apenas uma pequena parcela (8%) é classificada como rural.

Esta subbacia concentra a vazão proveniente de quase todas as subbacias da região de estudo, sendo a SB9, localizada à jusante desta, a única exceção.

Nela estão situadas as ETEs de Coronel Borges e Córrego do Monos que atendem à população urbana do município de Cachoeiro de Itapemirim.

O panorama 1 sugere um cenário de 83,50% de redução da carga remanescente total em relação ao estimado no panorama 2, que considera toda carga gerada como carga direta sem tratamento (esgoto bruto). Quando considerada a estimativa associada no panorama 3, que prevê tratamento com eficiência de 70% para toda a população urbana da subbacia, observa-se que existe um aumento da carga remanescente total da ordem de 15,19% em relação ao panorama 1, para o ano de 2012. Este fato peculiar, no conjunto dos resultados obtidos no presente trabalho, ocorre porque a subbacia já possui uma capacidade de remover uma quantidade de carga remanescente total superior à quantidade estimada no panorama 3.

Comparando-se a redução proporcionada pelo panorama 4 em relação ao panorama 1, percebe-se uma redução de 29,33% na carga remanescente total prevista para a população de 2012. Esse resultado indica que os panoramas 1 e 4 encontram-se relativamente próximos; entretanto, é importante registrar que o panorama 4 considera que 100% da população urbana é atendida.

- **SUBBACIA DO RIO MUQUI DO NORTE (SB8)**

A subbacia do rio Muqui do Norte, tem este rio como corpo d'água principal e possui a terceira maior área entre as subbacias analisadas. Da população total da bacia do rio Itapemirim 6,24% estão inseridas nessa subbacia, sendo 42% dessa população considerada rural e 58% urbana.

A subbacia abriga o município de Atílio Vivácqua e parte dos municípios de Muqui e Itapemirim.

Por não possuir estação de tratamento instalada na região desta subbacia, o panorama 1 é igual ao panorama 2 no que diz respeito à geração de cargas remanescentes totais.

Comparando o panorama 3 em relação ao panorama 1, percebe-se uma redução de 40,28% das cargas remanescentes totais geradas. Essa redução é ampliada para 49,31% quando consideradas as condições de contorno definidas para o panorama 4.

A redução da carga remanescente total prevista no panorama 4, em relação ao panorama 3 é de aproximadamente 15% o que representa o ganho obtido na redução das cargas em função de um eventual aumento da eficiência de tratamento de 70% para 85%.

- **SUBBACIA DA FOZ DO RIO ITAPEMIRIM (SB9)**

A subbacia da Foz do Rio Itapemirim é a menor da região de estudo e abrange parte do município de Itapemirim e uma pequena parte do município de Marataízes.

Nesta subbacia existem duas estações de tratamento (Ilmelita e Rosa Meirelles) que recebem os efluentes gerados pelas populações da sede de Marataízes e da sede de Itapemirim. Devido à contribuição de cargas para a subbacia, e consequentemente para a bacia, a população contribuinte, mesmo localizada fora dos limites da subbacia, foi considerada como pertencente à subbacia SB9, conforme indicado na seção 4.2.5.1. Deste modo, é considerado que 8,88% da população total da bacia do rio Itapemirim está situada na subbacia em questão.

Esta subbacia possui 100% da população classificada como urbana, aspecto que permitiu observar de maneira mais clara os efeitos do aumento da eficiência de tratamento no valor da carga remanescente total.

Como a subbacia já possui sistema de tratamento implementado, foi realizada a comparação dos panoramas 1, 3 e 4 em relação ao panorama 2 (panorama no qual se considera a disposição final de efluentes não tratados). Os resultados encontrados mostraram que a redução de carga promovido da mudança do panorama 2 para o panorama 1 é de 49,12%. Do panorama 2 para o panorama 3 tal redução é de 69,31%, e considerando a mudança do panorama 2 para o panorama 4, a redução é de 84,21%, considerando a população referente ao ano de 2012.

Os gráficos 7, 8 e 9, apresentados a seguir, mostram, em termos percentuais, qual a contribuição de carga remanescente total de cada subbacia para a bacia

como um todo, considerando-se o panorama 1 e os horizontes de 2012, 2020 e 2030.

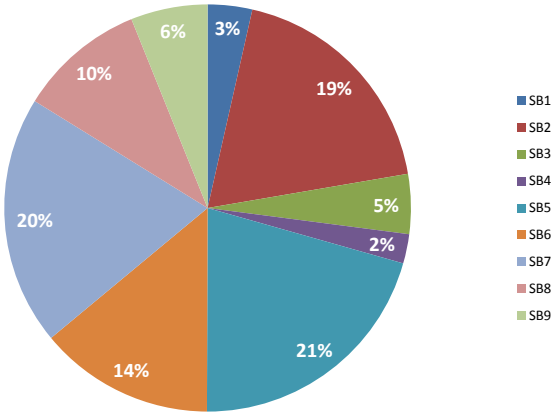

Gráfico 7 - Contribuições das subbacias para a carga remanescente total gerada na bacia do rio Itapemirim em 2012.

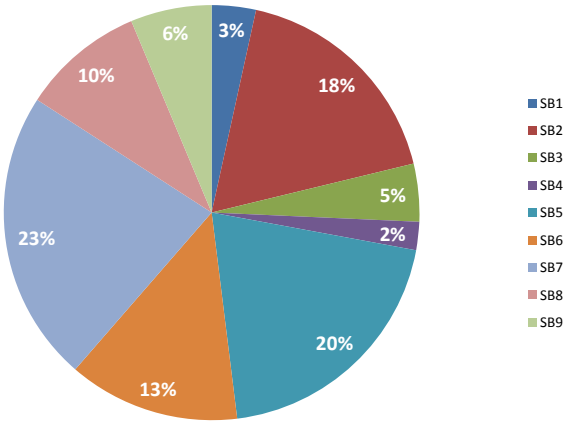

Gráfico 8 - Contribuições das subbacias para a carga remanescente total gerada na bacia do rio Itapemirim estimadas para 2020.

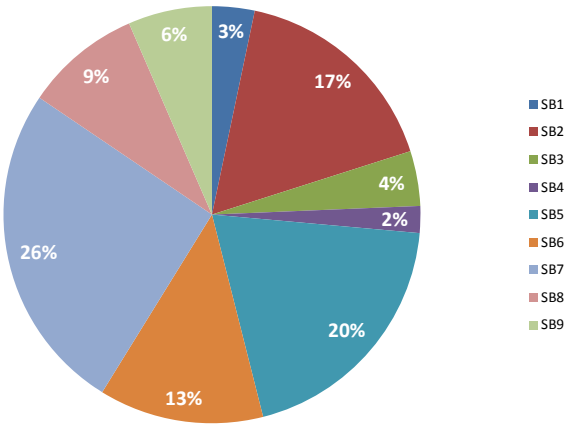

Gráfico 9 - Contribuições das subbacias para a carga remanescente total gerada na bacia do rio Itapemirim estimadas para 2030.

Os gráficos 7, 8 e 9, permitem mais facilmente identificar as bacias que possuem, de acordo com o panorama 1, uma maior contribuição na geração de carga remanescente total da bacia. As alterações nos percentuais associados aos anos 2012, 2020 e 2030 são mais significativas (ainda que pequenas) na subbacia SB7, que possui a maior população que, por sua vez, é predominantemente urbana.

5.5. CARGAS REMANESCENTES TOTAIS EM CADA SUBBACIA

As cargas remanescentes totais para cada subbacia foram determinadas de acordo com a metodologia apresentada no Capítulo anterior. É importante ressaltar que as cargas destinadas são o conjunto das cargas originadas na subbacia em análise acrescidas das cargas provenientes da(s) subbacia(s) localizada(s) à montante desta.

Desta forma, para as subbacias SB4, SB6, SB7 e SB9, as cargas totais remanescentes foram revistas, acrescentando-se as contribuições da(s) subbacia(s) de montante, conforme indicação constante no Quadro 04. Os resultados desta etapa do trabalho estão reunidos nas Tabelas 12, 13, 14 e 15 e representados graficamente pelas figuras referentes aos Gráficos 10, 11, 12 e 13.

Tabela 12 - Cargas totais remanescentes destinadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 1

Subbacia	População			Cargas totais remanescentes (t DBO/dia)											
	2012	2020	2030	Direta rural	Direta urbana	Remanescente do tratamento	Total 2012	Direta rural	Direta urbana	Remanescente do tratamento	Total 2020	Direta rural	Direta urbana	Remanescente do tratamento	Total 2030
SB1	13183	14584	16544	0,40	0,09	0,02	0,50	0,44	0,11	0,02	0,57	0,50	0,15	0,02	0,67
SB2	55836	61768	70077	1,04	1,64	0,00	2,68	1,15	1,81	0,00	2,96	1,31	2,06	0,00	3,36
SB3	14511	16053	18212	0,29	0,38	0,00	0,68	0,32	0,43	0,00	0,75	0,37	0,49	0,00	0,86
SB4	77245	85450	96944	1,59	2,10	0,00	3,69	1,76	2,32	0,00	4,08	2,00	2,64	0,00	4,64
SB5	80843	89431	101457	1,57	1,06	0,33	2,95	1,73	1,30	0,33	3,36	1,97	1,65	0,33	3,94
SB6	137410	152004	172453	2,71	3,41	0,06	6,18	3,00	3,83	0,06	6,88	3,40	4,40	0,06	7,86
SB7	437862	484374	549528	5,64	6,68	1,09	13,40	6,24	8,31	1,09	15,64	7,08	10,60	1,09	18,76
SB8	30001	33190	37656	0,61	0,83	0,00	1,44	0,67	0,92	0,00	1,59	0,76	1,05	0,00	1,81
SB9	480537	531583	603087	5,65	7,33	1,29	14,27	6,25	9,15	1,29	16,69	7,09	11,69	1,29	20,07

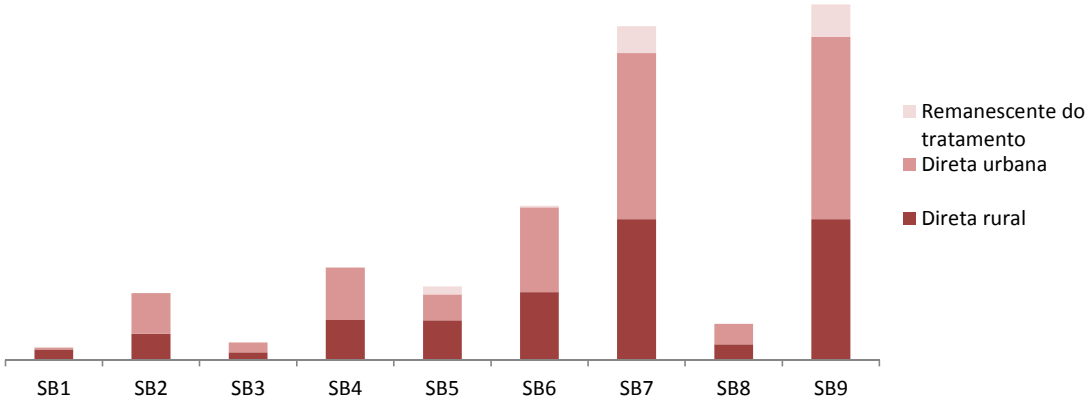

Gráfico 10 - Relação entre as cargas destinadas nas subbacias, de acordo com o panorama 1

Tabela 13 - Cargas totais remanescentes destinadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 2

Subbacia	População			Cargas totais remanescentes (t DBO/dia)								
	2012	2020	2030	Direta	Remanescente	Total 2012	Direta	Remanescente	Total 2020	Direta	Remanescente	Total 2030
SB1	13183	14584	16544	0,40	0,24	0,63	0,44	0,26	0,70	0,50	0,30	0,79
SB2	55836	61768	70077	1,04	1,64	2,68	1,15	1,81	2,96	1,31	2,06	3,36
SB3	14511	16053	18212	0,29	0,40	0,70	0,32	0,45	0,77	0,37	0,51	0,87
SB4	77245	85450	96944	1,59	2,12	3,71	1,76	2,34	4,10	2,00	2,66	4,65
SB5	80843	89431	101457	1,57	2,31	3,88	1,73	2,56	4,29	1,97	2,90	4,87
SB6	137410	152004	172453	2,71	3,88	6,60	3,00	4,30	7,30	3,40	4,87	8,28
SB7	437862	484374	549528	5,64	15,38	21,02	6,24	17,01	23,25	7,08	19,30	26,38
SB8	30001	33190	37656	0,61	0,83	1,44	0,67	0,92	1,59	0,76	1,05	1,81
SB9	480537	531583	603087	5,65	17,08	22,73	6,25	18,89	25,14	7,09	21,43	28,52

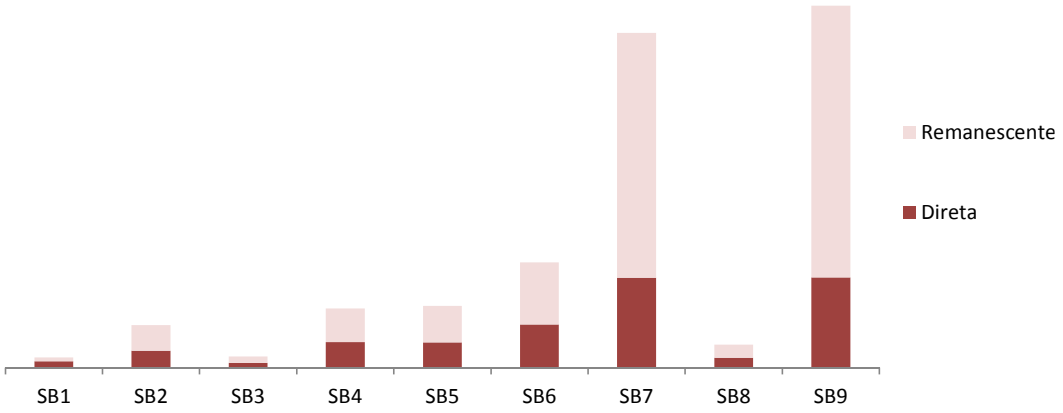

Gráfico 11 - Relação entre as cargas destinadas nas subbacias, de acordo com o panorama 2

Tabela 14 - Cargas totais remanescentes destinadas nas subbacias avaliadas, considerando o panorama 3

Subbacia	População			Cargas totais remanescentes (t DBO/dia)								
	2012	2020	2030	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2012	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2020	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2030
SB1	13183	14584	16544	0,40	0,07	0,47	0,44	0,08	0,52	0,50	0,09	0,59
SB2	55836	61768	70077	1,04	0,49	1,53	1,15	0,54	1,70	1,31	0,62	1,92
SB3	14511	16053	18212	0,29	0,12	0,41	0,32	0,13	0,46	0,37	0,15	0,52
SB4	77245	85450	96944	1,59	0,64	2,23	1,76	0,70	2,46	2,00	0,80	2,79
SB5	80843	89431	101457	1,57	0,69	2,26	1,73	0,77	2,50	1,97	0,87	2,84
SB6	137410	152004	172453	2,71	1,17	3,88	3,00	1,29	4,29	3,40	1,46	4,87
SB7	437862	484374	549528	5,64	4,61	10,25	6,24	5,10	11,34	7,08	5,79	12,87
SB8	30001	33190	37656	0,61	0,25	0,86	0,67	0,28	0,95	0,76	0,31	1,08
SB9	480537	531583	603087	5,65	5,12	10,77	6,25	5,67	11,92	7,09	6,43	13,52

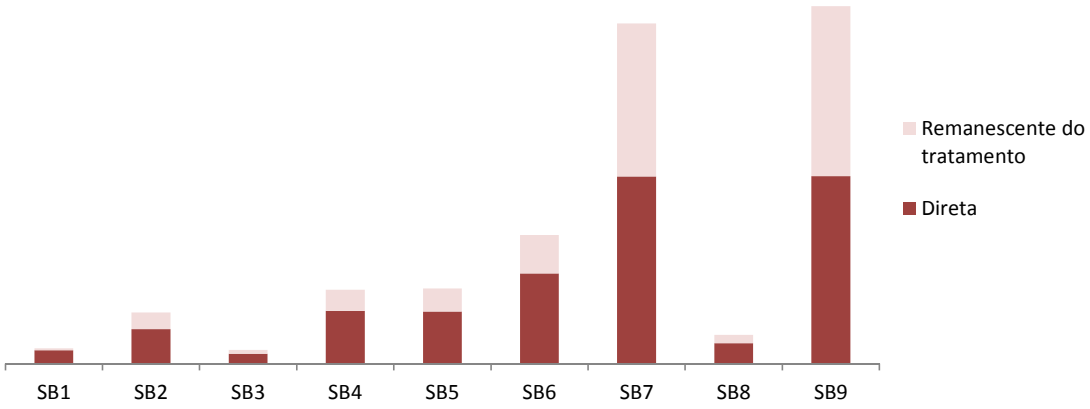

Gráfico 12 - Relação entre as cargas destinadas nas subbacias, de acordo com o panorama 3

Tabela 15 - Cargas totais remanescentes destinadas nas subbacias avaliadas considerando o panorama 4

Subbacia	População			Cargas totais remanescentes (t DBO/dia)								
	2012	2020	2030	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2012	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2020	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2030
SB1	13183	14584	16544	0,40	0,04	0,43	0,44	0,04	0,48	0,50	0,04	0,54
SB2	55836	61768	70077	1,04	0,25	1,29	1,15	0,27	1,42	1,31	0,31	1,62
SB3	14511	16053	18212	0,29	0,06	0,35	0,32	0,07	0,39	0,37	0,08	0,44
SB4	77245	85450	96944	1,59	0,32	1,91	1,76	0,35	2,11	2,00	0,40	2,40
SB5	80843	89431	101457	1,57	0,35	1,91	1,73	0,38	2,12	1,97	0,44	2,40
SB6	137410	152004	172453	2,71	0,58	3,29	3,00	0,64	3,64	3,40	0,73	4,13
SB7	437862	484374	549528	5,64	2,31	7,94	6,24	2,55	8,79	7,08	2,90	9,97
SB8	30001	33190	37656	0,61	0,12	0,73	0,67	0,14	0,81	0,76	0,16	0,92
SB9	480537	531583	603087	5,65	2,56	8,21	6,25	2,83	9,08	7,09	3,22	10,30

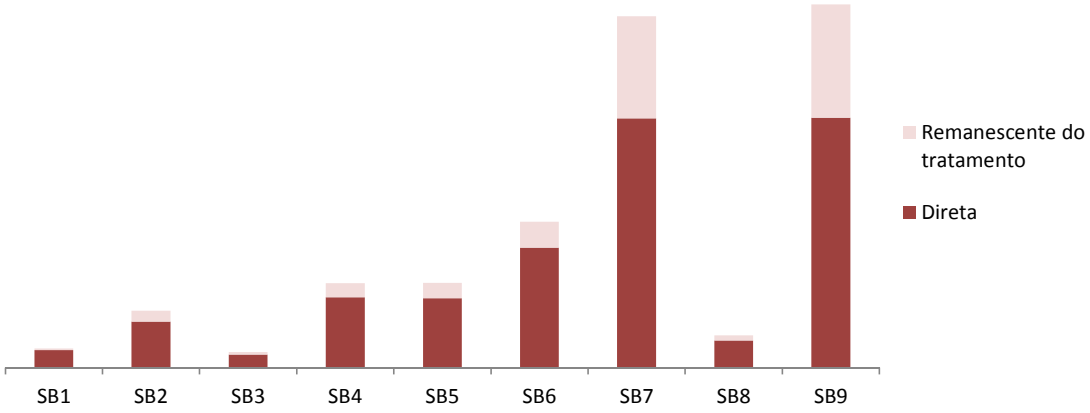

Gráfico 13 - Relação entre as cargas destinadas nas subbacias, de acordo com o panorama 4

5.6. PROBABILIDADE DE PERMANÊNCIA NAS CLASSES DE ENQUADRAMENTO

Uma vez determinadas as curvas de permanência regionalizadas para as subbacias analisadas, foram estabelecidas as curvas de permanência de carga para as classes 1, 2 e 3. Estas curvas foram construídas para todas as subbacias consideradas neste estudo e serviram para identificar a probabilidade de permanência de cada subbacia nas diferentes classes de uso, de acordo com as cargas remanescentes totais previstas em cada um dos quatro panoramas estabelecidos e nos anos de 2012, 2020 e 2030.

O Gráfico 14 apresenta as curvas de permanência de cargas e as cargas remanescentes totais previstas nos panoramas 1, 2, 3 e 4 para subbacia da Foz do rio Itapemirim (SB9), considerando o ano de 2012. Os Apêndices III, IV e V apresentam, para as demais subbacias estudadas, as curvas de permanência de cargas nas diferentes subbacias e nos de 2012, 2020 e 2030, respectivamente.

Das referidas curvas pode ser extraído o percentual do tempo que cada subbacia permanece dentro de uma determinada classe de enquadramento, segundo os diferentes panoramas.

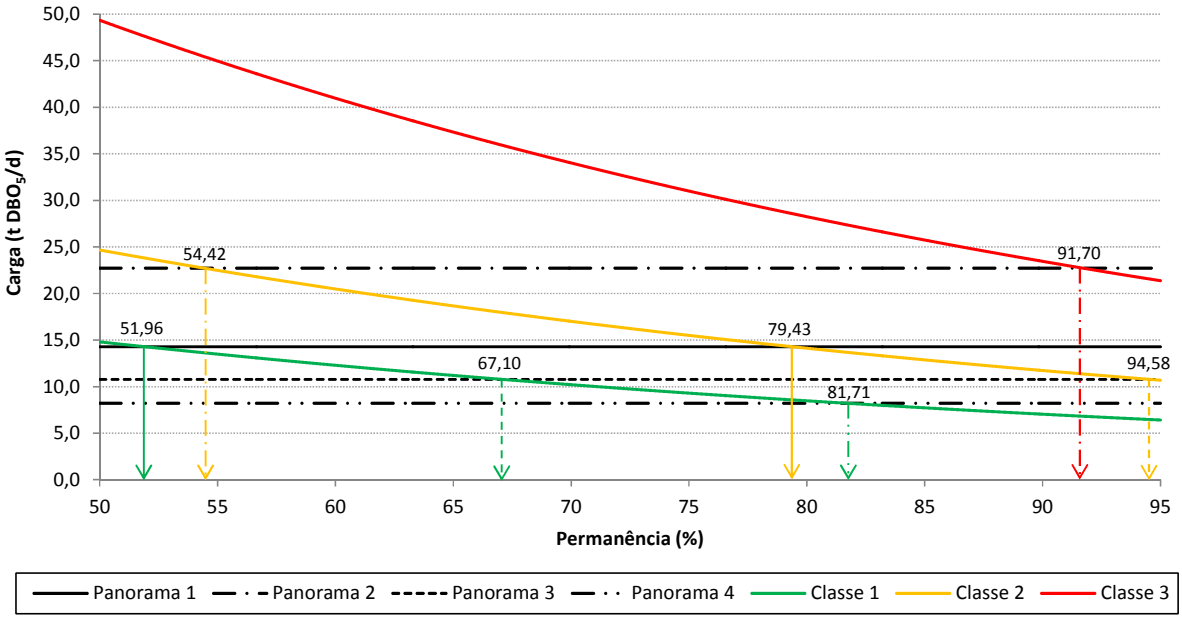

Gráfico 14 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento da subbacia Foz do Rio Itapemirim (SB9) para o ano de 2012

No Gráfico 14 estão apresentados, para a subbacia Foz do Rio Itapemirim, os percentuais de permanência correspondentes à intercessão das curvas de permanência de cargas (Classes 1, 2 e 3) com as curvas correspondentes às cargas remanescentes totais associadas aos panoramas 1, 2, 3 e 4 que, a rigor, consistem em retas paralelas ao eixo das abcissas.

Analisando as intercessões da curva de carga do panorama 1 (linha contínua) com as curvas de cargas associadas às diferentes classes de uso, observa-se permanência de 51,96% na Classe 1, e permanência de 79,43% na Classe 2. Nota-se que tal curva não toca a curva de carga correspondente à Classe 3 no intervalo de análise (50% a 95%); desta forma, indicou-se permanência superior a 95% na Classe 3.

No caso do panorama 2, a subbacia SB9 apresenta uma permanência inferior a 50% (< 50%) na classe de uso 1. Para a Classe 2 a permanência correspondente foi de 54,42%, e para a classe 3 a permanência é de 91,70%.

Analisando a situação prevista no panorama 3, são obtidos os valores de permanência de 67,10% na Classe 1, 94,58% na Classe 2 e acima de 95% na Classe 3. Já para o panorama 4, a permanências na Classe 1 foi de 81,71%, e acima de 95% nas Classes 2 e 3.

Aplicando-se o mesmo princípio de análise para as demais subbacias e cenários foi produzida a Tabela 16, que apresenta os percentuais de permanência nas diferentes classes de enquadramento. Para todos os casos a classe da subbacia é dada o destaque a classe que apresentar maior percentual de permanência. Na Tabela 16, os valores correspondentes à classe de enquadramento da bacia em cada um dos anos (2012, 2020 e 2030) e cada um dos panoramas (1, 2, 3 e 4) estão assinalados na cor azul. Quando diferentes classes apresentarem mesmo percentual de permanência será destacada a classe de usos mais rigorosos.

Nas situações em que os percentuais de permanência se encontram fora do intervalo de análise a permanência correspondente é representada por < 50%, quando se trata de valor inferior a 50% da permanência, e por > 95% quando o valor supera a permanência de 95%.

Tabela 16 - Probabilidade de compatibilidade com as diferentes classes de enquadramento

Subbacia	Ano	Panorama 1 (%)			Panorama 2 (%)			Panorama 3 (%)			Panorama 4 (%)		
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
SB1	2012	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2020	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2030	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
SB2	2012	< 50	64,38	> 95	< 50	64,38	> 95	66,89	93,65	> 95	76,05	> 95	> 95
	2020	< 50	59,09	> 95	< 50	59,09	> 95	61,6	88,36	> 95	70,76	> 95	> 95
	2030	< 50	52,47	88,79	< 50	52,47	88,79	54,99	81,75	> 95	64,15	90,91	> 95
SB3	2012	85,69	> 95	> 95	84	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2020	80,3	> 95	> 95	79,06	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2030	73,58	> 95	> 95	72,49	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
SB4	2012	60,97	88,01	> 95	60,71	87,74	> 95	87,71	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2020	55,6	82,64	> 95	55,36	82,4	> 95	82,37	> 95	> 95	90,52	> 95	> 95
	2030	< 50	75,93	> 95	< 50	75,72	> 95	75,69	> 95	> 95	83,84	> 95	> 95
SB5	2012	74,31	95	> 95	59,79	86,84	> 95	88,39	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2020	67,38	94,43	> 95	54,44	81,49	> 95	83,04	> 95	> 95	91,86	> 95	> 95
	2030	58,99	86,04	> 95	< 50	74,81	> 95	76,36	> 95	> 95	85,18	> 95	> 95
SB6	2012	67,67	94,94	> 95	64,21	91,49	> 95	92,59	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2020	61,94	89,21	> 95	58,82	86,1	> 95	87,2	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2030	54,82	82,1	> 95	52,08	79,36	> 95	80,46	> 95	> 95	89,15	> 95	> 95
SB7	2012	55,11	82,58	> 95	< 50	58,39	> 95	69,52	> 95	> 95	83,24	> 95	> 95
	2020	< 50	74,3	> 95	< 50	52,96	90,24	64,09	91,57	> 95	77,81	> 95	> 95
	2030	< 50	64,49	> 95	< 50	< 50	83,45	57,31	84,78	> 95	71,02	> 95	> 95
SB8	2012	77,9	> 95	> 95	77,9	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2020	72,59	> 95	> 95	72,59	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2030	65,97	92,78	> 95	65,97	92,78	> 95	93,2	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
SB9	2012	51,96	79,43	> 95	< 50	54,42	91,7	67,1	94,58	> 95	81,71	> 95	> 95
	2020	< 50	71,03	> 95	< 50	50	86,27	61,67	89,15	> 95	76,28	> 95	> 95
	2030	< 50	61,1	> 95	< 50	50	79,48	54,88	82,36	> 95	69,49	> 95	> 95

A Tabela 16 permite observar que, de modo geral, a situação atual da bacia (panorama 1) aproxima-se da associada ao panorama 2. Outro aspecto que merece destaque é o fato de que a condição estabelecida pelo panorama 3 (tratamento com 70% de eficiência para 100% da população urbana) é suficiente para que seis das nove subbacias apresentem como classe de enquadramento Classe 2 ou superior. Quando se aumenta a eficiência do tratamento para 85%, conforme panorama 4, observa-se que praticamente todos os cenários são levados à condição de Classe 2, com uma única exceção para o cenário de 2030 para a subbacia SB2, que permanece na Classe 3.

5.7. CARGAS REMANESCENTES A SEREM TRATADAS POR SUBBACIA

Para estabelecer as cargas remanescentes a serem tratadas considerou-se um percentual de 50% da vazão de referência para outorga no estado do Espírito Santo (Q_{90}). Desta maneira, a referida vazão foi considerada como a parcela da vazão do corpo d'água que dilui as cargas remanescentes totais nele lançadas, de modo que a parcela a ser tratada consiste na carga a ser removida para que seja alcançada determinada classe de enquadramento nas subbacias consideradas.

O Gráfico 15 apresenta o caso específico das parcelas de carga a serem tratadas em cada subbacia, no ano de 2012, para que elas possam apresentar condições de qualidade compatíveis com a Classe 2. Gráficos semelhantes, para as demais classes de uso, panoramas e horizontes de análise estão apresentados nos Apêndices VI, VII e VIII. Nesses gráficos estão representadas as cargas diluídas e as cargas a serem tratadas e, em alguns casos, uma parcela denominada capacidade de diluição não utilizada, que corresponde à parcela de vazão que, teoricamente, não é comprometida na função de diluir a carga remanescente total.

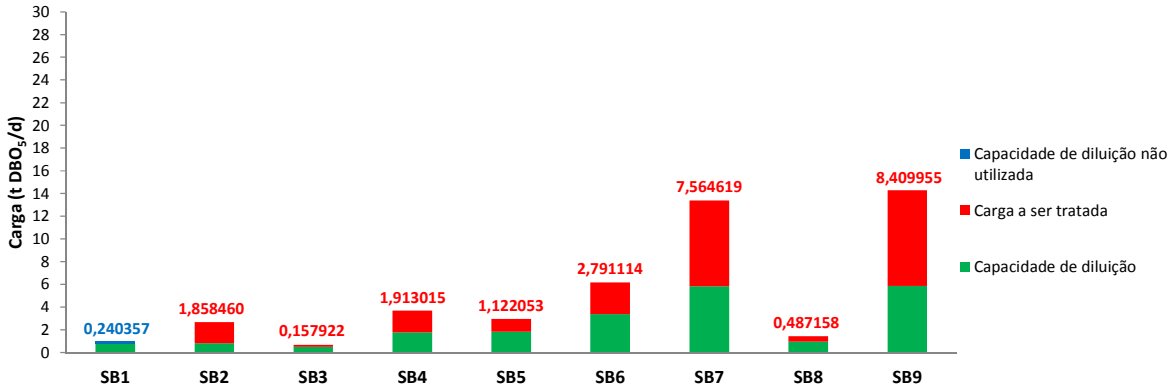

Gráfico 15 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcela das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2012.

É relevante observar que as maiores parcelas de carga a serem removidas estão nas subbacias SB7 e SB9, que recebem grandes quantidades de carga remanescente. Entretanto, vale ressaltar que grande parte dessas cargas provém de subbacias localizadas à montante. Desta forma, não basta concentrar as ações de tratamento nas subbacias que apresentam maior destinação de cargas. É necessário avaliar a contribuição das subbacias de origem das cargas.

Os dados absolutos apresentados no Gráfico 15 permitem que se faça uma avaliação comparativa entre as parcelas de carga diluídas e a serem tratadas nas diferentes subbacias. Contudo, o gráfico não permite que se tenha ideia de como a carga destinada aos corpos hídricos da subbacia os afetam, ou seja, não é possível determinar o nível de pressão que a carga lançada exerce sobre os corpos d'água. Buscando uma alternativa de análise para esta questão foi construído o Gráfico 16 que apresenta, em termos percentuais, a parcela da carga assimilada pela capacidade de diluição, a parcela de diluição não utilizada e a parcela a ser tratada (resultados referentes ao panorama 1, Classe 2 e ano de 2012). Assim, é possível observar, considerando as características de cada bacia, quais subbacias, de fato, apresentam uma maior quantidade de carga a ser tratada em relação à parcela de carga remanescente total que é nela lançada. Gráficos semelhantes, para os demais panoramas, classe de uso e horizontes de análise estão reunidos nos Apêndices VI, VII e VIII.

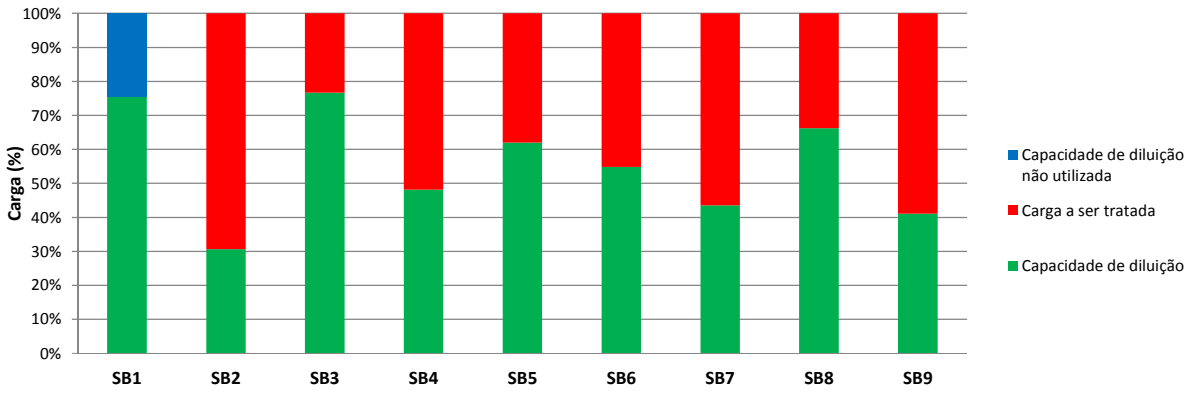

Gráfico 16 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 2 e ano 2012

Por permitir à análise do grau de pressão sofrido pela subbacia em relação as cargas lançadas, o Gráfico 16 foi denominado nível de estresse das subbacias, de modo que as bacias que apresentam maiores percentuais de cargas a serem tratadas são consideradas subbacias mais pressionadas sob o ponto de vista de qualidade. A partir da simples inspeção do Gráfico 16 é possível observar que, considerando-se o panorama 1 para o ano de 2012, a subbacia mais pressionada é a subbacia SB2.

