



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRAULICA E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANTÔNIO MARCELO COSTA MAGALHÃES**

**PROPOSTA DE METODOLOGIA MULTICRITERIAL PARA PRIORIZAÇÃO  
DE INTERVENÇÃO EM ETES SEGUNDO ANÁLISE DA VULNERABILIDADE  
SOCIOAMBIENTAL – ESTUDO DE CASO EM FORTALEZA/CE**

**FORTALEZA**

**2017**

ANTÔNIO MARCELO COSTA MAGALHÃES

PROPOSTA DE METODOLOGIA MULTICRITERIAL PARA PRIORIZAÇÃO DE  
INTERVENÇÃO EM ETES SEGUNDO ANÁLISE DA VULNERABILIDADE  
SOCIOAMBIENTAL – ESTUDO DE CASO EM FORTALEZA/CE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M164p Magalhães, Antônio Marcelo Costa.

Proposta de metodologia multicriterial para priorização de intervenção em ETEs segundo análise da vulnerabilidade socioambiental : Estudo de caso em Fortaleza/CE / Antônio Marcelo Costa Magalhães. – 2017.

189 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2017.  
Orientação: Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes .

1. Vulnerabilidade Socioambiental. 2. Estação de Tratamento de Esgotos. 3. Esgotamento Sanitário. 4. Sistema de Apoio a Decisão. 5. PROMETHEE II. I. Título.

CDD 628

---

ANTÔNIO MARCELO COSTA MAGALHÃES

PROPOSTA DE METODOLOGIA MULTICRITERIAL PARA PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÃO EM ETES SEGUNDO ANÁLISE DA VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL – ESTUDO DE CASO EM FORTALEZA/CE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Saneamento Ambiental.

Aprovada em: 27/07/2017

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Marcos Erick Rodrigues da Silva  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Dedico este trabalho a Deus, em sua generosa e acolhedora grandeza e aos meus pais, Elenice Moura Costa e Jairo Marcelo Magalhães (*in memoriam*) por serem responsáveis por tudo o que sou e que posso vir a ser.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por me fortalecer e permitir a concretização de mais uma meta importante da minha vida.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) pela infraestrutura e oportunidade que possibilitou a realização deste trabalho.

À professora Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes pela orientação, confiança, ensinamentos e apoio ao longo deste processo, me permitindo galgar este e outros sonhos.

Aos professores Dr. Fernando José Araújo da Silva e Dr. Marcos Erick Rodrigues da Silva pela disponibilidade em participarem da banca examinadora.

Aos amigos e companheiros de jornada da turma de Mestrado em Saneamento Ambiental 2015.1 que fazem parte de nosso "TeamDeha", em especial aos amigos Renato, Natanael e Fabio, também engenheiros químicos.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) por todo o apoio e serviços prestados, além da agradável convivência durante o curso. Fernando José Araújo da Silva, Ronaldo Stefanutti, Marisete Dantas de Aquino, Francisco Suetônio Bastos Mota, Marco Aurélio Holanda de Castro, Ronaldo Ferreira do Nascimento, André Bezerra dos Santos e Paulo Igor Firmino por me proporcionarem momentos únicos de elevado conhecimento e intelectualidade.

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) não somente pela disponibilização de dados, mas sobretudo pelo comprometimento de realizar sua missão e disposição em contribuir com estudos que visam a melhoria de seus processos e interação social. O apoio a este e outros estudos é sinal claro que a Cagece empenha-se em contribuir para a melhoria da saúde e qualidade de vida, promovendo soluções em saneamento básico, com sustentabilidade econômica, social e ambiental.

À Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (SEUMA) e à Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (ACFOR) por destacarem parte de seus profissionais a contribuírem com a construção e validação da metodologia sugestionada por esta obra.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos amigos (irmãos que a vida me deu) Pedro, Daniel e Betinho, pelo apoio e companheirismo.

À minha namorada Janna pelo carinho, apoio e vibração em cada etapa, cada momento, nos mais sutis e afáveis gestos.

Enfim, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, por quão simples tenha sido a forma. Agradeço a todos!

“Ele (Paulo Freire) dizia que era pequeno, para poder crescer. Gente grande de verdade sabe que é pequeno e, por isso, cresce. Gente muito pequena acha que já é grande e o único modo de ela crescer é rebaixando os outros.” Mário Sérgio Cortella.



## RESUMO

Existe uma crescente necessidade em integrar as técnicas de tomada de decisão não somente dentro de ambientes corporativos privados, mas também dentro do ambiente da administração pública. Cada vez mais, as decisões que envolvem fatores de caráter subjetivo são auxiliadas por um Sistema de Apoio a Decisão. Deste modo, a partir de um cenário de diversas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) que sabidamente apresentavam um histórico de não conformidades (de natureza ambiental e operacional), bem como estavam inseridas em diferentes contextos sociais de um mesmo município, evoca-se o objetivo desta pesquisa: propor uma metodologia multicriterial de apoio à decisão que gere um ordenamento na priorização de intervenção em ETEs, segundo o conceito integrador de vulnerabilidade socioambiental relativa associada a estas estações. O modelo proposto foi construído tendo por base o paradigma prescritivista, a partir da ótica de diversos atores que atuam diretamente com a temática abordada (professores especialistas, autoridades ambientais e corpo técnico de colaboradores da companhia de saneamento local) e aplicado em um estudo de caso no município de Fortaleza considerando 33 ETEs. A avaliação dos históricos das amostras de efluente coletados, as inspeções *in loco* nas ETEs e os dados sociodemográficos regularmente disponibilizados foram ferramentas utilizadas tanto na construção, como na aplicação e validação do modelo. Foi utilizado o método de sobreclassificação PROMETHEE II, com a intermediação de pseudocritérios (que compilavam diversos critérios e sistemas de valor atribuídos pelos decisores na elaboração). O software Visual PROMETHEE foi utilizado como facilitador da execução dos cálculos e como recurso visual para os resultados. O caráter prático da pesquisa foi alcançado, haja visto que a metodologia proposta está embasada em critérios de facilitada reprodutibilidade, desde que salvaguardadas as premissas do paradigma adotado.

**Palavras-chave:** Vulnerabilidade Socioambiental. Estação de Tratamento de Esgotos. Esgotamento Sanitário. Priorização de Intervenção. Sistema de Apoio a Decisão. PROMETHEE II.

## ABSTRACT

There is a growing need to integrate decision-making tools not only in private corporate environments but also in public administration environment. The decisions that involve subjective factors are increasingly supported by a Decision Aided System. Therefore, from the scenario of Wastewater Treatment Plants (WTPs), that was previously known about their unconformity history (environmental and operational ways), besides their insertion in different social contexts in the same place, the goal of this research is that: propose a multicriteria methodology for decision aiding that generates a prioritization ranking for intervention in WTPs, according the socioenvironmental vulnerability integrator concept concerning these plants. The proposed model was building having as base the prescriptivism paradigm, from the viewpoint of diverse stakeholders that acting directly with approached theme (specialized professors, environmental authorities and body of employees from local sanitation company). Was done a case study in Fortaleza city considering 33 WTPs. The historic evaluation of wastewater samples collected, the *in loco* inspections in WTPs and the regularly available sociodemographic data were used tools both in construction and in application and validation of the model. Was used the overclass method PROMETHEE II with pseudocriteria intermediation (compiled several criteria and value systems allocated for makers in work elaboration). The Visual PROMETHEE software was used as facilitator in the calculations and as visual tool for the results. The practicality of the work was reached given that proposed methodology is based in criteria of easily reproducibility, since safeguarded the premises of adopted paradigm.

**Keywords:** Socioenvironmental Vulnerability. Wastewater Treatment Plants. Sewage System. Intervention Prioritization. Decision Aided System. PROMETHEE II.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conceito de déficit em saneamento básico adotado no Plansab.....	29
Figura 2 – Práticas utilizadas para afastamento de esgotos sanitários em proporção da população por macrorregião e Brasil, 2010.....	30
Figura 3 – Desembolsos per capita de recursos não onerosos no componente esgotamento sanitário, por macrorregião, em relação ao total de excluídos no País, 2005- 2011 (em reais).....	32
Figura 4 – Desembolsos per capita de recursos onerosos no componente esgotamento sanitário, por macrorregião, em relação ao total de excluídos no País, 2005- 2011 (em reais).....	33
Figura 5 – Internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, total e segundo as categorias de doenças, para cada 100.000 habitantes, em 2015.....	38
Figura 6 – Esquema de um decanto-digestor com filtro anaeróbio acoplado.....	46
Figura 7 – Desenho esquemático de um reator UASB.....	48
Figura 8 – Representação esquemática de sistema de lodos ativados convencional.....	54
Figura 9 – Tipos de problemáticas.....	66
Figura 10– Critérios generalizados para determinação da função de preferência..	73
Figura 11– Projeção no plano GAIA.....	76
Figura 12– Fluxograma de atividades.....	84
Figura 13– Crescimento populacional de Fortaleza de 1970 a 2015.....	85
Figura 14– Divisão administrativa de Fortaleza em bairros.....	86
Figura 15– Famílias fortalezenses em condições de risco (1).....	89
Figura 16– Famílias fortalezenses em condições de risco (2).....	89
Figura 17– Bacias hidrográficas de Fortaleza.....	90
Figura 18– Cobertura do sistema de esgotamento sanitário de Fortaleza.....	95
Figura 19– Parte dos problemas verificados durante visitas da etapa preliminar....	99
Figura 20– Seleção de representantes dos decisores.....	103
Figura 21– Faixas do IDH.....	110

Figura 22– IDHB de Fortaleza – 2010.....	111
Figura 23– Percentual de domicílios ligados à rede geral de água, segundo bairros de Fortaleza – 2010.....	113
Figura 24– Percentual de domicílios ligados à rede geral de esgoto, segundo bairros de Fortaleza – 2010.....	114
Figura 25– Mapa com as ETEs abordadas pelo estudo de caso.....	116
Figura 26– Representação esquemática da obtenção de valores para aplicação no modelo.....	125
Figura 27– Comparativo entre critérios segundo sistema de valores dos gestores da Cagece.....	129
Figura 28– Comparativo entre critérios segundo sistema de valores das autoridades de órgãos ambientais.....	129
Figura 29– Comparativo entre critérios segundo sistema de valores dos acadêmicos especialistas.....	130
Figura 30– Comparativo entre critérios segundo sistema de valores obtidos pelas médias globais.....	130
Figura 31– ISPL referente ao critério DQO.....	133
Figura 32– ISPL referente ao critério SST.....	133
Figura 33– ISPL referente ao critério <i>E. coli</i> .....	133
Figura 34– Desempenho das ETEs por tipo de tecnologia frente aos critérios operacionais.....	135
Figura 35– Unidade desarenadora operando em desconformidade.....	136
Figura 36– Erro construtivo nos leitos de secagem.....	137
Figura 37– Leitos de secagem colmatados.....	138
Figura 38– Acúmulo de resíduos em ETEs (1) .....	139
Figura 39– Acúmulo de resíduos em ETEs (2) .....	139
Figura 40– Acúmulo de resíduos em ETEs (3).....	139
Figura 41– Especificações técnicas de reator UASB com destaque para material PRFV.....	140
Figura 42– Lagoa anaeróbia com elevado grau de comprometimento.....	141
Figura 43– Densa vegetação sob lagoa de estabilização.....	141
Figura 44– Vegetação no talude das lagoas.....	142

Figura 45– Transbordamento de efluente em ETE com decanto digestor.....	142
Figura 46– Elevada e recorrente formação de espuma.....	143
Figura 47– Crescimento prejudicial da vegetação.....	144
Figura 48– Exemplos de vandalismo nas ETEs.....	145
Figura 49– Decomposição do critério “caixa de areia”.....	146
Figura 50– Decomposição do critério “segurança”.....	146
Figura 51– Análise do critério social “IDHB”.....	147
Figura 52– Análise do critério social “Percentual de cobertura de esgoto”.....	148
Figura 53– Interface do Software Visual PROMETHEE.....	150
Figura 54– Fluxo líquido unicriterial para cada pseudocritério obtido pela ferramenta “arco-íris”.....	154

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização dos esgotos sanitários e faixa de valores típicos dos principais constituintes de interesse para o projeto de sistemas de tratamento.....	29
Tabela 2 – Valores máximo permissível segundo legislações do estado do Ceará.....	41
Tabela 3 – Faixas prováveis de remoção dos poluentes pelo sistema DD-FAN, conforme NBR 13969.....	46
Tabela 4 – Principais características dos sistemas de lodos ativados utilizados para o tratamento de esgotos doméstico.....	56
Tabela 5 – Matriz de avaliação.....	62
Tabela 6 – Matriz de avaliação de n alternativas para k critérios pelo PROMETHEE.....	72
Tabela 7 – Matriz de avaliação do fluxo líquido unicriterial para GAIA.....	75
Tabela 8 – Situação da Ligação de Esgoto.....	94
Tabela 9 – Situação da Ligação de Esgoto em áreas com rede.....	96
Tabela 10– Valores assumidos pelo Índice de Não Conformidade durante a avaliação das características operacionais.....	121
Tabela 11– Comparativo entre funções utilidade de duas ETEs hipotéticas.....	123
Tabela 12– Ordenamento de priorização das ETEs gerado pelo Visual PROMETHE.....	151

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios cujos prestadores de serviços são participantes do SNIS em 2014, segundo região geográfica e Brasil.....	30
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens na utilização de reatores UASB em relação aos processos aeróbios convencionais	49
Quadro 3 – Vantagens e desvantagens na utilização de lagoas de estabilização	53
Quadro 4 – Requisitos a serem verificados nos critérios adotados	61
Quadro 5 – Situações básicas de preferência para comparar duas ações potenciais	68
Quadro 6 – Perfil técnico/profissional dos decisores	102
Quadro 7 – Critérios avaliados pelos atores de decisão no questionário	104

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACFOR	Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle de Serviços Públicos de Saneamento Ambiental
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AMD	Apoio Multicritério à Decisão
ANA	Agência Nacional de Águas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APA	Área de Preservação Ambiental
ARCE	Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará
ARFOR	Agência Reguladora de Fortaleza
Cagece	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CEBR	Centro de Pesquisas Econômicas e de Negócios
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DBO <sub>5,20</sub>	Demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias, a 20°C
DD-FAN	Decanto-digestor associado a filtro anaeróbio
DQO	Demanda química de oxigênio
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EEE	Estações elevatórias de esgoto
ELECTRE	<i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité</i>
EPC	Estação de pré-condicionamento
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FSA	Filtro submerso aerado
GAIA	<i>Geometric Analysis for Interactive Aid</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHB	Índice de Desenvolvimento Humano dos Bairros



INC	Índice de Não Conformidade
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IPVS	Índice Paulista de Vulnerabilidade Social
ISPL	Índice de Satisfação do Padrão de Lançamento
MAUT	<i>Multiattribute Utility Theory</i>
MCDA	<i>Multiple Criteria Decision Aid</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NMP	Número mais provável, unidade para coliformes fecais
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
Plansab	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PO	Pesquisa Operacional
PRFV	Polímero reforçado com fibra de vidro
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation</i>
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
OMS	Organização Mundial de Saúde
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SANEFOR	Programa de Infraestrutura Básica e Saneamento de Fortaleza
SDE	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SEUMA	Secretaria Municipal do Urbanismo e Meio Ambiente
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNF	Sólidos não filtráveis
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SST	Sólidos suspensos totais
TDH	Tempo de detenção hidráulica
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UNMTE	Unidade de Macrocoleta e Transporte de Esgotos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	20
<b>1.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	23
<b>1.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	23
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	24
<b>2.1</b>	<b>Tratamento de esgotos sanitários</b> .....	24
<b>2.1.1</b>	<b><i>Panorama estrutural do saneamento ambiental e esgotamento no Brasil</i></b> .....	28
<b>2.1.2</b>	<b><i>Vulnerabilidade socioambiental e tratamento de esgotos</i></b> .....	33
<b>2.1.3</b>	<b><i>Legislação Ambiental vinculada ao tratamento de esgotos</i></b> .....	38
<b>2.1.4</b>	<b><i>Níveis de tratamento</i></b> .....	42
<b>2.1.5</b>	<b><i>Princípios das tecnologias abordadas no estudo de caso</i></b> .....	44
2.1.5.1	<i>Decanto-digestor associado a filtro anaeróbio</i> .....	45
2.1.5.2	<i>Reatores UASB associados a FSA</i> .....	47
2.1.5.3	<i>Lagoas de estabilização</i> .....	50
2.1.5.4	<i>Lodos Ativados</i> .....	53
<b>2.2</b>	<b>Apoio multicritério à decisão</b> .....	57
<b>2.2.1</b>	<b>Conceitos básicos</b> .....	58
2.2.1.1	<i>Atores</i> .....	59
2.2.1.2	<i>Ações ou alternativas</i> .....	60
2.2.1.3	<i>Critérios</i> .....	61
2.2.1.4	<i>Tipos de paradigmas</i> .....	63
2.2.1.5	<i>Tipos de problemáticas</i> .....	65
2.2.1.6	<i>Modelagem de preferência e relações de dominância</i> .....	67
<b>2.2.2</b>	<b>Processo de apoio à decisão</b> .....	69
<b>2.2.3</b>	<b>Promethee II e GAIA</b> .....	71
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	78
<b>3.1</b>	<b>Descrição geral das etapas de trabalho</b> .....	79
<b>3.2</b>	<b>Delimitação do escopo do estudo de caso</b> .....	85
<b>3.2.1</b>	<b><i>Caracterização do município de Fortaleza-CE</i></b> .....	85
3.2.1.1	<i>Aspectos geográficos e socioeconômicos</i> .....	85
3.2.1.2	<i>Aspectos hidrográficos</i> .....	88
3.2.1.3	<i>Aspectos sanitários</i> .....	92
<b>3.3</b>	<b>Modelo de apoio multicritério à decisão</b> .....	97

<b>3.3.1</b>	<b><i>Etapa preliminar</i></b> .....	97
3.3.1.1	<i>Definição do tipo de decisão</i> .....	99
3.3.1.2	<i>Definição dos participantes do processo decisório</i> .....	101
3.3.1.3	<i>Definição dos critérios</i> .....	103
3.3.1.3.1	Critérios ambientais.....	105
3.3.1.3.2	Critérios operacionais.....	106
3.3.1.3.3	Critérios sociais.....	108
3.3.1.4	<i>Definição das alternativas</i> .....	115
3.3.1.5	<i>Escolha do método multicritério</i> .....	117
<b>3.3.2</b>	<b><i>Modelagem matemática dos valores obtidos</i></b> .....	118
<b>3.3.3</b>	<b><i>Software Visual Promethee</i></b> .....	125
3.3.3.1	<i>Recursos disponíveis</i> .....	127
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	128
4.1	<b>Análise dos sistemas de valores dos decisores</b> .....	128
4.2	<b>Análise dos resultados de cada classe de critério</b> .....	132
4.2.1	<b><i>Classe ambiental</i></b> .....	132
4.2.2	<b><i>Classe operacional</i></b> .....	134
4.2.3	<b><i>Classe social</i></b> .....	146
4.3	<b>Aplicação numérica do modelo</b> .....	149
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	156
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	157
	<b>APÊNDICE A – FICHA DE AVALIAÇÃO DAS ETES</b> .....	171
	<b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO</b> .....	172
	<b>APÊNDICE C – IDENTIFICAÇÃO DAS ETES</b> .....	175
	<b>APÊNDICE D – SISTEMAS DE VALORES DOS DECISORES</b> .....	179
	<b>APÊNDICE E – RESULTADOS: CRITÉRIOS AMBIENTAIS</b> .....	180
	<b>APÊNDICE F – RESULTADOS: CRITÉRIOS OPERACIONAIS</b> .....	182
	<b>APÊNDICE G – RESULTADOS: CRITÉRIOS SOCIAIS</b> .....	184
	<b>ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO ATENDIMENTO E DO DÉFICIT DE ACESSO AOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO</b> .....	186
	<b>ANEXO B – PRINCIPAIS LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS A SEREM OBSERVADAS PELA CAGECE</b> .....	187
	<b>ANEXO C – Principais recursos visuais disponíveis pelo Visual PROMETHEE</b> .....	188

## 1 INTRODUÇÃO

A lei nº 11.445 (BRASIL, 2007), que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, assim o define como um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Entretanto, a própria Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (BRASIL, 2011c) explana que o escopo das práticas em saneamento ambiental deve ser maior, envolvendo o conjunto de ações técnicas e socioeconômicas, entendidas fundamentalmente como de saúde pública, tendo por objetivo alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental.