5.8. ESTIMATIVA DOS CUSTOS ASSOCIADOS AO PANORAMA ATUAL

Na Tabela 17 são apresentadas as cargas remanescentes a serem tratadas por subbacia, relativas ao ano de 2012, para se alcançar o enquadramento proposto referente ao panorama 1.

Tabela 17 - Cargas remanescentes a serem tratadas por subbacia, de acordo com a população a ser atendida

	CARGA REMANESCENTE A SER TRATADA (t DBO/d)					
SUBBACIAS	Classe 1		Classe 2		Classe 3	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
SB1	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SB2	1,64	0,55	1,64	0,22	1,04	0,00
SB3	0,37	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00
SB4	2,10	0,53	1,91	0,00	0,14	0,00
SB5	1,06	0,80	1,06	0,07	0,00	0,00
SB6	3,41	0,73	2,79	0,00	0,00	0,00
SB7	6,68	3,22	6,68	0,88	1,73	0,00
SB8	0,83	0,04	0,49	0,00	0,00	0,00
SB9	7,33	3,42	7,33	1,08	2,55	0,00

Analisando-se a Tabela 17, observa-se que, nas subbacias onde há necessidade de remoção de carga remanescente de DBO para se alcançar o cenário de enquadramento, as maiores cargas a serem tratadas estão associadas à população urbana, tendo em vista o critério adotado neste estudo de se priorizar a população urbana para a destinação de recursos financeiros relativos à implantação de sistemas de tratamento de esgoto.

A Tabela 18, por sua vez, apresenta os custos dos investimentos necessários para se alcançar o enquadramento (Classes 1, 2 e 3), relativo ao panorama 1, por subbacia, considerando apenas o sistema de tratamento de esgoto ‘UASB + BAS’ para atendimento da população urbana e rural. De forma similar, a Tabela 19 apresenta os custos totais estimados considerando os sistemas ‘UASB + BAS’ e Lodos Ativados Convencionais ($LODOS_{AC}$) para atendimento das populações rural e urbana, respectivamente.

Tabela 18 - Investimentos necessários para se alcançar o enquadramento (Classes 1, 2 e 3), relativo ao panorama 1, por subbacia, considerando o sistema de tratamento 'UASB + BAS' para atendimento das populações rural e urbana

SUBBACIAS	CUSTO TOTAL CORRIGIDO DE REMOÇÃO DBO (ANO 2012) (R$)		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
SB1	31.303,62	0,00	0,00
SB2	1.194.484,00	1.014.984,79	566.236,78
SB3	199.934,89	86.248,06	0,00
SB4	1.432.879,00	1.044.779,65	74.531,27
SB5	1.012.087,34	612.800,99	0,00
SB6	2.265.121,47	1.524.347,11	0,00
SB7	5.406.773,07	4.131.362,81	942.837,14
SB8	474.223,35	266.057,62	0,00
SB9	5.874.074,80	4.593.036,71	1.390.441,48

Tabela 19 - Investimentos necessários para alcançar o enquadramento (Classes 1, 2 e 3), relativo ao panorama 1, por subbacia, considerando o sistema de tratamento 'UASB + BAS' para atendimento da população rural e '$LODOS_{AC}$' para atendimento da população urbana

SUBBACIAS	CUSTO TOTAL CORRIGIDO DE REMOÇÃO DBO (ANO 2012) (R$)		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
SB1	44.182,47	0,00	0,00
SB2	1.538.118,21	1.358.619,01	783.591,45
SB3	279.436,56	120.543,55	0,00
SB4	1.870.322,97	1.443.770,30	102.994,01
SB5	1.235.890,06	836.603,71	0,00
SB6	2.967.760,98	2.098.977,96	0,00
SB7	6.760.453,73	5.485.043,46	1.292.689,11
SB8	651.925,92	370.019,10	0,00
SB9	7.355.825,37	6.074.787,28	1.905.014,31

No Apêndice IX são apresentadas as estimativas desses custos de forma mais detalhada, conforme o tipo de sistema de tratamento considerado e a população a ser atendida.

O custo unitário corrigido de implantação do sistema de tratamento 'UASB + BAS' empregado para a construção das Tabelas 18 e 19 assumiu um valor fixo de R$ 21,07 em todos os cenários de enquadramento analisados, visto que a função de custo estabelecida para esse sistema de tratamento é linear, conforme proposição

apresentada por Porto et al. (2007). O valor correspondente do custo de remoção de 1 tonelada de DBO por dia, por sua vez, assumiu o valor de R$ 390.102,05.

Já, o custo unitário corrigido de implantação do sistema de tratamento 'LODOS$_{AC}$' variou na faixa de R$ 28,86 a R$ 29,73. O maior custo foi associado à subbacia SB1 e o menor, à SB9. Os valores correspondentes do custo de remoção de 1 tonelada de DBO por dia variaram, neste caso, na faixa de R$ 534.470,53 a R$ 550.596,79.

É relevante registrar, no entanto, que os custos unitários de implantação dos sistemas de tratamento 'UASB + BAS' e 'LODOS$_{AC}$', propostos por Von Sperling, (2005) apresentam valores médios de R$ 82,50 e R$ 130,00, respectivamente. Estes custos, corrigidos[32] para o ano de 2012, assumiram os valores de R$ 171,05 e R$ 269,54, respectivamente. Neste caso, os valores referentes ao custo de remoção de 1 tonelada de DBO por dia foram da ordem de R$ 3.167.592,59 e R$ 4.991.481,48. Valores estes substancialmente maiores que aqueles obtidos por meio da aplicação das funções de custo propostas por Porto et al. (2007).

Da simples inspeção das Tabelas 18 e 19 é possível observar que nas subbacias SB1, SB3, SB5, SB6 e SB8 não são necessários investimentos com tratamento de esgoto quando de uma eventual perspectiva de enquadramento na Classe 3, tendo em vista que toda carga remanescente contribuinte nessas subbacias seria diluída pelos corpos d'águas, considerando-se a vazão outorgável no Estado do Espírito Santo. De forma similar, na subbacia SB1 também não seria necessária a implementação de sistemas de tratamento de esgoto para o enquadramento na Classe 2.

[32] Valores de custos corrigidos para o ano de 2012 por meio do Índice Nacional de Custo da Construção, tendo em vista que os custos unitários de implantação de sistemas de tratamento de esgoto, propostos por Von Sperling (2005), são relativos ao ano de 2002.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A metodologia utilizada no estudo possibilitou a avaliação de diferentes cenários de enquadramento para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, tendo o esgotamento sanitário como o agente poluidor selecionado.

O estabelecimento das funções regionais aplicáveis à apropriação das vazões Q_{50} e Q_{95} na bacia do rio Itapemirim permitiu a construção das curvas de permanência de vazões regionalizadas. Verificou-se que as equações de regressão apresentam um ajuste adequado, uma vez que os coeficientes de correlação dessas equações apresentam-se muito próximos da unidade e os desvios percentuais obtidos entre valores reais e estimados, tanto para Q_{50} quanto para a Q_{95}, encontraram-se abaixo do valor limite indicado pela Eletrobrás (30%).

A partir das curvas de permanência de vazões regionalizadas foram estabelecidas as curvas de permanência de qualidade para cada subbacia, relativas à concentração limite de DBO associadas às Classes 1, 2 e 3 nos diferentes panoramas e horizontes propostos.

A partir das estimativas das cargas produzidas em cada subbacia, observou-se que nas subbacias SB5, SB7 e SB2 seriam geradas as maiores cargas remanescentes de DBO doméstica, para o cenário de enquadramento associado à atual condição de tratamento de esgotos. Os percentuais relativos às cargas geradas nas subabacias SB5, SB7 e SB2 foram, respectivamente, 21, 20 e 19% de toda carga remanescente produzida na bacia hidrográfica do rio Itapemirim (14,3 t $DBO_{5,20}$/d).

As maiores cargas remanescentes totais de DBO foram associadas as subbacias SB9, SB7, SB6 e SB4, nessa ordem. Cabe ressaltar que estas subbacias recebem cargas provenientes de subbacias localizadas à montante.

As funções empregadas neste trabalho para apropriação dos custos associados a implementação do tratamento de esgoto, nas quais apenas a população figura como variável independente, produziram custos unitários para a implementação de sistemas de tratamento substancialmente menores que os custos unitários disponíveis na literatura técnica corrente. Desta forma, os custos apresentados neste trabalho devem ser observados com reserva, por eventualmente

subestimarem os custos que seriam observados quando da implantação de sistemas de tratamento de esgotos na bacia hidrográfica do rio Itapemirim.

Por meio das curvas de permanência de qualidade foi possível identificar a probabilidade de permanência de cada subbacia nas diferentes possíveis classes de uso, de acordo com as cargas remanescentes totais estimadas em cada um dos quatro panoramas estabelecidos para os anos de 2012, 2020 e 2030. No geral, o percentual de tempo que cada subbacia permanece nas possíveis classes de uso no panorama 1 aproxima-se do percentual associado às mesmas classes no panorama 2, sugerindo a existência de baixos níveis de cobertura para o serviço de tratamento de esgotos. Na condição de eficiência de tratamento relacionada ao panorama 3 (70% de remoção de DBO), seis das nove subbacias apresentariam condições de qualidade compatíveis com aquelas estabelecidas para as Classes 1 ou 2 (SB1, SB3, SB4, SB5, SB6 e SB8). Num cenário em que a eficiência do tratamento fosse elevada para 85% (panorama 4), quase a totalidade das subbacias seria levada à condições de qualidade compatíveis com a Classe 2, independentemente do panorama avaliado; como exceção apresentou-se a subbacia SB2 que permaneceria na Classe 3 no ano de 2030.

Considerando-se a suposta condição atual de tratamento de esgoto na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, as estimativas das cargas de DBO domésticas (produzidas e a serem tratadas) e a análise do nível de estresse inerente a cada subbacia, evidenciou-se que as subbacias SB2, SB5 e SB7 apresentaram-se como regiões importantes para investimentos associados ao setor de esgotamento sanitário.

Consideram-se como recomendações ao presente estudo:

- Desenvolver estudos que considerem, além das cargas de DBO provenientes do esgotamento sanitário, cargas produzidas por outras fontes de poluição e que sejam relevantes para o processo de enquadramento;

- Estabelecer e avaliar o desempenho de funções regionais para a construção de curvas de permanência de vazões que considerem outras variáveis independentes além da área e aplicáveis a permanências inferiores a 50%;

- Desenvolver estudos que considerem o processo de autodepuração dos corpos d’água, quando da avaliação da carga remanescente no exutório das diferentes subbacias analisadas;

- Conduzir estudos que permitam a avaliação local dos custos associados à implementação de sistemas de tratamento de esgotos;

- Desenvolver metodologia que possibilite a escolha do sistema de tratamento de esgoto em função da capacidade de diluição do rio e da sua relação com a carga total remanescente a ser tratada.

7. REFERÊNCIAS

(ANA) AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Caderno de Recursos Hídricos 6: **Implantação do enquadramento em Bacias Hidrográficas**. Brasília: ANA, 2009. 145 p. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicao/IMPLEMENTA%C3%87%C3%83O%20DO%20ENQUADRAMENTO.pdf>. Acesso em 17 de fev. 2012.

_____. Caderno de Recursos Hídricos 1: **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. Brasília: ANA, 2005. 176 p. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicao/PANORAMA%20DA%20QUALIDADE%20DAS%20%C3%81GUAS.pdf>. Acesso em 17 de fev. 2012.

_____. Caderno de Recursos Hídricos 4: **Diagnóstico da Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2007a. 166 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/estudos/sprtew/4/pdf/volume_4_ANA.pdf>. Acesso em 01 de abr. 2012.

_____. Caderno de Recursos Hídricos 5: **Panorama do Enquadramento dos Corpos D'água**. Brasília: ANA, 2007b. 124 p. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicao/PANORAMA%20DO%20ENQUADRAMENTO.pdf>. Acesso em 13 de fev. 2012.

BRASIL. Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei Nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 9 jan. 1997. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 06 fev. 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005. Disponível em:<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2011.

_____. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis n°s 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n° 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 8 jan. 2007. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 20 jan. 2007.

_____. Ministério do Meio Ambiente. CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 91, de 5 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.

Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 6 fev. 2009. Disponível em:< http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=14>. Acesso em: 11 fev. 2012.

BRAGA, Ricardo Augusto Pessoa Braga. **Avaliação dos Instrumentos de Políticas Públicas na Conservação Integrada de Florestas e Águas, com Estudo de Caso na Bacia do Corumbataí – SP.** 2005. 313 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em:< http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/TeseRicardoBraga.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2012.

BRITES, Ana Paula Zubiaurre. **Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas:** probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica. 2010. 177 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em:< http: //www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-19012011-100828/pt-br.php >. Acesso em: 19 jun. 2012.

CLAPS, Pierluigi; FIORENTINO, Mauro. Probabilistic Flow Duration Curves for use in Environmental Planning and Management. In: HARMANCIOGLU et al. (eds.). **Integrated Approach to Environmental Data Management Systems**. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, NATO-ASI, series 2 (31), p. 255-266, 1997. Disponível em: < http://www.idrologia.polito.it/~claps/Papers/ARW_1997.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2012.

CRUZ, Jussara Cabral. **Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais.** 2001. 189 f.Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em:< http://hidroportal.proj.ufsm.br/gerhi/downloads/Tese-JussraCabralCruz.pdf >. Acesso em: 22 fev. 2012.

CRUZ, Jussara Cabral; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 13, n.1, p. 111-124, jan./mar. 2008. Disponível em:< www.abrh.org.br/novo/download_file.php?filename >. Acesso em: 23 fev. 2012.

DINIZ, Lilia Toledo; YAZAKI, Luiz Fernando Orsini; PORTO, Mônica Ferreira do Amaral; BRITES, Ana Paula Zubiaurre; MASINI, Letícia Santos. Integração da Gestão de Água e o Enquadramento. In: Workshop Sobre Gestão Estratégica de Recursos Hídricos, 2006, Brasília. **Anais eletrônicos**...Disponível em:< http://projeto1.fcth.br/bacritica/Cap%C3%ADtulo%204/Anexos%20Cap%C3%ADtulo%204/Artigo_Integra%C3%A7%C3%A3o%20e%20Enquadramento.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2012.

ELETROBRÁS – Centrais Hidrelétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Brasília: Eletrobrás, 1985.

ESPÍRITO SANTO (ESTADO). Lei Nº 5.818, de 29 de dezembro de 1998. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento e Monitoramento dos Recursos Hídricos, do Estado do Espírito Santo - SIGERH/ES, e dá outras providências. **Departamento de Imprensa Oficial do Espírito Santo**, Vitória, 30 dez. 1998. Disponível em:< http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp>. Acesso em: 11 fev. 2012.

_____. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA). Instrução Normativa IEMA Nº 007, de 21 de junho de 2006. Estabelece critérios técnicos referentes à outorga para diluição de efluentes em corpos de água superficiais do domínio do Estado do Espírito Santo. **Departamento de Imprensa Oficial do Espírito Santo**, Vitória, 27 jun. 2006. Disponível em:< http://www.meioambiente.es.gov.br/download/Instr_Norm_007_06_Atualizada.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2012.

_____. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA). Instrução Normativa IEMA Nº 013, de 09 de dezembro de 2009. Altera a redação dos artigos 8º, 9º e 15 da Instrução Normativa Nº 19, de 04 de outubro de 2005. **Departamento de Imprensa Oficial do Espírito Santo**, Vitória, 24 dez. 2009.

EUCLYDES, Humberto Paulo; FERRREIRA, Paulo Afonso; RUBERT, Og Arão Vieira; SANTOS, Ronaldo Medeiros dos. Regionalização Hidrológica na Bacia do Alto São Francisco a Montante da Barragem de Três Marias, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre – RS, v.6, n.2, p. 81-105, abr/jun. 2001.

GARCIA, S. G.; LOPARDO, N.; ANDREALI, C. V.; GONÇALVES; R. C. Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos no Saneamento Básico. In: PHILIPPI JR., Arlindo (Ed.). **Gestão do Saneamento Básico** - Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário. Barueri,SP: Manole, 2012.

GUERRA, Amanda Estela. Qualidade e eficiência dos serviços de saneamento. In: (IBGE) INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas de Saneamento 2011**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em:< http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/>. Acesso em: 12 fev. 2012.

HELLER, Léo. Estudo 20: **Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos** (Saneamento Básico). Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) da Universidade Federal do Espírito Santo. Projeto Perspectivas dos Investimentos Sociais no Brasil (PIS). Belo Horizonte, 2010. Disponível em:< http://mirage.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/pis/Estudo%2020.pdf >. Acesso em: 19 fev. 2012.

(IBGE) INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores Sociais Municipais** – Uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em:< http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/indicadores_sociais_municipais/indicadores_sociais_municipais.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2012.

(IJSN) INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. **Demografia e urbanização**: o Espírito Santo no censo 2010. Texto para discussão (38). Vitória: IJSN, 2011. Disponível em:< http://www.ijsn.es.gov.br/attachments/1059_ijsn_td38..pdf>. Acesso em: 09 jul. 2012.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

KELMAN, J. (1997). Gerenciamento de recursos hídricos. Parte I: Outorga. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1997, Vitória. **Anais**… Vitória: ABRH, 16 a 20/nov/1997. Disponível em:< http://www.kelman.com.br/pdf/ger%20rec%20hid%20parte%20i%20outorga/ger%20rec%20hid%20parte%20i%20outorga.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2012.

KLIGERMAN, Débora Cynamon. **Gestão Ambiental Integrada**: Recursos Hídricos, Saneamento e Saúde. 2001. 314 f. Tese (Doutorado) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MARCON, Giuliano. **Avaliação da Política Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.** 2005. 256 f.Tese (Doutorado) – Departamento de Saúde Ambiental, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em:< http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-21042005-203718/pt-br.php>. Acesso em: 12 fev. 2012.

MORAES JR., José Manoel; DINIZ, Lilia Toledo; YAZAKI, Luiz Fernando Orsini; PORTO, Mônica Ferreira do Amaral. O Enquadramento de Cursos D'água na Legislação Brasileira. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 2006, Curitiba. **Anais eletrônicos**...Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 06 fev. 2012.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber Jose de Andrade. Hidrologia Estatística. Belo Horizonte:CPRM, 2007.

PHILIPPI JR., Arlindo; SILVEIRA, Vicente Fernando. Controle da Qualidade das Águas. In: PHILIPPI JR., Arlindo (Ed.). **Saneamento, Saúde e Ambiente**: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri,SP: Manole, 2005. p. 416-438.

PINTO, Nelson L. de Souza; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto; SIBUTGOMIDE, Francisco Luiz.uiz. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

PINTO, Jorge Antônio de Oliveira. **Avaliação de métodos para a regionalização de curva de permanência de vazões para a bacia do rio das Velhas**. 2006. 219 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PORTO, Monica Ferreira do Amaral. **Sistemas de gestão da qualidade das águas: uma proposta para o caso brasileiro**. 2002. 131 f. Tese (Livre Docência em

Engenharia) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____. **Qualidade da Água Superficial**. Prospecção Tecnológica, Recursos Hídricos. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). 2003. Disponível em:< Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 06 fev. 2012.>. Acesso em: 09 jul. 2012.

RIBEIRO, Celso Bandeira de Melo; MARQUES, Felipe de Azevedo; SILVA, Demetrius David da. Estimativa e Regionalização de Vazões Mínimas de Referência para a Bacia do Rio Doce. . **Engenharia na Agricultura**. v. 13, n.2, p. 103-117, abr/jun. 2005. Disponível em:< http://www.ufv.br/dea/reveng/arquivos/Vol13/v13n2p103-117.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2012.

RIBEIRO, Marcia Maria Rios; LANNA, Antonio Eduardo Leão. A Outorga Integrada das Vazões de Captação e Diluição. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre – RS, v.8, n.3, p.151-168, jul/set 2003.

ROBAINA, Adroaldo Dias; SILVEIRA, Geraldo Lopes da; GIOTTO, Ênio; DEWES, Rogério. Outorga para uso dos recursos Hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 3, n. 3, p. 5-16, jul/set. 1998. Disponível em:<http://www.abrh.org.br/novo/arquivos/artigos/v3/v3n3/outorga.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2012.

RODRIGUES, Ivete Oliveira. Abrangência dos Serviços de Saneamento. In: (IBGE) INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas de Saneamento 2011**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em:< http:// www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/>. Acesso em: 12 fev. 2012.

ROSSMAN, L. A.. Risk equivalent seasonal waste load allocation. In: **Water Resources Research,** v. 25, n. 10, p. 2083-2090, oct. 1989. Disponível em:< http://www.agu.org/journals/wr/v025/i010/WR025i010p02083/WR025i010p02083.pdf >. Acesso em: 24 jun. 2012.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da; SILVEIRA, Geraldo Lopes da; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Quantificação de Vazão em Pequenas Bacias sem Dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 3, n.3, p. 111-131, jul/set. 1998. Disponível em: < http://engineering.tufts.edu/cee/people/vogel/publications/regionalFDC.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2012.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da; SILVEIRA, Geraldo Lopes da. Vazões Mínimas. In: PAIVA, João Batista Dias de; PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de. (orgs.). **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas.** Porto Alegre: ABRH, 2003, p. 125-163.

SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2009**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2011.

SOUZA, Marcelo Pereira de; PIZELLA, Denise Gallo. Análise da Sustentabilidade Ambiental do Sistema de Classificação das Águas Doces Superficiais Brasileiras. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 12, n.2, p. 139-148, abr/jun 1998. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n2/a05v12n2.pdf >. Acesso em: 06 fev. 2012.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Regionalização de Vazões**. Editora Universidade/UFRGS, 2002, 256 p.

_____. Regionalização de Vazões. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli (org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2004, p. 573-619.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI**: Enfrentando a Escassez. São Carlos: RiMa, IIE, 2003. 248 p.

FENNESSEY, N.; VOGUEL, R. M. (1990). Regional flow-duration curves for ungauged sites in Massachusetts.In: **Journal of Water Resources Planning and Management**. Vol. 116, n. 4, p. 530-549. jul/aug. 1990.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2005.

VON SPERLING, Marcos; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos Urban wastewater treatment technologies and the implementation of discharge standards in developing countries. **Urban Water**. Belo Horizonte – BH, v. 4, n. 1, p. 105-114, 2002. Disponível em:< http://www.aseanenvironment.info/Abstract/41017530.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2012.

ANEXO E APÊNDICES

ANEXO A - Dados obtidos das concessionárias

Quadro A.1 - Dados fornecidos pelas concessionárias que prestam serviço de esgotamento sanitário para municípios da bacia hidrográfica do rio Itapemirim

CONCESSIONÁRIAS	ETE	Localização	Localidade da população atendida	Qt ligações à rede coletora (coletado)	Percentual do esgoto coletado com destinação para tratamento (%)	Sistema de tratamento de esgoto	Concentração do esgoto após tratamento (mg/l)	Destino do efluente final após tratamento
CESAN	ETE de Castelo	Castelo - sede	Castelo - sede	5419	100%	UASB + Biofiltro Aerado	53	rio Castelo
	ETE de Muniz Freire - Piaçu	Distrito de Piaçu (Muniz Freire)	Distrito de Piaçu (Muniz Freire)	124	100%	UASB + Biofiltro Aerado	26	rio Braço Norte Esquerdo
	ETE de Venda Nova do Imigrante	Distrito de Venda Nova do Imigrante	Distrito de Venda Nova do Imigrante	2837	100%	UASB + Biofiltro Aerado	198	rio São João de Viçosa
	ETE Muniz Freire - sede (sem operação)	Muniz Freire - sede	-	-	-	Lo dos Ativados Convencional	-	-
CESAN (Atílio Viváqua, Conc. do Castelo, Ibatiba, Iúna, Irupí, Muqui,, Presidente Kenedy)	-	-	-	-	-	-	-	-
FOZ DO BRASIL	ETE de Burarama	Distrito de Burarama	Distrito de Burarama	136	100%	UASB + FAFA	-	ribeirão Floresta
	ETE de Coronel Borges	Cahoeiro de Itapemirim - sede	Cachoeiro de Itapemirim - sede	45520	100%	Lodo Ativado	-	rio Itapemirim
	ETE de Córrego do Monos	Distrito de Córrego dos Monos	Distrito de Córrego dos Monos	300	100%	Fossa Filtro	-	córrego dos Monos
	ETE de Pacotuba	Distrito de Pacotuba	Distrito Pacotuba	297	100%	Fossa Filtro	-	rio Itapemirim
SAAE de Alegre	1 ETE em implantação	-	-	-	-	-	-	-
SAAE de Ibitirama	ETE de Ibitirama - Sede	Ibitirama - sede	Ibitirama - sede	736	100%	Filtro Biológico	-	rio Norte Braço Direito
	ETE de São Francisco	São Francisco (localidade rural Ibitirama)	São Francisco	42 (aproximado)	100%	Filtro Biológico	-	córrego São Francisco
	ETE de Santa Marta	Distrito de Santa Marta	Distrito de Santa Marta	204	60%	Filtro Biológico	-	ribeirão Sta Marta
	ETE de São José do Caparaó	São José do Caparaó (localidade rural Sta Marta)	São José do Caparaó	86	0,6	Filtro Biológico	-	rio Norte Braço Direito
SAAE de Itapemirim	ETE Ilmenita	Distrito de Marataízes - sede	Marataízes - sede	3019	100%	Lagoa estabilização + Anaeróbia	-	rio Itapemirim
	ETE Rosa Meirelles	Distrito de Itapemirim - sede	Itapemirim - sede Distrito de Barra do Itapemirim (Marataízes)	3.697	100%	Lagoa anaeróbia + Facultativa	-	rio Itapemirim
SAAE de Jerônimo Monteiro	ETE de Jerônimo Monteiro	Jerônimo Monteiro - sede	Jerônimo Monteiro - sede	2.641	60%	Biofiltros aerado submerso		córrego Cristal
SAAE Vargem Alta	3 ETEs construídas (sem operação)	-	-	-	-	-	-	-

APÊNDICE I - Populações rural e urbana por subbacia e subdistrito

Tabela I.1 - Populações rural e urbana por subbacia

Subbacia	Subdistrito	População 2010		Projeção 2012		Projeção 2020		Projeção 2030	
		Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana
SB1	ALEGRE	1012	0	1038	0	1148	0	1303	0
	ARARAÍ	164	0	168	0	186	0	211	0
	IBITIRAMA	1766	2625	1811	2692	2004	2978	2273	3379
	IRUPI	719	0	737	0	816	0	925	0
	PEQUIÁ	1258	0	1290	0	1427	0	1619	0
	SANTA CRUZ DE IRUPI	1158	0	1188	0	1314	0	1490	0
	SANTA MARTA	1811	1983	1857	2034	2055	2250	2331	2552
	SÃO JOÃO DO NORTE	145	76	149	78	165	86	187	98
	IÚNA	0	137	0	141	0	155	0	176
SB2	IBATIBA	7785	13378	7984	13720	8832	15177	10020	17219
	IRUPI	5406	3836	5544	3934	6133	4352	6958	4937
	ITAICI	66	0	68	0	75	0	85	0
	IÚNA	3809	13521	3906	13867	4321	15340	4903	17403
	NOSSA SENHORA DAS GRAÇAS	1688	547	1731	561	1915	621	2173	704
	SANTA CRUZ DE IRUPI	3	601	3	616	3	682	4	774
	SANTÍSSIMA TRINDADE	2258	275	2316	282	2562	312	2906	354
	SÃO PEDRO	132	0	135	0	150	0	170	0
	PEQUIÁ	0	799	0	819	0	906	0	1028
	SÃO JOÃO DO PRÍNCIPE	0	341	0	350	0	387	0	439
SB3	ALTO NORTE	1473	254	1511	260	1671	288	1896	327
	MENINO JESUS	1107	552	1135	566	1256	626	1425	710
	MUNIZ FREIRE	683	5559	700	5701	775	6307	879	7155
	PIAÇU	2408	1522	2470	1561	2732	1727	3099	1959
	SÃO PEDRO	293	299	300	307	332	339	377	385
SB4	ANUTIBA	780	966	800	991	885	1096	1004	1243
	ARARAÍ	571	245	586	251	648	278	735	315
	IBITIRAMA	772	0	792	0	876	0	994	0
	ITAICI	866	113	888	116	982	128	1115	145
	MUNIZ FREIRE	1830	194	1877	199	2076	220	2355	250
	SANTA ANGÉLICA	80	0	82	0	91	0	103	0
	SÃO JOÃO DO NORTE	308	0	316	0	349	0	396	0

Tabela I.1 - População rural e urbana por subbacia (continuação)

Subbacia	Subdistrito	População 2010		Projeção 2012		Projeção 2020		Projeção 2030	
		Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana
SB5	ALTO CASTELINHO	1293	792	1326	812	1467	899	1664	1019
	ALTO CAXIXE	1532	1481	1571	1519	1738	1680	1972	1906
	CASTELO	5820	21433	5969	21981	6603	24316	7491	27587
	CONCEIÇÃO DO CASTELO	5783	5898	5931	6049	6561	6691	7443	7591
	CONDURU	512	1569	525	1609	581	1780	659	2019
	COUTINHO	39	0	40	0	44	0	50	0
	ITAOCA	135	0	138	0	153	0	174	0
	LIMOEIRO	2669	88	2737	90	3028	100	3435	113
	MONTE PIO	736	130	755	133	835	147	947	167
	PATRIMÔNIO DO OURO	1470	41	1508	42	1668	47	1892	53
	PROSPERIDADE	1177	882	1207	905	1335	1001	1515	1135
	SÃO JOÃO DE VIÇOSA	1010	2782	1036	2853	1146	3156	1300	3581
	SÃO JOSÉ DE FRUTEIRAS	3045	909	3123	932	3455	1031	3919	1170
	SÃO VICENTE	1362	139	1397	143	1545	158	1753	179
	VARGEM ALTA	1287	0	1320	0	1460	0	1657	0
	VENDA NOVA DO IMIGRANTE	3096	10546	3175	10816	3512	11965	3985	13574
	VIEIRA MACHADO	869	177	891	182	986	201	1118	228
	ESTRELA DO NORTE	0	125	0	128	0	142	0	161
SB6	ALEGRE	1736	16179	1780	16593	1970	18355	2234	20824
	BURARAMA	955	441	979	452	1083	500	1229	568
	CAFÉ	1185	501	1215	514	1344	568	1525	645
	CASTELO	373	0	383	0	423	0	480	0
	CELINA	1012	1800	1038	1846	1148	2042	1303	2317
	CONDURU	656	0	673	0	744	0	844	0
	COUTINHO	250	922	256	946	284	1046	322	1187
	ESTRELA DO NORTE	1862	0	1910	0	2112	0	2397	0
	JERÔNIMO MONTEIRO	2344	8535	2404	8753	2659	9683	3017	10985
	MUQUI	389	0	399	0	441	0	501	0
	PACOTUBA	1705	958	1749	982	1934	1087	2195	1233
	RIVE	1880	1504	1928	1542	2133	1706	2420	1936
	SANTA ANGÉLICA	383	241	393	247	435	273	493	310

Tabela I.1 - População rural e urbana por subbacia (continuação)

Subbacia	Subdistrito	População 2010		Projeção 2012		Projeção 2020		Projeção 2030	
		Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana
SB7	CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM	1322	163115	1356	167284	1500	185056	1702	209947
	CÓRREGO DOS MONOS	1002	1252	1028	1284	1137	1420	1290	1611
	COUTINHO	17	43	17	44	19	49	22	55
	GIRONDA	1390	1220	1426	1251	1577	1384	1789	1570
	GRUTA	724	329	743	337	821	373	932	423
	ITAOCA	2167	3139	2222	3219	2458	3561	2789	4040
	ITAPECOÁ	899	53	922	54	1020	60	1157	68
	ITAPEMIRIM	67	0	69	0	76	0	86	0
	JACIGUÁ	439	0	450	0	498	0	565	0
	PIABANHA DO NORTE	1553	0	1593	0	1762	0	1999	0
	RIO MUQUI	1757	0	1802	0	1993	0	2261	0
	VARGEM GRANDE DO SOTURNO	3932	462	4033	474	4461	524	5061	595
SB8	ATILIO VIVACQUA	3734	6116	3829	6272	4236	6939	4806	7872
	CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM	132	0	135	0	150	0	170	0
	CAMARÁ	1274	623	1307	639	1445	707	1640	802
	ITAPEMIRIM	3402	0	3489	0	3860	0	4379	0
	MUQUI	2165	8686	2220	8908	2456	9854	2787	11180
	PRESIDENTE KENNEDY	989	0	1014	0	1122	0	1273	0
	RIO MUQUI	643	1491	659	1529	729	1692	828	1919
SB9	PIABANHA DO NORTE	207	0	212	0	235	0	266	0
	ITAIPAVA	0	7	0	7	0	8	0	9
	BARRA DO ITAPEMIRIM*	0	10744	0	11019	0	12189	0	13828
	ITAPEMIRIM	0	6892	0	7068	0	7819	0	8871
	MARATAÍZES*	0	16870	0	17301	0	19139	0	21714

* As populações urbanas da sede de Itapemirim e do subdistrito de Barra do Itapemirim (Marataízes) foram consideradas inseridas na subbacia SB9, mesmo não estando completamente inseridas na mesma. Isso se deve ao fato do esgoto coletado nesses locais ser destinado à estação de tratamento de esgoto localizada dentro da subbacia em questão.

APÊNDICE II - Curvas de permanência e respectivos trechos regionalizados

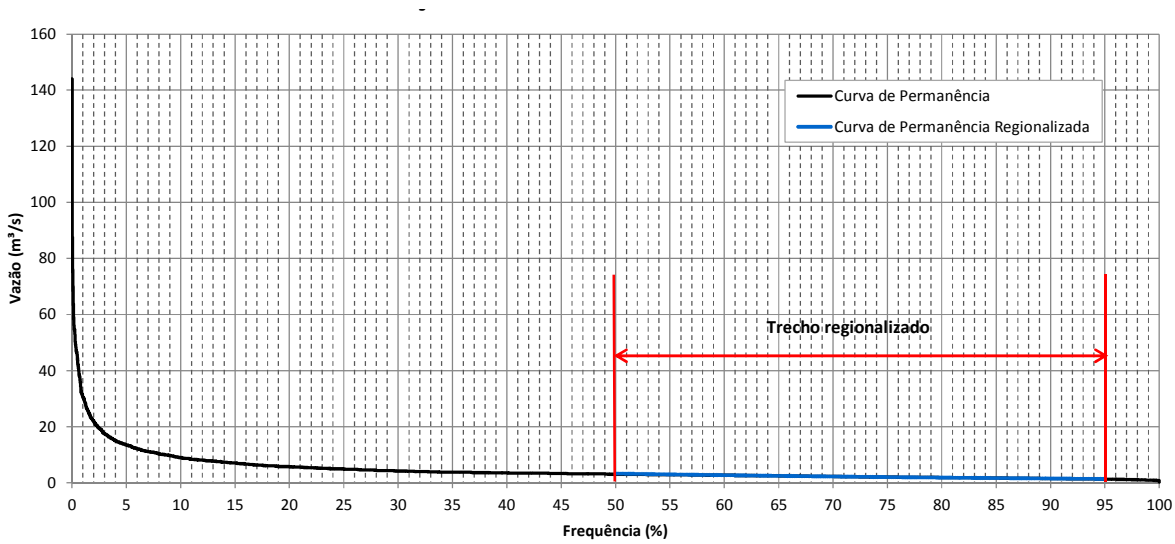

Gráfico II. 1 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Usina Fortaleza (57350000)

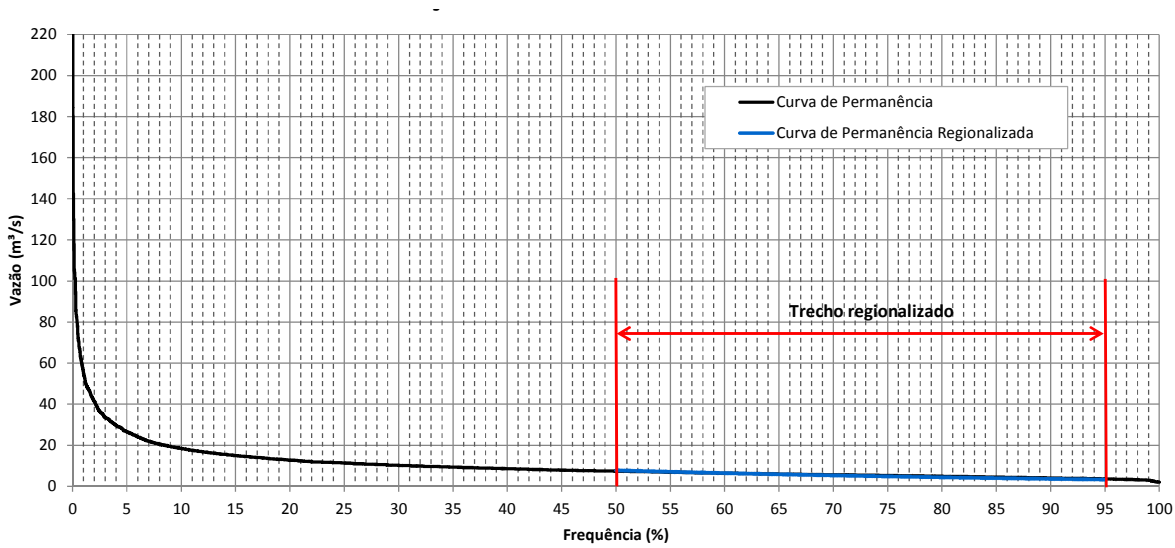

Gráfico II. 2 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Terra Corrida - Montante (57370000)

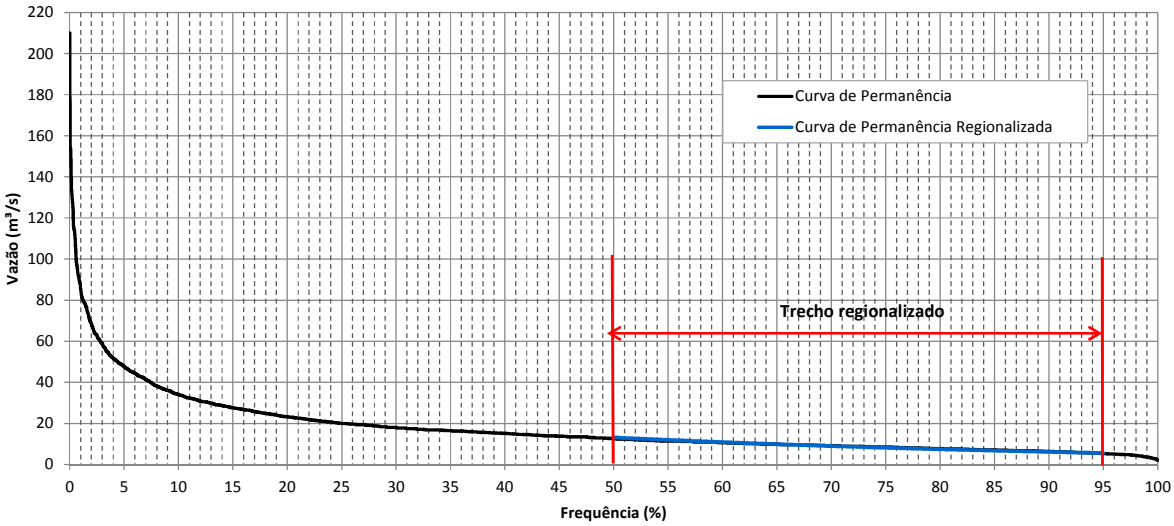

Gráfico II. 3 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Itaici (57400000)

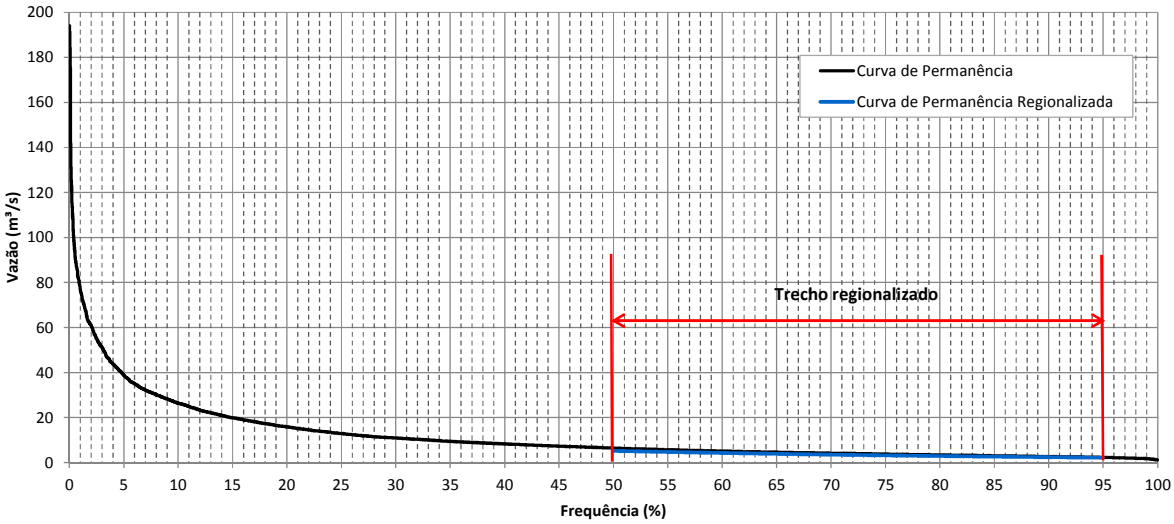

Gráfico II. 4 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Ibitirama (57420000)

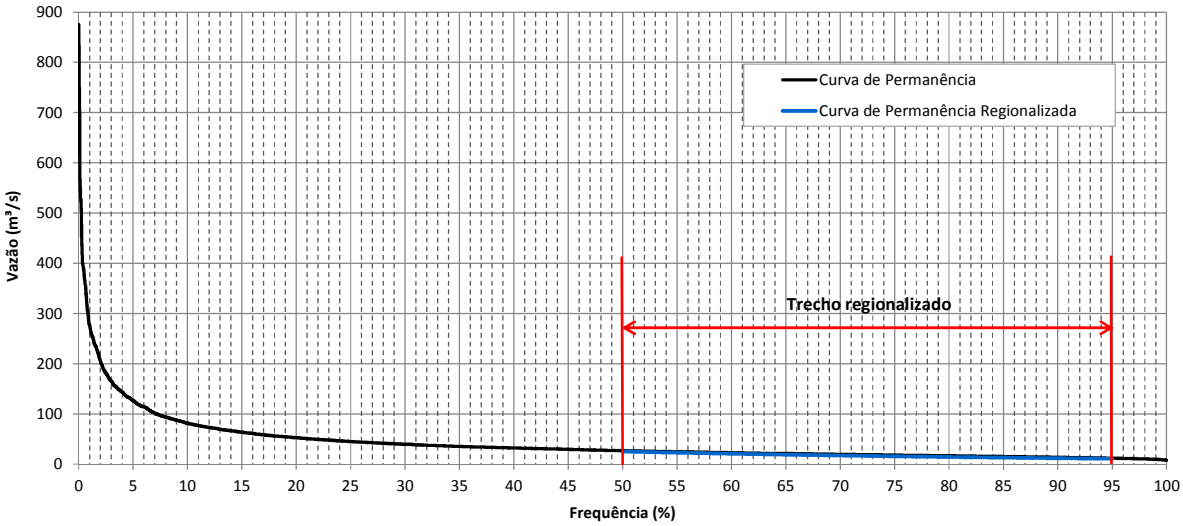

Gráfico II. 5 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Rive (57450000)

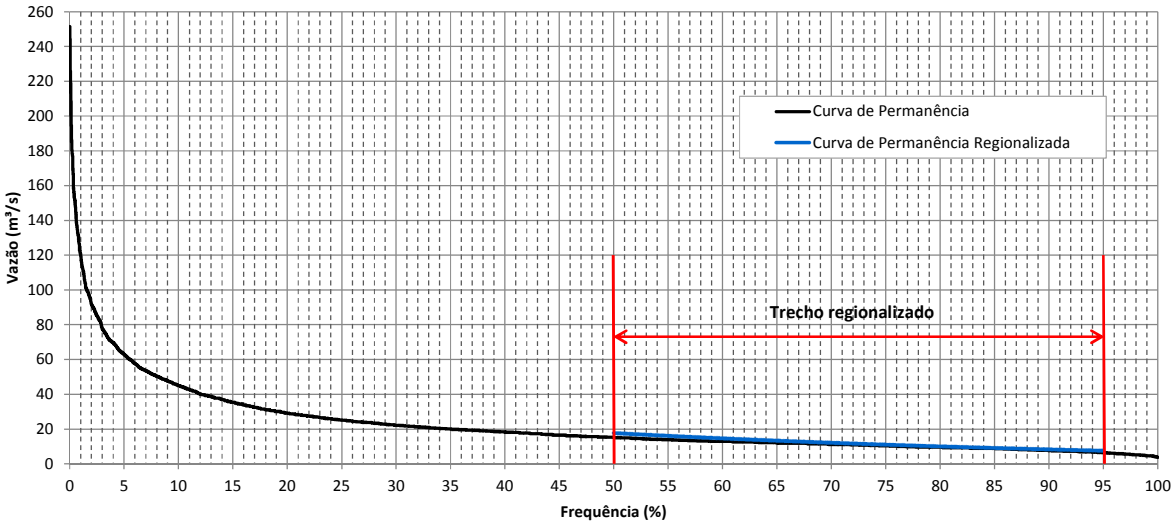

Gráfico II. 6 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Usina São Miguel (57550000)

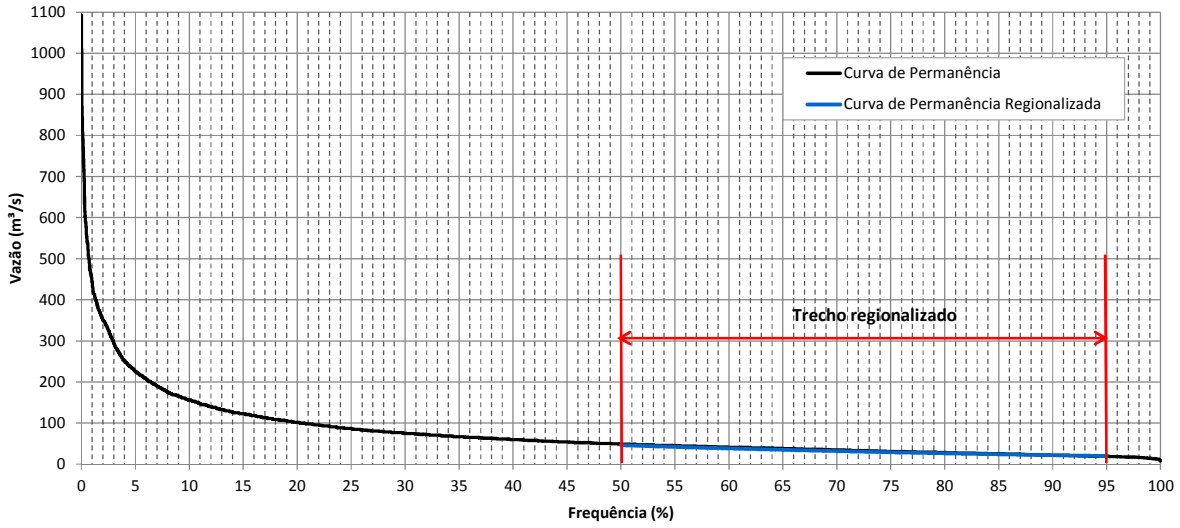

Gráfico II. 7 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Coutinho (57555000)

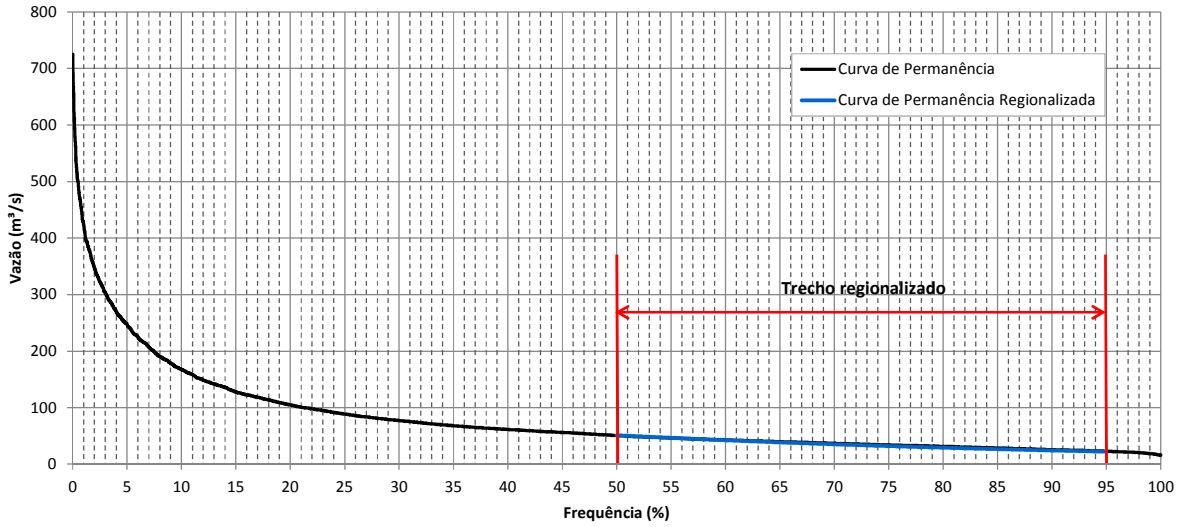

Gráfico II. 8 - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (50% a 95% de permanência), para a estação Usina Paineiras (57580000)

APÊNDICE III - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento para o ano de 2012

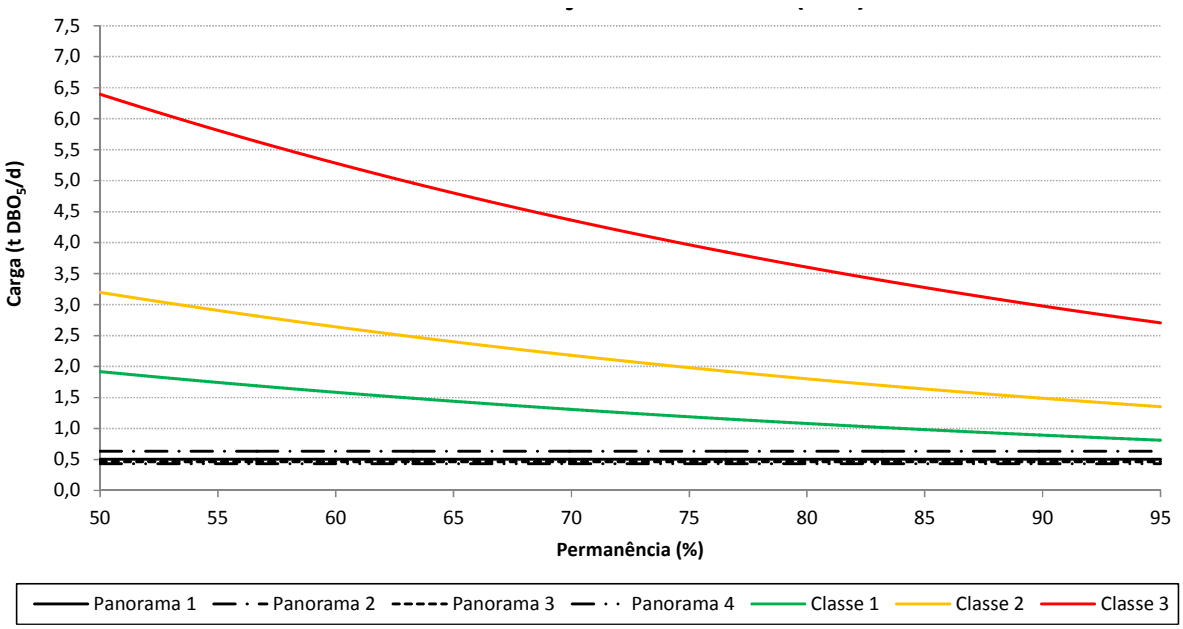

Gráfico III. 1 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Braço Norte Direito (SB1), ano 2012

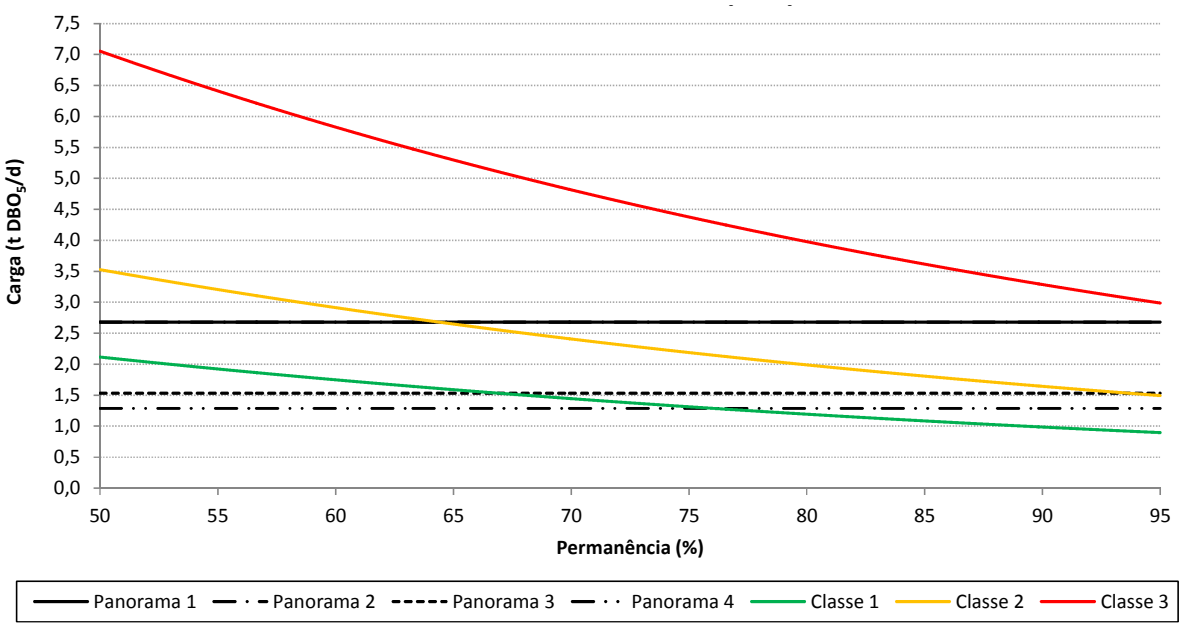

Gráfico III. 2 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Pardinho (SB2), ano 2012

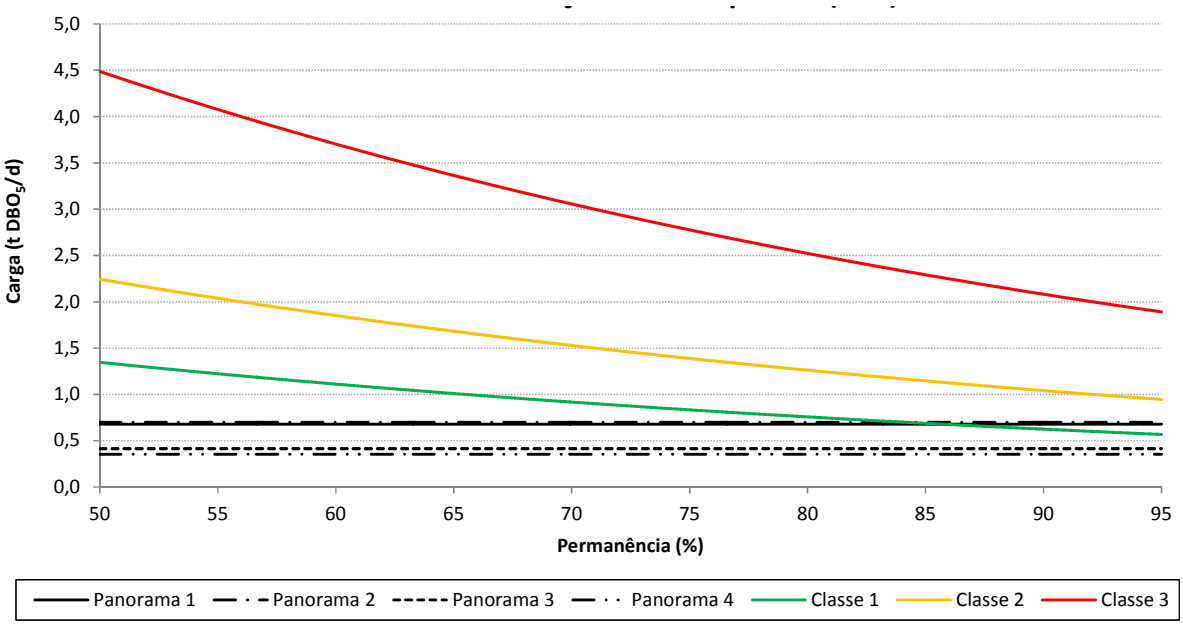

Gráfico III. 3 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Braço Norte Esquerdo (SB3), ano 2012

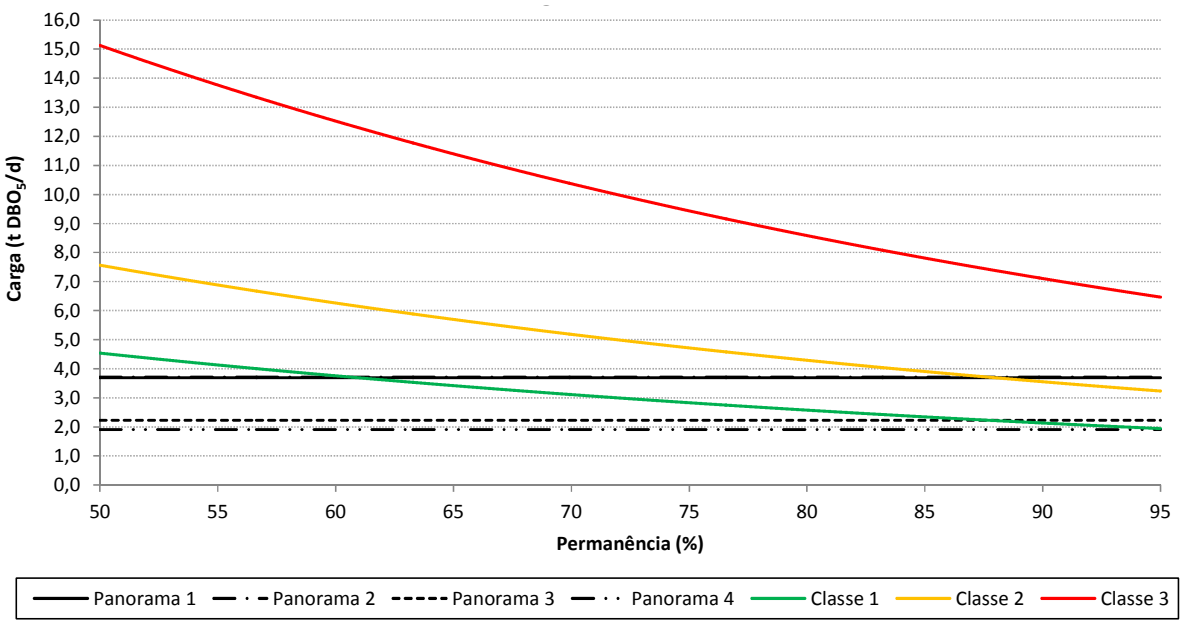

Gráfico III. 4 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia córrego Lambari Frio (SB4), ano 2012

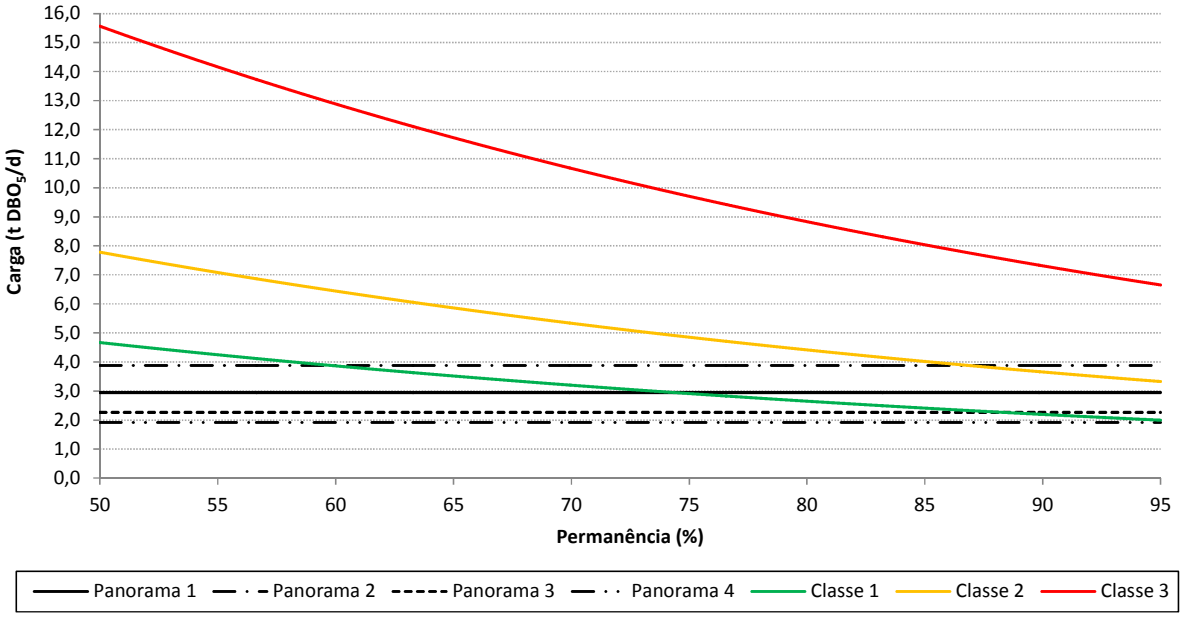

Gráfico III. 5 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Castelo (SB5), ano 2012

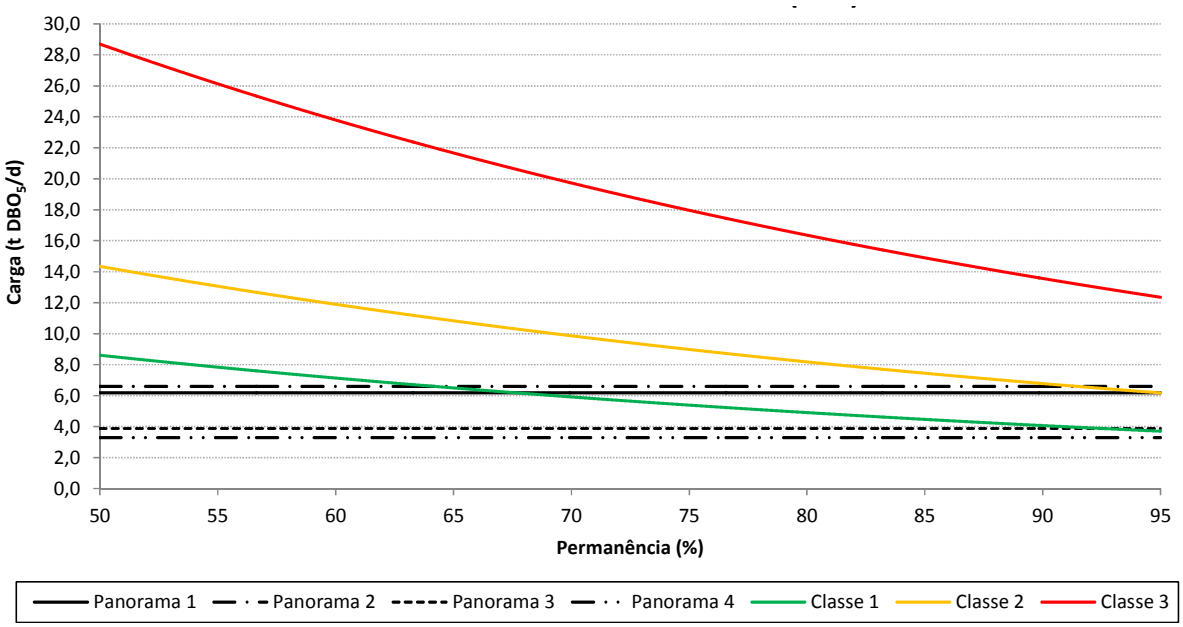

Gráfico III. 6 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia ribeirão Vala do Souza (SB6), ano 2012

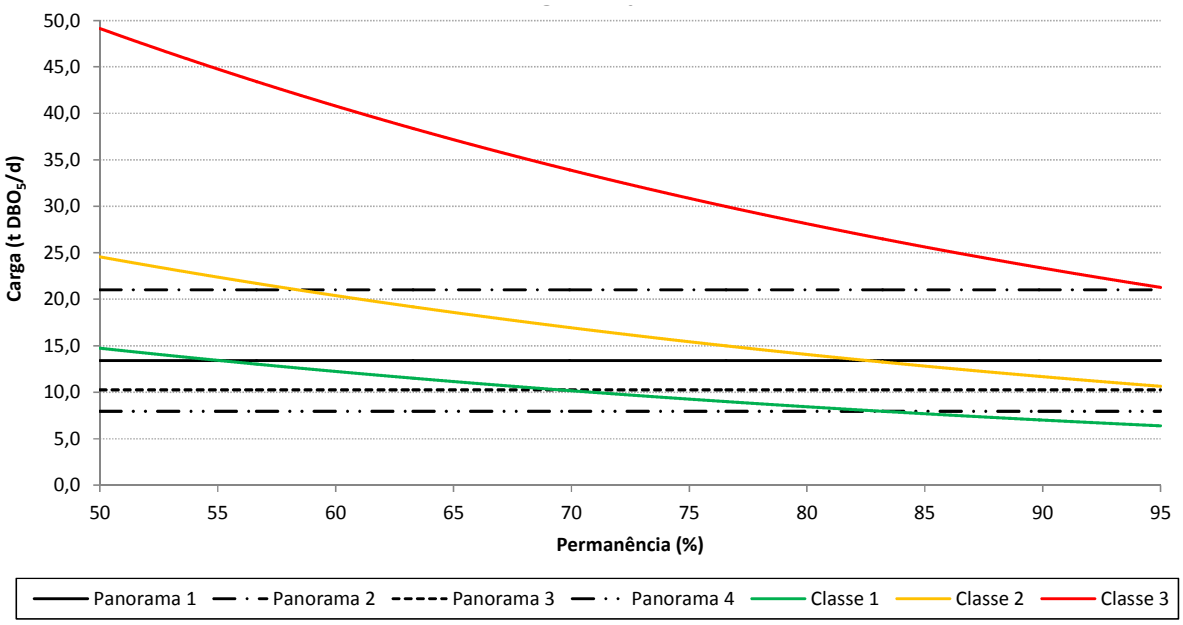

Gráfico III. 7 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia córrego Coqueiro (SB7), ano 2012