Em 2015, o Brasil assumiu a 8ª posição entre as 10 maiores economias do mundo (IMF, 2015); contudo, a situação do saneamento no país, segundo estimativas do Centro de Pesquisas Econômicas e de Negócios (CEBR) não é diferente daquela verificada nos demais países da América Latina e Caribe (CEBR, 2011).

Embora os índices brasileiros de cobertura dos serviços de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário venham aumentando, ainda é bastante comum encontrarmos muitas realidades precárias das condições sanitárias, decorrentes tanto da carência crônica de recursos para investimento, quanto da deficiência ou da ausência de políticas públicas de saneamento básico (BRASIL, 2006b).

O conjunto de prestadores de serviços de saneamento básico é composto por companhias estaduais, empresas e autarquias municipais, empresas privadas e, em muitos casos, pelas próprias prefeituras (SNIS, 2016). Na maioria dos casos, estes prestadores são responsáveis por atender uma imensa população, defrontando-se com muitos desafios de ordem técnica, operacional, ambiental, cultural, etc. no planejamento e execução de seus serviços.

Visto isso, também é sabido que os impactos gerados especificamente pela não existência de um atendimento adequado na área de esgotamento sanitário é particularmente determinante na proliferação de doenças de veiculação hídrica, o que é observado especialmente nas localidades mais carentes. A ratificar o exposto, há o Instituto Trata Brasil, que periodicamente vem publicando diversos estudos que estabelecem correlação entre taxas de internação por diarreia e a qualidade dos

serviços de saneamento básico prestado; em um deles (ITB, 2007), foi estimado que 65% das internações de crianças com menos de 10 anos são provocadas por problemas oriundos da deficiência ou da inexistência de esgoto e de água limpa e que cerca de 700 mil brasileiros são internados a cada ano nos hospitais públicos devido à falta de esgotamento sanitário.

Um outro elemento fundamental deste cenário é a legislação vigente que regulamenta as ações de esgotamento sanitário. Esta pode ser proveniente de qualquer uma das três esferas de poder, de modo que, via de regra, se duas ou mais legislações versam sobre o mesmo interesse, deve-se preconizar o atendimento àquela que for mais restritiva (OLIVEIRA, 2006). Assim, as prestadoras devem buscar a universalização de seus serviços, garantindo o cumprimento das legislações vigentes, utilizando-se de boas práticas gerenciais e operacionais.

No estado do Ceará, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) está presente atualmente em 151 municípios, com índice de cobertura de abastecimento de água de 98,16% em todo o estado e índice de cobertura do sistema de esgotamento sanitário de 40,11% para todo o estado, nos municípios atendidos pela Cagece. Segundo a própria companhia, em Fortaleza, capital do estado, este índice é de 57,10% (CAGECE, 2016a), sendo que parte deste efluente é lançado no mar por meio de um emissário submarino após passar pela Estação de Pré-Condicionamento (EPC), e parte é tratado por meio de sistemas isolados que são gerenciados pela Unidade de Macrocoleta e Transporte de Esgotos (UNMTE) (FORTALEZA, 2014).

Atualmente, Fortaleza conta com 58 estações de tratamento de esgoto (ETEs), além de mais 16 unidades padrão do Programa Minha Casa Minha Vida, e 55 Estações Elevatórias de Esgoto (EEE). Esse conjunto de ETEs possui diferentes capacidades de taxas volumétricas de tratamento e quatro diferentes tecnologias básicas: decanto-digestor seguido de filtro anaeróbio, reatores UASB, lagoas de estabilização e sistemas de lodos ativados. (CAGECE, 2015). A fiscalização e acompanhamento qualitativo destes sistemas são feitos pelos órgãos ambientais competentes do município e do estado, embasados por três principais legislações: Portaria nº.154/2002 da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) e Resoluções n.º 357/2005 e n.º 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Diversos fatores como sobrecarga de vazão, problemas de ordem operacional das estações, ligações clandestinas, furtos, roubos e deterioração de equipamentos e periféricos, integram a malha de desafios de gerenciamento das unidades de tratamento de esgoto. Assim, muitas unidades não estão continuamente apresentando resultados de conformidade, com exigido pela legislação, acarretando em impactos diretos ao meio ambiente e para a sociedade em seu entorno.

Diante de uma conjuntura complexa que envolve fatores ambientais, operacionais e sociais para um elevado número de ETEs, pode-se aplicar o conceito integrativo de vulnerabilidade socioambiental, a fim de correlacioná-los para embasar um ordenamento de priorização de intervenção nas ETEs, auxiliando tanto os gestores operacionais do sistema, como também as autoridades ambientais fiscalizadoras destes empreendimentos.

A hipótese aqui levantada é que a problemática apresentada pode ser solucionada mediante a aplicação de um processo de apoio à decisão, resultando em recomendações que buscam atender os valores e interesses daqueles efetivamente envolvidos no processo decisório, sem deixar de reconhecer a importância da incorporação da subjetividade inerente a esse processo e gerando conhecimento durante suas diversas etapas a fim de priorizar a intervenção nas estações.

Os métodos multicritérios podem ser integrados ao processo de apoio a decisão. Estes métodos começaram a serem pesquisados a partir da década de 70 e visam incorporar múltiplos aspectos neste processo – inclusive informações sobre a preferência dos decisores, oposto ao praticado pelos métodos monocritério da Pesquisa Operacional tradicional (BANA E COSTA; PIRLOT, 1997).

Este trabalho propõe o uso de uma metodologia multicriterial de apoio à decisão que seja capaz incorporar critérios ambientais, operacionais e sociais associados à vulnerabilidade socioambiental relativa a cada uma das ETEs, a fim de fazer um ordenamento da priorização de intervenção nas ETEs – realizando um estudo de caso no município de Fortaleza –, originando uma contribuição de natureza gerencial aos responsáveis pelos âmbitos operacional e fiscalizatório.

## **1.1 Objetivo geral**

Propor uma metodologia multicriterial de apoio à decisão que gere um ordenamento na priorização de intervenção em ETEs, segundo a vulnerabilidade socioambiental relativa associada a estas estações.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Conceber uma metodologia de apoio à decisão consensualmente validada por todos os representantes das classes de decisores e utilizando parâmetros que facilitem a reprodutibilidade dos princípios metodológicos propostos;
- aplicar a metodologia multicritério de apoio à decisão escolhida com o auxílio de uma ferramenta computacional gratuita;
- compreender como critérios ambientais, operacionais e sociais são percebidos pelos diferentes sistemas de valores das diferentes classes de decisores na caracterização da vulnerabilidade socioambiental associada à ETEs a fim de ordená-las de acordo com a prioridade de intervenção;

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Tratamento de esgotos sanitários

O conceito de Saneamento Básico, que historicamente restringia-se à água e ao esgoto, evoluiu e passou a incorporar o manejo de resíduos sólidos e o manejo de águas pluviais urbanas, de modo que estes quatro elementos devem se integrar ao ordenamento e ao uso do solo, a fim de promover crescentes níveis de salubridade ambiental e a melhoria das condições de vida urbana e rural (CORDEIRO, 2009). Para a Organização Mundial de Saúde (OMS) saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social (WHO, 2004).

A lei nº 11.445 (BRASIL, 2007) que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, entende como esgotamento sanitário o conjunto de atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente.

O esgoto sanitário é definido pela NBR 9648 (ABNT, 1986) como “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Esta mesma norma também define:

- a) Esgoto doméstico: Despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas;
- b) esgoto industrial: Despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos;
- c) água de infiltração: Toda água, proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações;
- d) contribuição pluvial parasitária: Parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário.

Outra classificação bastante recorrente, sobretudo na literatura que contempla as práticas de reuso, é aquela que se baseia em associar a coloração dos esgotos sanitários às possíveis origens e composição destes. Baseado nisto, são usadas as seguintes denominações (OTTERPOHL, 2001; GONÇALVES *et al.* 2006; GTZ, 2006):



- a) Águas negras: água residuária proveniente dos vasos sanitários, contendo basicamente fezes, urina e papel higiênico ou proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina, tendo em sua composição grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico. Quando segregadas das demais resultam em estações de tratamento menores, operando de forma mais estável e produzindo menos sub-produtos;
- b) águas cinzas: águas servidas provenientes dos diversos pontos de consumo de água na edificação (lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque), excetuando-se água residuária proveniente dos vasos sanitários;
- c) águas amarelas: água residuária proveniente de dispositivos que separam a urina das fezes, contendo somente urina. Podem ser geradas em mictórios ou em vasos sanitários com compartimentos separados para coleta de fezes e de urina. As águas amarelas podem ser recuperadas sem tratamento, sendo utilizadas como importante fonte de nitrogênio na agricultura;
- d) águas marrons: água residuária proveniente de dispositivos que separam a urina das fezes, contendo somente fezes.

Em média, a composição do esgoto sanitário é de 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos, sendo que 75% desses são constituídos de matéria orgânica em processo de decomposição (NUVOLARI *et al.*, 2010).

Os esgotos sanitários alteram-se no espaço, em função de diversas variáveis, desde o clima até os hábitos culturais; também modificam-se ao longo do tempo, tornando complexa sua caracterização. No Brasil, costuma-se adotar contribuições *per capita* de 54 g/hab.dia para a demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias a 20°C (DBO<sub>5,20</sub>), 100g/hab.dia para a demanda química de oxigênio (DQO) e 160L/hab.dia para a vazão – valor proveniente do produto entre o consumo de água per capita (200L/hab.dia) e um coeficiente de retorno água/esgoto de 0,8 (DOS SANTOS, 2007). Ainda deve ser considerada a contribuição de infiltração, tipicamente valorada em 0,2L/s.km de tubulação. A tabela 1 apresenta uma caracterização mais detalhada do esgotos sanitários típicos.

Tabela 1 – Caracterização dos esgotos sanitários e faixa de valores típicos dos principais constituintes de interesse para o projeto de sistemas de tratamento

Parâmetro	Unidade	Faixa de valores
Sólidos totais	mg/L	350 – 1.200
– Dissolvidos totais	mg/L	250 – 800
– Dissolvidos fixos	mg/L	150 – 500
– Dissolvidos voláteis	mg/L	95 – 300
Sólidos totais em suspensão	mg/L	120 – 400
– Fixos em suspensão	mg/L	20 – 80
– Voláteis em suspensão	mg/L	90 – 300
Sólidos sedimentáveis	mg/L	5 – 15
DBO <sub>5,20</sub>	mg/L	120 – 350
DQO	mg/L	250 – 800
Nitrogênio (total como N)	mg/L	20 – 70
– Orgânico	mg/L	8 – 25
– Amônia livre	mg/L	12 – 45
– Nitrito	mg/L	0
– Nitrato	mg/L	0
Fósforo (total como P)	mg/L	4 – 12
– Orgânico	mg/L	1 – 4
– Inorgânico	mg/L	3 – 8
Sulfato	mg/L	20 – 60
Cloretos	mg/L	20 – 155
Óleos e graxas	mg/L	50 – 100
Coliformes totais	NMP/100 mL	10 <sup>6</sup> – 10 <sup>10</sup>
Coliformes fecais	NMP/100 mL	10 <sup>4</sup> – 10 <sup>8</sup>
Ph	Unidade de pH	6,5 – 7,2

Fonte: METCALFF & EDDY (2003 *apud* CALIJURI;CUNHA (COORD.), 2013).

A maioria dos esgotos coletados e tratados tem como destinação final corpos hídricos. A remoção de contaminantes deve ser feita de modo atender às especificações de qualidade, particulares de cada localidade e determinada pelas autoridades competentes para tal. Uma vez feita a coleta e transporte dos esgotos, estes são destinados a uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), definida pela NBR-12209 (ABNT, 1992), como o “conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades cuja finalidade é a redução de cargas poluidoras de esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do processo”.

Neste cenário, Von Sperling (2005) e Lettinga (1995 *apud* CHERNICHARO, 2001) pontuam uma série de requisitos que devem ser observados num estudo técnico-econômico de escolha de alternativas de estações de tratamento, uma vez que não tenhamos uma solução que os atenda integralmente.

A saber:

- a) baixo custo de implantação;
- b) elevada sustentabilidade do sistema, relacionada à pouca dependência de fornecimento de energia, de peças e equipamentos de reposição etc;
- c) simplicidade operacional, de manutenção e de controle (pouca dependência de operadores e engenheiros altamente especializados);
- d) baixos custos operacionais;
- e) adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes (matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos, nutrientes e patogênicos);
- f) pouco ou nenhum problema com a disposição do lodo gerado na estação;
- g) baixos requisitos de área;
- h) existência de flexibilidade em relação às expansões futuras e ao aumento de eficiência;
- i) possibilidade de aplicação em pequena escala (sistemas descentralizados), com pouca dependência da existência de grandes interceptores; fluxograma simplificado de tratamento (poucas unidades integrando a estação);
- j) elevada vida útil;
- k) ausência de problemas que causem transtorno à população vizinha;
- l) possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, visando sua aplicação na irrigação e na fertilização de culturas agrícolas;
- m) existência de experiência prática.

Levantamentos mais detalhados dos níveis de tratamento verificados em uma ETE e de tecnologias particularmente importantes para o estudo de caso alvo deste trabalho encontram-se nas seções 2.1.4 e 2.1.5 respectivamente.

### **2.1.1 Panorama estrutural do saneamento ambiental e esgotamento no Brasil**

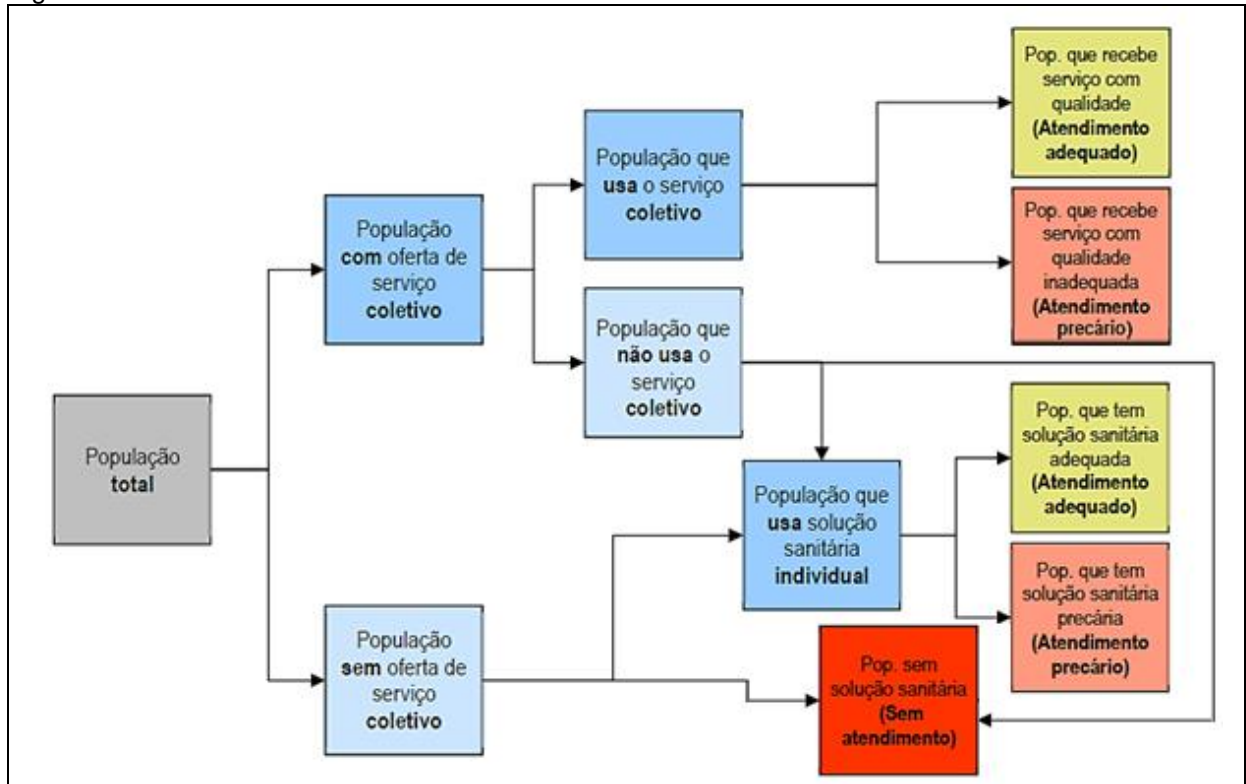
Nos últimos anos, o Brasil – que em 2015 assumiu a 8ª posição entre as 10 maiores economias do mundo (IMF, 2015) – vem apresentando um papel mais destacado no cenário mundial das nações, com a melhoria dos indicadores sociais e a redução da pobreza, ainda que continue a exibir um histórico padrão estrutural de desigualdades e privilégios sociais (NUNES; ROSA; MORAES, 2015). Fato é que estes avanços não foram suficientes para retirar o Brasil de uma modesta posição mundial no que diz respeito às práticas de saneamento. Conforme relatório do Instituto Trata Brasil (ITB, 2013a) o Brasil ocupa a 112ª posição num ranking de saneamento entre 200 países, de modo que sua pontuação no Índice de Desenvolvimento do Saneamento – um indicador que leva em consideração a cobertura por saneamento atual e sua evolução recente – foi de 0,581 em 2011, ficando abaixo de de alguns países do Norte da África e Oriente Médio, povos de renda média bem mais baixa que a brasileira.