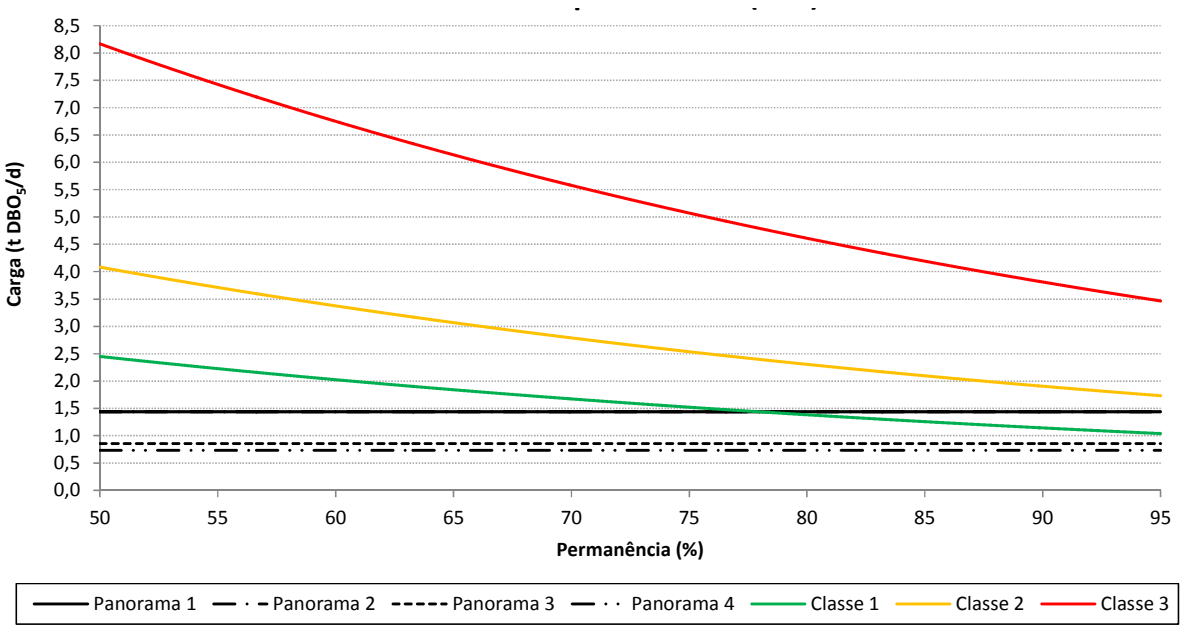

Gráfico III. 8 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Muqui do Norte (SB8), ano 2012

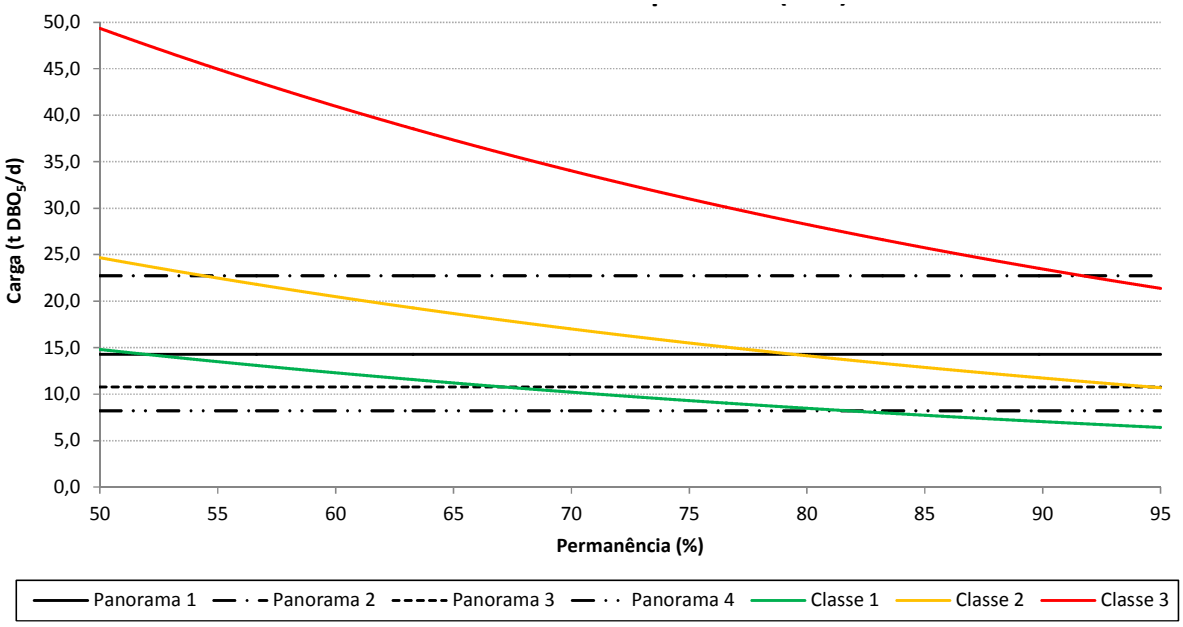

Gráfico III. 9 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia Foz do rio Itapemirim (SB9), ano 2012

APÊNDICE IV - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento para o ano de 2020

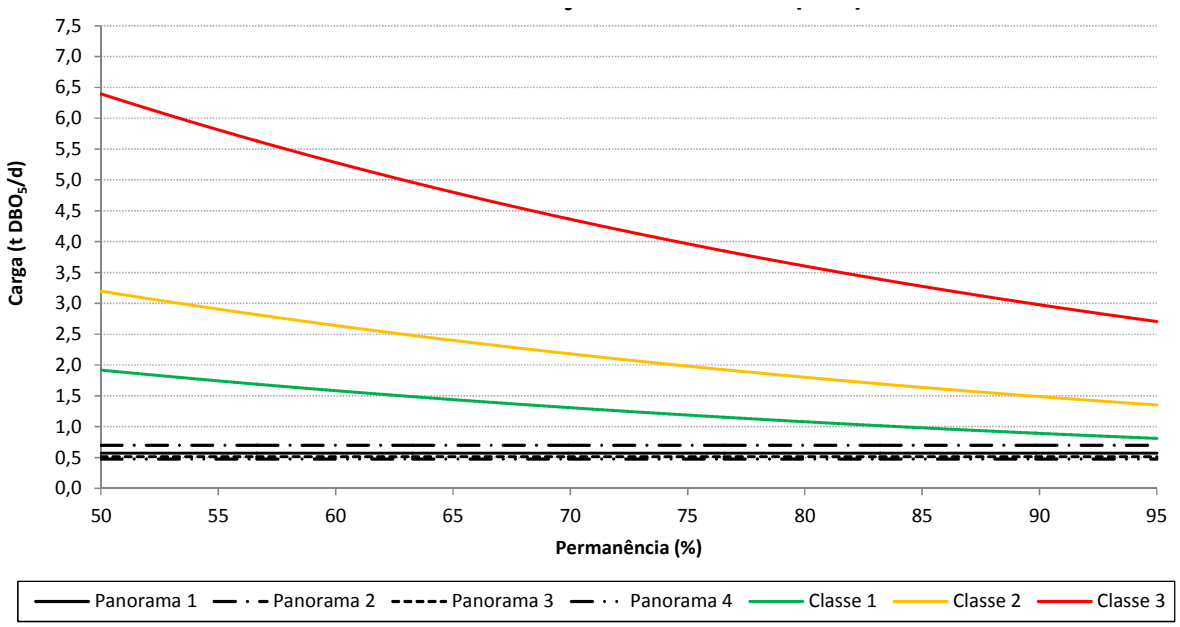

Gráfico IV. 1 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Braço Norte Direito (SB1), ano 2020

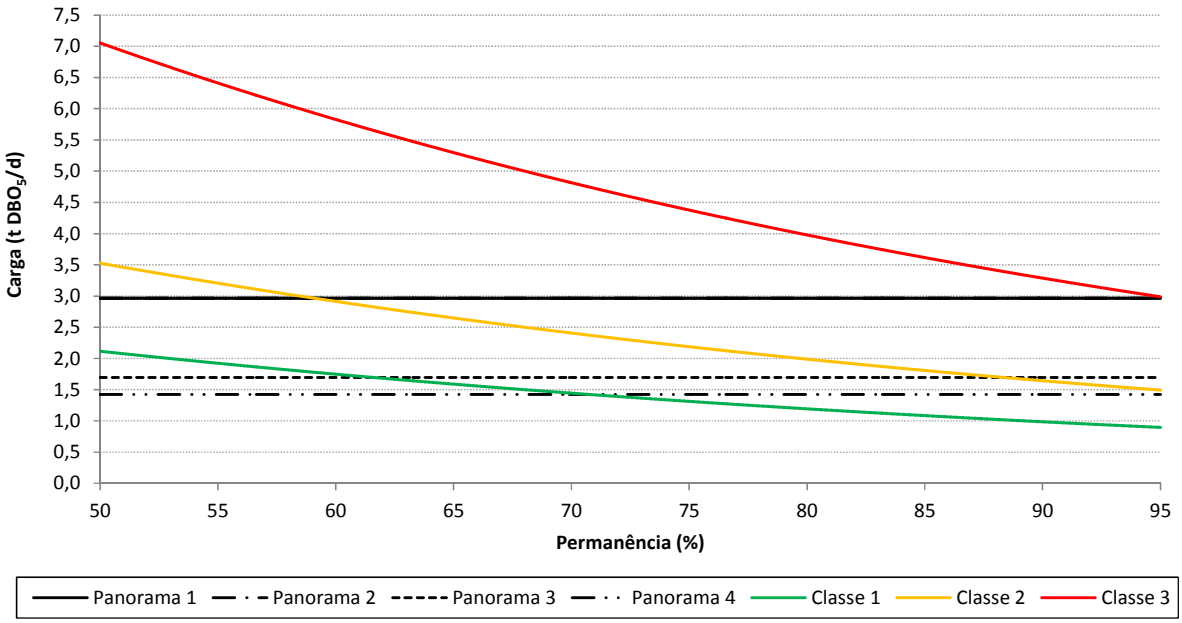

Gráfico IV. 2 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Pardinho (SB2), ano 2020

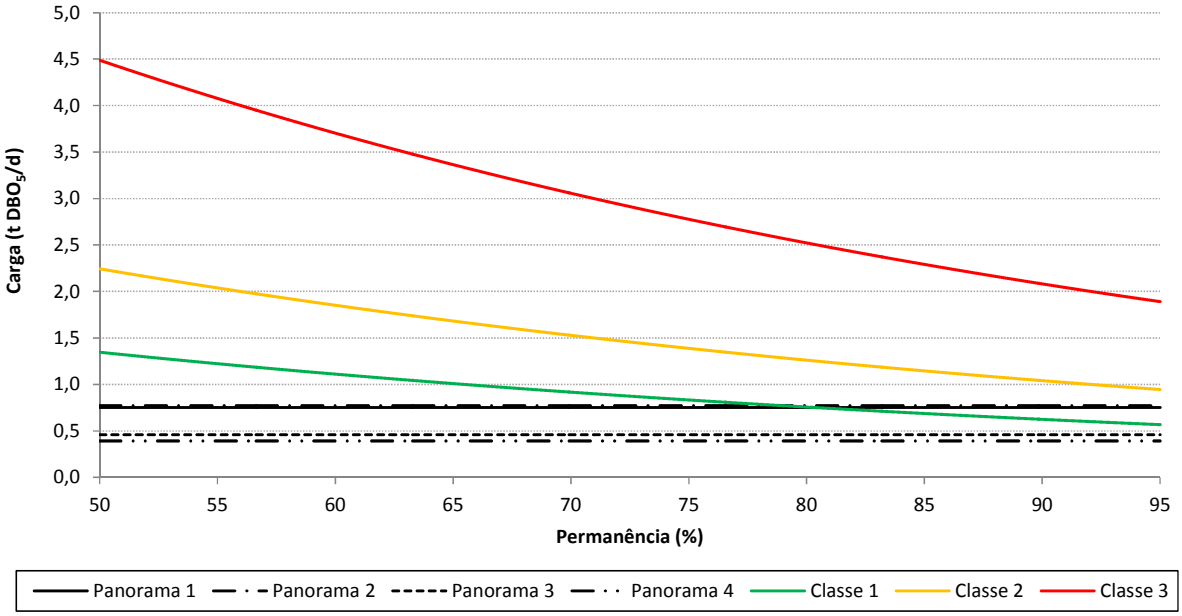

Gráfico IV. 3 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Braço Norte Esquerdo (SB3), ano 2020

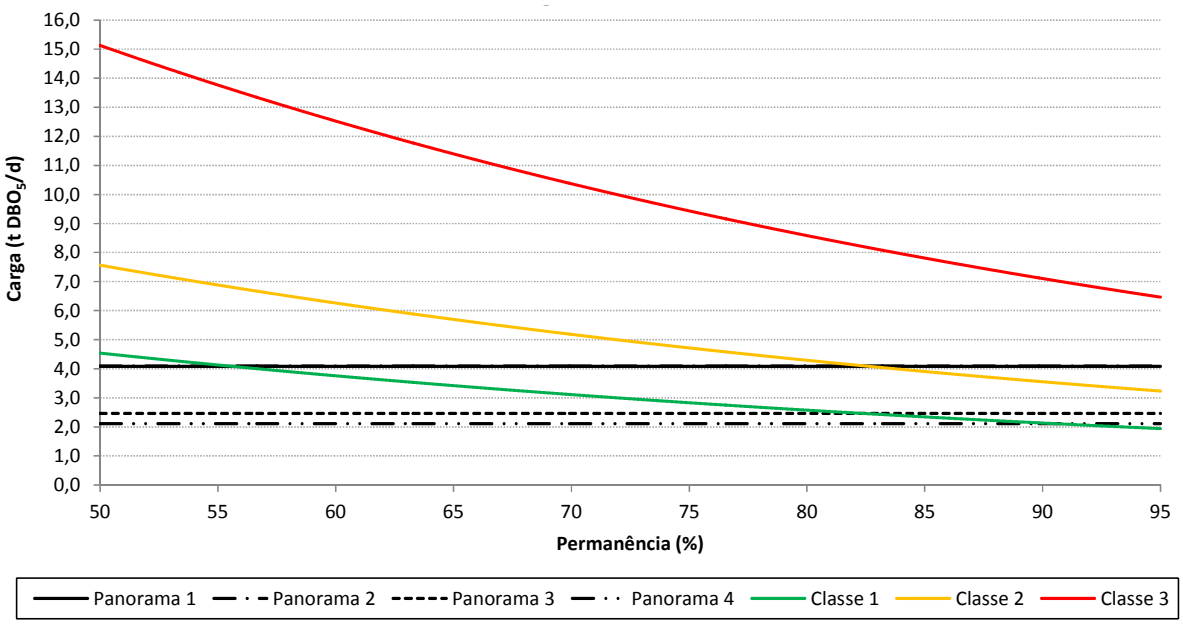

Gráfico IV. 4 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia córrego Lambari Frio (SB4), ano 2020

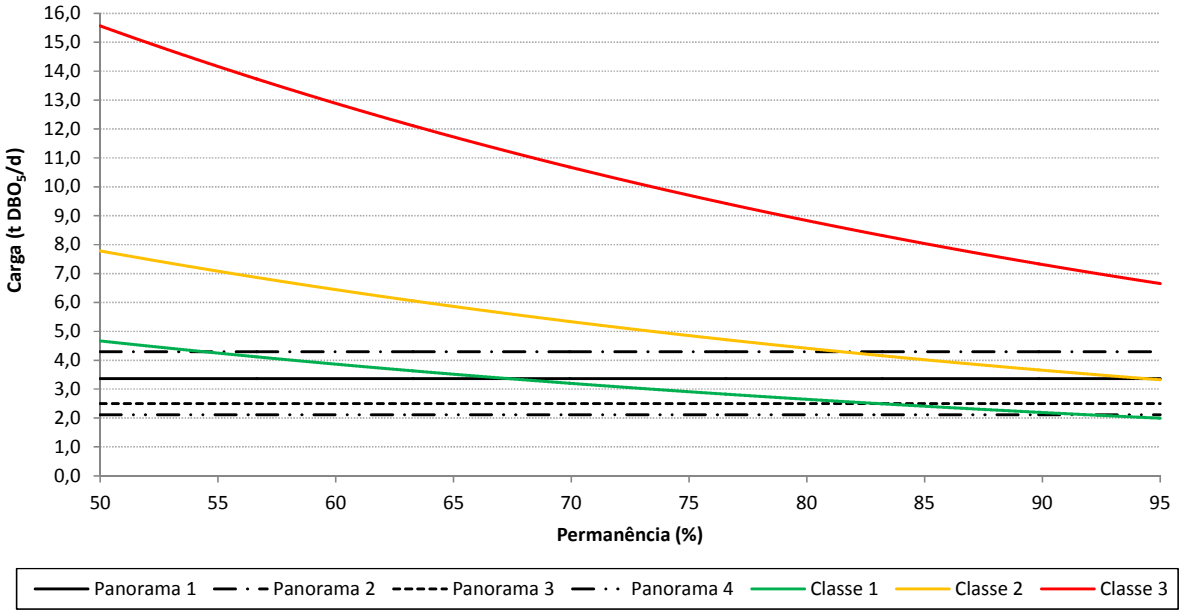

Gráfico IV. 5 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Castelo (SB5), ano 2020

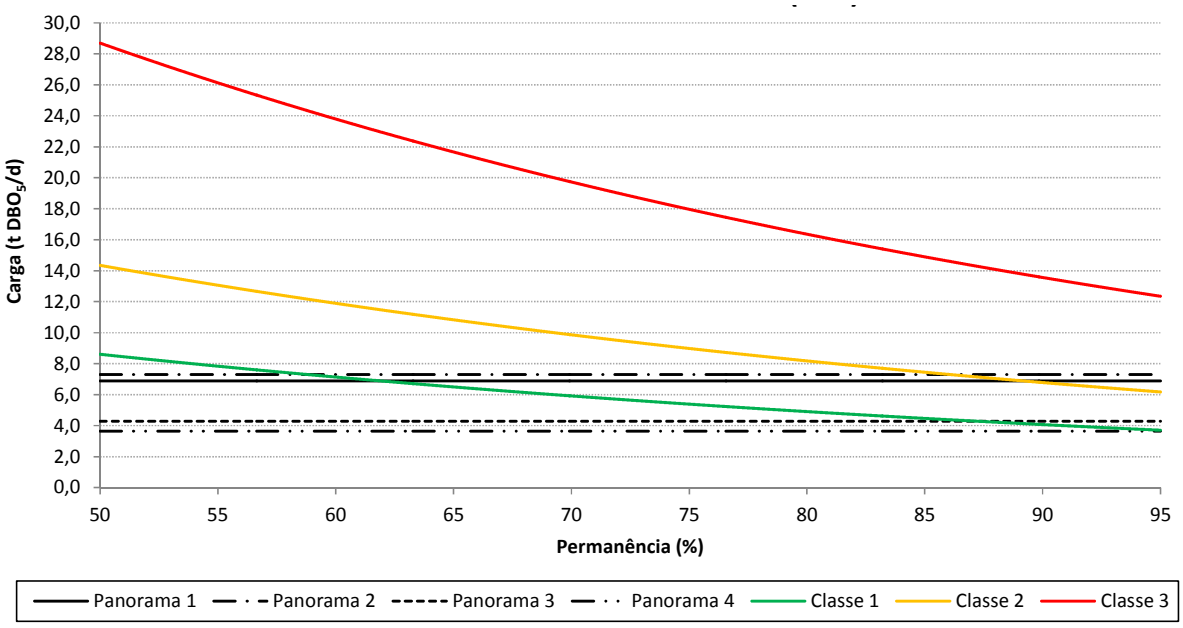

Gráfico IV. 6 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia ribeirão Vala do Souza (SB6), ano 2020

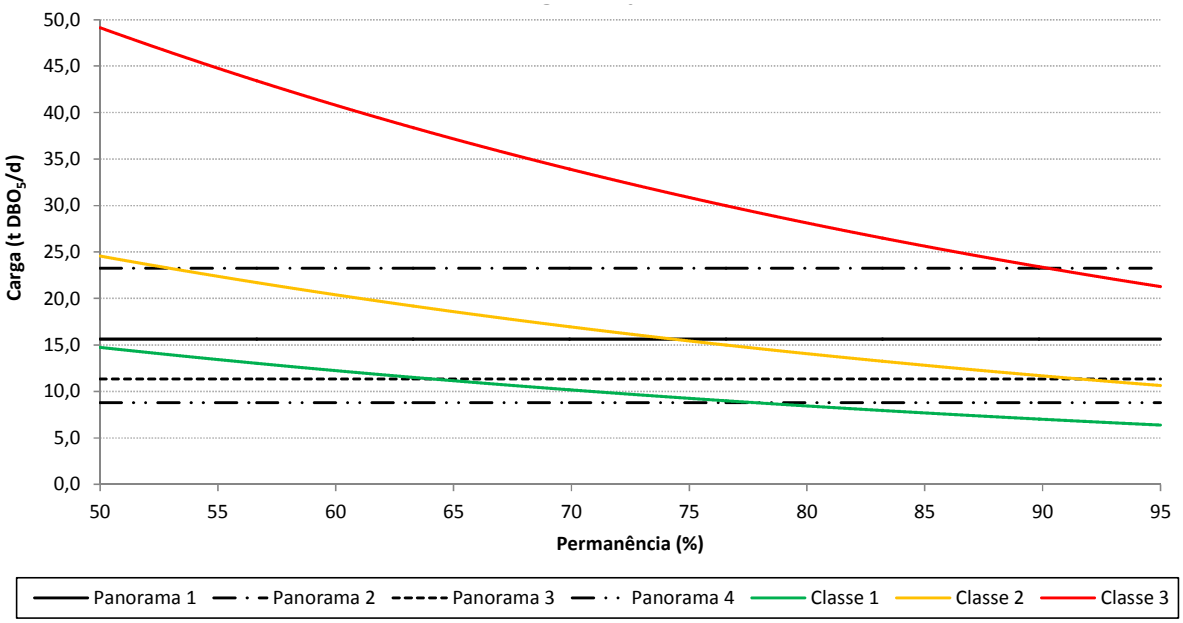

Gráfico IV. 7 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia córrego Coqueiro (SB7), ano 2020

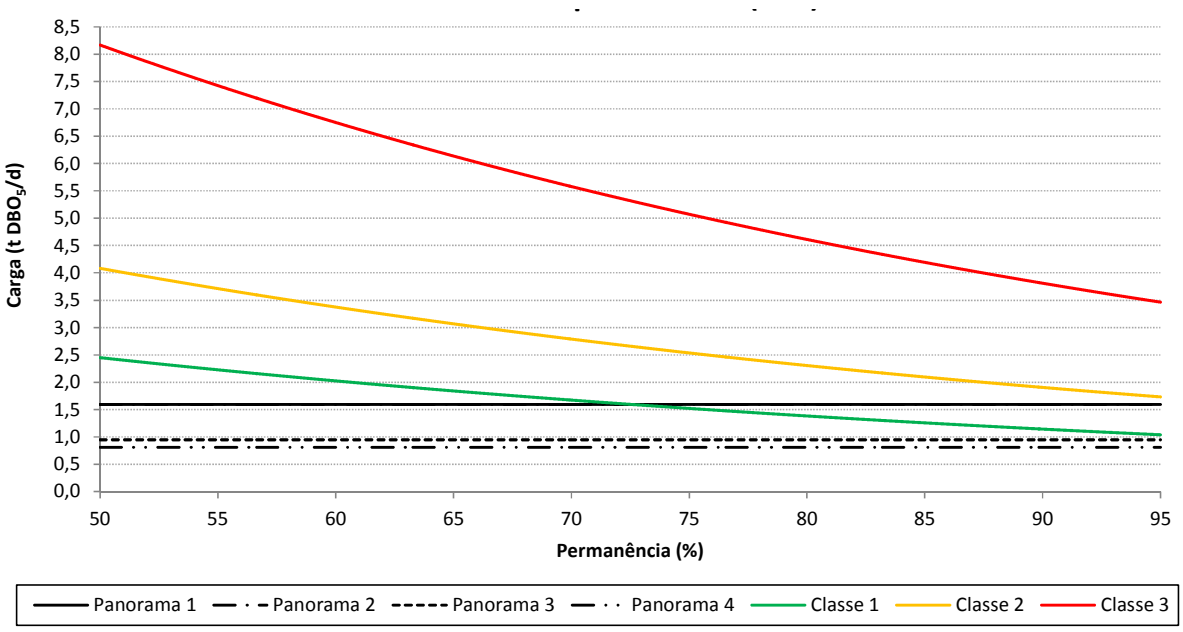

Gráfico IV. 8 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Muqui do Norte (SB8), ano 2020

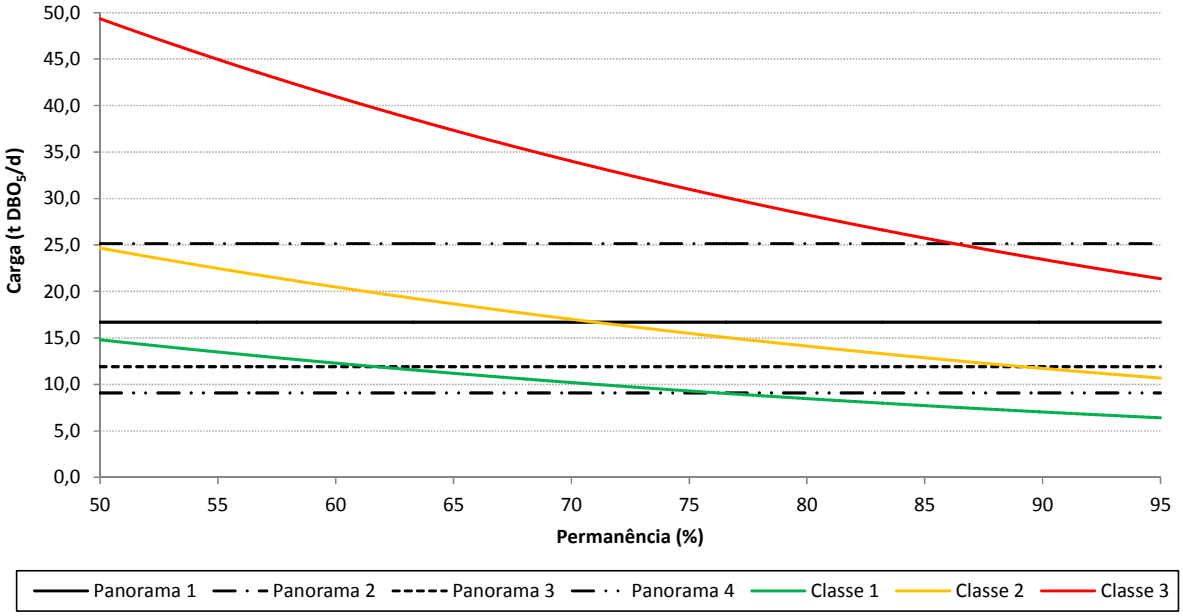

Gráfico IV. 9 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia Foz do rio Itapemirim (SB9), ano 2020

APÊNDICE V - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento para o ano 2030

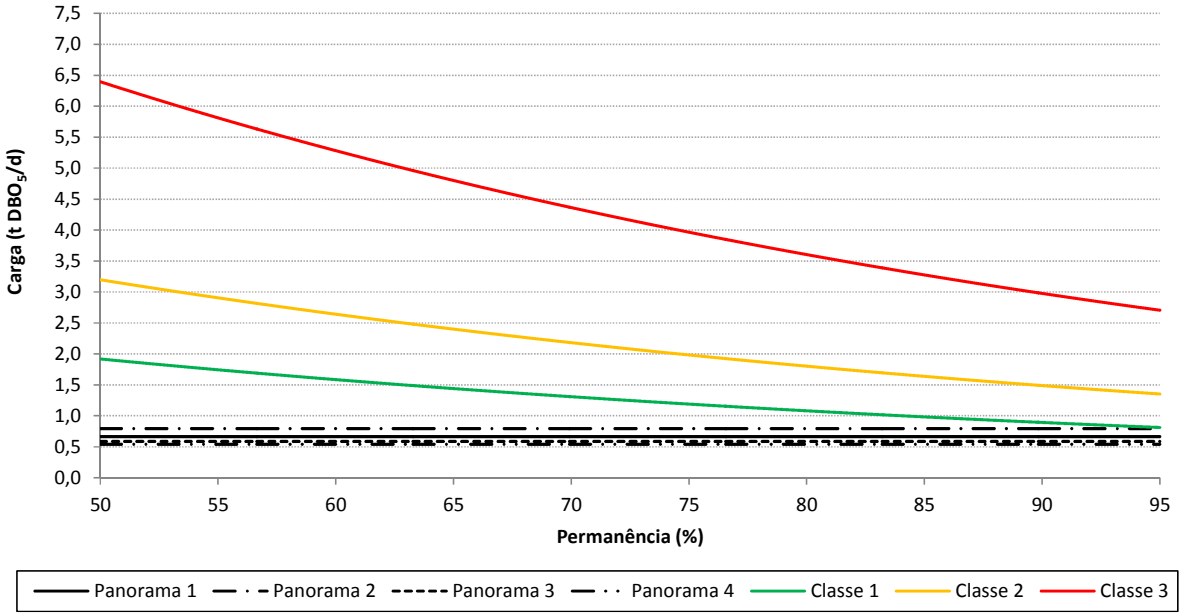

Gráfico V. 1 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Braço Norte Direito (SB1), ano 2030

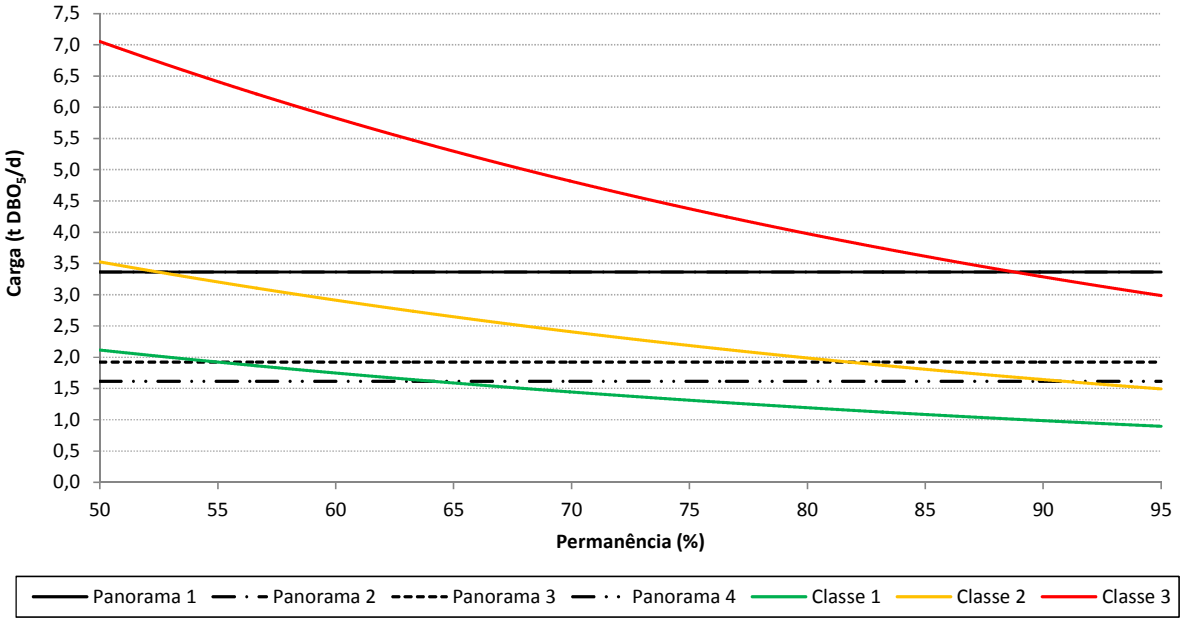

Gráfico V. 2 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Pardinho (SB2, ano 2030

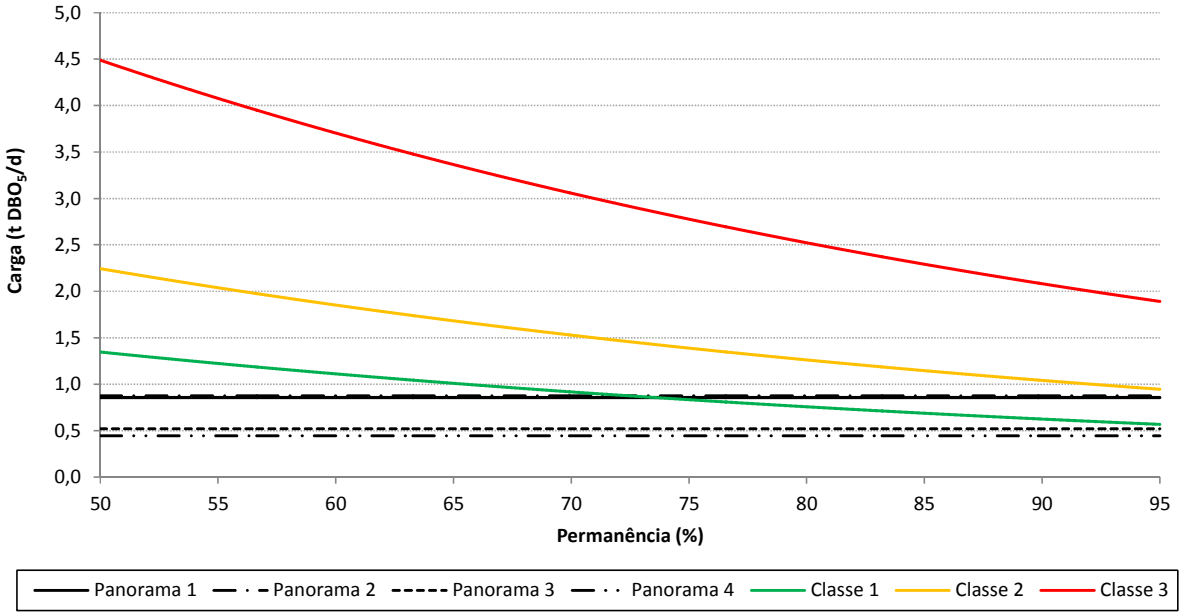

Gráfico V. 3 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Braço Norte Esquerdo (SB3), ano 2030

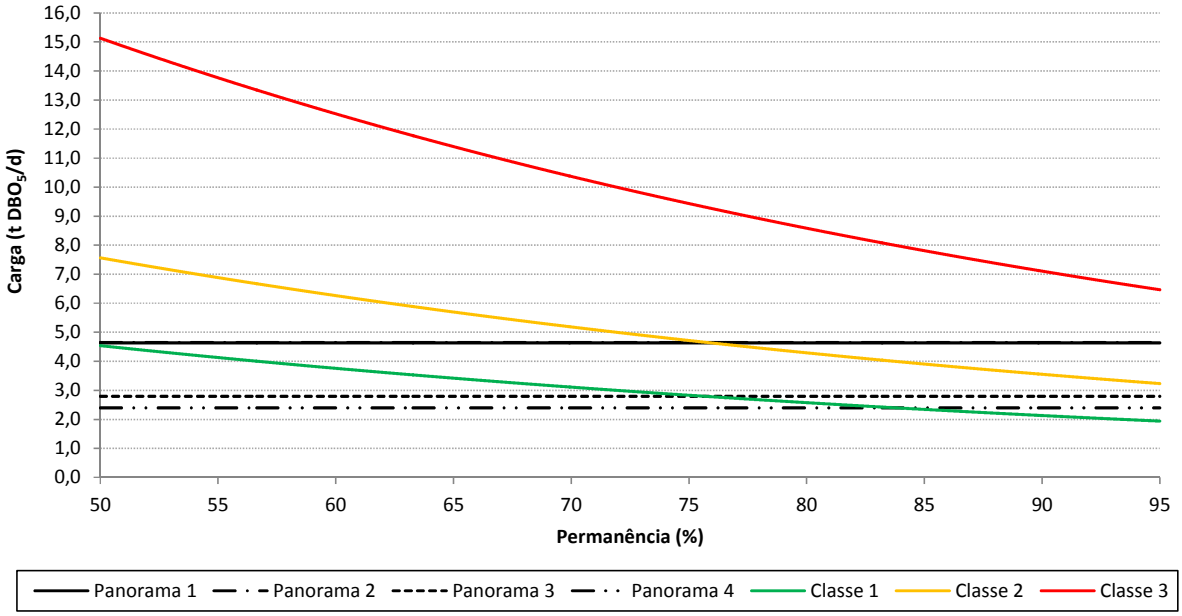

Gráfico V. 4 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia córrego Lambari Frio (SB4), ano 2030

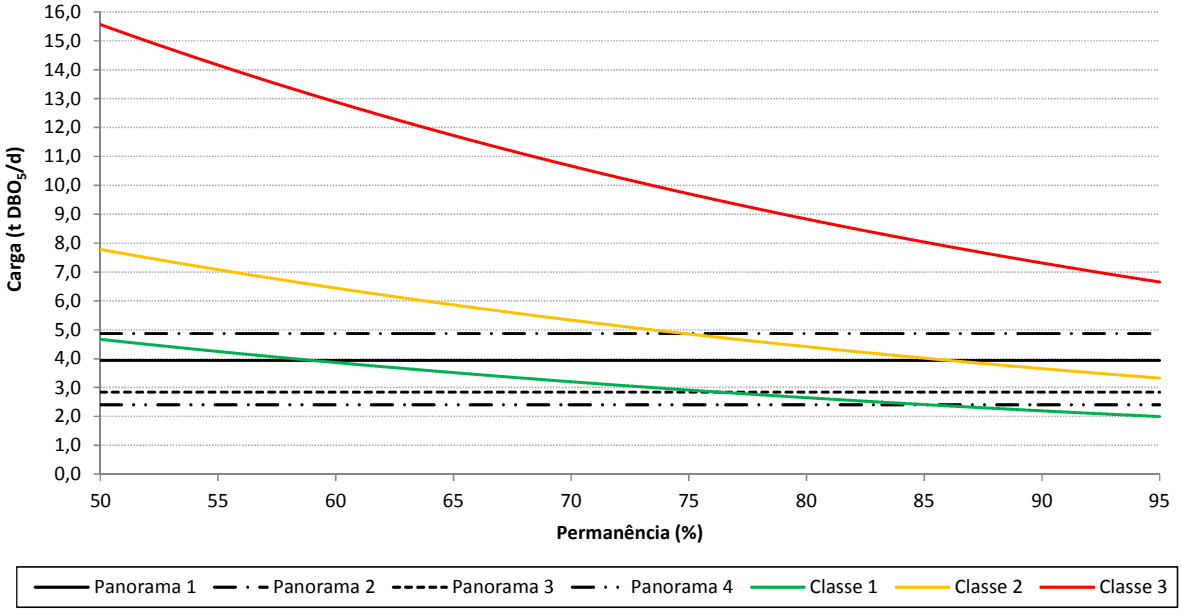

Gráfico V. 5 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Castelo (SB5), ano 2030

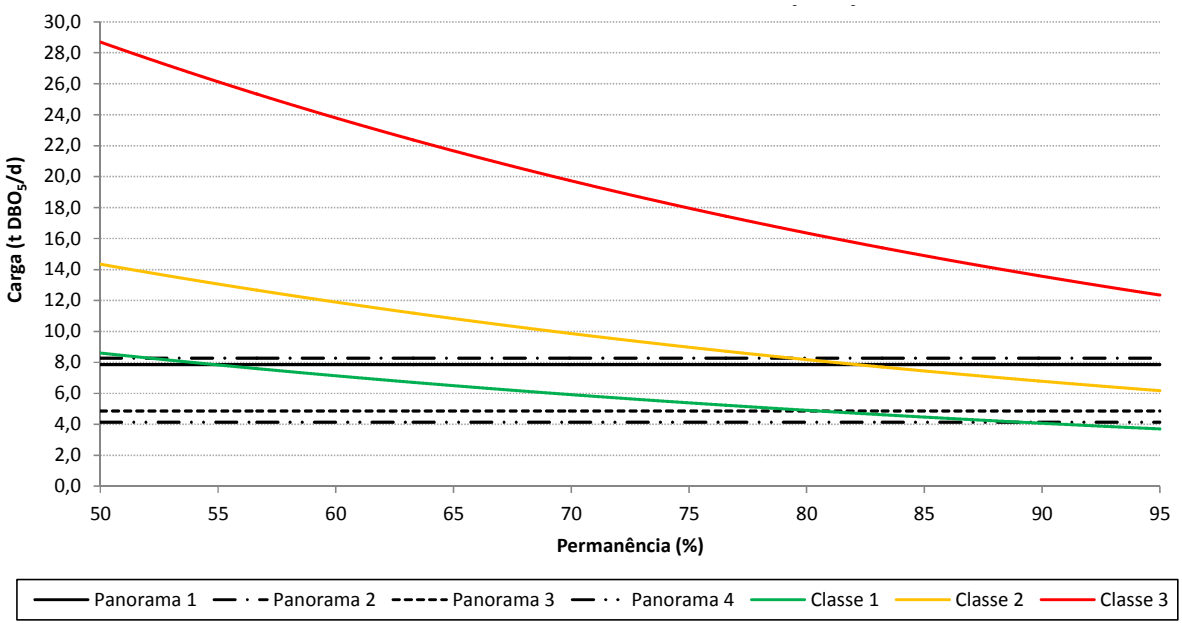

Gráfico V. 6 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia ribeirão Vala do Souza (SB6), ano 2030

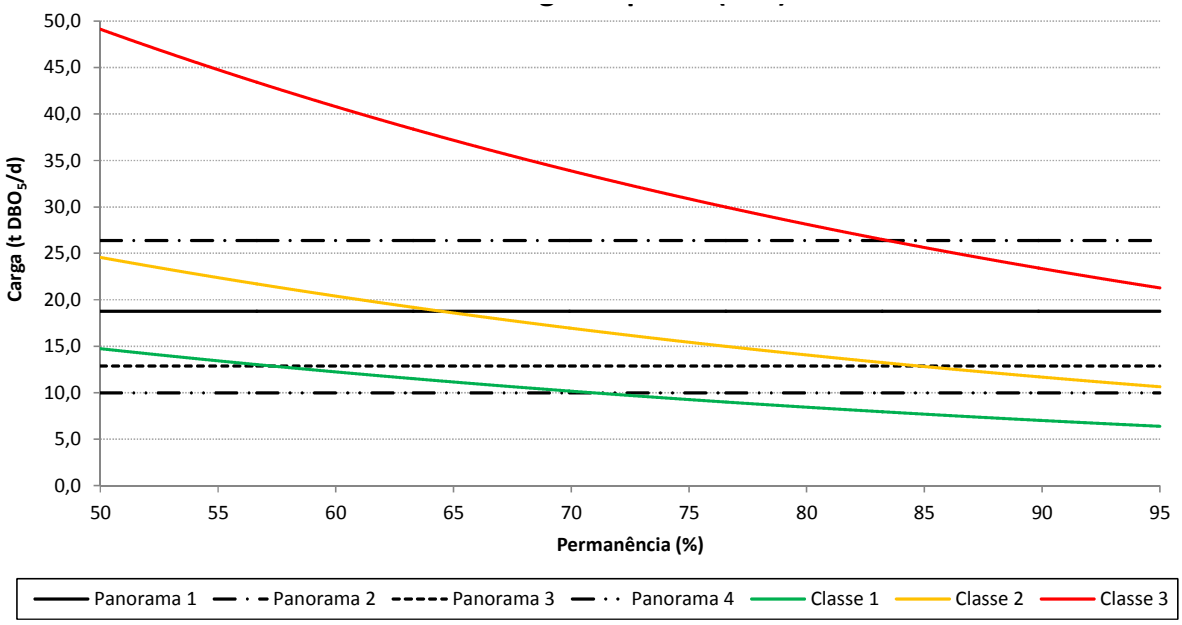

Gráfico V. 7 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia córrego Coqueiro (SB7), ano 2030

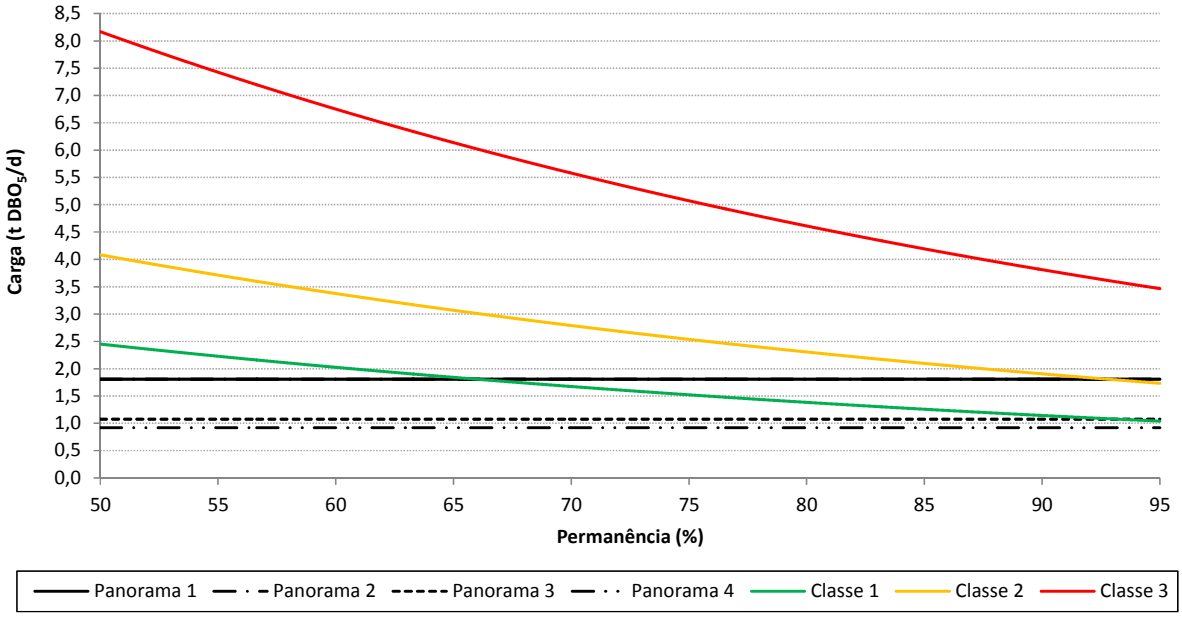

Gráfico V. 8 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia rio Muqui do Norte (SB8), ano 2030

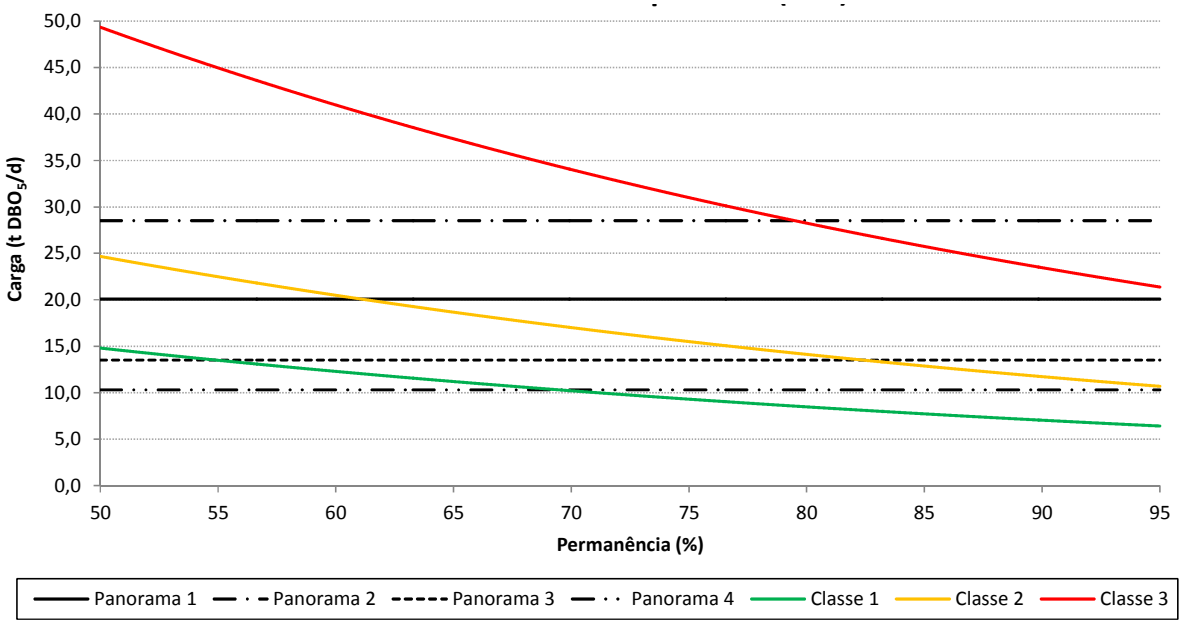

Gráfico V. 9 - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento - subbacia Foz do rio Itapemirim (SB9), ano 2030

APÊNDICE VI - Parcelas de cargas abrangidas pela capacidade de diluição, parcela de diluição não utilizada e cargas a serem tratadas e níveis de estresse para o ano de 2012

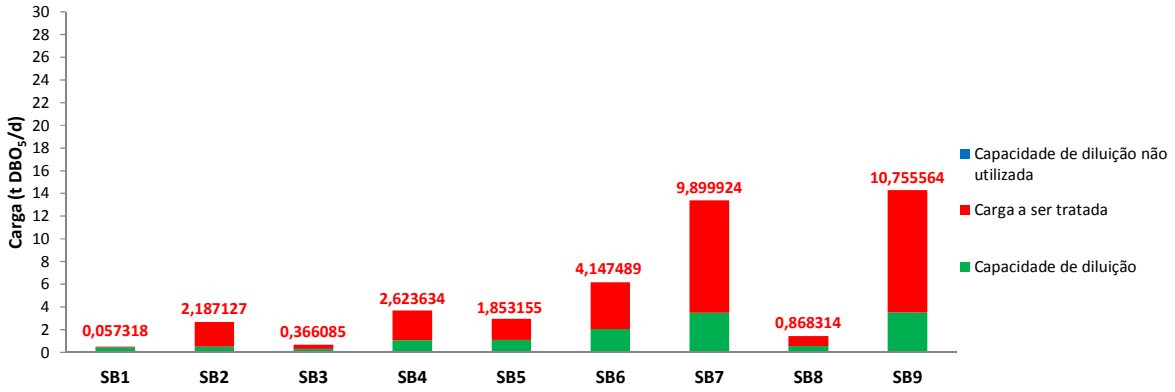

Gráfico VI. 1 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2012, considerando o Panorama 1

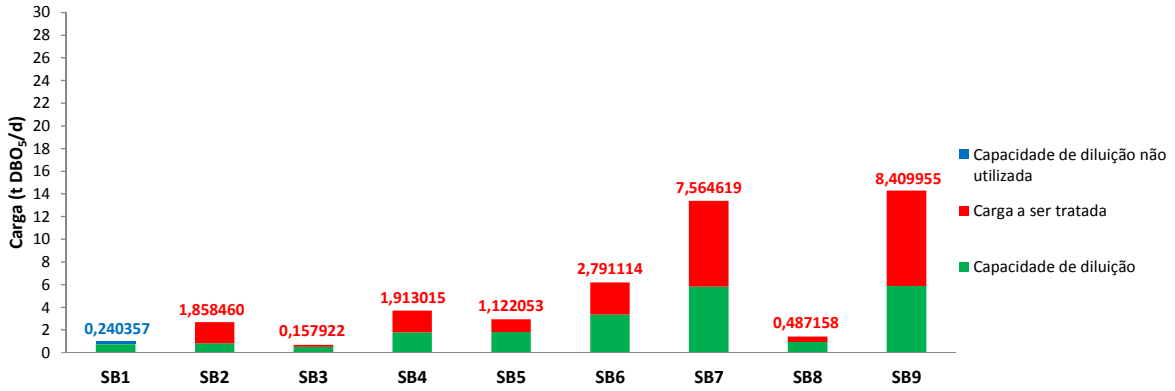

Gráfico VI. 2 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2012, considerando o Panorama 1

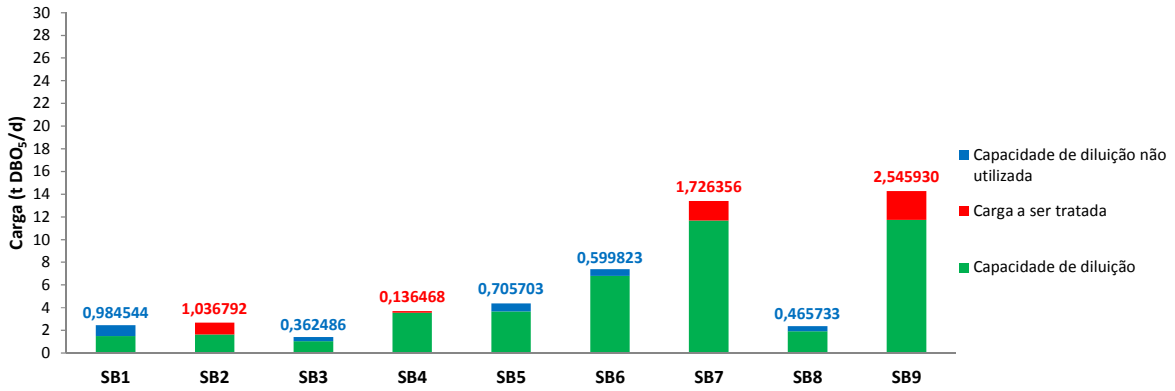

Gráfico VI. 3 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2012, considerando o Panorama 1

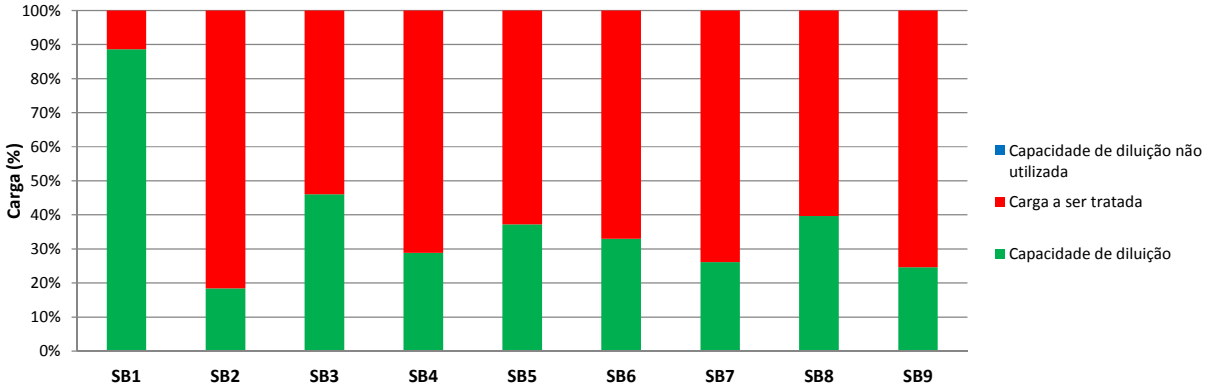

Gráfico VI. 4 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 1 e ano 2012

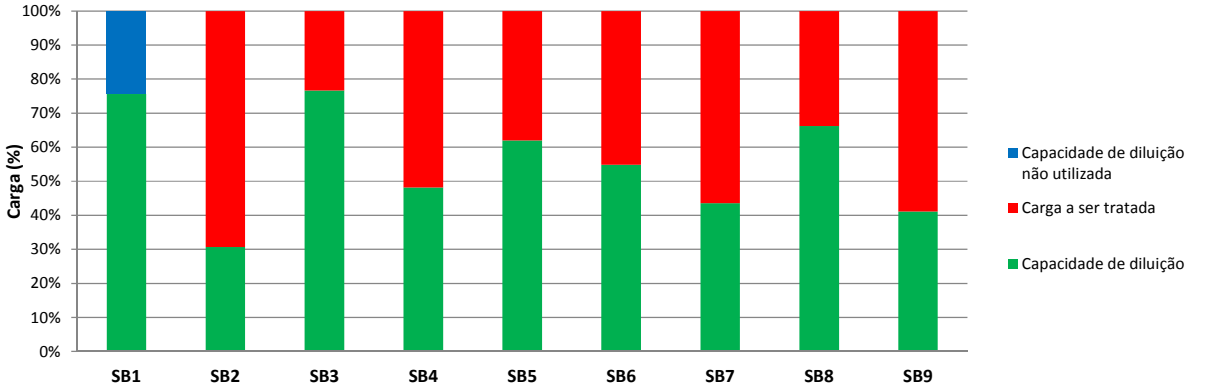

Gráfico VI. 5 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 2 e ano 2012

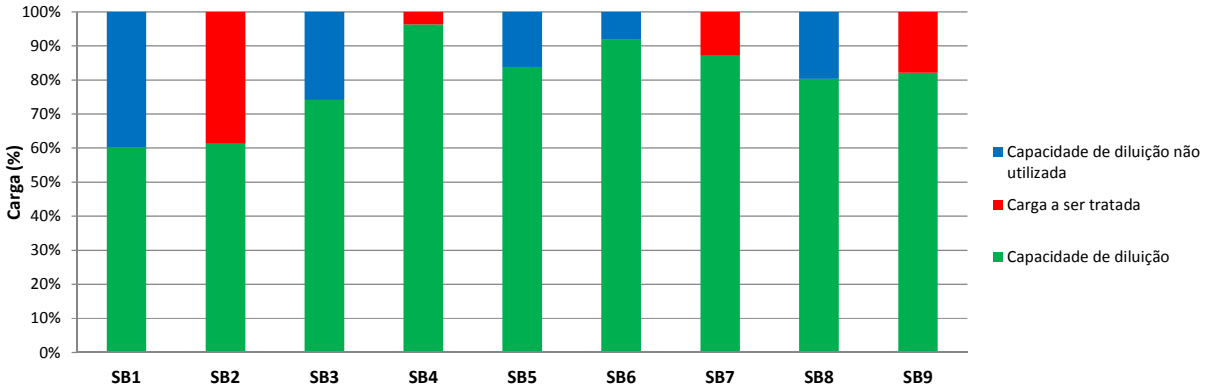

Gráfico VI. 6 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 3 e ano 2012

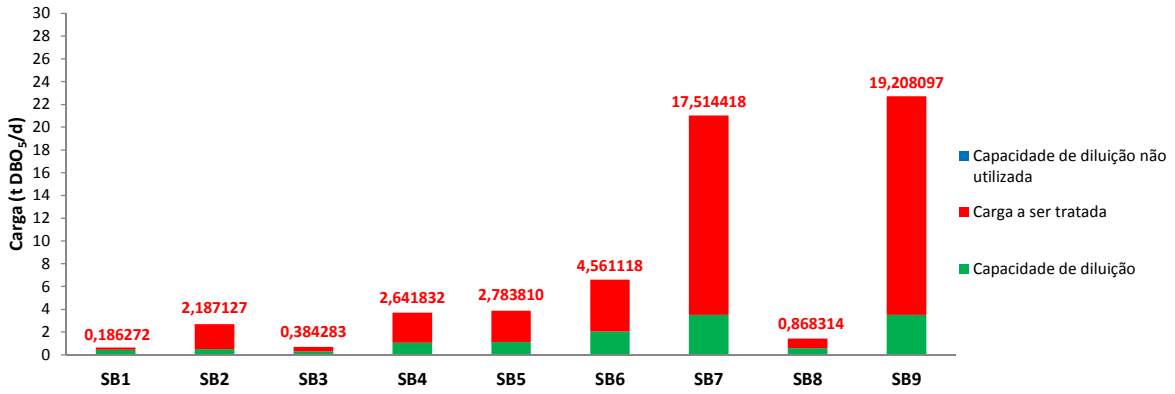

Gráfico VI. 7 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2012, considerando o Panorama 2

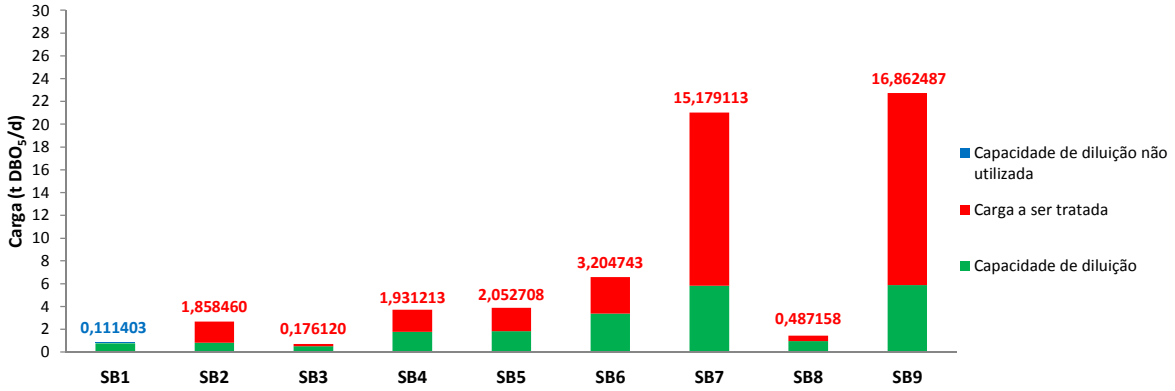

Gráfico VI. 8 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2012, considerando o Panorama 2

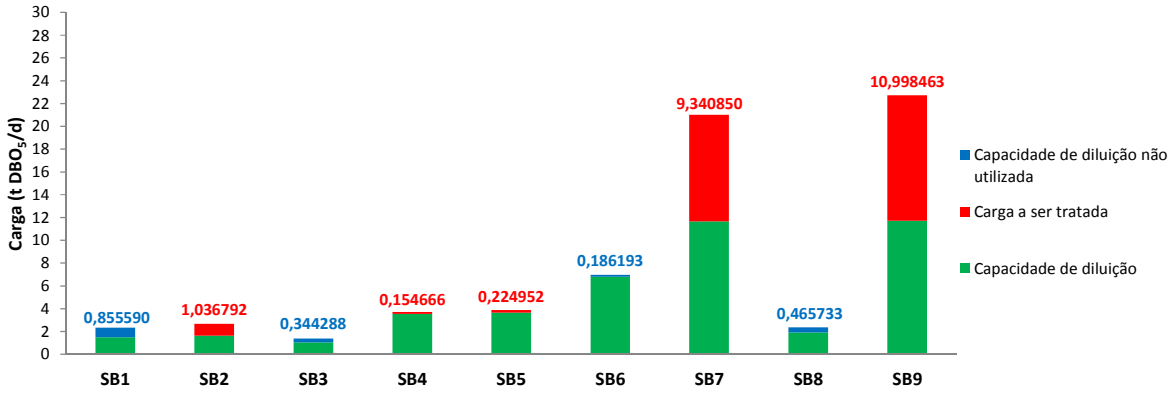

Gráfico VI. 9 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2012, considerando o Panorama 2

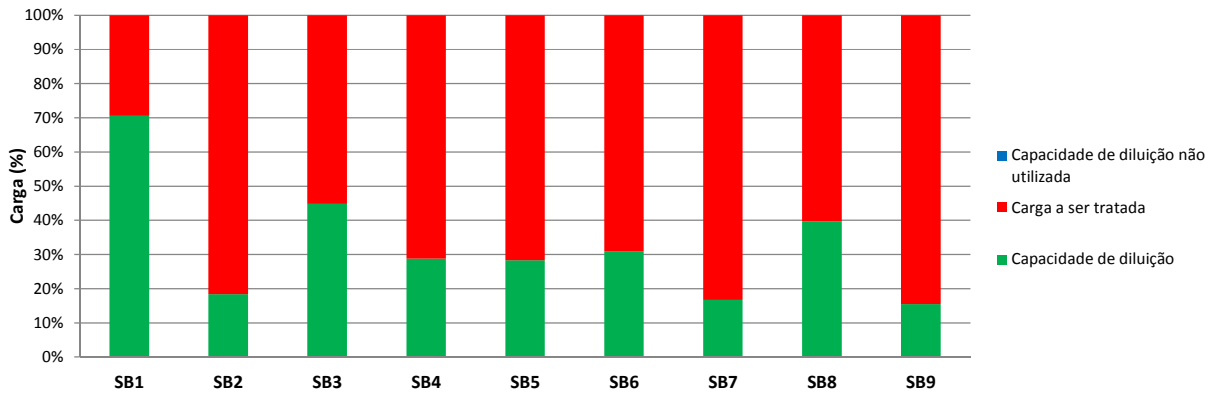

Gráfico VI. 10 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 1 e ano 2012

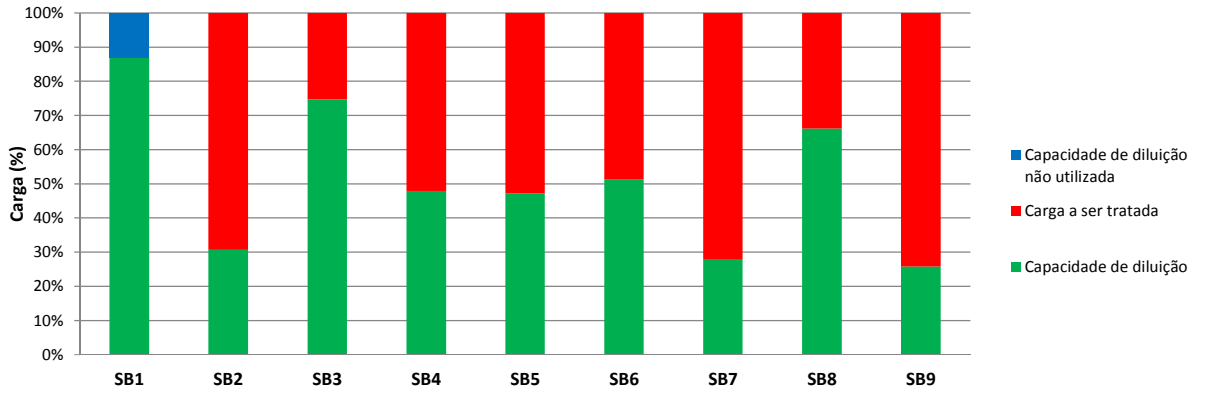

Gráfico VI. 11 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 2 e ano 2012

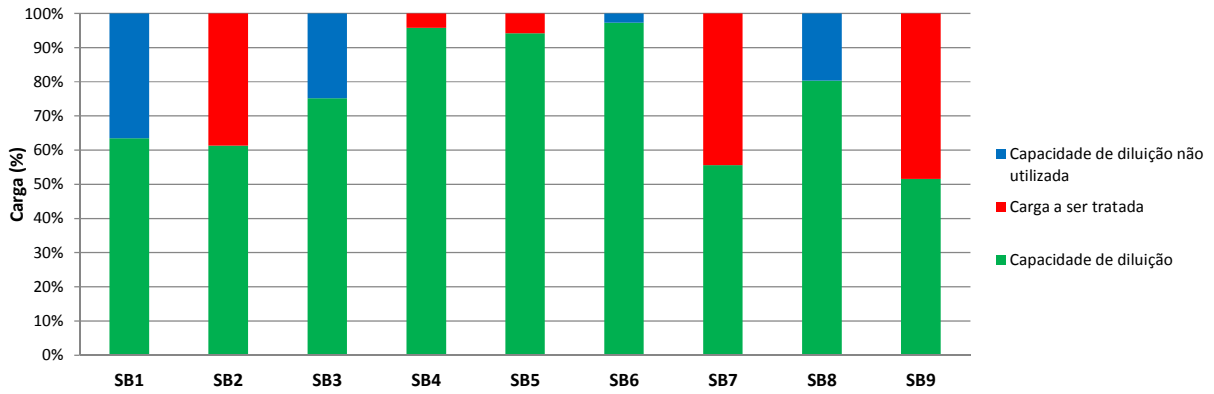

Gráfico VI. 12 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 3 e ano 2012