Conforme aponta Sousa (2011), na virada do século XXI, o Executivo Federal patrocinava a universalização do sistema de saúde e da educação básica no Brasil, enquanto que o acesso ao esgotamento sanitário não atingiu sequer metade da população brasileira, especialmente os mais pobres. A mesma autora ainda destaca que este atraso não está ligado somente a uma crônica escassez de recursos, baixos incentivos ou déficit tecnológico, mas também a fatores políticos e institucionais.

Para caracterizar o déficit em saneamento básico, o Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) optou por uma definição que contemplasse, além da infraestrutura implantada, os aspectos socioeconômicos e culturais e, também, a qualidade dos serviços ofertados ou da solução empregada, conforme figura 1 (BRASIL, 2013).

Seguindo estas definições e enquadramentos, foi observado que o quadro do atendimento adequado por serviços e soluções de saneamento no país ainda se revela preocupante: déficit de cerca de 40% da população total em abastecimento de água, de 60% em esgotamento sanitário e de 40% no manejo de resíduos sólidos urbanos em 2013 (NUNES; ROSA; MORAES, 2015).

Figura 1 – Conceito de déficit em saneamento básico adotado no Plansab

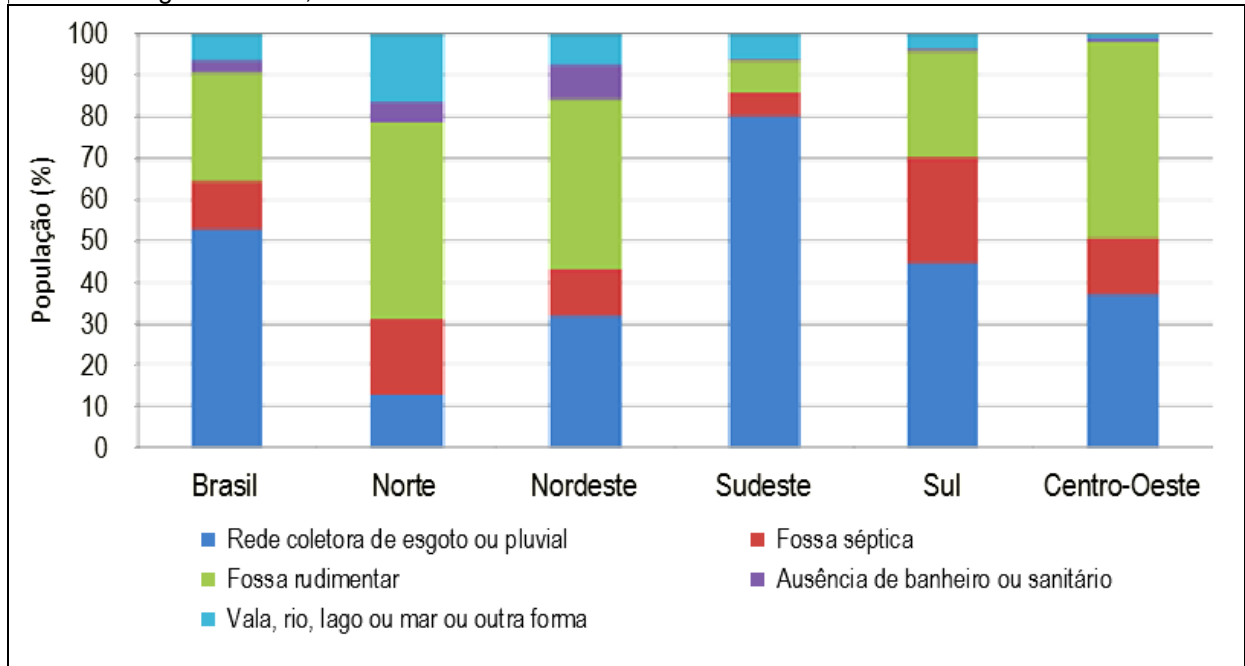


Fonte: BRASIL, 2013.

Obs.: As definições das caracterizações do atendimento encontram-se no Anexo A.

Na figura 2 é apresentada a distribuição proporcional entre as diversas práticas de afastamento de dejetos adotadas em cada macrorregião no ano de 2010. As regiões de maior deficit proporcional são a Centro-Oeste (50%), a Nordeste (56%) e a Norte (69%). Em todas as macrorregiões, a prática inadequada que mais impacta o deficit é a fossa rudimentar, que inclui formas de disposição de excretas ou de efluentes de grande impacto para o meio ambiente e para a saúde humana (BRASIL, 2013).

Figura 2 – Práticas utilizadas para afastamento de esgotos sanitários em proporção da população por macrorregião e Brasil, 2010



Fonte: BRASIL, 2013.

Uma outra importante ferramenta para análise da situação sanitária do país é o “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos” (SNIS, 2016), que desde 1995 vem sendo anualmente divulgado e atualizado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades e compoando a base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Extraído do referido documento, o quadro 1 apresenta valores médios dos índices de atendimento com água e esgotos e dos índices de tratamento dos esgotos, distribuídos segundo as regiões geográficas e a média do Brasil.

Quadro 1 – Níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios cujos prestadores de serviços são participantes do SNIS em 2014, segundo região geográfica e Brasil

Região	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos (%)	
	Água		Coleta de esgotos		Esgotos gerados	Esgotos Coletados
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total	Urbano
Norte	54,5	67,8	7,9	9,9	14,4	78,2
Nordeste	72,9	89,5	23,8	31,1	31,4	78,5
Sudeste	91,7	96,8	78,3	83,3	45,7	65,4
Sul	88,2	97,3	38,1	44,4	36,9	84,1
Centro-Oeste	88,9	96,7	46,9	51,7	46,4	91,1
Brasil	83	93,2	49,8	57,6	40,8	70,9

Fonte: SNIS, 2016

Da análise do quadro 1, pode-se perceber, primeiramente que os percentuais de atendimento com rede de esgotos são bastante inferiores, de modo geral, se comparados com os percentuais de abastecimento de água, exceto para a região Sudeste, cuja disparidade é menor. Além disso, é possível perceber também que nem todo o esgoto coletado recebe tratamento, e muito menos, se comparado com o total de esgotos gerados, onde os percentuais tratados são ainda menores. Ou seja, de todo o esgoto gerado no país, em média, apenas cerca de 41% são tratados (adaptado de ITB, 2015).

Como bem lembra Rossoni (2015), é importante salientar que estes dados são indicativos da cobertura e não revelam problemas de perdas de água e de intermitência no abastecimento, além de nada informar sobre a potabilidade da água e a qualidade do esgoto tratado.

Dentro os elementos que compõem o saneamento básico, o esgotamento sanitário apresenta particular criticidade. Embora avanços tenham acontecido nos últimos anos, existe uma enorme desigualdade na oferta destes serviços no Brasil, sobretudo para as populações rurais – ou mesmo para certas parcelas de populações com piores condições econômico-sociais dos centros urbanos, em muitos casos residentes em regiões periféricas.

O Brasil apresenta uma série de fontes de recursos possíveis para a área de saneamento básico. Desde o Plano Nacional de Saneamento (Planasa), de 1971, as principais fontes de investimento disponíveis para o setor de saneamento básico no Brasil são (BRASIL, 2013):

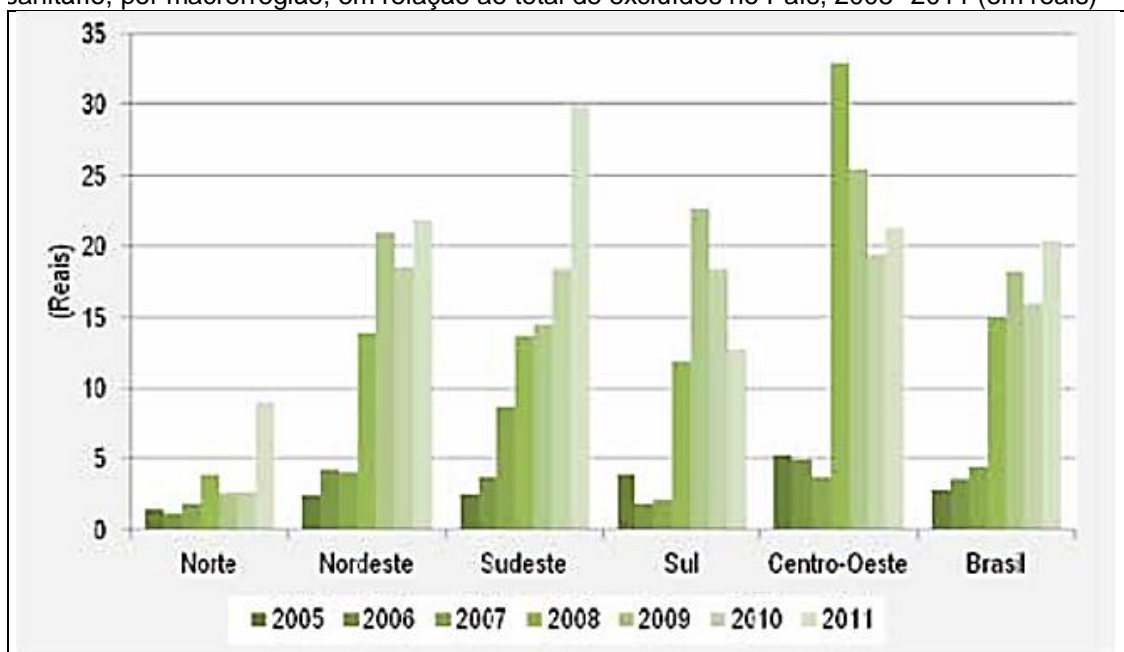
- a) os recursos dos fundos financiadores (Fundo de Garantia do Tempo de Serviço e Fundo de Amparo ao Trabalhador), também denominados de recursos onerosos;
- b) recursos não onerosos, derivados da Lei Orçamentária Anual, de orçamentos dos estados e municípios;
- c) recursos provenientes de empréstimos internacionais, contraídos junto às agências multilaterais de crédito, tais como o Banco Interamericano de Desenvolvimento (Bid) e o Banco Mundial (Bird);
- d) recursos próprios dos prestadores de serviços, resultantes de superávits de arrecadação e;

e) recursos oriundos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos (Fundos Estaduais de Recursos Hídricos).

Historicamente, as intervenções sempre foram fragmentadas e/ou descontínuas, com desperdício de recursos e baixa efetividade das ações implantadas. A partir de 2003, houve uma retomada de investimentos no setor. Em 2007, com a implantação do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), os investimentos foram fortemente ampliados e passaram a ser contínuos (BRASIL, 2015).

Há uma expressiva desigualdade de investimentos *per capita* no saneamento, significativamente mais preocupante quando enfocada sua vertente de esgotamento sanitário. Avaliando os investimentos dos chamados recursos não onerosos (figura 3), apesar de entre 2005 e 2011 os desembolsos relativos a esse componente crescerem progressivamente de R\$ 2,81 para R\$ 20,35 por habitante excluído do acesso ao afastamento dos esgotos, no Brasil, é perceptível uma forte desigualdade entre as macrorregiões, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, que apresentam os menores índices de cobertura de coleta de esgotos, conforme visto no quadro 1.

Figura 3 – Desembolsos per capita de recursos não onerosos no componente esgotamento sanitário, por macrorregião, em relação ao total de excluídos no País, 2005- 2011 (em reais)

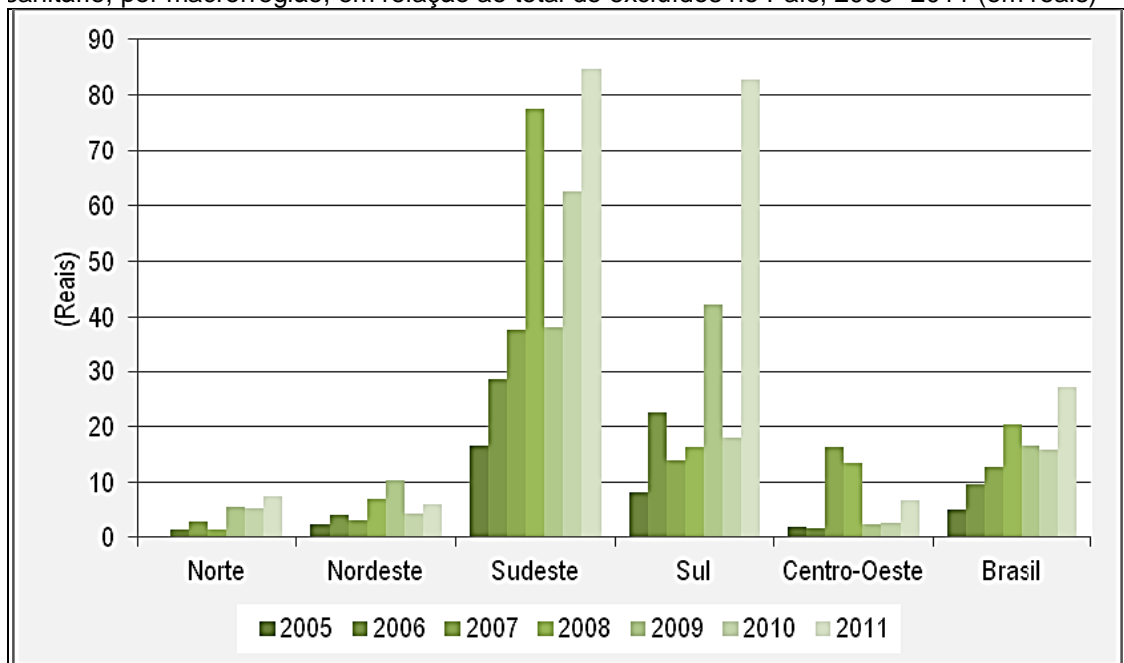


Fonte: BRASIL, 2013.



Quanto aos recursos ditos onerosos (figura 4), pode-se perceber um comportamento similar quanto a tendência de crescimento dos investimentos, mas uma ainda maior disparidade entre as macrorregiões, com a região Sudeste capitaneando grande parte dos recursos: no ano de 2011, por exemplo, enquanto o desembolso per capita no Sudeste ultrapassou os R\$ 80,00, Nordeste, Norte e Centro-Oeste sequer ultrapassaram a marca de R\$ 10,00.

Figura 4 – Desembolsos per capita de recursos onerosos no componente esgotamento sanitário, por macrorregião, em relação ao total de excluídos no País, 2005- 2011 (em reais)



Fonte: BRASIL, 2013.

### 2.1.2 Vulnerabilidade socioambiental e tratamento de esgotos

Nos últimos anos, o termo *vulnerabilidade* tem sido utilizado com certa frequência por diferentes grupos acadêmicos e entidades governamentais (ALVES *et al.*, 2010). Diversos autores, ao definirem o conceito de vulnerabilidade, manifestam múltiplos pontos de vista, de sorte que podem ser mais ou menos abrangentes, de acordo com a complexidade dos fatos analisados e a percepção que cada autor atribui a estes. Por ser um conceito polissêmico, Porto (2012) afirma que a vulnerabilidade é utilizada por distintas disciplinas e áreas do conhecimento, de modo que aborda dimensões presentes nos três grandes níveis fenomênicos definidos por Funtowicz e Ravetz (1994):

- a. mundo fiscalista, analisado pela física, química e engenharias;
- b. mundo biológico, analisado pelas ciências biológicas e biomédicas;
- c. mundo humano, analisado pelas ciências sociais e filosofia.

A utilização da vulnerabilidade como conceito integrador trás à tona simultaneamente questões éticas, políticas e técnicas que conformam a distribuição dos riscos nos territórios e a capacidade das populações de enfrentá-los, facilitando a ampliação do diálogo entre os diversos profissionais e paradigmas que atuam na compreensão dos problemas ambientais, particularmente aqueles de natureza mais complexa (Porto, 2012).

Neste estudo, usaremos o conceito adotado por Metzger *et al.* (2006), onde compreende-se a vulnerabilidade como o grau de susceptibilidade ou de fragilidade de um sistema aos efeitos negativos ao qual é exposto. Veyret (2007) lembra que a determinação deste grau de susceptibilidade em razão dos danos é função de diversos usos do solo e dos tipos de empreendimentos, integrando aspectos físicos, ambientais, técnicos, econômicos, psicológicos, sociais e políticos.

Deve-se ressaltar que risco e vulnerabilidade são conceitos diferentes: Enquanto que o risco implica numa percepção à exposição a perigos externos em relação aos quais as pessoas têm um controle limitado – que pode ser mais ou menos previsível, onde se considera a probabilidade ou possibilidade de um evento indesejado – a vulnerabilidade está relacionada a magnitude dos impactos danosos de um possível acontecimento sobre os alvos afetados (PNUD, 2007; VEYRET, 2007).

A existência de uma inúmera quantidade de riscos resultou em diversas formas de abordagem. Veyret (2007) aponta que para esta complexa conjuntura de aspectos seja analisada de forma mais densa e específica, a literatura subdivide a vulnerabilidade de acordo com diferentes tipologias. O mesmo autor explica que os riscos podem ser enfocados segundo os tipos de processos, os tipos de perigo que podem permitir sua apreensão, a localização, os interesses econômicos, as decisões políticas, etc. de modo que diferentes fatores de riscos interagem uns com os outros, podendo pertencer simultaneamente a diversas categorias.

Portanto, para refinar o tratamento dos riscos e da vulnerabilidade frente a um determinado aspecto, faz-se necessário definir o espectro de abordagem com o

qual se quer trabalhar. Por exemplo, no campo das ciências sociais e das políticas públicas, o conceito mais utilizado é o de vulnerabilidade social, que segundo Abramovay (2002), é definida como:

uma situação em que os recursos e habilidades de um dado grupo social são insuficientes e inadequados para lidar com as oportunidades oferecidas pela sociedade. Essas oportunidades constituem uma forma de ascender a maiores níveis de bem-estar ou diminuir probabilidades de deterioração das condições de vida de determinados atores sociais segundo a classe que o risco está inserido.

Ao longo da literatura pertinente a esta temática, percebemos que há uma customização dos aspectos analisados, de sorte que a composição das variáveis é feita seguindo um estudo e seleção particularmente delineados para a situação específica a ser analisada. Por exemplo, em Costa e Dantas (2009), a noção multidimensional da vulnerabilidade permite avaliá-la de diversas formas: o referido trabalho aponta que o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS) está baseado em fatores como a privação de renda, a composição familiar, as condições de saúde e o acesso a serviços médicos, o acesso e a qualidade do sistema educacional, a possibilidade de obter trabalho com qualidade e remuneração adequadas, a existência de garantias legais e política etc.

Ao lado da dimensão social da vulnerabilidade, outra tendência atual são os estudos que envolvem situações classificadas como de vulnerabilidade ambiental. O enfoque dado por Lourenço *et al.* (2013) trata a vulnerabilidade ambiental como uma capacidade ou incapacidade do meio natural a resistir e/ou a recuperar-se, após sofrer impactos decorrentes de atividades antrópicas, consideradas normais ou atípicas. Uma avaliação conceitual muito próxima é compartilhada por Tagliani (2003 *apud* ESTEVES, 2011), onde a vulnerabilidade ambiental é vista como resultante dos atributos físico-naturais de uma área, representando o grau de suscetibilidade natural de um ambiente, ou a um impacto provocado por um uso qualquer.

Portanto, é a partir da integração das dimensões social e ambiental que surge a vulnerabilidade socioambiental. Conforme esclarece Esteves (2011), a

compilação dessas dimensões se justifica porque a vulnerabilidade aos riscos ambientais depende de fatores sociais, econômicos, tecnológicos, culturais, ambientais e a relação destes com o ambiente físico-natural, envolvendo, portanto, a dinâmica social e a dinâmica ambiental, esta última, inclusive, quando em estado de degradação. Alves (2009) define a vulnerabilidade socioambiental como a coexistência, cumulatividade ou sobreposição espacial de situações de pobreza/privação social e de situações de exposição a risco e/ou degradação ambiental.

A partir de uma pesquisa sobre o termo “indicadores de vulnerabilidade socioambiental” nos principais indexadores de periódicos científicos, Ojima (2012), concluiu que há um conjunto amplo de metodologias distintas e de abordagens, ora enfatizando os aspectos sociais, ora mais próximos das variáveis biofísicas. Para Ojima, estas variações entre os diversos indicadores produzidos são pequenas, apresentando diferenças mais significativas de acordo com a capacidade técnica de obtenção das informações ambientais mais refinadas (imagens de satélite de alta resolução, por exemplo) ou ainda sobre estudos mais detalhados sobre as características dos solos ou do relevo da região de estudo.

Neste sentido, a vulnerabilidade socioambiental possui a robustez conceitual necessária para traçar relações entre saneamento, saúde, meio ambiente e desenvolvimento econômico. Segundo Souza (2011), estas relações integram as discussões pertinentes aos campos de conhecimento da Saúde Coletiva, da Ecologia, da Economia, da Geografia, da Gestão Pública e Ambiental, entre outros, uma vez que os prejuízos causados pela ausência de saneamento na saúde do cidadão e do meio ambiente brasileiro constituem um sério obstáculo para o desenvolvimento econômico e social do país.

De acordo com Jacobi (2004), a dinâmica da urbanização pela expansão de áreas suburbanas produziu um ambiente urbano segregado e altamente degradado, com efeitos muito graves sobre a qualidade de vida de sua população, de modo que os problemas – e aqui se destaca aqueles diretamente vinculados ao saneamento básico – são resultado de práticas gerenciais inadequadas das autoridades locais, assim como também da falta de atenção, da omissão, da demora em colocar em prática ações pertinentes às soluções.

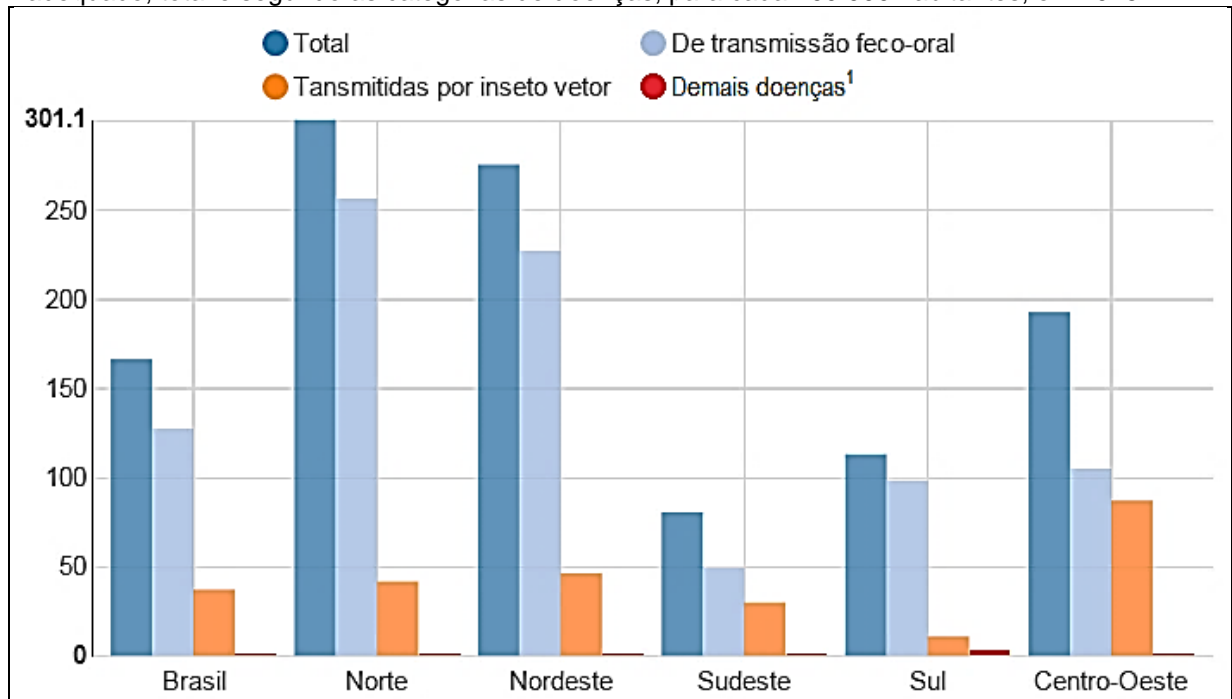
A ausência de coleta e tratamento do esgoto doméstico contribui para a contaminação do meio e para a proliferação de doenças, que interfere na qualidade de vida das pessoas. Diversos estudos apontam os efeitos significativos que a melhoria das condições sanitárias proporciona à saúde coletiva. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS 2009 apud ITB, 2013b), 88% das mortes por diarreias no mundo são causadas pelo saneamento inadequado. Destas mortes, aproximadamente 84% são de crianças.

Teixeira et al. (2014) avaliaram o impacto sobre a saúde pública das deficiências do saneamento básico no Brasil no período de 2001 a 2009, mostrando que neste período foram diretamente atribuídos às doenças relacionadas ao saneamento básico inadequado um total de 13.449 óbitos, além de uma média de 466.351 consultas de doenças de notificação compulsória e 758.750 internações hospitalares por ano. Os custos ao longo destes nove anos chegaram a marca total de R\$ 2,141 bilhões.

Em outro estudo, Teixeira et al. (2012 apud UHR; SCHMECHEL; UHR, 2016) buscam verificar a relação entre a cobertura dos serviços de saneamento básico e indicadores epidemiológicos para os países da América Latina no período de 2005 a 2010. Através de um modelo de regressão linear os autores verificam que, uma maior cobertura populacional por serviços de esgotamento sanitário tende a reduzir a mortalidade infantil nos países da América Latina, onde cerca de vinte mil crianças morrem ao ano em decorrência de doenças diarreicas.

Os estudos de vulnerabilidade socioambiental passaram a ser elaborados com maior amplitude no Brasil com a incorporação dos sistemas de informação geográficos que contribuíram muito para a capacidade de sobrepor variáveis espaciais, geográficas, sociais e demográficas em uma escala intra-municipal (OJIMA, 2012). Dentre os indicadores de desenvolvimento sustentável do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apresentam-se as internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, de modo que das seis categorias de doenças utilizadas em sua composição, temos as de transmissão feco-oral e as transmitidas por inseto vetor como quase que sua totalidade. A figura 5 apresenta este registro relativo ao ano de 2015.

Figura 5 – Internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, total e segundo as categorias de doenças, para cada 100.000 habitantes, em 2015



Fonte: IBGE, 2016b.

De fato, o saneamento básico é considerado como a intervenção pública na saúde de menor custo efetividade para combater casos de diarreia e outras doenças de transmissão feco-oral relacionadas à água, principalmente em países em desenvolvimento (BEGUM, AHMED e SEN, 2011 *apud* UHR; SCHMECHEL; UHR, 2016). O entendimento dos riscos e das vulnerabilidades associadas ao saneamento, em especial às condições de esgotamento sanitário, constitui um fundamental instrumento de gestão pública, devendo considerar as particularidades sociais, ambientais, demográficas, geográficas e econômicas das regiões em questão.

### **2.1.3 Legislação Ambiental vinculada ao tratamento de esgotos**

Logo após a Revolução de 30 – o início da chamada da ‘Era Vargas’ – e incentivado por um movimento republicano que tinha intenção de fazer do Brasil um país moderno, industrializado e desenvolvido, surgiu a primeira legislação brasileira que aborda a manutenção da qualidade da água: o Decreto n.º 24.643 de 10/07/1934, conhecido por Código de Águas (SILVESTRE, 2008).

De acordo com Veról e Volschan Jr. (2012), nas décadas seguintes o país passou por um grande vazio de caráter institucional e legal em relação à gestão da água que somente foi efetivamente rompido com a aprovação da Lei 6.938, de 31/08/1981, que criou a Política Nacional do Meio Ambiente, e instituiu o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e o CONAMA.

Desde então, uma série de legislações foi criada a fim de não somente estabelecer diretrizes gerais e procedimentos, mas também determinar padrões de qualidade das águas a serem obedecidos, constituindo, assim, os instrumentos legais aplicáveis ao controle da poluição, incluindo aquela devida aos esgotos sanitários gerados em áreas urbanas. Von Sperling (2005) alerta que os padrões de lançamento variam de país para país, de estado para estado, e devem refletir suas particularidades, estágio de desenvolvimento, nível econômico, compromisso com o meio ambiente e outros fatores.

Deste modo, a definição de valores máximos permissíveis de um dado poluente, seja em termos de sua concentração ou de sua carga, ou na própria qualidade de água que deva ser mantida no curso d'água em função de usos preponderantemente nele exercidos – e/ou a fixação de eficiências de remoção destes poluentes, devem nortear os projetos de engenharia das ETEs (VERÓL; VOLSCHAN JR., 2012). Vale ressaltar que obedecer aos padrões de qualidade não necessariamente garante a qualidade ambiental desejada para a bacia hidrográfica, uma vez que estas podem se encontrar já afetadas por outras fontes de poluição desde montante.

No município de Fortaleza, abordado durante o estudo de caso deste trabalho, temos dois principais órgãos ambientais da prefeitura: a Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle de Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (ACFOR) e a Secretaria Municipal do Urbanismo e Meio Ambiente (SEUMA). São a estes dois órgãos, a priori, que a Cagece deve reportar não somente seus laudos técnicos de controle de qualidade, mas também quaisquer outras informações quando solicitadas, como relatórios de conservação das ETEs, prognósticos dos serviços de esgotamento sanitário, documentação necessária para licenciamento das ETES, etc.

Dentre as diversas legislações ambientais que a Cagece deve cumprir observância – vide Anexo A – três delas são especialmente importantes por definirem os tipos de padrão ou diretrizes de interesse direto no que tange à qualidade da água em corpos d'água:

- a. A Resolução nº. 357/2005 – Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento e estabelecimento das condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005);
- b. A Resolução nº. 430/2011 – Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357/2005 (BRASIL, 2011a);
- c. A Portaria nº154/2002 – Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras (CEARÁ, 2002).

De acordo com Verol e Volschan Jr. (2012), a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), que substitui a CONAMA nº 20/1986, estabelece a qualidade ambiental desejada para as bacias hidrográficas em função de usos nelas exercidos, assim como o padrão de lançamento de efluentes válido para todo o território nacional. Ambos os padrões estão inter-relacionados no sentido de que têm como objetivo maior a preservação da qualidade no corpo d'água, e nesse sentido, a qualidade de água dos efluentes deve satisfazer tanto ao padrão de lançamento como não comprometer a qualidade de água do corpo hídrico receptor. Dos Santos (2007), observa que foi através desta resolução que foi instituída a divisão das águas do território nacional em doces (salinidade até 0,05%), salobras (salinidade entre 0,05% e 3,0%) e salinas (salinidade acima de 3,0%).

Sabendo que a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) já tinha deixado em seu art. 44 algumas questões sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes definidos na mesma para complementação posterior, estas constituíram um dos objetivos da Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011).

O trabalho [que resultou na Resolução CONAMA nº 430/2011] teve a participação dos mais diversos setores dentre os quais representantes de governos estaduais, MMA, IBAMA, Ministério das Cidades, ANA, ANVISA,



entidades da sociedade civil, laboratórios de análises, consultores, empresas do setor de saneamento e indústrias o objetivo inicial de atender o disposto nas Resoluções Nº 397/2008 [que altera parte da Resolução Conama Nº 357/2005] e na Resolução Nº 393/2007 (CERON, 2012).

Ainda no âmbito estadual, o Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA) estabelece na Resolução COEMA nº 20/09 (CEARÁ, 2009) os critérios e diretrizes para instalação de ETEs do tipo tanque séptico associado a filtro anaeróbio para habitações de interesse social, localizadas em áreas desprovidas de sistema público de esgoto (CEARÁ, 2009).

A Portaria nº.154/2002 da SEMACE (CEARÁ, 2002) dispõe em seu artigo 4º os padrões de qualidade para efluentes líquidos tanto para as indústrias ou qualquer fonte poluidora localizadas em áreas não dotadas de rede pública de esgoto provida de sistema de tratamento, como também para das instituições prestadoras de serviços públicos de esgotamento sanitário. Destaca-se que alguns valores são específicos para o tratamento via lagoas de estabilização. A tabela 2 apresenta os principais parâmetros de ambas as legislações estaduais citadas.

Tabela 2 – Valores máximo permissível segundo legislações do estado do Ceará

Parâmetro	Portaria SEMACE nº. 154/02 – lagoas de estabilização	Portaria SEMACE nº. 154/02 – demais tratamentos	Resolução COEMA nº 20/09 <sup>1</sup>
pH	7,5 – 10	5,0 - 9,0	5,0 - 9,0
Temperatura <sup>2</sup>	40 °C	40 °C	40 °C
Materiais sedimentáveis <sup>3</sup>	1,0 ml/L	1,0 ml/L	1,0 ml/L
Substâncias solúveis em hexano	20,0 mg/L <sup>4</sup> 50,0 mg/L <sup>5</sup>	20,0 mg/L <sup>4</sup> 50,0 mg/L <sup>5</sup>	-
Materiais flutuantes	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	60,0 mg/L <sup>6</sup>	200,0 mg/L	450,0 mg/L
NMP de coliformes fecais	5000 CF/100 mL	5000 CF/100 mL	5000 CF/100 mL
Amônia total	5,0 mg N/L	5,0 mg N/L	-
Sólidos em suspensão	150,0 mg/L	50,0 mg/L	180,0 mg/L

Fonte: Ceará, 2002 (adaptado); Ceará, 2009 (adaptado).

- (1): Para ETEs tipo tanque séptico associado a filtro anaeróbio para habitações de interesse social;  
 (2): A elevação da temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C;  
 (3): Em teste de 1 hora em Cone Imhoff;  
 (4): Óleos minerais;  
 (5): Óleos vegetais e gorduras animais;  
 (6): Filtrada em filtro de fibra de vidro e poro com diâmetro (Ø) entre 0,7 à 1,0 µm

A Portaria SEMACE nº. 154/02 (CEARÁ, 2002) prevê em seu Artigo 7º que as instituições prestadoras de serviços públicos de esgotamento sanitário que não conseguirem atender aos padrões de qualidade, devem apresentar após a identificação da não conformidade um estudo técnico justificando a não possibilidade de alteração da(s) unidade(s) de tratamento de efluentes. Em seguida, a prestadora terá 12 meses para apresentação de projeto técnico de adequação de suas ETEs a esta Portaria e, após licenciado, terá mais 12 meses para implementação do projeto.

Dispondo sobre o licenciamento ambiental simplificado de sistemas de esgotamento sanitário, temos a Resolução CONAMA nº. 377/2006 (BRASIL, 2006a), que estabelece que são consideradas ETEs de pequeno porte as estações com vazão nominal de projeto menor ou igual a 50 L/s ou com capacidade para atendimento até 30.000 habitantes, especialmente importante no estudo de caso a ser apresentado, uma vez que todas as ETEs analisadas enquadram-se dentro desta classificação.

#### **2.1.4 Níveis de tratamento**

A fim de preservar as condições de qualidade dos corpos receptores, bom como do ecossistema associado a este, o lançamento de esgotos sanitários deve ser feito sob o atendimento de padrões técnicos de qualidade, especificados por legislação particular de cada território. O atendimento destas condições é alcançado segundo o emprego de um sistema de tratamento com tecnologias que podem apresentar diversos princípios, configurações e percentuais de remoção de contaminantes.

Didaticamente, costuma-se dividir o tratamento nos níveis preliminar, primário, secundário, terciário e avançado (DOS SANTOS, 2007; JORDÃO; PESSÔA, 1995).

O tratamento preliminar, que pode vir a ser constituído por gradeamento, peneiramento e unidade de desarenação, visa uma adequação inicial do efluente para ser posteriormente encaminhado aos níveis seguintes de tratamento, fazendo uso de mecanismos físicos para a remoção de sólidos grosseiros. Conforme lembra Dos Santos (2007), o tratamento preliminar é responsável por evitar obstruções e

danos aos equipamentos da eletromecânicos e reduzir o volume útil do reator biológico por ocupado por biomassa.

Um detalhe construtivo particularmente importante das unidades de desarenação de remoção manual a ser discutido na seção de resultado diz respeito ao trecho da NBR 12.209 (ABNT, 1992) que orienta a construção de dois canais paralelos, de modo que enquanto um está operando o outro passa pelo processo de limpeza.

Comumente associado às unidades de remoção citadas, é feita a medição de vazão ainda no estágio preliminar, por meio de calha Parshall, vertedores, sensores eletromagnéticos ou ultrassônicos. Ainda neste estágio, pode haver necessidade de um tanque equalizador para amortizar as variações de cargas orgânica e hidráulica, de sorte que este deve conter um sistema que não permita a decantação de sedimentos para evitar a formação de odores.

No nível de tratamento primário, as operações unitárias são aplicadas objetivando a remoção de sólidos sedimentáveis, originando o chamado lodo primário, fazendo uso de decantadores ou flotadores. Quando feito uso de químicos, o tratamento passa a ser classificado como primário avançado, apresentando-se na forma de decantação quimicamente assistida ou flotação quimicamente assistida.