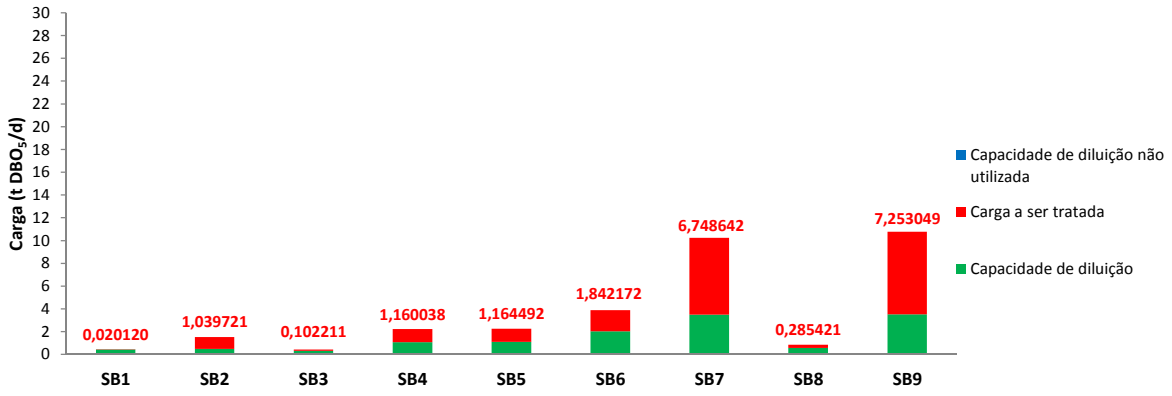

Gráfico VI. 13 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2012, considerando o Panorama 3

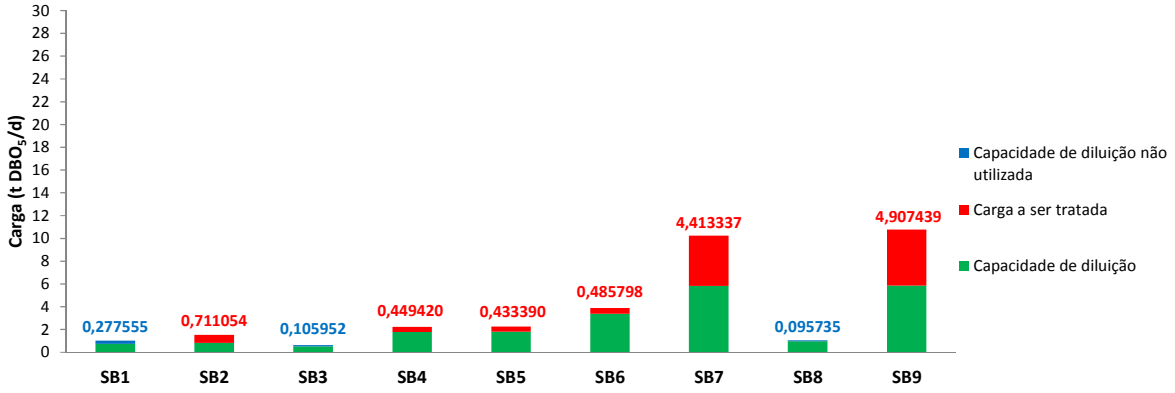

Gráfico VI. 14 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2012, considerando o Panorama 3

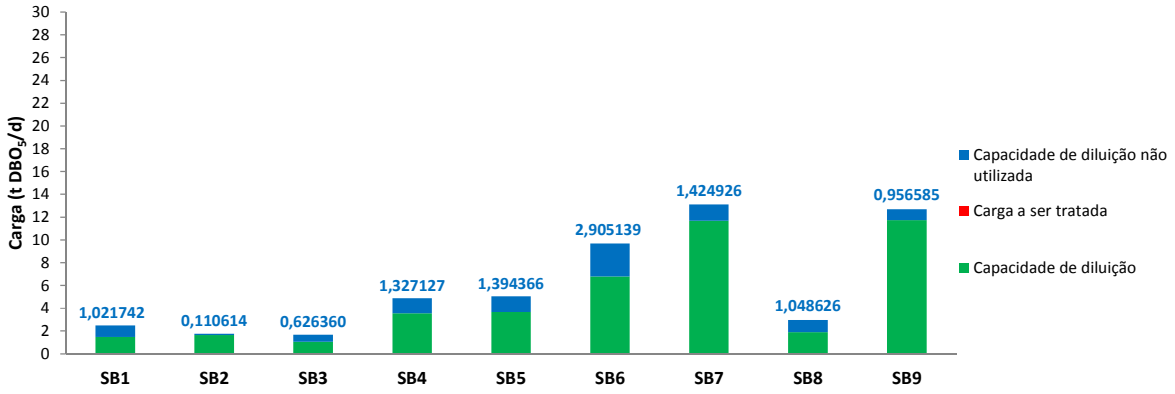

Gráfico VI. 15 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2012, considerando o Panorama 3

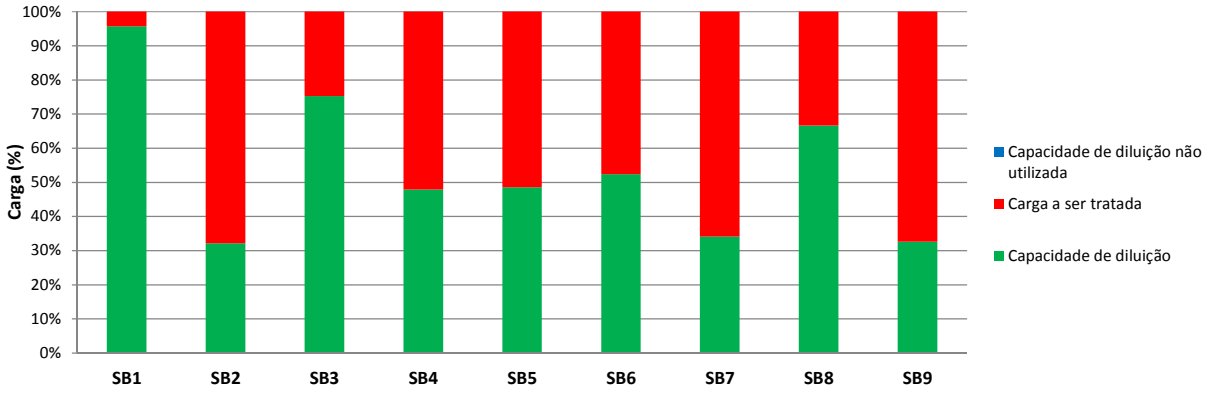

Gráfico VI. 16 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 1 e ano 2012

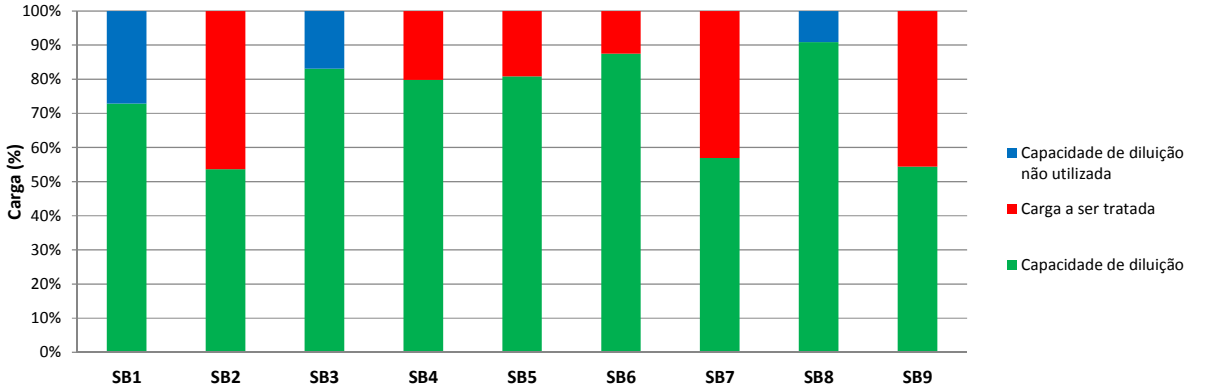

Gráfico VI. 17 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 2 e ano 2012

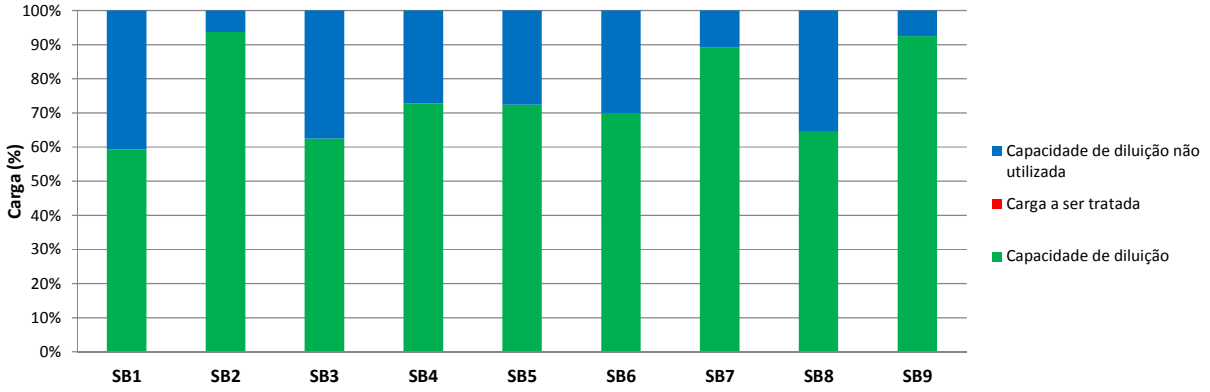

Gráfico VI. 18 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 3 e ano 2012

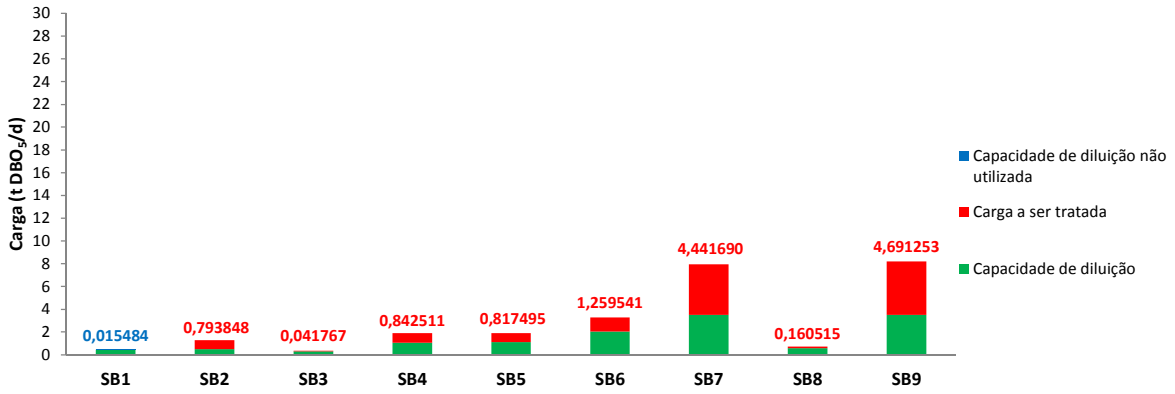

Gráfico VI. 19 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2012, considerando o Panorama 4

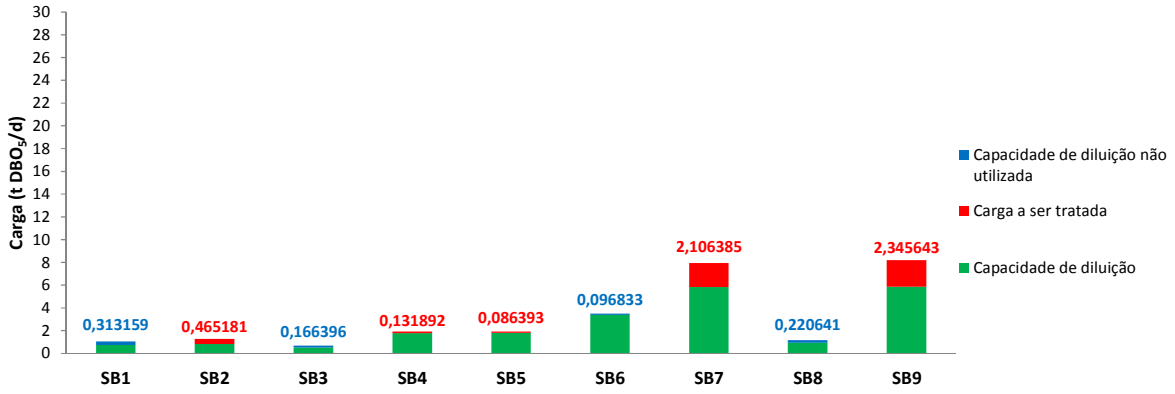

Gráfico VI. 20 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2012, considerando o Panorama 4

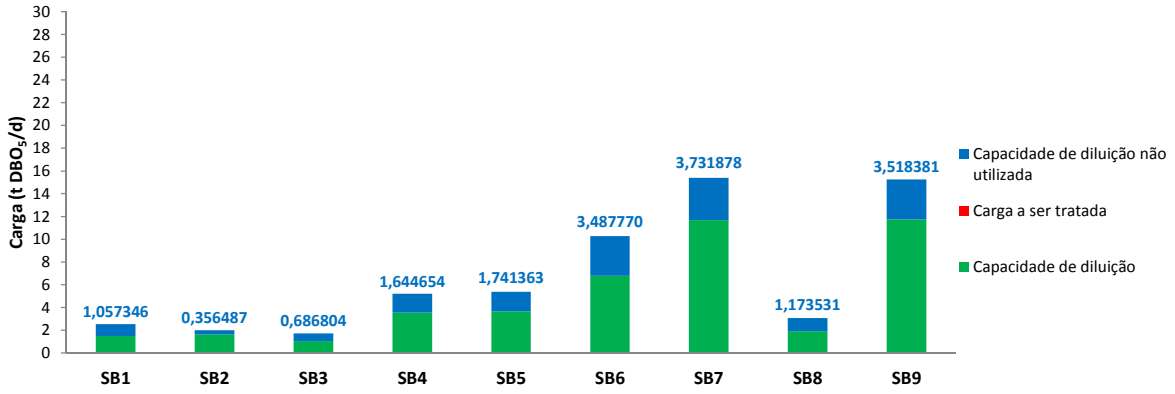

Gráfico VI. 21 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2012, considerando o Panorama 4

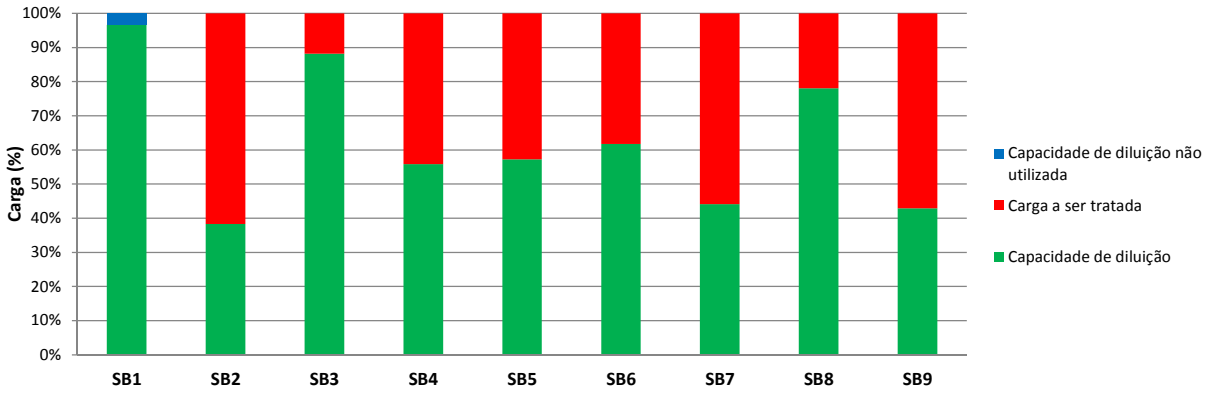

Gráfico VI. 22 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 1 e ano 2012

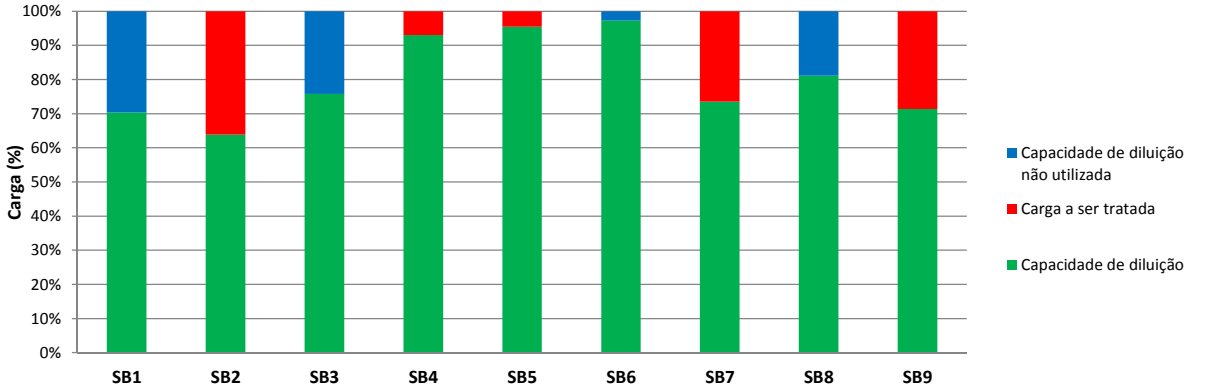

Gráfico VI. 23 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 2 e ano 2012

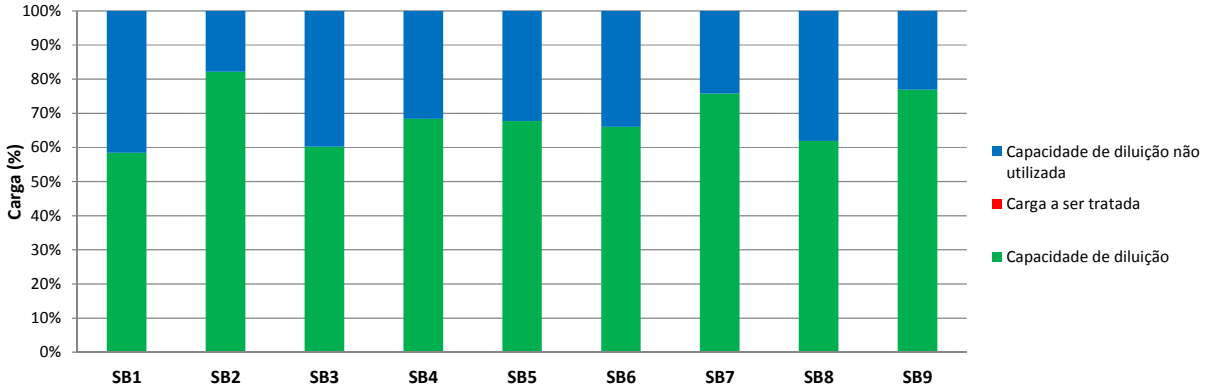

Gráfico VI. 24 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 3 e ano 2012

APÊNDICE VII - Parcelas de cargas abrangidas pela capacidade de diluição, parcela de diluição não utilizada e cargas a serem tratadas e níveis de estresse para o ano de 2020

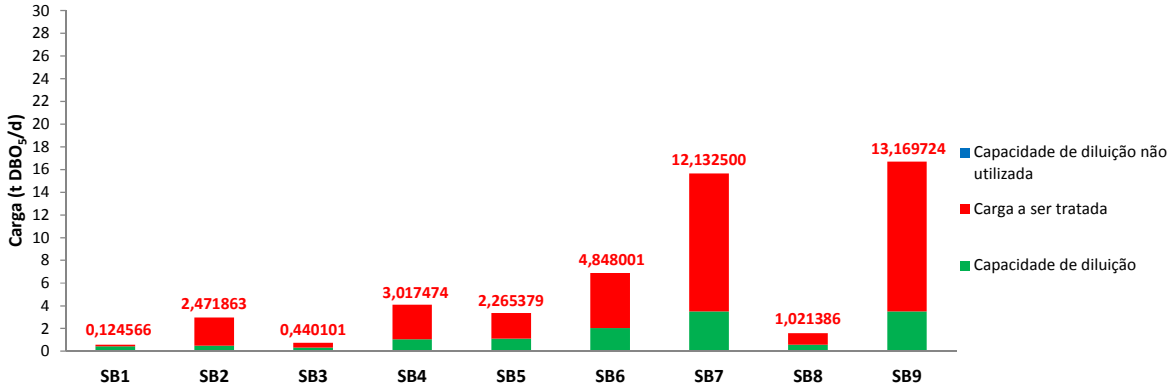

Gráfico VII.1 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2020, considerando o Panorama 1

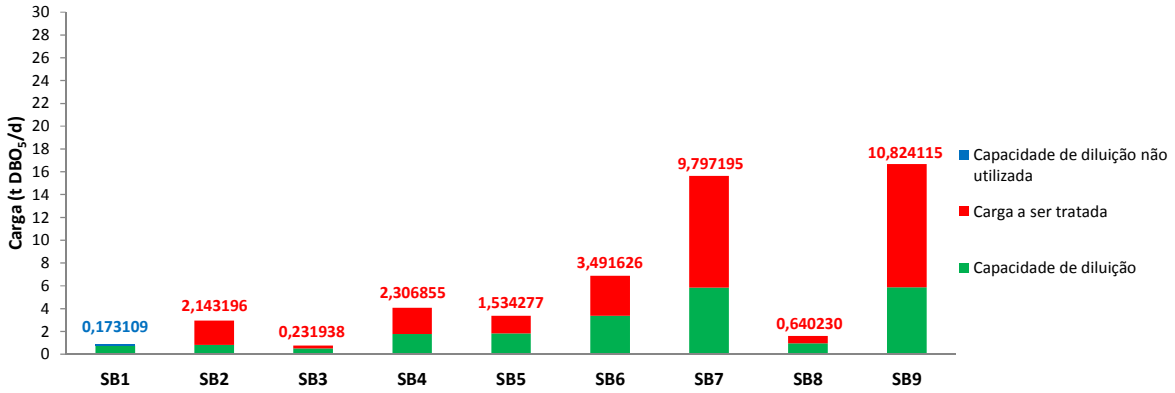

Gráfico VII.2 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2020, considerando o Panorama 1

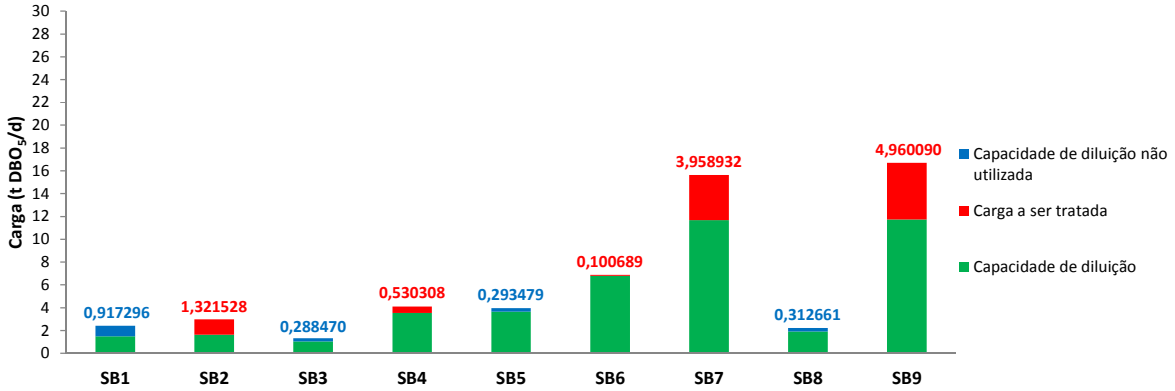

Gráfico VII.3 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2020, considerando o Panorama 1

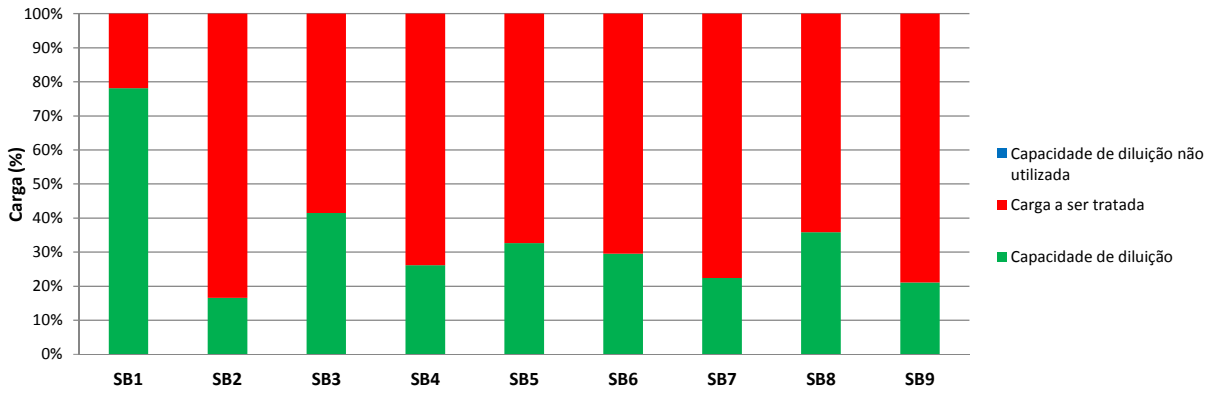

Gráfico VII.4 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 1 e ano 2020

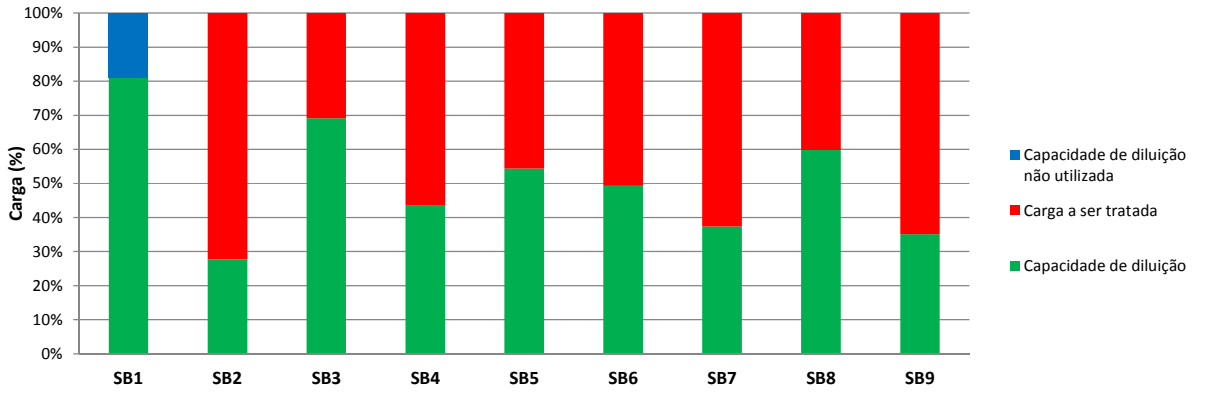

Gráfico VII.5 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 2 e ano 2020

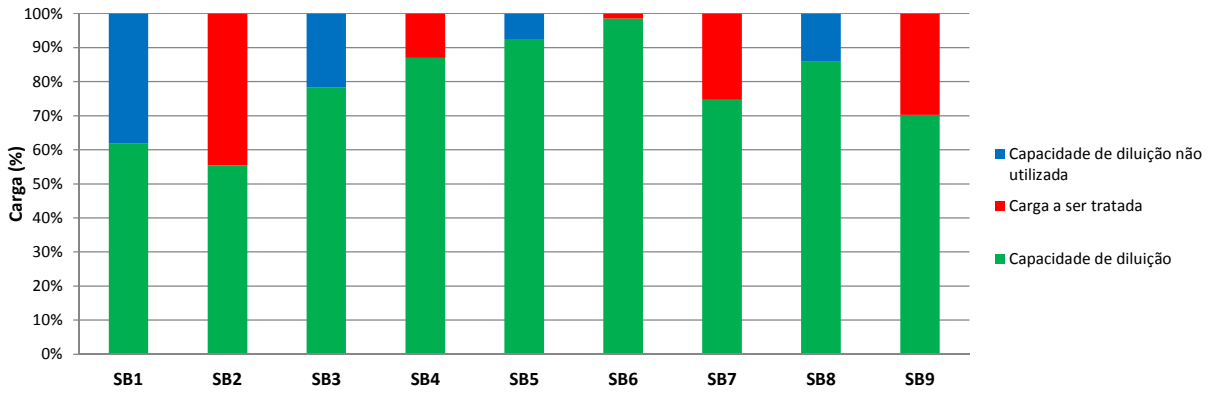

Gráfico VII.6 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 3 e ano 2020

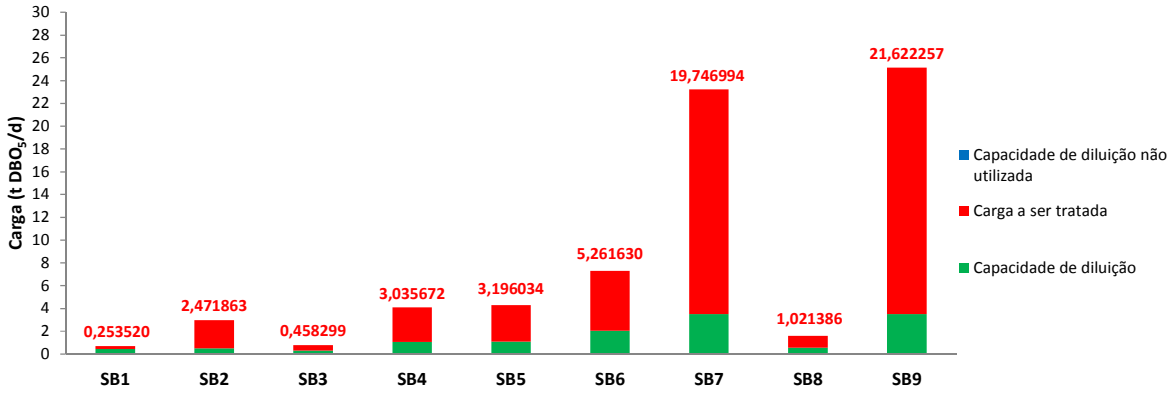

Gráfico VII.7 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2020, considerando o Panorama 2

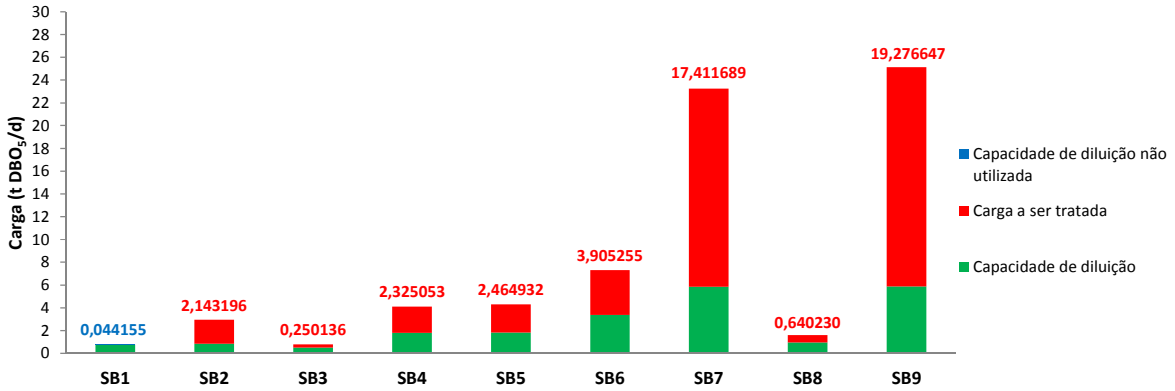

Gráfico VII.8 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2020, considerando o Panorama 2

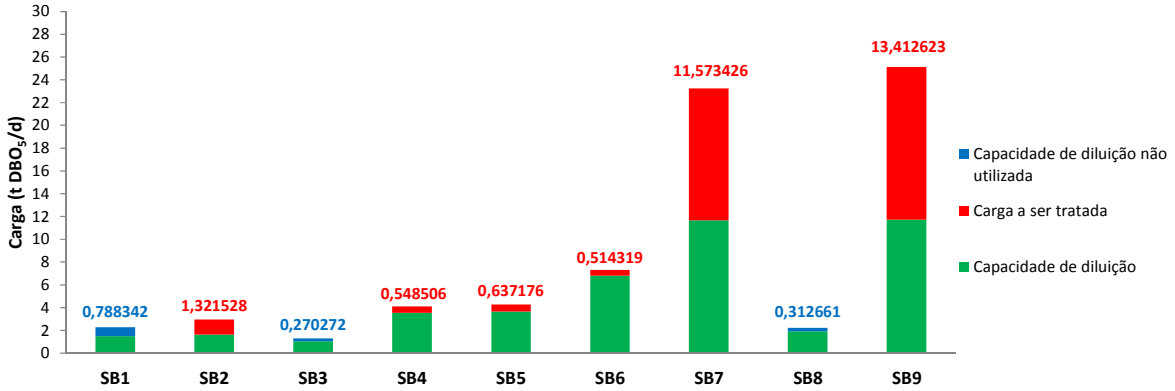

Gráfico VII.9 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2020, considerando o Panorama 2