Os decantadores são, via de regra, de seção retangular – com o fundo levemente inclinado a fim de facilitar a deposição do lodo na região própria para a retirada deste – ou circular – com alimentação feita pelo centro e com a coleta de efluente tratado pelas bordas, vertedores de saída. Ambas as modalidades podem contar com sistema de raspadores.

Por sua vez, o funcionamento dos flotadores está baseado na insulflação de ar por meio de uma câmara pressurizada, de modo que, uma vez tendo densidade menor que a da fase líquida, as bolhas direcionam-se para a superfície arrastando as partículas aderidas em sua superfície, de acordo com a afinidade química que acontece nesta interface ou pelo próprio arraste mecânico do movimento. A flotação é usualmente utilizada em processos que apresentam considerável quantidade de óleos e gorduras, comum em efluentes de petroquímicas, matadouros, curtumes, pescados, lavanderias, etc. (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

De acordo com Martins (2014), nos processos do tratamento secundário há predominância dos mecanismos biológicos, com o objetivo de remoção da matéria orgânica, que se apresenta na forma de matéria orgânica dissolvida – demanda bioquímica de oxigênio (DBO) solúvel ou filtrada – e matéria orgânica em suspensão – DBO suspensa ou particulada – cujos sólidos de sedimentabilidade mais lenta persistem no esgoto. Os micro-organismos utilizam a matéria biodegradável para a manutenção de suas funções vitais, estabilizando-a. São exemplos de processos que se enquadram nessa categoria: sistemas anaeróbios de alta eficiência, lodos ativados, lagoas de estabilização, filtros biológicos, etc.

Uma série de componentes do efluente como nutrientes, patógenos, compostos não-biodegradáveis, sólidos em suspensão remanescente do tratamento secundário, sólidos inorgânicos dissolvidos e metais pesados podem ser removidos pelo chamado tratamento terciário (METCALF & EDDY, 2003). A depender das características do efluente, dos níveis de remoção das etapas anteriores e dos padrões buscados ao final do tratamento, diversas técnicas podem ser utilizadas ou combinadas (FILHO, 2009):

- a. separação por membranas: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa;
- b. troca iônica;
- c. precipitação;
- d. adsorção em carvão ativado;
- e. oxidação com ozônio, dióxido de cloro ou peróxido de hidrogênio.

### ***2.1.5 Princípios das tecnologias abordadas no estudo de caso***

As seções seguintes fazem um levantamento bibliográfico das tecnologias que compõem as ETEs visitadas durante a realização do estudo de caso, abordando pontos como definições, vantagens, desvantagens e demais características pertinentes ao entendimento holístico do problema que este trabalho se propõe a elucidar.

### 2.1.5.1 Decanto-digestor associado a filtro anaeróbio

Decanto-digestores são tanques simples ou compartimentados utilizados para reter, por decantação, sólidos contidos nos esgotos, propiciando a decomposição dos sólidos orgânicos decantados no seu interior, através da digestão anaeróbia, onde ocorre um acúmulo temporário dos resíduos que são, posteriormente, removidos em períodos de meses ou anos (GALVÃO JÚNIOR; MORENO; MAGALHÃES, 2001).

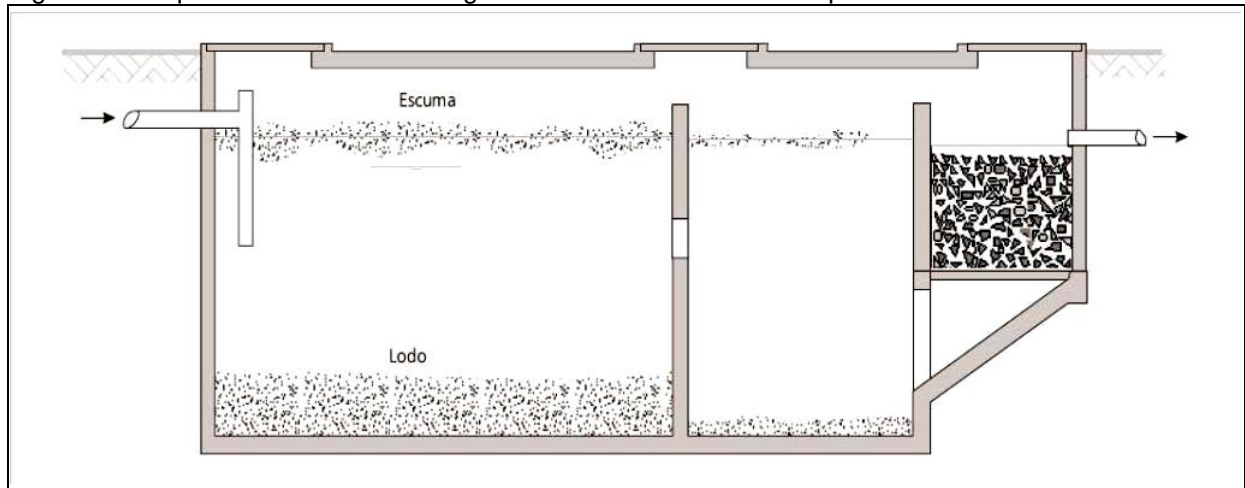
Conforme Chernicaro (1997), o decanto-digestor, também chamado de tanque séptico, constitui-se com umas das principais alternativas para o tratamento primário de esgotos residenciais ou pequenos aglomerados populacionais. Criado na França em 1872 por Jean Louis Mouras, foi somente em 1963 que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabeleceu o uso de tanque séptico seguido de infiltração no terreno através de sumidouro, valas de infiltração ou valas de filtração, através da Norma Brasileira nº 41 (AZEVEDO NETO, 1985 *apud* BEZERRA, 2004). Neste sentido, avanços legais foram percebidos na NBR 7229 (ABNT, 1993) e na NBR 13969/97 (ABNT, 1993) com o indicativo de utilização do filtro anaeróbio de leito fixo com fluxo ascendente como tratamento complementar aos decanto-digestores.

A NBR 7229 indica a utilização de sistemas somente para (ABNT, 1993):

- a. área desprovida de rede pública coletora de esgoto;
- b. alternativa de tratamento de esgoto;
- a. em áreas providas de rede coletora local retenção prévia dos sólidos sedimentáveis, quando da utilização de rede coletora com diâmetro e/ou declividade reduzidos para transporte de efluente livre de sólidos sedimentáveis.

O filtro anaeróbio pode ser definido como um reator biológico onde o esgoto é depurado por meio de micro-organismos não aeróbios, dispersos tanto no espaço vazio do reator quanto nas superfícies do meio filtrante (ABNT, 1997). A figura 6 ilustra a representação esquemática de um decanto-digestor com filtro anaeróbio acoplado

Figura 6 – Esquema de um decanto-digestor com filtro anaeróbio acoplado



Fonte: ANDRADE NETO; CAMPOS, 1999.

De acordo com Andrade Neto (2000 *apud* BEZERRA, 2004), o sistema de decanto-digestor associado a filtro anaeróbio (DD-FAN) é vantajoso no sentido de apresentar um reator resistente a variação de efluente seguido de um reator eficiente sobre a parcela dissolvida do esgoto, além de não ter necessidade de tratamento preliminar e uso de operador com elevada qualificação técnica. Entretanto, os sistemas DD-FAN dificilmente produzem efluente que conseguem satisfazer os padrões exigidos pela legislação brasileira, muitas vezes comprometendo a qualidade dos corpos hídricos receptores quando não se faz uso de um sistema de pós-tratamento (CHERNICARO, 2011). A própria NBR 13969 corrobora com a análise anterior, quando apresenta as faixas de percentual de remoção do sistema DD-FAN (tabela 3).

Tabela 3 – Faixas prováveis de remoção dos poluentes pelo sistema DD-FAN, conforme NBR 13969

Parâmetro	Percentual de remoção
DBO <sub>5,20</sub> <sup>1</sup>	40 a 75
DQO <sup>2</sup>	40 a 70
SNF <sup>3</sup>	60 a 90
Sólidos sedimentáveis	70 ou mais
Nitrogênio amoniacal	-
Nitrato	-
Fosfato	20 a 50
Coliformes fecais	-

Fonte: Adaptado de ABNT, 1997.

Legenda: 1: Demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias, a 20°C;

2: Demanda química de oxigênio; 3: sólidos não filtráveis.

### 2.1.5.2 *Reatores UASB associados a FSA*

De acordo com Costa (2009), até o início da década de 90, a comunidade técnica costumava ser cética quanto ao uso de processos de tratamento avançado por meio anaeróbio, de modo que os processos anaeróbios eram aplicados basicamente em sistemas de fossas sépticas, lagoas anaeróbias e fases específicas no tratamento do lodo, como na utilização de digestores.

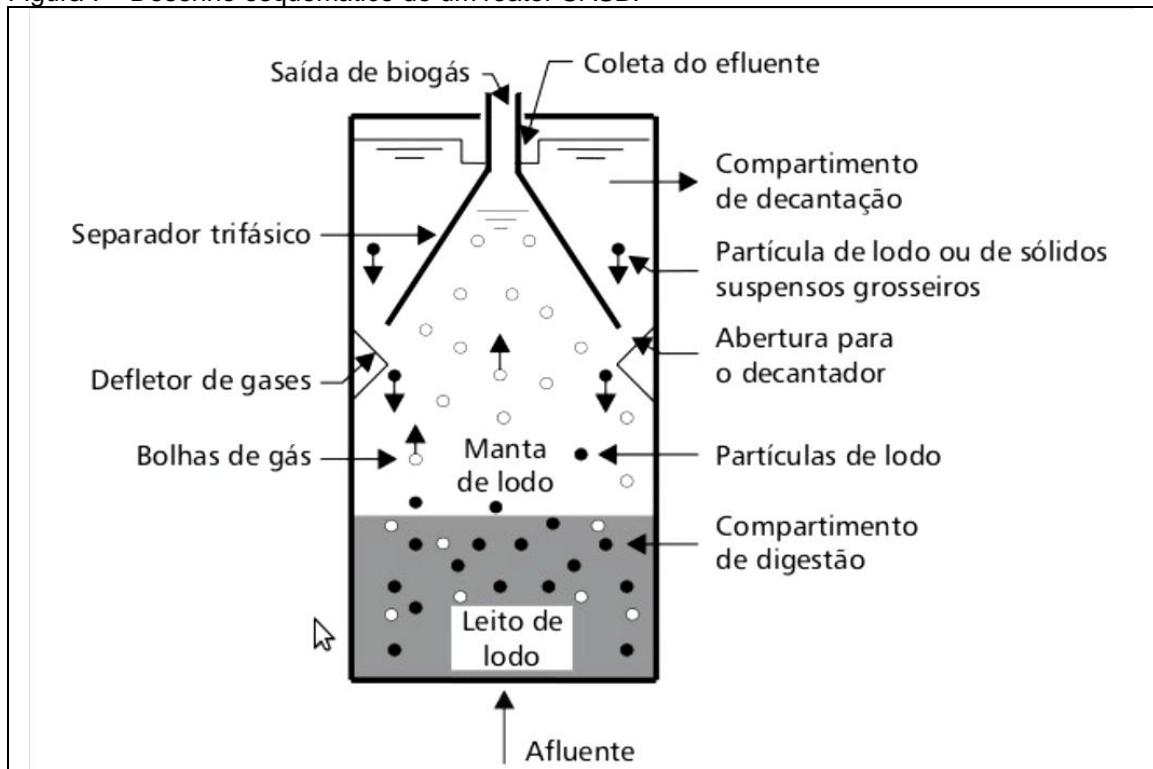
Entretanto, os promissores resultados técnicos, operacionais e econômicos decorrentes de pesquisas na área foram responsáveis por impulsionar o conhecimento e aplicação dos ditos sistemas de alta taxa, que para baixos tempos de detenção hidráulica, são capazes de reter grandes quantidades de biomassa com a utilização de volumes consideravelmente menores que os digestores anaeróbios tradicionais (METCALF & EDDY, 2003). No Brasil, grande parte destes esforços foram fomentados pelo Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB), possibilitando a execução de pesquisas de forma cooperada em diversos segmentos temáticos do saneamento, dentre eles o desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias de tratamento de esgoto sanitário (PROSAB, 2013).

Os reatores UASB, sigla que corresponde ao termo dado pela literatura em inglês “Upflow Anaerobic Sludge Blanket” para designar os “Reatores de Manta de Lodo”, são a vertente de tecnologia anaeróbia de alta taxa mais difundida atualmente. No Brasil, pode-se encontrar traduções diferentes para nomear a mesma tecnologia, como Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente.

O tratamento com uso de reator UASB deve ser precedido de etapa preliminar, com gradeamento e unidade desarenadora. Após estas fases, o efluente entra no reator pela parte inferior, percorrendo-o de forma ascendente a partir de uma distribuição homogênea. O sentido ascendente do fluxo mantém o lodo formado em suspensão na parte inferior do reator, de modo que há formação de uma camada composta de grânulos de lodo ativado, decorrentes do fenômeno da floculação. Na região identificada como “manta de lodo”, espera-se verificar uma intensa ação dos micro-organismos anaeróbios (COSTA, 2009).

O efluente continua a percorrer o caminho ascendente, de modo que o líquido pode ser colhido na zona de decantação, na parte superior, enquanto o lodo é incorporado a manta de lodo da região inferior. Um oportuno sistema composto por defletores e um separador trifásico é responsável por direcionar a saída dos gases pela parte superior, possibilitando a separação das três fases no reator UASB. Na figura 7 temos um desenho esquemático de um reator UASB.

Figura 7 - Desenho esquemático de um reator UASB.



Fonte: Chernicharo et al. (1999 *apud* ZANIN, 2011).

É importante ressaltar que a condição climática brasileira de temperaturas elevadas ou moderadas durante grande parte do ano favorece a utilização de processos anaeróbios para decomposição da matéria orgânica e, se assim não o fosse – como ocorre nos países de clima frio, haveria necessidade de aquecimento dos reatores (Dos Santos, 2007). Outras características do processo anaeróbio empregada nos reatores UASB são levantadas no quadro 2, observando possíveis vantagens e desvantagens no dessa tecnologia em detrimento aos processos aeróbios convencionais.



Quadro 2 – Vantagens e desvantagens na utilização de reatores UASB em relação aos processos aeróbios convencionais

Vantagens	Desvantagens
Baixa demanda de área	Possibilidade da emissão de maus odores
Baixo custo de implementação e operação	Baixa capacidade do sistema em tolerar cargas tóxicas
Baixa produção de lodo	Elevado intervalo de tempo necessário para partida no sistema
Baixo consumo de energia (apenas para elevatória de chegada, quando for o caso)	Necessidade de uma etapa de pós-tratamento
Satisfatória eficiência de remoção de DBO e DQO, na ordem de 65 a 75%	
Possibilidade de rápido reinício, mesmo após longas paralizações	
Elevada concentração e boa desidratabilidade do lodo excedente	

Fonte: Chernicharo, 1997.

A mistura de gases geradas pelo processo anaeróbio, conhecida por biogás, é majoritariamente composta por metano (70 a 80%) e dióxido de carbono (15 a 25%), mas também pode apresentar outros componentes como monóxido de carbono, gás nitrogênio, gás hidrogênio, gás sulfídrico e oxigênio (Campos, 1999).

Conforme lembra Dos Santos (2007), o biogás deve ser considerado como emissão poluidora, devendo este ser encaminhado para tratamento (queima). Entretanto, por apresentar bom poder calorífico, pode ser aproveitado em motores de combustão interna, distribuído em rede após tratamento, alimentação de caldeiras e geração de energia elétrica.

Apesar de reatores anaeróbios poderem apresentar elevadas concentrações de biomassa ativa em seu volume reacional, com altas eficiências na remoção de cargas orgânicas e de sólidos em suspensão e com curtos tempos de detenção hidráulica, Speece (1996 *apud* FONTANA 2007) lembra que normalmente a qualidade do efluente tratado não consegue atender aos padrões legais para seu lançamento direto em corpos hídricos, apresentando necessidade de um pós tratamento.

Neste contexto, o filtro submerso aerado (FSA) surge com uma promissora modalidade de pós-tratamento. Existem diversas configurações de FSA,

mas que são fundamentalmente regidas pelo mesmo princípio: um reator de escoamento contínuo com sistema de aeração e recheio inerte que atua como suporte para os micro-organismos, onde o meio poroso é mantido submerso em sua totalidade. Tal como o UASB, podemos também classificar o FSA como um reator trifásico, uma vez que apresenta (CHERNICHARO, 2001):

- a. fase sólida: constituído pelo meio suporte e pelas colônias de micro-organismos que nele se desenvolve, sob a forma de biofilme;
- b. fase líquida: composta pelo meio líquido em permanente escoamento através do meio poroso;
- c. fase gasosa: formada pela aeração artificial e, em reduzida escala, pelos gases formados como subprodutos da atividade biológica.

É interessante perceber a oportuna complementariedade da junção de tratamentos com UASB e FSA, uma vez que reduzida uma grande parte da carga orgânica no UASB, o FSA apresenta capacidade de tratamento e clarificação de despejos suficientemente diluídos, além de não exigir demasiado espaço físico, possuírem aspecto modular, simplicidade operacional e ter menor produção de lodo, quando comparado ao sistema de lodos ativados, por exemplo (FONTANA, 2007; GONÇALVES *et. al* 1993).

### 2.1.5.3 Lagoas de estabilização

Não há uma unanimidade quanto ao surgimento das lagoas de estabilização. Nascimento e Ferreira (2007) afirmam que sua origem, de forma acidental, data de 1924 na Califórnia; já SILVA e MARA (1979 *apud* SILVEIRA, 2011). afirmam que as lagoas de estabilização de esgotos foram descobertas em 1901, após a construção de uma lagoa de armazenamento de esgotos em San Antônio, Texas, EUA (lago Mitchel) na qual se verificou que os efluentes possuíam melhor qualidade que os afluentes, também de forma acidental.

Fato é que desde então a capacidade de tratamento de efluentes das lagoas de estabilização vem sendo continuamente estudada, explorada e aperfeiçoada, buscando equilíbrio entre a eficiência e a economia no tratamento. De acordo com Von Sperling (1996), os sistemas de lagoas de estabilização constituem-

se na forma mais simples de tratamento dos esgotos e, uma vez atendidos os pré-requisitos básicos de área, fatores como operação simplificada, baixa ou nenhuma necessidade de equipamentos e ganhos de eficiência em regiões de temperatura e insolação elevadas estão associados a uma significativa adoção desta tecnologia, sobretudo em países de clima quente como o Brasil.

Tal como elucida Dos Santos (2007), o principal objetivo do tratamento é a estabilização do material carbonáceo, fundamentalmente envolvendo a atividade metabólica de algas e bactérias:

“As algas, através da fotossíntese, produzem oxigênio, utilizando o CO<sub>2</sub> pelas bactérias. Estas usam o oxigênio formado para oxidar o material orgânico biodegradável, liberando mais oxigênio, dando continuidade ao processo. De forma complementar, na ausência de oxigênio, microorganismos anaeróbios podem transformar o material orgânico em biogás, por meio de processo de digestão anaeróbia.” (DOS SANTOS, 2007)

O processo de estabilização da matéria orgânica demanda elevados tempos de detenção hidráulica (TDH) – inclusive em países de clima quente, da ordem de 20 a 30 dias – de sorte que o líquido permanece no sistema temposuficiente para que haja uma completa remoção de ovos de helmintos e eficiência elevada de remoção de coliformes fecais (VON SPERLING, 1999 *apud* CHERNICARO, 2001). Assim, estes sistemas podem alcançar uma boa qualidade microbiológica, desde que respeitado os valores estimados de TDH, exigindo grande volumes e áreas.

A otimização construtiva de um sistema de lagoas de estabilização – que tenda a diminuir TDH sem comprometer a eficiência desejada – está associada a disposição de diferentes tipos de lagoas em série. Os principais tipos de lagoas de estabilização pertinentes a este trabalho – por terem sido identificadas durante o estudo de caso – são (MARA, 1975; VON SPERLING, 1996; DOS SANTOS, 2007; JORDÃO; PESSOA, 1995):

- a) lagoa anaeróbia: recebe o esgoto bruto proveniente da etapa preliminar – podendo suportar cargas de DBO acima de 400 kg DBO<sub>5,20</sub>/ha.dia – e geralmente apresenta profundidade superior a 3 metros, característica

esta que permite o crescimento dos microorganismos anaeróbios. A remoção de DBO esperada é de 50 a 70%, com valores de TDH relativamente baixos, 3 a 5 dias, de modo que a lagoa anaeróbia gera uma significativa redução de volume e área total para o tratamento, caso não fosse adotada na série de lagoas. Entretanto, é pertinente ressaltar que o uso da lagoa anaeróbia na série não é obrigatório, sobretudo quando se busca evitar a emissão de maus odores;

- b) lagoa facultativa: apresenta profundidades de 1,5 a 2,5 metros, permitindo a existência de um ambiente aeróbio na parte superior – onde ocorre oxidação da DBO solúvel – e um anaeróbio na região inferior – com estabilização da matéria biodegradável por digestão anaeróbia. Apresenta valores de TDH que podem exceder 20 dias e eficiência de remoção de DBO esperada de 70 a 90%, onde as cargas de DBO que devem ser inferiores a 300 kg DBO<sub>5,20</sub>/ha.dia;
- c) lagoa de maturação: apresenta ambiente predominantemente anaeróbio, com profundidade da ordem de 1,0 metro e tem como principal objetivo a eliminação de microorganismos patogênicos pela incidência da radiação solar ultravioleta, conjuntamente com valores elevados de pH e oxigênio dissolvido. São usualmente projetadas como uma série de lagoas, ou como uma lagoa única com divisões por chicanas, apresentando TDH entre 5 e 15 dias e capacidade de receber cargas de DBO inferiores a 150 kg DBO<sub>5,20</sub>/ha.dia.

As diferentes configurações que um sistema de lagoas de estabilização pode assumir devem ser avaliadas não somente sob a ótica de critérios clássicos de dimensionamento – como as taxas esperadas de remoção de contaminantes, vazão e THD – mas também incluir fatores como área disponível, proximidade de populações, custos de implantação e manutenção, etc. O Quadro 3 apresenta uma série de vantagens e desvantagens na utilização de cada um dos tipos de lagoas de estabilização anteriormente apresentados, que ajudam a compreender melhor no que incorre a aplicação de cada modalidade.

Quadro 3 – Vantagens e desvantagens na utilização de lagoas de estabilização

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Lagoa facultativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficiência na remoção de DBO e patogênicos;</li> <li>- Construção, operação e manutenção simples;</li> <li>- Reduzidos custos de implantação e operação;</li> <li>- Ausência de equipamentos mecânicos;</li> <li>- Requisitos energéticos praticamente nulos;</li> <li>- Satisfatória resistência a variações de carga;</li> <li>- Remoção de lodo necessário apenas após períodos superiores a 20 anos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevados requisitos de área;</li> <li>- Dificuldade em satisfazer padrões de lançamento bem restritivos;</li> <li>- A simplicidade operacional pode trazer o descaso da manutenção (crescimento de vegetação);</li> <li>- Possível necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões rigorosos;</li> <li>- Performance variável com as condições climáticas (temperatura e insolação);</li> <li>- Possibilidade do crescimento de insetos.</li> </ul>
Lagoa anaeróbia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem lagoas facultativas;</li> <li>- Requisitos de área inferiores aos das lagoas facultativas únicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem lagoas facultativas</li> <li>- Possibilidade de maus odores;</li> <li>- Necessidade de um afastamento razoável às residências circunvizinhas;</li> <li>- Necessidade de remoção contínua ou periódica (intervalo de alguns anos) do lodo na lagoa anaeróbia</li> </ul>
Lagoa de Maturação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem à lagoa precedente;</li> <li>- Razoável eficiência na remoção de nutrientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem à lagoa precedente</li> </ul>

Fonte: Von Sperling (1996 *apud* NASCIMENTO; FERREIRA, 2007)

#### 2.1.5.4 Lodos Ativados

O sistema de lodos ativados é um processo aeróbico aplicado para o tratamento de águas residuárias industriais e domésticas em situações que exijam elevada qualidade do efluente, com baixos requisitos de área e elevadas vazões. A operação destes sistemas é mais complexas que as tecnologias anteriormente enunciadas, visto que há maior grau de mecanização e maior produção de lodo (DOS SANTOS, 2007).

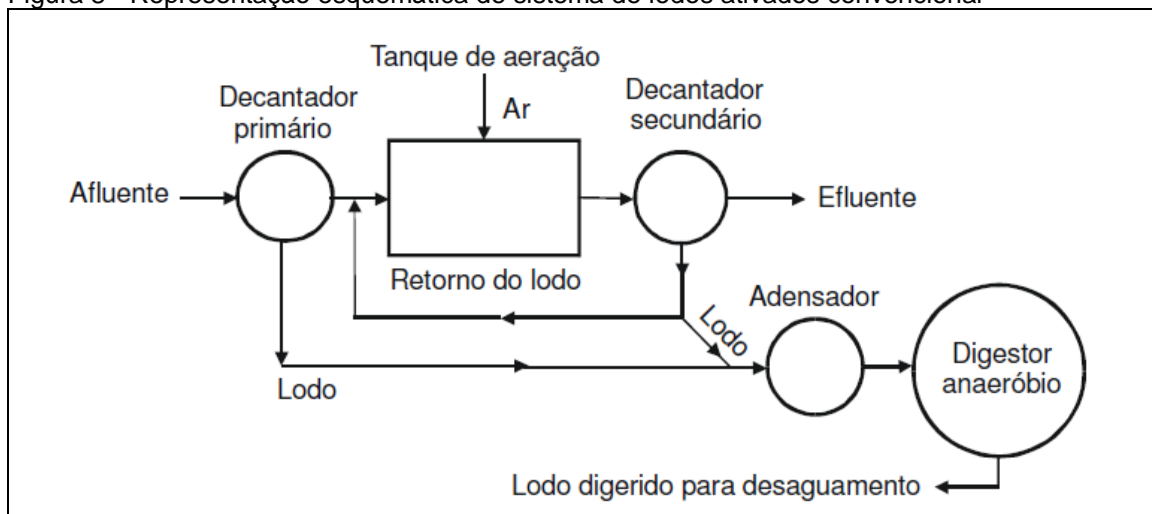
Os seguintes itens são partes integrantes e a essência de qualquer sistema de lodos ativados de fluxo contínuo (VON SPERLING, 1997; CHERNICARO, 2001):

- a) tanque de aeração (reator);
- b) tanque de sedimentação (decantador secundário);
- c) recirculação de lodo;
- d) retirada de lodo excedente.

Metcalf e Eddy (2001 *apud* REAMI, 2011) lembram que o processo de lodos ativados pode ser enquadrado como tratamento aeróbio, de crescimento em suspensão na massa líquida – não há meio suporte de biomassa e há crescimento de sólidos biológicos na forma de flocos, suspensos devido o mecanismo de aeração – e com retenção de biomassa. A oxigenação do sistema pode ser feita por sistemas com difusores, aeradores superficiais ou até mesmo pela introdução direta de oxigênio puro nos tanques.

A aplicação de lodos ativados pode se dá através dos sistemas contínuos – ditos convencional ou de aeração prolongada – ou por batelada. No sistema convencional (figura 8), parte da matéria orgânica é retida no decantador primário, reduzindo a demanda de energia para aeração e volume do reator. Conforme Dos Santos (2007), no tanque de aeração ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica, onde os microorganismos convertem o substrato orgânico presente nos esgotos em CO<sub>2</sub> e lodo biológico, removendo-os do líquido.

Figura 8 - Representação esquemática de sistema de lodos ativados convencional



Fonte: Além Sobrinho (2007 *apud* REAMI, 2011)

Uma vez encaminhado ao decantador secundário, grande parte do lodo decantado neste estágio retorna ao tanque de aeração por bombeamento, com vistas a manter uma proporção adequada entre concentração de microrganismos e a carga orgânica afluyente, enquanto uma pequena parcela é retirada para tratamento e posterior disposição final sempre que a concentração de sólidos biológicos ultrapassa as condições de projeto, já que o crescimento da biomassa é contínuo (JORDÃO; PESSÔA, 2005 *apud* OLIVEIRA, 2014). Inclusive, estas taxas específicas de recirculação são ditadas por um parâmetro fundamental, a idade de lodo, que pode ser definido como a relação entre a quantidade de lodo existente no reator e a quantidade de lodo biológico removida por dia, de sorte que busca-se sempre uma grande quantidade de biomassa ativa no reator sem exceder uma quantidade que prejudique a performance geral, fosse com uma sobrecarga do decantador secundário, fosse com dificuldade de aeração devido a grande concentração de biomassa (PIVELI, 2006).

No sistema de lodos ativados convencional, o lodo excedente deve sofrer tratamento adicional, na linha de tratamento do lodo, usualmente compreendendo adensamento, digestão e desidratação. A digestão visa diminuir a quantidade de matéria orgânica, que torna o lodo putrescível (CHERNICHARO, 2001).

Na modalidade de aeração prolongada, não há decantador primário e nem mecanismos adicionais de estabilização do lodo, de modo que o sistema apresenta maior volume e produz um lodo já mais mineralizado (METCALF & EDDY, 2001). Conforme Dos Santos (2007), um maior volume aliado a uma idade de lodo significativamente maior – quando comparados à modalidade convencional – resulta na disponibilização de menos matéria orgânica, cabendo as bactérias necessitarem fazerem uso de seu próprio carbono para a manutenção de de seus processos metabólicos. A tabela 4 elenca uma série de comparativos técnicos entre as modalidades convencional e aeração prolongada.

Tabela 4 – Principais características dos sistemas de lodos ativados utilizados para o tratamento de esgotos domésticos

Item geral	Item específico	Modalidade		
		Convencional	Aeração prolongada	
Idade do lodo	Idade do lodo (dias)	4 a 10	18 a 30	
Relação A/M	Relação A/M (kgDBO/dia.kgSSVTA)	0,25 a 0,50	0,07 a 0,15	
	DBO (%)	85 a 95	93 a 98	
	DQO (%)	85 a 90	90 a 95	
	Sólidos em suspensão (%)	85 a 95	85 a 95	
	Amônia (%)	85 a 95	90 a 95	
	Nitrogênio (%) (1)	25 a 30	15 a 25	
	Fósforo (%) (1)	25 a 30	10 a 20	
Eficiência de remoção	Coliformes (%)	60 a 90	70 a 95	
	Área requerida <sup>1</sup>	Área (m <sup>2</sup> /hab)	0,2 a 0,3	0,25 a 0,35
	Volume total	Volume (m <sup>3</sup> /hab)	0,10 a 0,15	0,10 a 0,15
Energia	Potência instalada (W/ hab)	2,5 a 4,5	3,5 a 5,5	
	Consumo energético (kWh/hab.ano)	18 a 26	20 a 35	
Volume de lodo	A ser tratado - (L lodo/hab.dia)	3,5 a 8,0	3,5 a 5,5	
	A ser disposto (L lodo/hab.dia)	0,10 a 0,25	0,10 a 0,25	
Massa de lodo	A ser tratado - (g ST/hab.dia)	60 a 80	40 a 45	
	A ser disposto - (g ST/hab.dia)	30 a 45	40 a 45	
Custos <sup>2</sup>	Implantação (R\$/hab)	80 a 150	70 a 120	
	Operação (R\$/hab.ano)	10 a 18	10 a 18	

Fonte: adaptado parcialmente de VON SPERLING (1997 *apud* CHERNICHARO, 2001)

(1): Áreas inferiores podem ser obtidas utilizando-se desidratação mecânica. Os valores de área representam a área de toda a ETE, e não apenas das unidades;

(2): 1 US\$ = R\$ 2,70 (1º semestre/2001);



## 2.2 Apoio multicritério à decisão

Sempre que estamos diante de um problema que possui mais de uma alternativa para sua solução, uma decisão precisa ser tomada (Gomes; Gomes, 2014). De acordo com Jones (1964), o ato de “decidir” pode ser definido como escolher de um curso de ação por quem decide, a busca do meio mais eficaz disponível para alcançar o(s) objetivo(s) e resolver o problema que o preocupa. Deste modo, a decisão caracteriza-se como a finalidade de um processo, o chamado processo de tomada de decisão.

É fácil perceber que cotidianamente as pessoas – individualmente ou em grupo – tomam decisões com diferenciados graus de complexidade e importância, e que estas podem conter ou não aspectos subjetivos, muitas vezes conflituosos entre as partes. De decisões simples, que podem pouco impactar e serem tomadas rapidamente, a decisões complexas, fundamentadas em análises técnicas e de consequências consideravelmente relevantes.

Uma decisão é dita complexa quando (CHURCHILL, 1990, *apud* ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001):

- a. envolvem incertezas sobre o caminho a seguir, sobre quais os objetivos a serem alcançados, sobre quais as diferentes alternativas de solução, sobre os grupos de pessoas envolvidas e/ou atingidas;
- b. há conflitos de valores e objetivos entre os múltiplos grupos interessados na decisão;
- c. existem diferentes relações de poder entre os grupos de interesse envolvidos no processo decisório;
- d. devem ser levados em conta múltiplos critérios na avaliação das alternativas que, a princípio, não estão claros;
- e. envolvem uma grande quantidade de informações, tanto qualitativas como quantitativas, que devem ser levadas em conta no processo decisório;
- f. as informações disponíveis, apesar de grande quantidade, são usualmente incompletas;
- g. exigem soluções criativas e, muitas vezes, inéditas.

Os problemas em que não são admitidas subjetividades, sejam estes de ordem determinística (onde todos os componentes são conhecidos *a priori* e nenhuma aleatoriedade em sua ocorrência é admitida) ou estocástica (os elementos do problema apresentam uma probabilidade de ocorrência em uma determinada forma), são tratados pela dita Pesquisa Operacional (PO) (Ravindran; Phillips; Solberg, 1987). Problemas de alocação de recursos, localização e distribuição da produção, determinação de caminhos em rede, estoques, substituição e reposição de equipamento são exemplos de problemas típicos resolvidos por técnicas pertencentes à PO, desde que atendidas às prerrogativas das ferramentas a serem utilizadas. Assim, podemos afirmar que a PO está norteada segundo o paradigma científico racionalista, onde se pretende chegar em uma solução otimizada.

Entretanto, por diversas vezes nos deparamos com problemas que possuem fatores de intrínseca subjetividade e que não podem ser simplesmente descritos por modelos matemáticos, de modo a se obter uma decisão puramente racional e inequívoca. A estes problemas, o paradigma científico não é capaz de solucionar a contento, sendo preciso a busca de formas alternativas de resolução.

Neste contexto, insere-se o Apoio à Decisão que, de acordo com Roy (1993), é uma atividade onde se busca, de forma científica, a construção de um processo decisório que gere conhecimento aos decisores e aponte para soluções em caráter sugestivo, que podem ou não ser concretizadas pelo decisor. Além disso, o Apoio à Decisão é costumeiramente submetido a problemas de decisões complexas que apresentam mais de um critério, podendo estes serem ou não conflituosos entre si, resultando no chamado Apoio Multicritério à Decisão (AMD), encontrado na literatura científica em inglês como *Multiple Criteria Decision Aid* (MCDA).

As seções seguintes apresentam os conceitos básicos utilizados no AMD, além de uma síntese do processo decisório, o método de sobreclassificação *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE) e a ferramenta de análise visual *Geometric Analysis for Interactive Aid* (GAIA), particularmente importantes para esta pesquisa.

### **2.2.1 Conceitos básicos**

Uma vez conhecendo os elementos constituintes de uma decisão complexa e que pode ser submetida à uma análise de AMD, faz-se necessário definir os elementos básicos do processo em si, bem como suas variações e particularidades relevantes.

### 2.2.1.1 Atores

De acordo com Roy (1996), denomina-se ator (*stakeholder*, em inglês) todo indivíduo ou grupo de indivíduos de um processo decisório que possui influência direta ou indireta na decisão através de seu sistema de valores. Ensslin, Montibeller e Noronha (2001), distinguem os atores em intervenientes e agidos.

Atores intervenientes são aqueles atores que por ações intencionais participam do processo diretamente do processo decisório com o objetivo de nele fazer prevalecer seu sistema de valores. Estes podem ser divididos em (ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001; GOMES; GOMES, 2014):

- a. decisores: atores aos quais diretamente foi delegado o poder de decisão, de modo que sistemas de valores podem vir a ser mais ou menos significativamente considerados no processo;
- b. representantes: ator incumbido por um decisor de representa-lo no processo de apoio à decisão;
- c. facilitador: é um líder experiente que deve focalizar a sua atenção na resolução do problema, coordenando os pontos de vista dos decisores mantendo o decisor motivado e destacando o aprendizado no processo de decisão. Seu papel é esclarecer e modelar o processo de avaliação e/ou negociação conducente à tomada de decisão, buscando manter sempre uma postura neutra em relação ao processo decisório;
- d. analista<sup>1</sup>: o que faz a análise, auxilia o facilitador e o decisor na estruturação do problema e identificação dos fatores do meio ambiente que influenciam na sua evolução, solução e configuração.