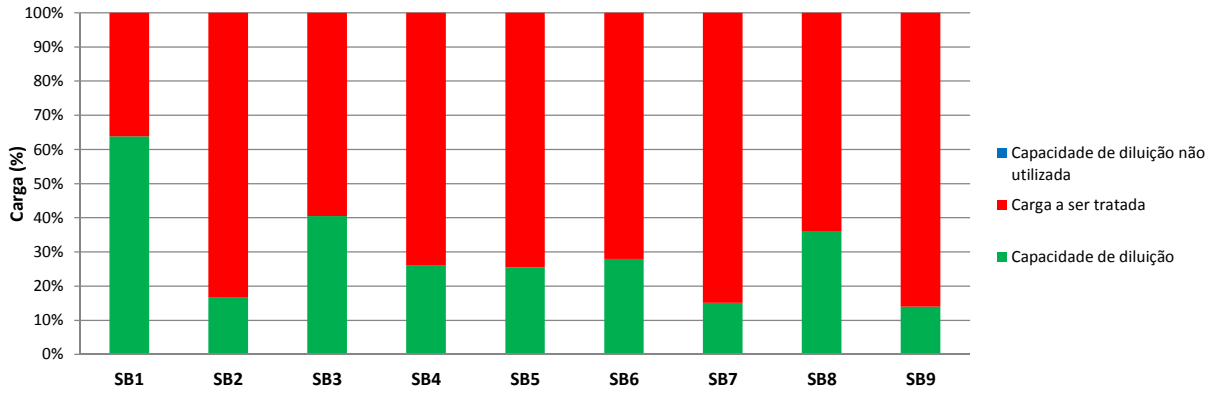

Gráfico VII.10 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 1 e ano 2020

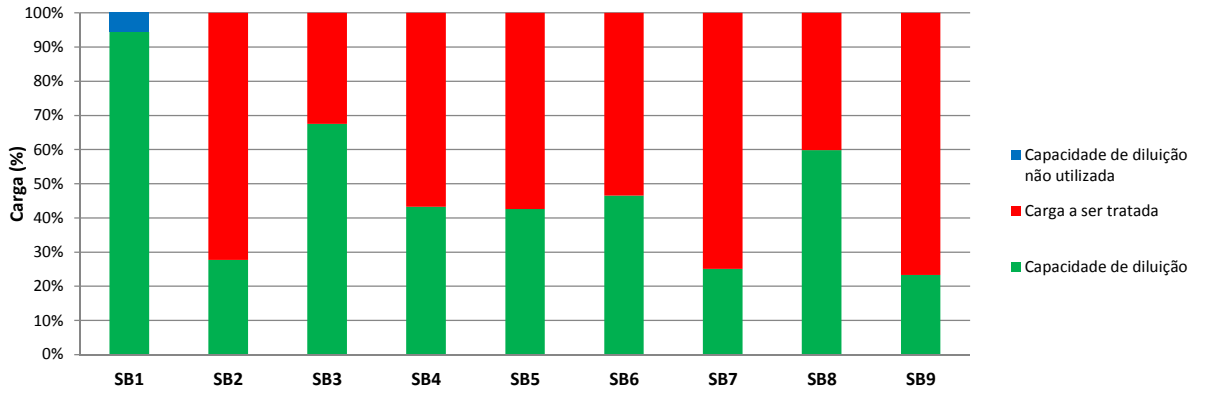

Gráfico VII.11 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 2 e ano 2020

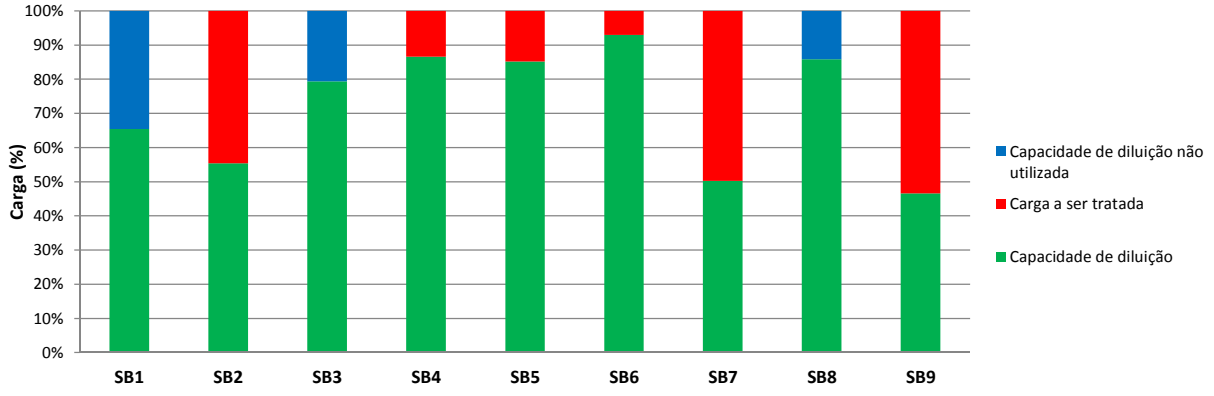

Gráfico VII.12 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 3 e ano 2020

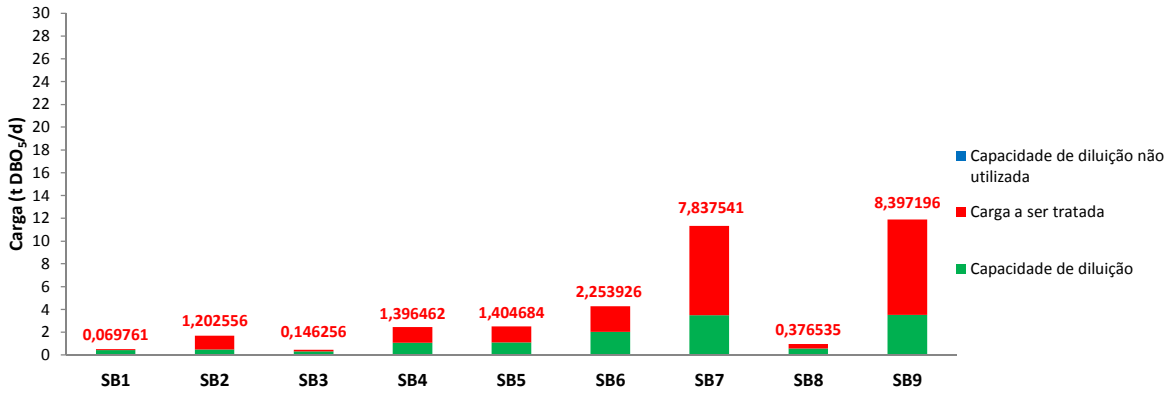

Gráfico VII.13 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2020, considerando o Panorama 3

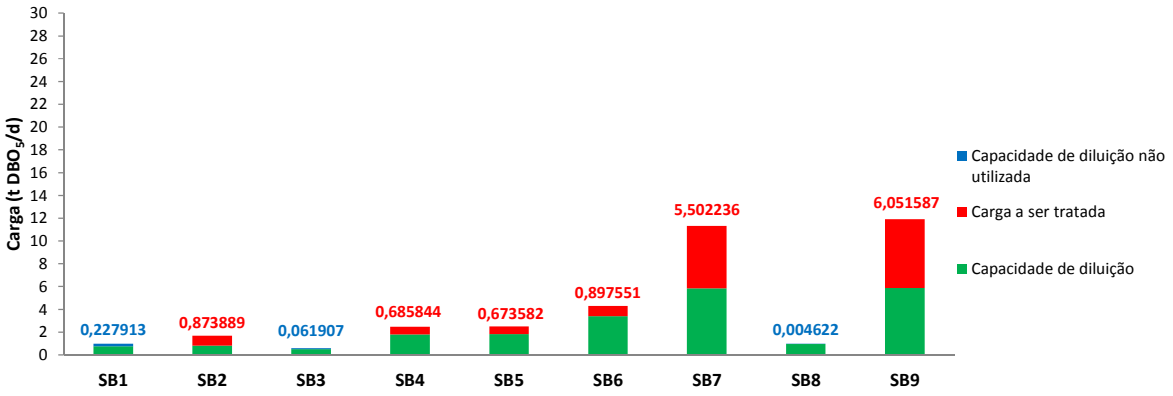

Gráfico VII.14 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2020, considerando o Panorama 3

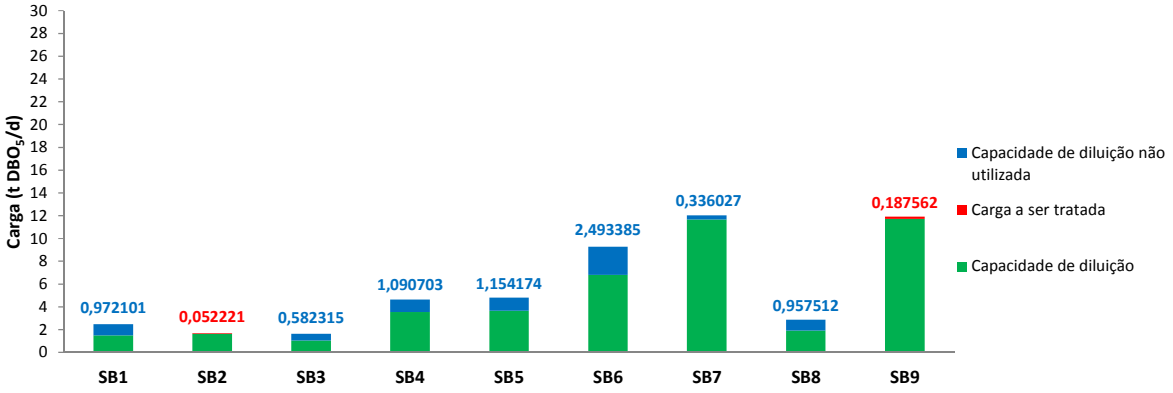

Gráfico VII.15 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2020, considerando o Panorama 3

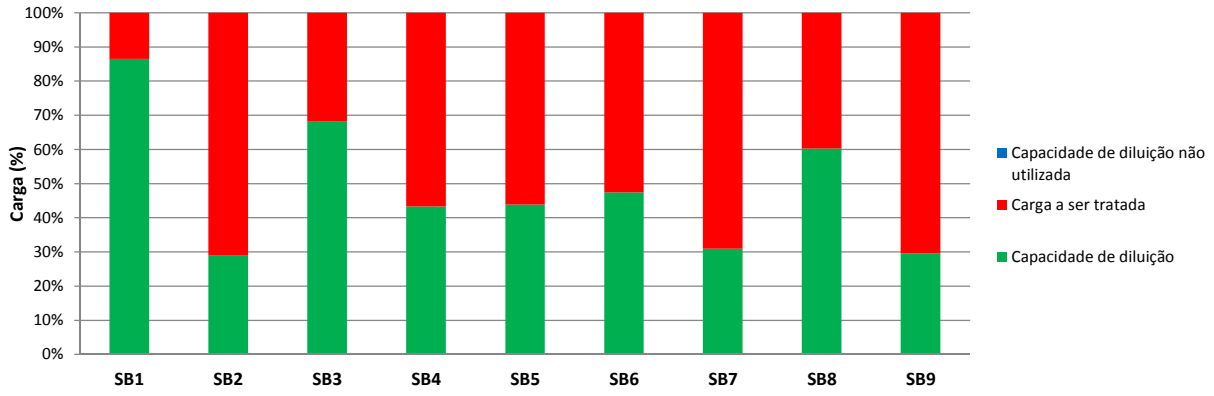

Gráfico VII.16 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 1 e ano 2020

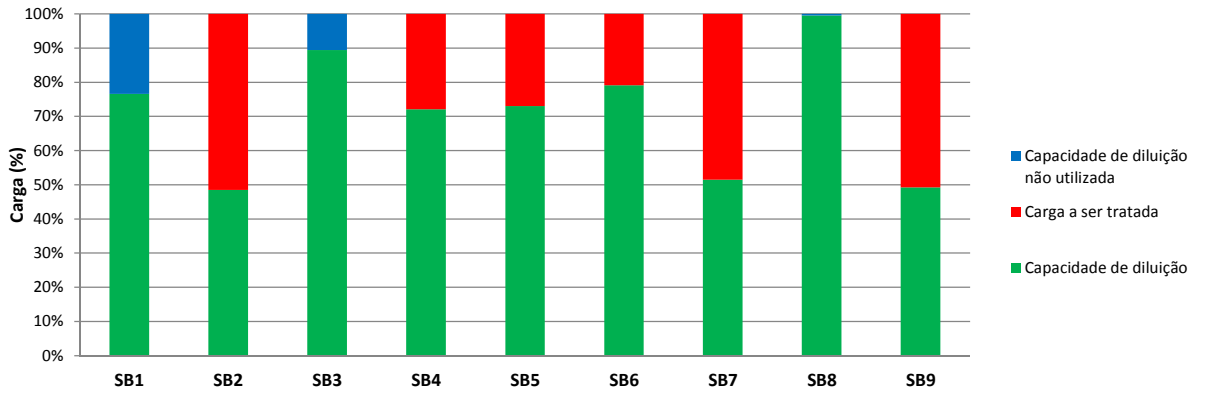

Gráfico VII.17 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 2 e ano 2020

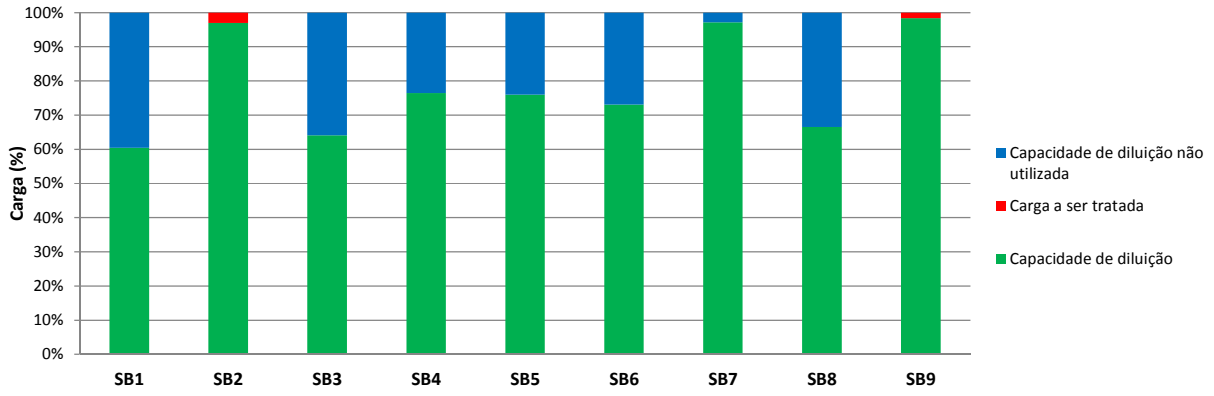

Gráfico VII.18 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 3 e ano 2020

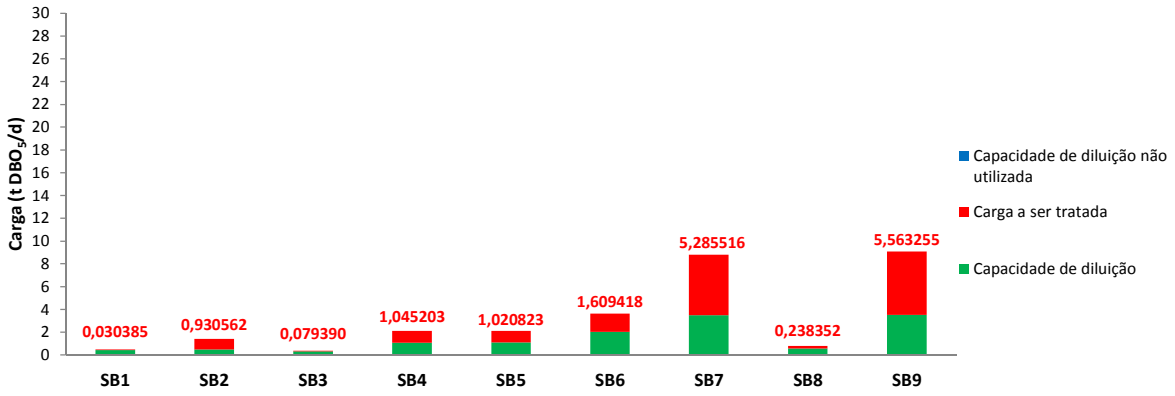

Gráfico VII.19 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2020, considerando o Panorama 4

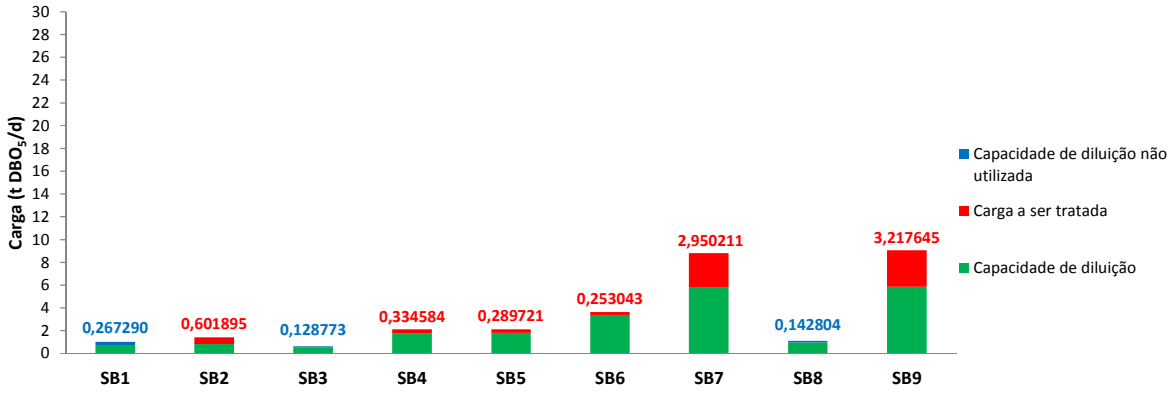

Gráfico VII.20 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2020, considerando o Panorama 4

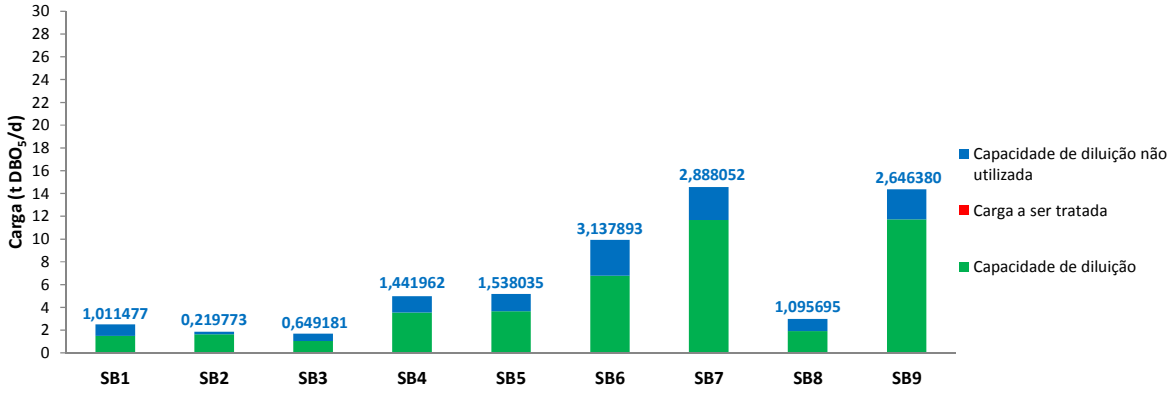

Gráfico VII.21 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2020, considerando o Panorama 4

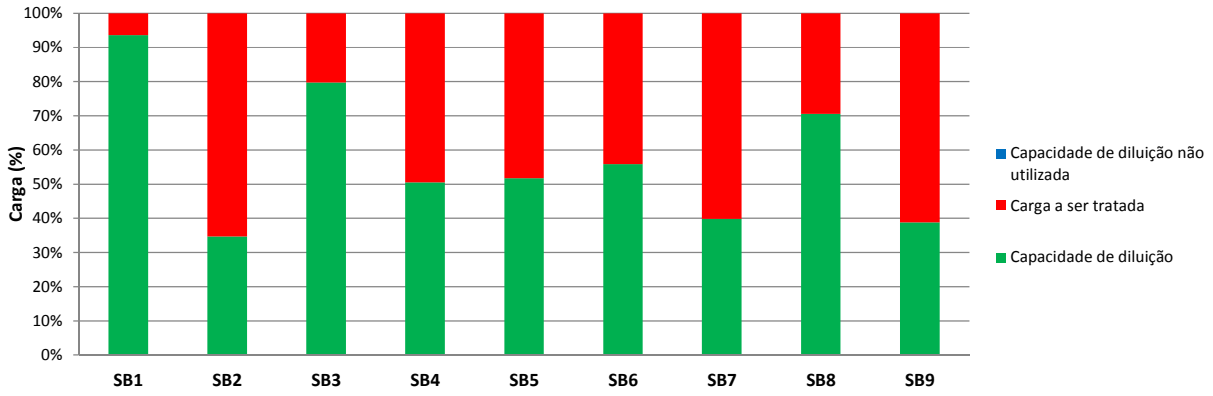

Gráfico VII.22 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 1 e ano 2020

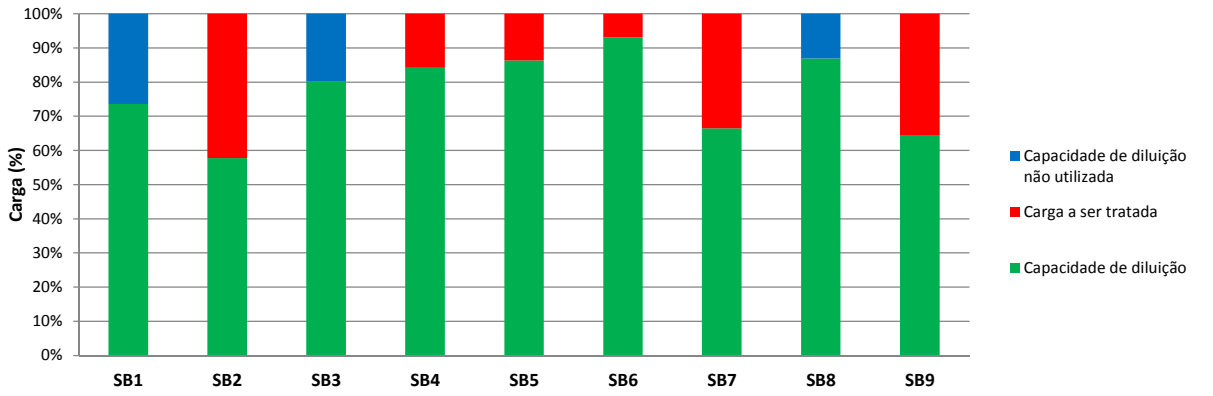

Gráfico VII.23 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 2 e ano 2020

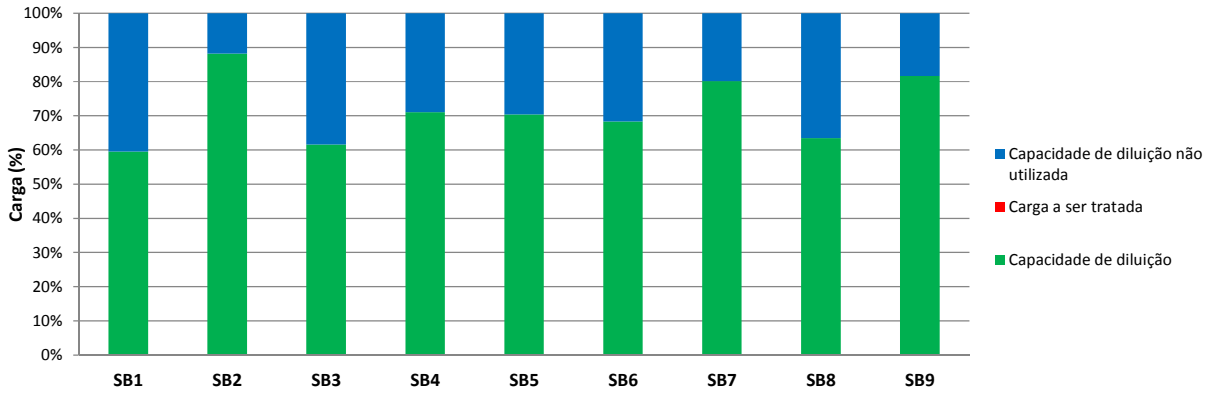

Gráfico VII.24 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 3 e ano 2020

APÊNDICE VIII - Parcelas de cargas abrangidas pela capacidade de diluição, parcela de diluição não utilizada e cargas a serem tratadas e níveis de estresse para o ano de 2030

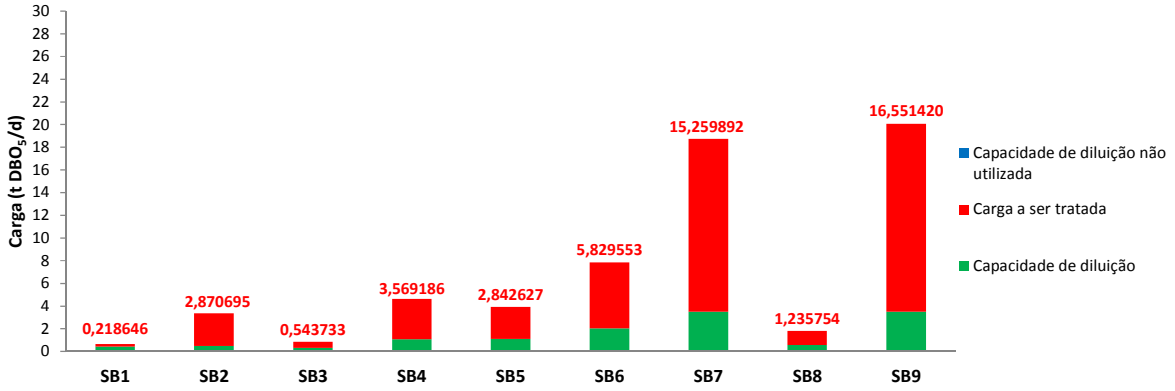

Gráfico VIII. 1 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2030, considerando o Panorama 1

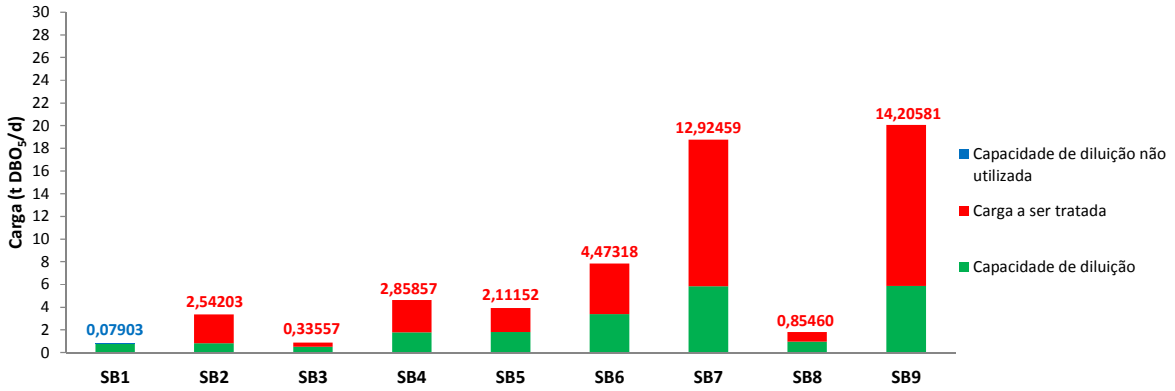

Gráfico VIII. 2 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2030, considerando o Panorama 1

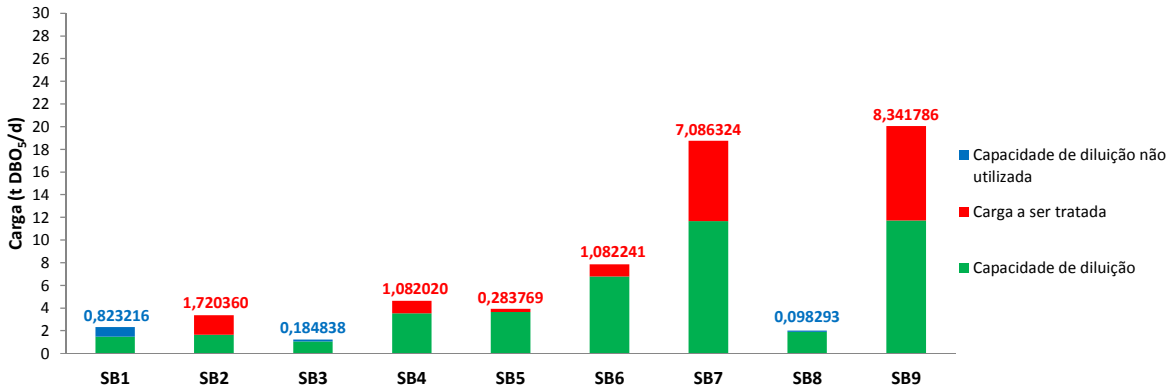

Gráfico VIII. 3 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2030, considerando o Panorama 1

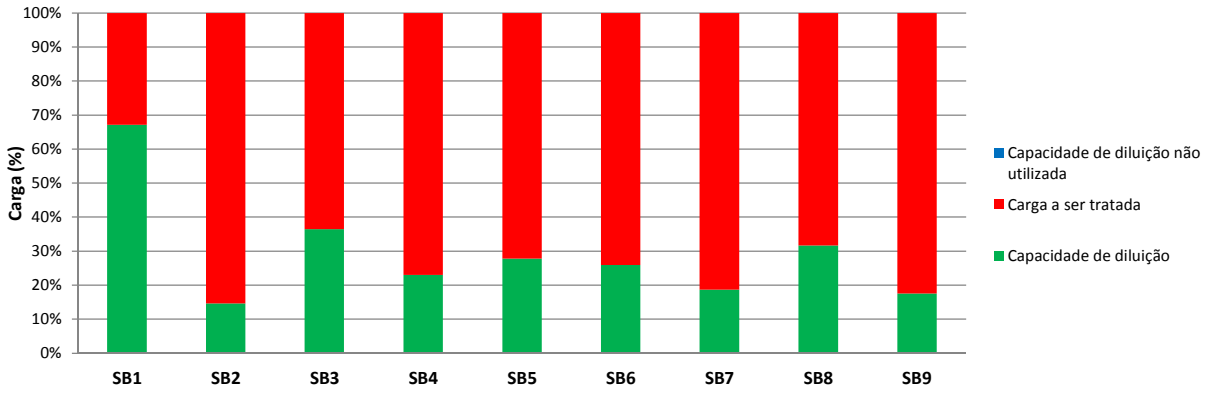

Gráfico VIII. 4 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 1 e ano 2030

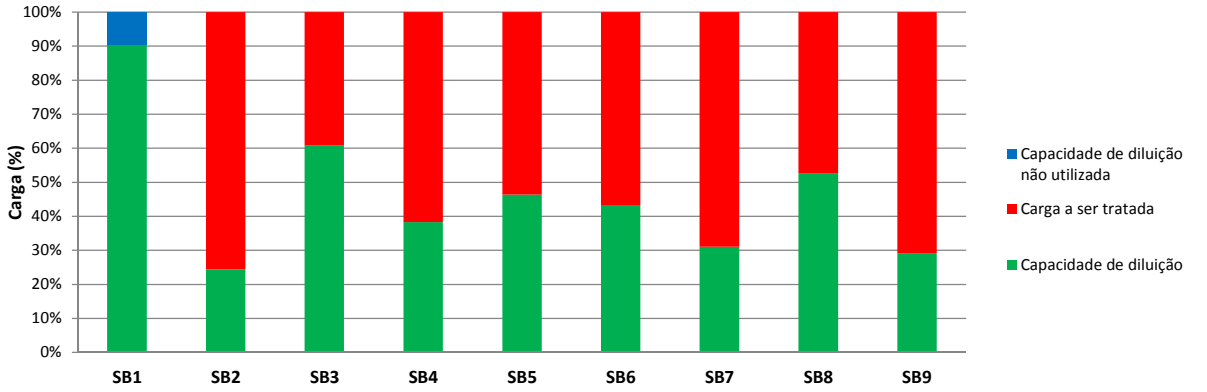

Gráfico VIII. 5 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 2 e ano 2030

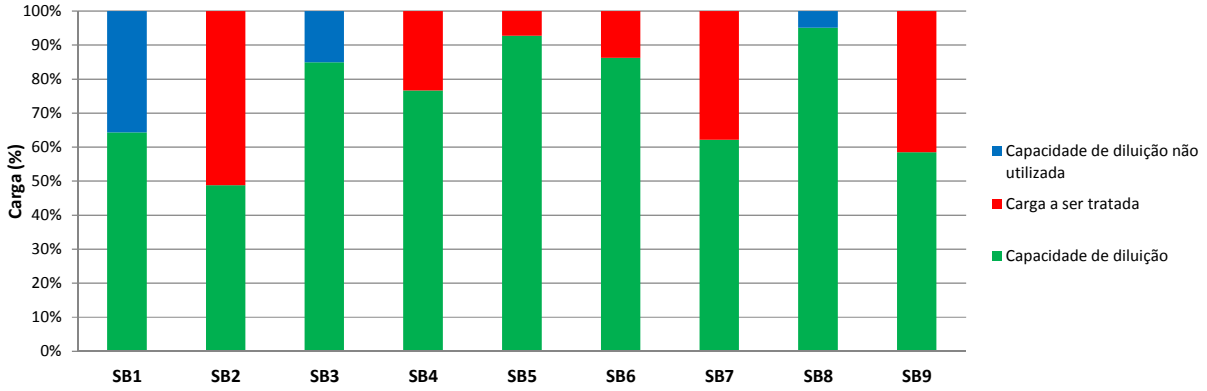

Gráfico VIII. 6 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 1, Classe 3 e ano 2030