---

<sup>1</sup>Conforme Gomes e Gomes (2014), em muitos casos os termos decisor, facilitador e analista são considerados sinônimos, pois frequentemente o mesmo indivíduo, ou grupo de indivíduos, é encarregado de executar estas três funções. Neste trabalho, as próximas referências à figura do facilitador incorporam as atribuições do analista ao mesmo.

Os atores agidos são aqueles que sofrem de forma passiva as consequências da implementação da decisão tomada, que mesmo não participando diretamente do processo decisório, podem exercer pressões sobre os intervenientes (ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001).

### 2.2.1.2 *Ações ou alternativas*

De acordo com Gomes e Gomes (2014), uma ação, ou alternativa, constitui uma das possibilidades de escolha do agente de decisão, identificada no início, ou mesmo no decorrer de um processo decisório, podendo vir a tornar-se uma solução para o problema em estudo. Os mesmo autores afirmam que uma ação pode ser:

- a. real: quando se refere a um projeto completamente elaborado que pode ser materializado;
- b. fictícia: quando corresponde a um projeto idealizado, não completamente elaborado ou, ainda, uma construção mental;
- c. realista: quando é factível ou viável;
- d. irrealista: quando não é factível ou viável.

Complementando a classificação de Gomes e Gomes (2014), podemos também utilizar as categorias sugeridas por Rocha (2011), para um determinado conjunto de ações  $A$  que pode ser:

- a. estável: caso possa ser definido a priori e não possa sofrer alterações ao longo do processo de decisão;
- b. evolutivo: se poder sofrer alterações ao longo do processo de decisão, de modo a serem possíveis o surgimento de novas alternativas, a exclusão de alternativas ao longo do processo ou a mudança de características das mesmas;
- c. definido em extensão: o cardinal de  $A$  pode ser finito e relativamente pequeno e, como consequência, os seus elementos são explicitamente enumerados;

- d. definido em compreensão - o cardinal de  $A$  pode ser infinito ou relativamente elevado e, como consequência,  $A$  pode ser definido por um conjunto de restrições a que obedecem os seus elementos.

### 2.2.1.3 Critérios

De acordo com Bouyssou (1990 *apud* Ensslin; Montibeller; Noronha, 2001), um dado critério pode ser definido como uma função matemática que mede o desempenho das ações potenciais, segundo o aspecto considerado pelo decisor ou grupo de decisores. A modelagem implementada pelos métodos multicritério visam a otimização simultânea dessas funções.

Os critérios devem atender, obrigatoriamente, os nove requisitos apontados por Keeney (1992 *apud* Fantinatti; Zuffo; Ferrão, 2015), exibidos no quadro 4:

Quadro 4 – Requisitos a serem verificados nos critérios adotados

Essenciais	Deve levar em conta aspectos de fundamental importância segundo o sistema de valores dos decisores.
Controláveis	Deve representar um aspecto que seja influenciado apenas pelas ações potenciais.
Completo	O conjunto de critérios deve incluir todos os aspectos considerados fundamentais pelos decisores;
Mensuráveis	Permite especificar, com a menor dúvida possível, o desempenho das ações potenciais, segundo os aspectos considerados fundamentais pelos decisores
Operacionais	Possibilita coletar as informações requeridas sobre o desempenho das ações potenciais, dentro de um tempo disponível e com esforço viável.
Isoláveis	Permite a análise de um aspecto fundamental de forma independente com relação aos demais aspectos do conjunto.
Não redundante	O conjunto de objetivos fundamentais não deve levar em conta o mesmo aspecto mais de uma vez.
Conciso	O número de aspectos considerados pelo conjunto objetivos fundamentais deve ser o mínimo necessário para modelar, de forma adequada, o problema segundo a visão dos decisores.
Compreensível	Deve ter o seu significado claro para os decisores, permitindo a geração e comunicação de ideias.

Fonte: adaptado de Keeney, 1992 *apud* Fantinatti; Zuffo; Ferrão, 2015.

Conforme orientam Brans e Mareschal (1994), metodologias em que os critérios são simplesmente agregados nas chamadas funções utilidades, sem estabelecimento prévio da importância relativa entre os critérios, comumente podem apresentar falhas; deste modo, uma vez que os critérios são estabelecidos e de acordo com as diretrizes próprias da metodologia adotada, faz-se necessário o estabelecimento de uma ponderação sob os mesmos, que reflita o sistema de valores dos decisores.

Gomes e Gomes (2014) afirmam que para se identificar o sistema de preferência dos decisores, é necessário:

- a. considerar a subjetividade dos atores de decisão, as percepções individuais e vislumbrar em quais aspectos dos problemas os decisores encontram maior dificuldade de explicitar suas percepções individuais;
- b. estruturar o problema de acordo com a visão compartilhada;
- c. reconhecer os pontos de vista comuns;
- d. identificar onde os decisores podem estar cometendo alguma inconsistência;
- e. verificar o que pode ser mudado durante e por quê.

Definindo um conjunto de critérios  $G = \{g_1(.), g_2(.) \dots g_k(.)\}$  referente a  $k$  critérios que incidem sobre o conjunto  $A = \{a_1(.), a_2(.) \dots a_n(.)\}$  de  $n$  alternativas, podemos associar um valor, qualitativo ou quantitativo, de cada critério particularmente a cada alternativa, estabelecendo o que se conhece por tabela de desempenhos, matriz de decisão ou matriz de avaliação, conforme tabela 5:

Tabela 5 – Matriz de avaliação

Alternativas	Critérios						
	$g_1(.)$	$g_2(.)$	...	$g_i(.)$	...	$g_k(.)$	
$a_1$	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	...	$g_i(a_1)$	...	$g_k(a_1)$	
$a_2$	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	...	$g_i(a_2)$	...	$g_k(a_2)$	
...	...	...	...	...	...	...	
$a_h$	$g_1(a_h)$	$g_2(a_h)$	...	$g_i(a_h)$	...	$g_k(a_h)$	
...	...	...	...	...	...	...	
$a_n$	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	...	$g_i(a_n)$	...	$g_k(a_n)$	

Fonte: Elaboração própria.

É importante ressaltar que a preferência atribuída aos critérios pode ser em função de maximizá-lo ou minimizá-lo, devendo esta informação está clara para os decisores e assertivamente inserida no modelo.

#### 2.2.1.4 Tipos de paradigmas

De acordo com Kunh (1996), pode-se afirmar que “paradigmas” são realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência. É através de um paradigma científico que os pesquisadores norteiam seus esforços, de modo que a correta identificação do problema e do perfil de respostas desejado é indispensável na escolha de qual paradigma deve ser seguido.

Tal como já previamente abordado, o AMD opõe-se ao paradigma racionalista da PO tradicional, uma vez que a subjetividade é um componente indissociável dos problemas tratados pelo AMD. Deste modo, Gomes e Gomes (2014) dois outros paradigmas que melhor podem acomodar as práticas metodológicas desse processo: o construtivista e o prescritivista.

Conforme estabelece Ensslin (1998), a idéia do construtivismo visa integrar a perspectiva de que as decisões são a tradução dos valores do(s) decisor(es), com a necessidade de uma interação que efetive a comunicação e a participação dos atores em todas as fases problemáticas do apoio à decisão, o que levará ao grupo um crescente nível de conhecimento e domínio a respeito do problema. Assim, as preferências dos atores sejam construídas durante o próprio processo de tomada de decisão, onde a participação é fundamental para o andamento do processo de apoio à decisão.

Neste contexto, é oportuno destacar que métodos multicritérios que adotam o paradigma construtivista são, classicamente, inseridos dentro da Escola Francesa (ou Escola Europeia), que pode ser descrita segundo dois princípios (ROY; VANDERPOOTEN, 1996 *apud* ENSSLIN, 1998):

- a) O principal objetivo do apoio à decisão é construir ou criar algo (uma função de valor ou utilidade; uma relação de subordinação vaga; a convicção que uma certa ação é melhor, etc.) o qual, pela definição, não preexiste completamente. Essa entidade a ser construída ou criada é vista como provável para auxiliar um ator, que toma parte num processo de decisão, a formar e/ou argumentar e/ou transformar suas preferências, ou tomar uma decisão em conformidade com seus objetivos;
- b) Os esforços dos pesquisadores são orientados para conceitos, modelos, axiomas, propriedades e procedimentos, os quais são conseqüentemente passíveis de serem usados para os seguintes propósitos:
- extrair ou elaborar, à partir de informações disponíveis, o que parece realmente significativo;
  - auxiliar a orientação do comportamento do decisor, apresentando a ele argumentos capazes de enfraquecer ou reforçar suas próprias convicções.

Segundo Campos (2011), os métodos inspirados pela Escola Francesa utilizam as relações de sobreclassificação, superação ou outranking. Essas relações correspondem àquelas em que duas ações são incomparáveis: em situações de decisão pelas quais o decisor “não pode”, “não sabe como” ou “não quer decidir”. As famílias de métodos ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) e PROMETHEE são as duas principais representantes dessa escola.

Não obstante, o paradigma prescritivista difere substancialmente do construtivista no aspecto em que o processo de apoio à decisão não conta com os decisores em todas as suas fases, uma vez que percebidas pelo facilitador as percepções dos decisores, este pode propor modelos, que por sua vez podem ser aceitos ou não pelos decisores. Portanto, estabelece-se um processo dinâmico entre facilitador e decisores até que se chegue a um consenso sob qual modelo consegue melhor equilibrar seus valores, muitas vezes conflitantes.



Ainda que de forma não compulsória, o viés prescritivista está muitas vezes associado a chamada escola americana, onde encontramos a formação das chamadas funções utilidades, que são desenvolvidas ao longo do processo decisório e buscam fazer representações matemáticas de julgamentos humanos, podendo fazer uso de gráficos e/ou escalas numéricas (GOMES; GOMES, 2014). Exemplos de métodos bastante difundidos e que seguem à escola americana são os métodos de análise de hierarquia, como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e a Teoria de Utilidade Multiatributo (mais conhecida por sua terminologia em inglês, *Multiattribute Utility Theory* – MAUT).

É interessante perceber que a dinâmica particular de cada problema deve conduzir o facilitador a – compreendendo a robustez e deficiências das técnicas disponíveis e sua relações com o perfil de informação esperada ao final do processo, com a disponibilidade e qualidade de informações e com a própria postura dos decisores – escolher a melhor metodologia a ser utilizada, podendo ainda mesclar elementos para o alcance de melhores resultados. Valderpooten (1995 *apud* Gomes; Gomes, 2014) defende que uma boa decisão só será alcançada se as influências de ambas as escolas forem equilibradas.

#### 2.2.1.5 Tipos de problemáticas

Os problemas de AMD podem apresentar distintos objetivos, de acordo com o produto desejado ao final do processo, de sorte que podemos classifica-los como sugere Roy (1996 *apud* Rocha, 2011):

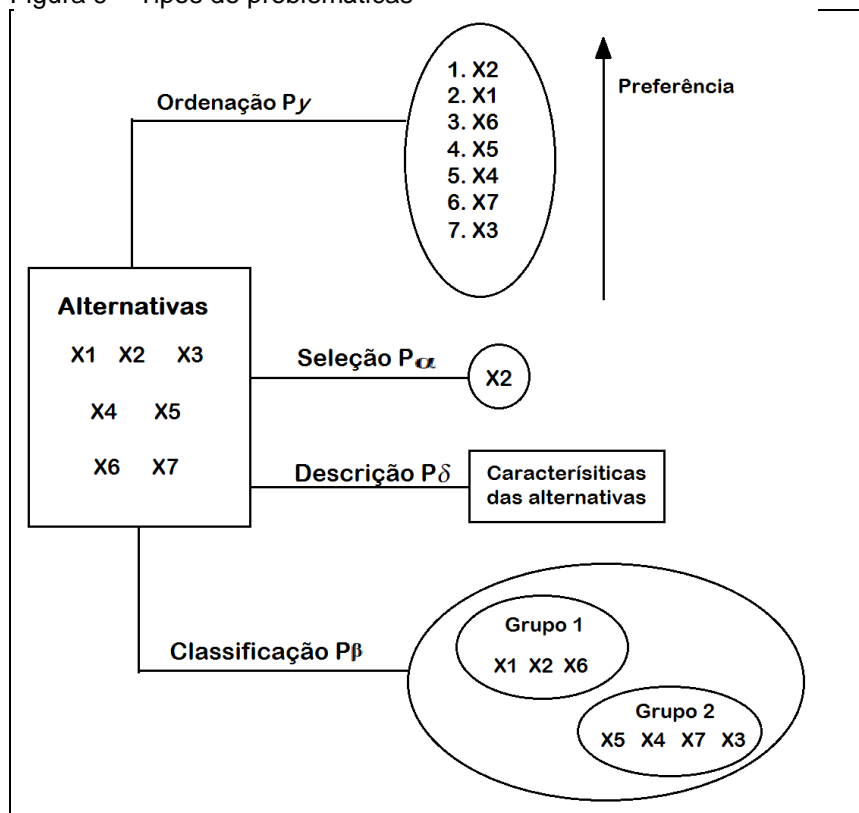
- a. Problemática de seleção (P.α): consiste em apresentar o problema em termos da escolha de uma ação a implementar, de entre um conjunto de alternativas, mas sem impor a evidência de uma solução como ótima;
- b. Problemática de descrição (P.δ): consiste em apresentar o problema em termos da descrição das possíveis ações, bem como das consequências que delas podem resultar. Nestes casos, o decisor pretende usufruir de uma melhor compreensão de uma

situação complexa e estabelecer uma linguagem para a comunicação entre atores;

- c. Problemática de classificação ( $P.\beta$ ): consiste em apresentar o problema em termos de classificação das ações em categorias (classes) definidas a priori, que podem ser ordenadas (classificação ordinal) ou não ordenadas (classificação nominal), caso exista ou não uma ordem de preferência entre as categorias;
- d. Problemática de ordenação ou hierarquia ( $P.\gamma$ ): consiste em apresentar o problema em termos de ordenação das ações, da mais preferida para a menos preferida, por forma a ser possível determinar ações que possam ser consideradas desejáveis ou suficientemente satisfatórias.

Devemos ressaltar que as problemáticas definidas anteriormente não são independentes umas das outras. Em particular, a ordenação das alternativas ( $P.\gamma$ ) pode servir de base para resolver um problema de  $P.\alpha$  ou  $P.\beta$  (GOMES; GOMES, 2014). A figura 11 exhibe as quatro problemáticas.

Figura 9 – Tipos de problemáticas



Fonte: Adaptado de Doumpou e Zopounidis (2002 *apud* Campos, 2011)

### 2.2.1.6 Modelagem de preferência e relações de dominância

De acordo com Campos (2011), a modelagem de preferência tem como propósito estudar a relação de preferência ou desejabilidade do decisor diante de duas ações potenciais. O termo preferência é usualmente designado quando as comparações entre as alternativas são feitas por via de relações binárias.

A comparação entre duas alternativas deve refletir as preferências dos decisores, baseadas em seus sistemas de valores. Roy (1996), através do estabelecimento de relações binárias, definiu um comparativo que pode ser melhor compreendido pelos decisores, de modo que a presença ou ausência de uma propriedade pode ser constatada a partir desta análise.

Para um conjunto  $A$  de alternativas, pode-se verificar as seguintes relações binárias  $H$  (GOMES; GOMES, 2014):

- a. reflexividade:  $\forall a \in A, a H a$ ;
- b. irreflexividade:  $\forall a \in A, \text{não } [a H a]$ ;
- c. simetria:  $\forall a, b \in A, a H b \rightarrow b H a$
- d. assimetria:  $\forall a, b \in A, a H b \rightarrow \text{não } b H a$
- e. transitividade:  $\forall a, b, c \in A, [a H b \text{ e } b H c] \rightarrow a H c$ ;

Roy (1996) afirma que ao se comparar duas ações  $a$  e  $b$ , podem se verificar quatro relações fundamentais de preferência, conforme quadro 5.

Conforme lembra Rocha (2011), o chamado Sistema Básico de Relações de Preferências proposto por Roy (1996) é verificado quando decisor é capaz de atribuir uma das quatro situações básicas a todos os pares de ações, de forma exaustiva – onde qualquer par de ações verifica uma das quatro relações de preferência – e mutuamente exclusiva – entre duas ações nunca se verifica a ocorrência em simultâneo de dois ou mais tipos de relações de preferências.

Quadro 5 – Situações básicas de preferência para comparar duas ações potenciais

Situação	Definição	Propriedades
Indiferença (I)	Existência de razões claras e positivas que justificam a equivalência entre duas ações.	I: relação reflexiva e simétrica
Estrita Preferência (P)	Existência de razões claras e positivas que justificam uma preferência significativa em favor de uma das duas ações identificadas .	P: relação (não reflexiva)
Fraca Preferência (Q)	Existência de razões claras e positivas que invalidam a estrita preferência em favor de uma das duas ações identificadas, mas que são insuficientes para deduzir uma estrita preferência em favor da outra ação ou indiferença entre as duas ações, não permitindo, deste modo, diferenciar nenhuma das duas situações precedentes.	Q: relação assimétrica (não reflexiva)
Incomparabilidade (R)	Ausência de razões claras e positivas que justificam quaisquer das três situações precedentes.	R: relação simétrica (não reflexiva)

Fonte: adaptado de Roy (1996 *apud* Alencar, 2003)

Entretanto, podem existir situações em que o decisor frente ao estabelecimento de uma única relação de preferência não esteja suficientemente seguro, de modo que Gomes e Gomes (2014), propõem os seguintes reagrupamentos das quatro funções fundamentais:

- a. não-preferência ( $\sim$ ): ausência de razões claras e positivas para justificar a preferência estrita ou preferência fraca em favor de qualquer das duas ações, reagrupando as situações de indiferença e de incomparabilidade sem possibilidades de diferenciá-las:

$$a \sim b \leftrightarrow (a I b \text{ ou } a R b) \quad (1)$$

- b. preferência no sentido amplo ( $>$ ): existem razões claras e positivas que justificam a preferência estrita ou a preferência fraca em favor de uma das duas ações, reagrupando as situações de preferência estrita e preferência fraca sem possibilidades de diferenciá-las:

$$a > b \leftrightarrow (a P b \text{ ou } a Q b) \quad (2)$$

c. presunção de preferência (J): existem razões claras e positivas que justificam a preferência fraca, independentemente de quão fraca ela seja, em favor de uma das duas ações, ou no limite da indiferença, de modo que nenhuma separação significativa seja estabelecida entre as situações de preferência fraca ou indiferença:

$$a J b \leftrightarrow (a Q b \text{ ou } a I b) \quad (3)$$

d. K-preferência: existem razões claras e positivas que justificam a preferência estrita em favor de uma das duas ações ou se verifica incomparabilidade, de modo que nenhuma separação significativa pode ser estabelecida:

$$a K b \leftrightarrow (a P b \text{ ou } a R b) \quad (4)$$

e. Superação ou sobreclassificação (S): existem razões claras e positivas que justificam uma preferência, seja por presunção ou em favor de uma das duas ações, mas sem nenhuma separação clara entre preferência estrita, fraca ou indiferença:

$$a S b \leftrightarrow (a P b \text{ ou } a Q b \text{ ou } a I b) \quad (5)$$

### **2.2.2 Processo de apoio à decisão**

A singularidade de cada problemática a ser avaliada pelo processo de apoio à decisão não nos permite delimitar um ordenamento enrijecido de fases a serem rigorosamente seguidas, cabendo ao facilitador traçar os melhores caminhos para se delinear a construção da solução desejada. Entretanto, é fundamental que se estabeleça princípios gerais, a fim de nortear as ações dos envolvidos no

processo. Uma das estruturações de processo mais simplificadas é proposta por Roy (1985 *apud* Rocha, 2014), onde o processo de AMD é composto por 4 etapas:

- a. análise do problema: entendimento do problema, suas particularidades, objetivos a serem alcançados e identificação de alternativas;
- b. identificação dos critérios: definição dos critérios de avaliação das alternativas, que são todos os fatores inerentes à decisão;
- c. escolha do método/construção do modelo: uma vez confrontadas as características do problema, os resultados esperados e as ferramentas metodológicas disponíveis, é feita a escolha e implementação do método mais adequado, segundo a avaliação do facilitador ou a proposição de uma nova rota metodológica;
- d. análise de resultados: os resultados obtidos são avaliados e são geradas as recomendações aos decisores.