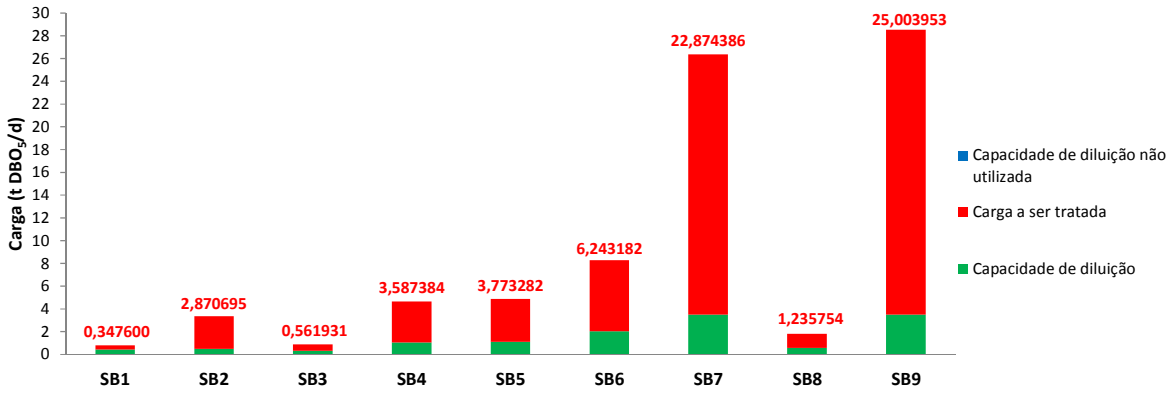

Gráfico VIII. 7 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2030, considerando o Panorama 2

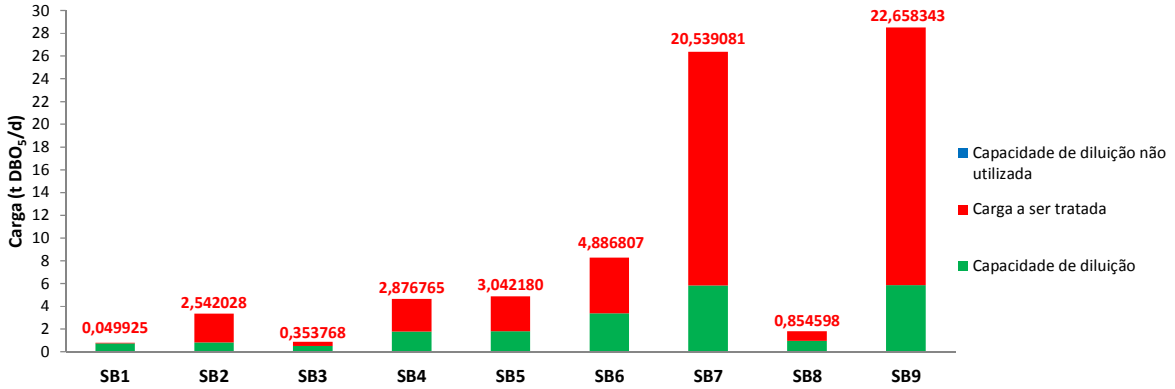

Gráfico VIII. 8 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2030, considerando o Panorama 2

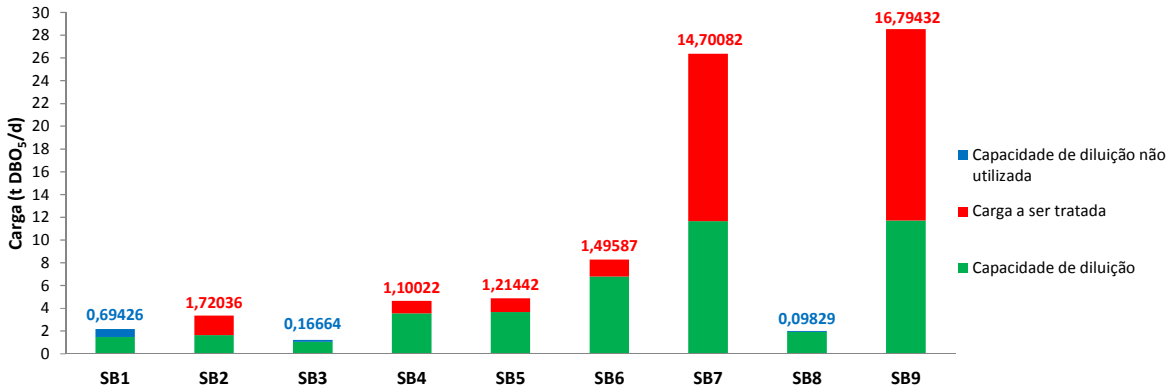

Gráfico VIII. 9 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2030, considerando o Panorama 2

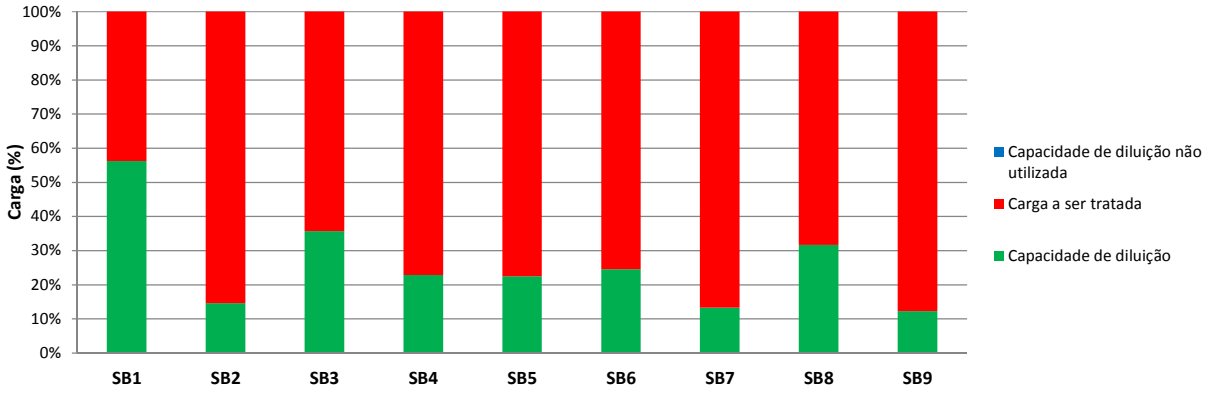

Gráfico VIII. 10 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 1 e ano 2030

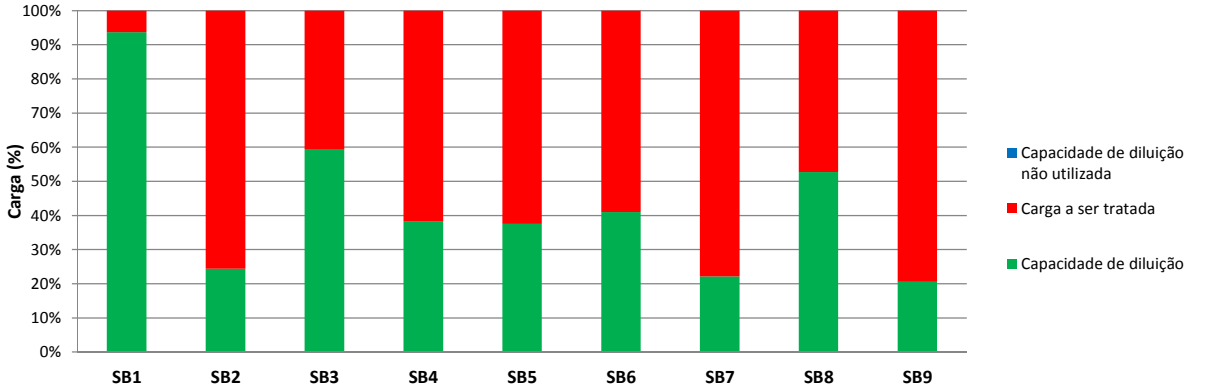

Gráfico VIII. 11 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 2 e ano 2030

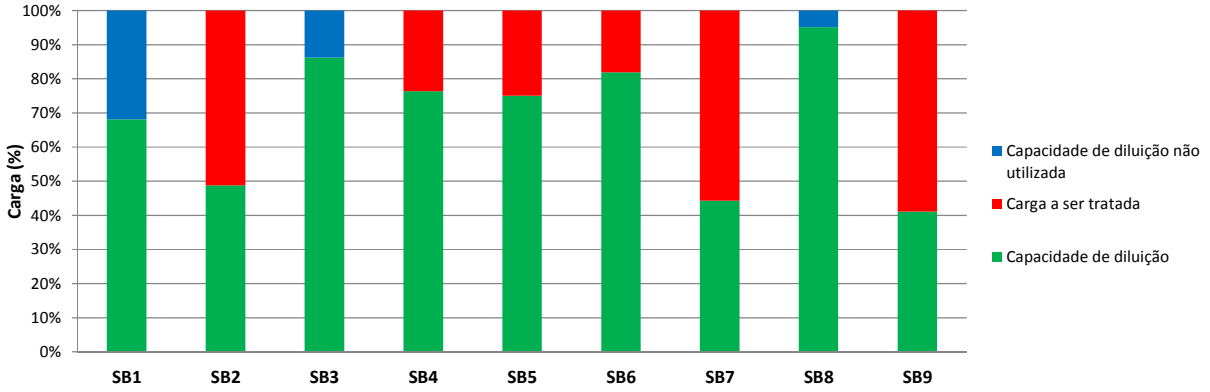

Gráfico VIII. 12 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 2, Classe 3 e ano 2030

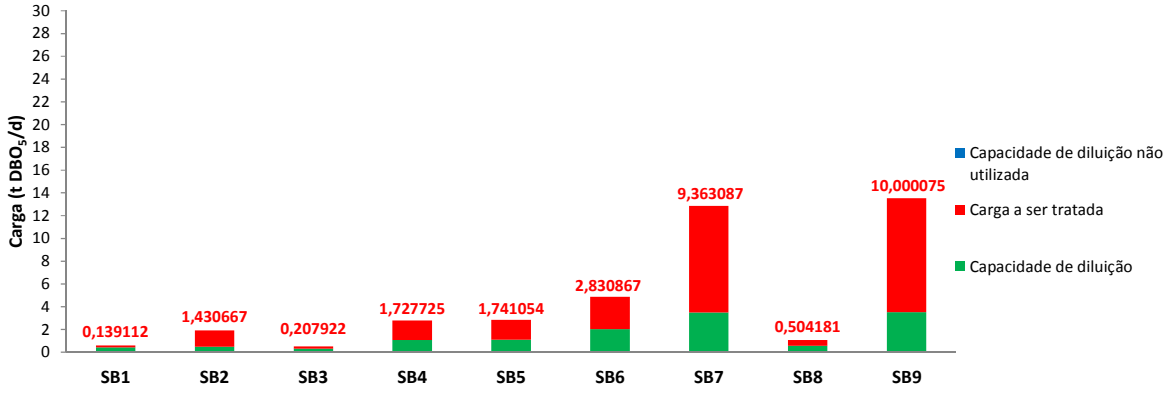

Gráfico VIII. 13 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2030, considerando o Panorama 3

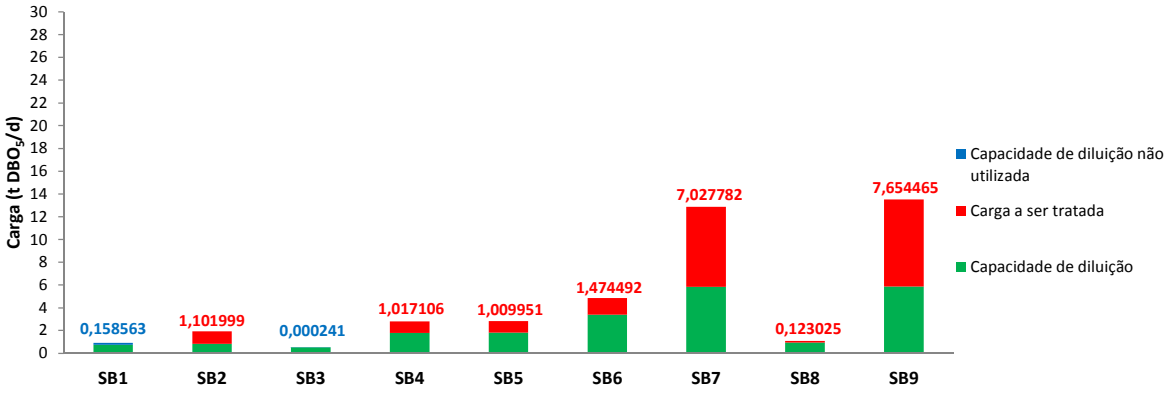

Gráfico VIII. 14 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2030, considerando o Panorama 3

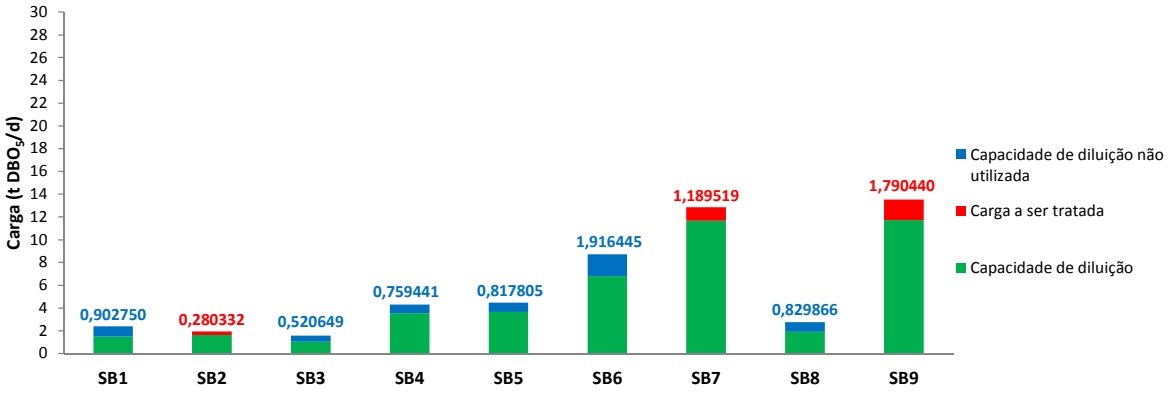

Gráfico VIII. 15 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2030, considerando o Panorama 3

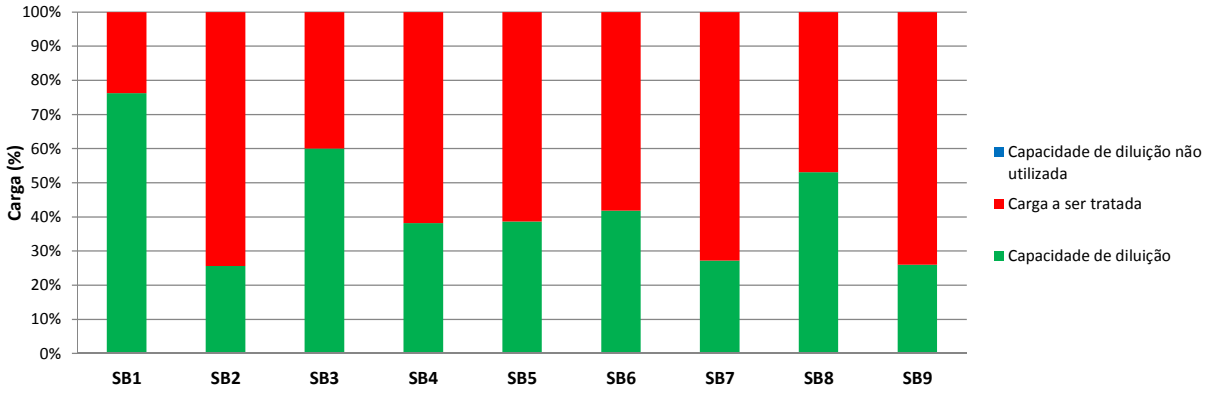

Gráfico VIII. 16 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 1 e ano 2030

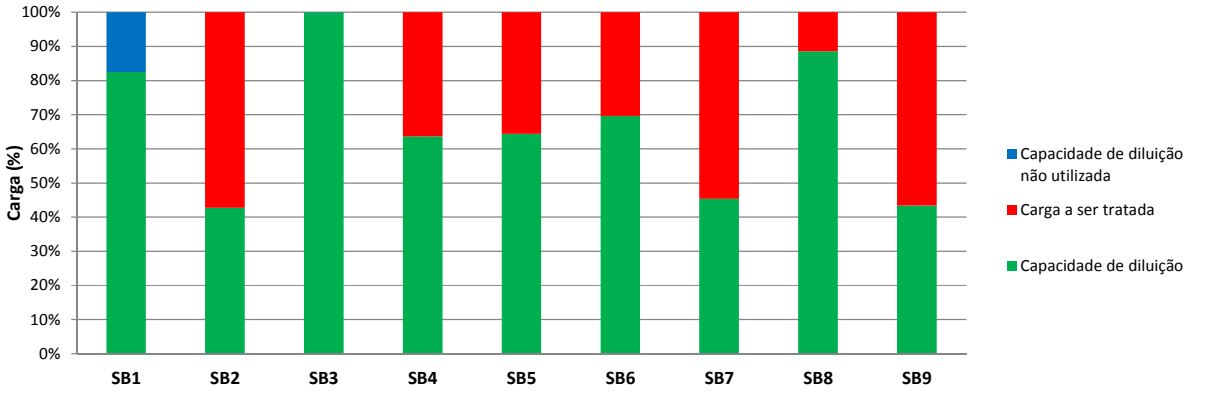

Gráfico VIII. 17 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 2 e ano 2030

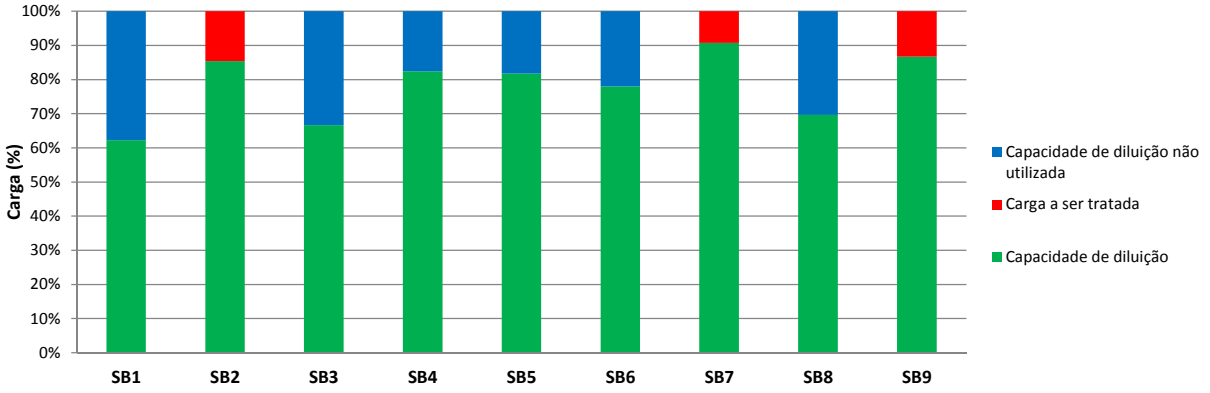

Gráfico VIII. 18 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 3, Classe 3 e ano 2030

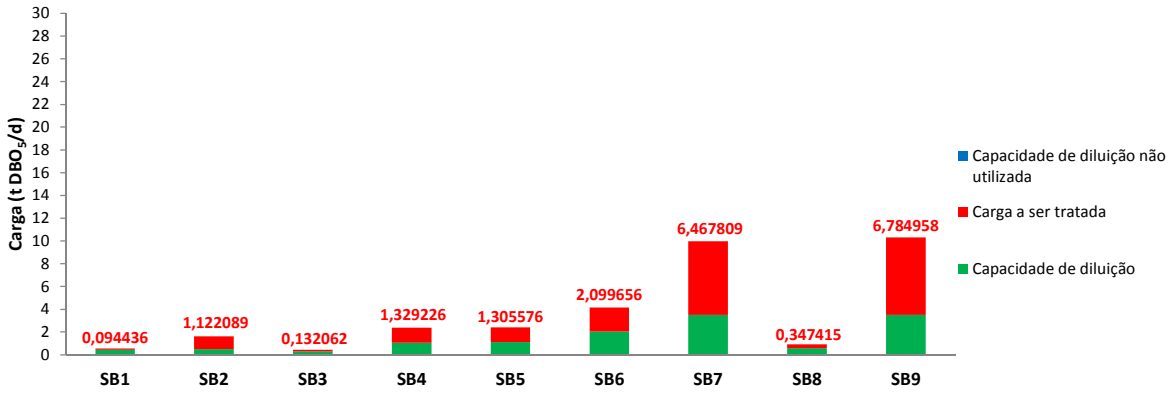

Gráfico VIII. 19 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 1 no ano de 2030, considerando o Panorama 4

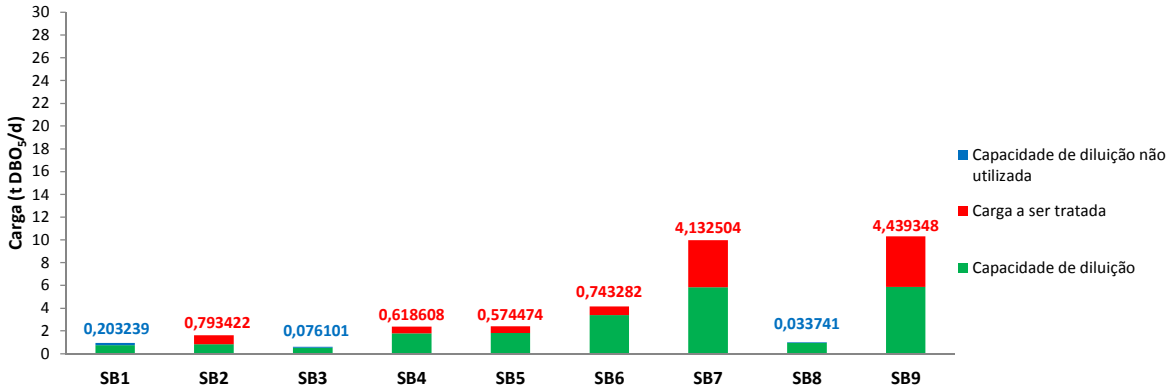

Gráfico VIII. 20 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2030, considerando o Panorama 4

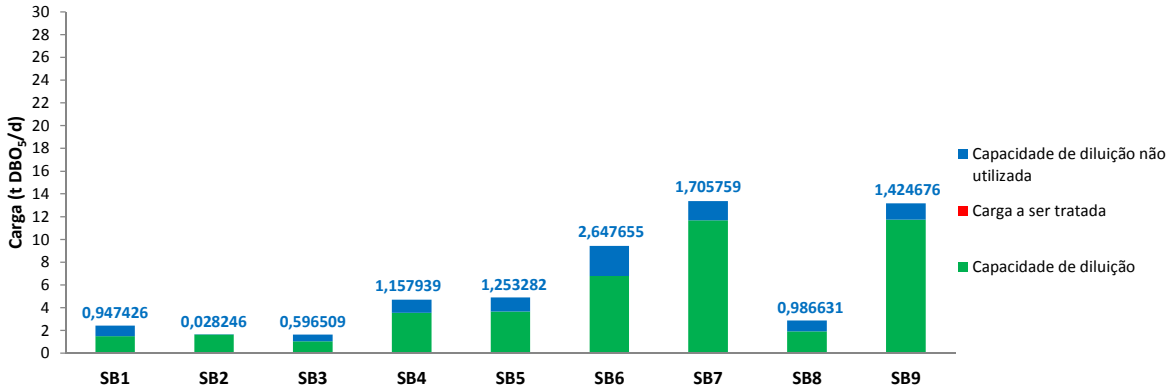

Gráfico VIII. 21 - Capacidades de diluição do corpo d'água, utilizada e não utilizada, e parcelas das cargas a serem tratadas para obter qualidade compatível com a Classe 3 no ano de 2030, considerando o Panorama 4

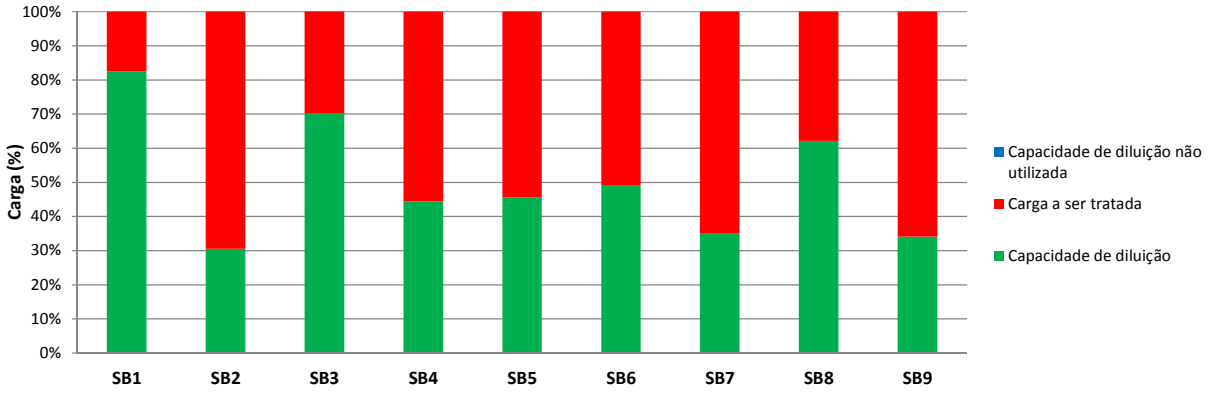

Gráfico VIII. 22 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 1 e ano 2030

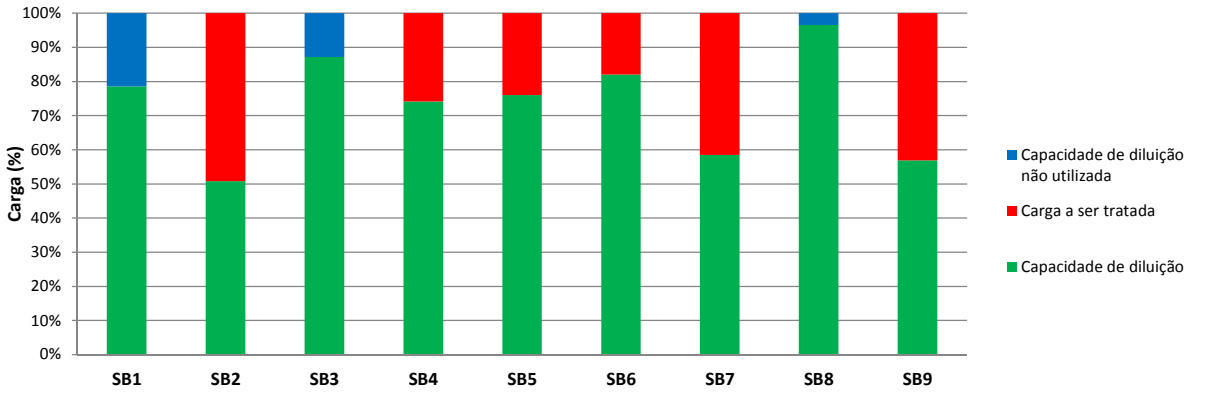

Gráfico VIII. 23 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 2 e ano 2030

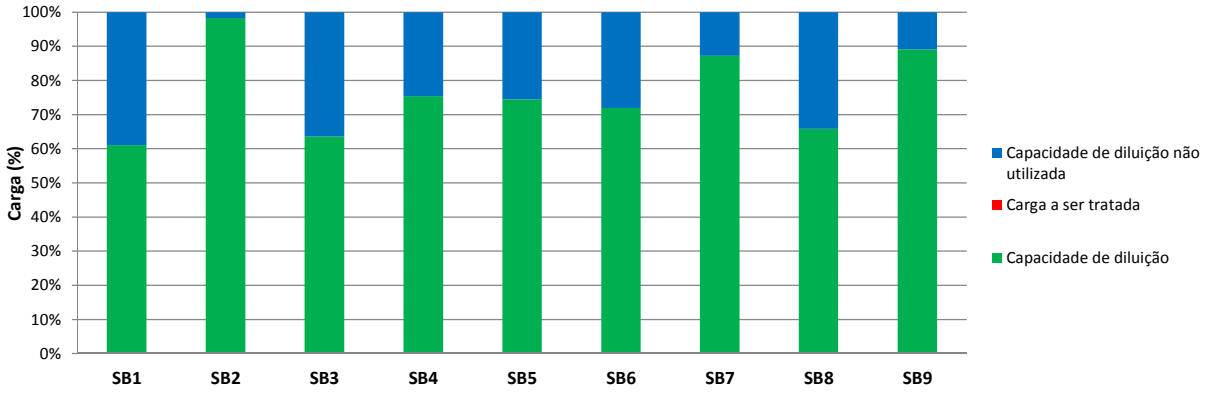

Gráfico VIII. 24 - Nível de estresse das subbacias para o panorama 4, Classe 3 e ano 2030

APÊNDICE IX - Investimentos necessários para alcançar enquadramento nas Classes 1,2 e 3

Tabela IX.1 - Investimentos necessários para alcançar o enquadramento (Classes 1, 2 e 3), relativo ao panorama 1, por subbacia, considerando o sistema de tratamento 'UASB + BAS' para atendimento da população rural e urbana

SUBBACIA	CUSTOS (2012) (R$)	PANORAMA 1					
		Classe 1	Classe 1	Classe 2	Classe 2	Classe 3	Classe 3
		UASB (Urbana)	UASB (Rural)	UASB (Urbana)	UASB (Rural)	UASB (Urbana)	UASB (Rural)
SB1	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	31.303,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Subtotal (R$)		**31.303,62**		**0,00**		**0,00**
SB2	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	895.211,18	299.272,82	895.211,18	119.773,61	566.236,78	0,00
	Subtotal (R$)		**1.194.484,00**		**1.014.984,79**		**566.236,78**
SB3	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	199.934,89	0,00	86.248,06	0,00	0,00	0,00
	Subtotal (R$)		**199.934,89**		**86.248,06**		**0,00**
SB4	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	1.145.471,85	287.407,15	1.044.779,65	0,00	74.531,27	0,00
	Subtotal (R$)		**1.432.879,00**		**1.044.779,65**		**74.531,27**
SB5	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	577.115,64	434.971,70	577.115,64	35.685,35	0,00	0,00
	Subtotal (R$)		**1.012.087,34**		**612.800,99**		**0,00**
SB6	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	1.863.921,01	401.200,46	1.524.347,11	0,00	0,00	0,00
	Subtotal (R$)		**2.265.121,47**		**1.524.347,11**		**0,00**
SB7	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	3.648.115,51	1.758.657,56	3.648.115,51	483.247,29	942.837,14	0,00
	Subtotal (R$)		**5.406.773,07**		**4.131.362,81**		**942.837,14**
SB8	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	454.775,35	19.448,00	266.057,62	0,00	0,00	0,00
	Subtotal (R$)		**474.223,35**		**266.057,62**		**0,00**
SB9	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	4.003.879,18	1.870.195,62	4.003.879,18	589.157,53	1.390.441,48	0,00
	Subtotal (R$)		**5.874.074,80**		**4.593.036,71**		**1.390.441,48**

Tabela IX.2 - Investimentos necessários para alcançar o enquadramento (Classes 1, 2 e 3), relativo ao panorama 1, por subbacia, considerando o sistema de tratamento 'UASB + BAS' para atendimento à população rural e 'LODOS$_{AC}$' para atendimento à população urbana

SUBBACIA	CUSTOS (2012) (R$)	PANORAMA 1					
		Classe 1	Classe 1	Classe 2	Classe 2	Classe 3	Classe 3
		UASB (Rural)	LODOS (Urbana)	UASB (Rural)	LODOS (Urbana)	UASB (Rural)	LODOS (Urbana)
SB1	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	0,00	44.182,47	0,00	0,00	0,00	0,00
	Subtotal (R$)		**44.182,47**		**0,00**		**0,00**
SB2	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	299.272,82	1.238.845,40	119.773,61	1.238.845,40	0,00	783.591,45
	Subtotal (R$)		**1.538.118,21**		**1.358.619,01**		**783.591,45**
SB3	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	0,00	279.436,56	0,00	120.543,55	0,00	0,00
	Subtotal (R$)		**279.436,56**		**120.543,55**		**0,00**
SB4	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	287.407,15	1.582.915,82	0,00	1.443.770,30	0,00	102.994,01
	Subtotal (R$)		**1.870.322,97**		**1.443.770,30**		**102.994,01**
SB5	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	434.971,70	800.918,36	35.685,35	800.918,36	0,00	0,00
	Subtotal (R$)		**1.235.890,06**		**836.603,71**		**0,00**
SB6	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	401.200,46	2.566.560,53	0,00	2.098.977,96	0,00	0,00
	Subtotal (R$)		**2.967.760,98**		**2.098.977,96**		**0,00**
SB7	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	1.758.657,56	5.001.796,17	483.247,29	5.001.796,17	0,00	1.292.689,11
	Subtotal (R$)		**6.760.453,73**		**5.485.043,46**		**1.292.689,11**
SB8	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	19.448,00	632.477,93	0,00	370.019,10	0,00	0,00
	Subtotal (R$)		**651.925,92**		**370.019,10**		**0,00**
SB9	**Custo Total Remoção DBO Corrigido**	1.870.195,62	5.485.629,75	589.157,53	5.485.629,75	0,00	1.905.014,31
	Subtotal (R$)		**7.355.825,37**		**6.074.787,28**		**1.905.014,31**