De fato, ao se observar as sugestões de outros autores, podem ser verificadas dentro das quatro fases generalistas apresentadas alguns desdobramentos, aumentando a especificidade das ações. Por exemplo, Gomes e Gomes (2014) aconselham uma análise prévia à etapa de aprofundamento da problemática, recomendando que se determine de forma clara quais indivíduos ou grupos devem ser considerados atores de decisão – bem como de seus respectivos sistemas de valores.

A fase de estruturação do problema, apesar de concentrar-se na primeira fase, perpassa pelas três primeiras fases propostas por Roy e objetiva dar os subsídios necessários para se construir um modelo adequado e validado pelos decisores (BANA E COSTA, 1992).

Ensslin, Montibeller e Noronha (2001), afirmam que a fase de análise do problema é a fase de maior importância – uma vez que busca identificar, caracterizar e organizar os fatores considerados relevantes no processo de apoio à decisão – de modo que é fundamental se verificar a assertividade na escolha e descrição do problema a ser solucionado. Os diversos atores de decisão podem perceber o problema de maneiras distintas a ponto de divergirem no que de fato se constitui um problema coletivo.

A fase final de análise dos resultados pode ser dividida em duas, onde podem ser feitas avaliações parciais, comparando opções par a par ou examinando aspectos mais pontuais de cada alternativa frente a um determinado critério, por exemplo; e avaliações globais, onde se analisa de maneira integrada a interação entre alternativas, critérios e o próprio método elegido (ENSSLIN, 1998).

É importante ressaltar que o apoio à decisão não é uma atividade unidirecional, mas sim um processo complexo e que permite recursividade de ações, sobretudo na etapa e estruturação do problema e de construção de um modelo aceito pelos decisores e eficiente frente a representação de seus sistemas de valores.

### **2.2.3 Promethee II e GAIA**

A família de métodos de sobreclassificação conhecidos pelo acrônimo PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) foi originalmente proposta em 1984 por Jean-Pierre Brans, B. Mareschal, e Philippe Vincke (BRANS; MARESCHAL; VINCKE, 1984).

De acordo com Jannuzzi, Miranda e Silva (2009), particularmente o PROMETHEE II reúne características interessantes para seu emprego nos processos decisórios típicos nos quais os gestores públicos se envolvem devido:

- a. ser de fácil entendimento, potencializando a transparência do processo decisório, requisito sempre desejável na esfera pública;
- b. ser possível identificar indicadores objetivos – levantados em pesquisas do IBGE e em outras fontes – para os critérios de avaliação das alternativas, quando estas se referem a regiões ou grupos sociodemográficos específicos;
- c. produzir soluções que privilegiam alternativas mais balanceadas, isto é, que apresentam maior desempenho geral médio nos diversos critérios.

O PROMETHEE II estabelece um ordenamento completo dentre um número finito de alternativas, de modo que cada uma destas alternativas esteja submetida aos mesmos critérios avaliados. A sobreclassificação é formulada segundo um problema multicriterial (BRANS; MARESCHAL; VINCKE, 1984):

$$\text{Max}\{f_1(a), f_2(a) \dots f_h(a) \dots f_k(a) | a \in A\} \quad (6)$$

Onde:

- $A$  é um conjunto finito de  $n$  ações/alternativas;
- cada alternativa é avaliada sob  $k$  critérios;
- a função  $f_h(a)$  valora o critério  $h$  para a alternativa  $a$ ;

Assim, são geradas uma matriz com um total de  $n \times k$  avaliações, conforme apresentado pela tabela 6:

Tabela 6 – Matriz de avaliação de  $n$  alternativas para  $k$  critérios pelo PROMETHEE

	$f_1(\cdot)$	$f_2(\cdot)$	...	$f_i(\cdot)$	...	$f_k(\cdot)$
$a_1$	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	...	$f_i(a_1)$	...	$f_k(a_1)$
$a_2$	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	...	$f_i(a_2)$	...	$f_k(a_2)$
...	...	...	...	...	...	...
$a_h$	$f_1(a_h)$	$f_2(a_h)$	...	$f_i(a_h)$	...	$f_k(a_h)$
...	...	...	...	...	...	...
$a_n$	$f_1(a_n)$	$f_2(a_n)$	...	$f_i(a_n)$	...	$f_k(a_n)$

Fonte: Jannuzzi, Miranda e Silva, 2009. Adaptado.

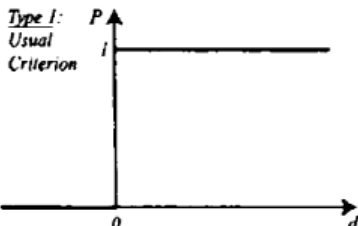
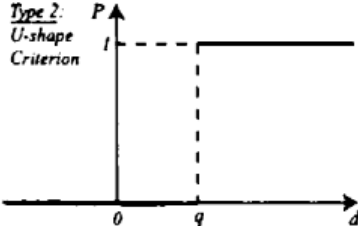
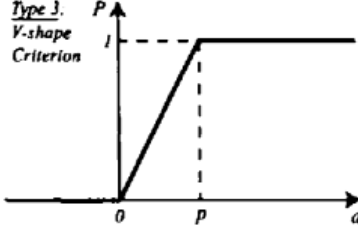
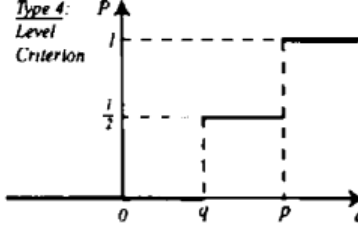
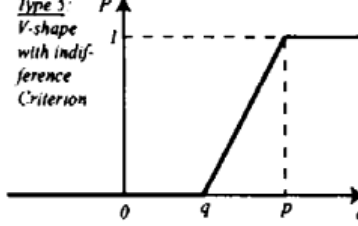
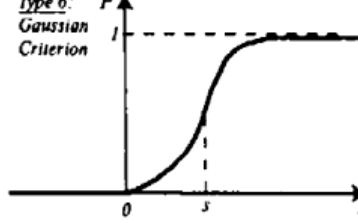
Desta forma, para se efetuar comparações binárias entre as alternativas hipotéticas  $a$  e  $b$ , deve ser definida uma função de preferência  $P$  para cada critério  $i$ :

$$P_i(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{if } f_i(a) \leq f_i(b), \\ p_i[f_i(a) - f_i(b)] = p_i[d] & \text{if } f_i(b) > f_i(b). \end{cases} \quad (7)$$

A função  $P_i(a,b)$  pode assumir valores entre 0 e 1, refletindo uma escala crescente de preferência, onde 0 significa absoluta indiferença e 1 significa absoluta preferência de  $a$  em relação a  $b$  no critério  $i$ . Classicamente, esta função pode se comportar de seis modos diferentes, de acordo com os critérios generalizados exibidos na figura 10:



Figura 10 – Critérios generalizados para determinação da função de preferência

Generalised criterion	Definition	Parameters to fix
<p><i>Type 1:</i> Usual Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	–
<p><i>Type 2:</i> U-shape Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q
<p><i>Type 3:</i> V-shape Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p
<p><i>Type 4:</i> Level Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
<p><i>Type 5:</i> V-shape with indif- ference Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
<p><i>Type 6:</i> Gaussian Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	s

Fonte: Brans e Mareschal (2005 *apud* Campos, 2011)

Obs.: A diferença entre  $f_j(a)$  e  $f_j(b)$  está representada por  $d$ ;

$q$  é o limite de indiferença;

$p$  é o limite de absoluta preferência;

$s$  é um valor intermediário entre  $q$  e  $p$ .

A análise comparativa feita entre as alternativas  $a$  e  $b$  para o critério  $i$  pode ser estendida para os  $k$  critérios, originando um índice de preferência ( $\Pi$ ) da alternativa  $a$  em relação a  $b$ :

$$\Pi(a, b) = \sum_{i=1}^k P_i(a, b) w_i \quad (8)$$

onde  $w_i$  é o peso atribuído ao critério  $i$  pelo(s) decisor(es), que por sua vez devem ser previamente normalizados, conforme equação 9:

$$\sum_{j=1}^k w_j = 1 \quad (9)$$

Uma vez conhecidas estas relações, determina-se os fluxos de preferência positivo ( $\phi^+$ ) e negativo ( $\phi^-$ ) para cada uma  $n$  das alternativas. Por exemplo, para a alternativa  $a$ , temos:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \Pi(a, x) \quad (10)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \Pi(x, a) \quad (11)$$

O fluxo de preferência positivo de  $a$  é relativo ao quão a alternativa  $a$  é preferível quando comparada com todas as outras; já o fluxo de preferência negativo consiste numa representação de preferência de todas as outras alternativas sobre  $a$ .

O método PROMETHEE II realiza o ordenamento completo das alternativas a partir da soma dos valores dos fluxos de preferência positivo e negativo, estabelecendo um fluxo de preferência global, também chamado fluxo líquido ( $\phi$ ):

$$\phi(a) = \phi^+(a) + \phi^-(a) \quad (13)$$

A análise GAIA (*Geometric Analysis for Interactive Aid*) é um recurso complementar de visualização dos resultados obtidos pela família de métodos PROMETHEE, originalmente apresentado por B. Mareschal e J.P. Brans em 1988 (MARESCHAL; BRANS, 1988).

O conceito de fluxo líquido unicriterial (equação 14) para uma alternativa  $a$  e para um critério  $i$  pode ser aplicado a todas as alternativas e critérios em questão, gerando a tabela 7:

$$\phi_i(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} P_i(a, b) - P_i(b, a) \quad (14)$$

Tabela 7 – Matriz de avaliação do fluxo líquido unicriterial para GAIA

	$\phi_1(\cdot)$	$\phi_2(\cdot)$	...	$\phi_i(\cdot)$	...	$\phi_k(\cdot)$
$a_1$	$\phi_1(a_1)$	$\phi_2(a_1)$	...	$\phi_i(a_1)$	...	$\phi_k(a_1)$
$a_2$	$\phi_1(a_2)$	$\phi_2(a_2)$	...	$\phi_i(a_2)$	...	$\phi_k(a_2)$
...	...	...	...	...	...	...
$a_h$	$\phi_1(a_h)$	$\phi_2(a_h)$	...	$\phi_i(a_h)$	...	$\phi_k(a_h)$
...	...	...	...	...	...	...
$a_n$	$\phi_1(a_n)$	$\phi_2(a_n)$	...	$\phi_i(a_n)$	...	$\phi_k(a_n)$

Fonte: Brans e Mareschal, 2005).

Esta afirmação resulta nas seguintes propriedades (MARESCHAL; BRANS, 1988):

$$-1 \leq \phi_i(a) \leq 1 \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^k w_i \phi_i(a) = \phi_i(a) \quad (16)$$

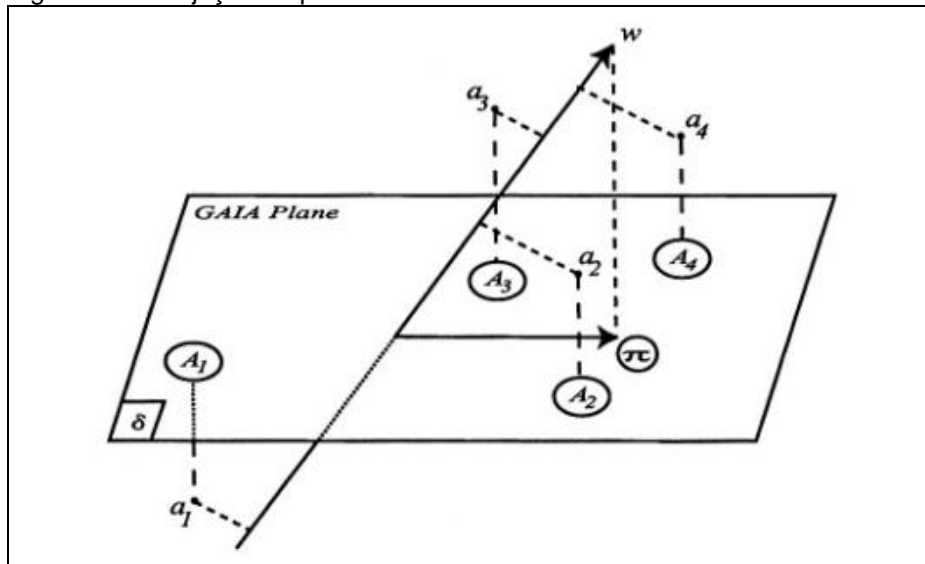
$$\sum_{a \in A} \phi_i(a) = 0 \quad (17)$$

Deste modo, as  $n$  alternativas podem ser representadas por uma nuvem de  $n$  pontos num espaço de dimensão  $k$ . Conforme também esclarece Campos (2011), os autovalores da matriz de avaliação são calculados e os dois primeiros

autovetores são utilizados como médias para traçar os dados numa análise dos componentes.

O plano GAIA ( $\delta$ ) é criado no espaço  $k$ -dimensional para que projete neste não somente os autovetores calculados, como também os  $k$  eixos de coordenadas que representam os critérios, conforme figura 13. As alternativas são representadas por pontos e os critérios por eixos desenhados a partir do centro.

Figura 11 – Projeção no plano GAIA



Fonte: Brans e Mareschal (2005)

Também é criado um vetor  $w$  que representa o peso atribuído pelos decisores; sua projeção em GAIA é dada por  $\pi$ , denominado de eixo de decisão. Evidentemente, a compreensão visual dos valores dos fluxos líquido unicriterial é comprometida a partir de  $k > 2$ , havendo uma perda da informação completa. Ainda assim, o percentual de informação preservada na análise GAIA é costumeiramente superior a 60%, e em muitos casos superior a 80%, tornando as informações fornecidas bastante confiáveis (BRANS; MARESCHAL, 2005).

De maneira geral, as informações visuais obtidas pela representação GAIA podem ser interpretadas como (CAMPOS, 2011; MANUAL, 2013):

- a. quanto maior a proximidade entre duas alternativas, maior sua semelhança;
- b. critérios que expressam preferências semelhantes têm eixos que se encontram perto uns dos outros; Critérios conflitantes têm eixos que

estão apontando em direções opostas. Assim, é possível identificar grupos de critérios que expressam preferências semelhantes e para melhor compreender os conflitos que têm de ser resolvidos a fim de tomar uma decisão;

- c. a orientação de um eixo (critério) indica a região para as melhores ações segundo este critério estão localizadas;
- d. o eixo de decisão é orientado segundo a localização dos critérios (eixos) que são mais preponderantes para o ordenamento efetuado pelo PROMETHEE. Portanto, o eixo de decisão pode ser utilizado como uma ferramenta para analisar o tipo de compromisso correspondente aos pesos atribuídos aos critérios e para ajudar a definir melhor os pesos dos critérios, se houver necessidade.

### 3 METODOLOGIA

Até então, a literatura científica pertinente à temática levantada por esta pesquisa não oferece nenhuma metodologia que atenda aos objetivos aqui propostos, considerando a aplicação de uma ferramenta de apoio à decisão multicriterial. Este fato corrobora a importância de uma descrição metodológica detalhada e bem delimitada – o que se constitui o objetivo deste capítulo – e nos ajuda a classificar esta pesquisa como de natureza metodológica, que conceitualmente tem por objetivo propor métodos e procedimentos que são adotados como científicos (DEMO, 2000).

O processo metodológico deve descrever um conjunto de procedimentos a serem utilizados na obtenção do conhecimento, fazendo uso de métodos, técnicas e processos operacionais que auxiliem na compreensão da realidade ou do objeto de análise (BARROS; LEHFELD, 2000).

De acordo com Lakatos e Marconi (2003), método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista. Dentro das diversas etapas que um método pode vir a ter, distinguem-se as técnicas, definidas por Miranda Neto (2005) como procedimentos práticos que devem ser adotados para realizar um trabalho científico, qualquer que seja o método aplicado. É através das técnicas que se especifica, por exemplo, como os dados podem ser registrados, quantificados e ordenados.

A seleção do instrumento metodológico está diretamente relacionada com o problema a ser estudado e é influenciada por diversos aspectos, tais como natureza dos fenômenos, o objeto da pesquisa, os recursos financeiros, a equipe humana disponível e a singular compreensão da problemática por parte do pesquisador (LAKATOS; MARCONI, 2003). Assim, uma vez estabelecida a problemática levantada, onde se propõe compreender como aspectos ambientais, operacionais e sociais associados a uma ETE e seu entorno contribuem para a vulnerabilidade socioambiental da região em questão, fez-se necessário definir quais as estratégias deveriam ser utilizadas.

De acordo com Yin (2001), as principais estratégias de pesquisa são experimentos, levantamentos, análise de arquivos, pesquisas históricas e estudos de caso. O mesmo autor esclarece que todas estas estratégias, embora tenham características distintas, comumente possuem grandes áreas de sobreposição, além de compartilharem entre si várias técnicas.

Avaliando como as características e potencialidades de cada uma dessas estratégias de pesquisa contemplam os requisitos para elucidar a problemática desta pesquisa, foi estabelecido que o estudo de caso é a principal estratégia para alicerçar a construção e validação da metodologia desejada, sem deixar de contar com técnicas também encontradas nas estratégias de levantamento e análise de arquivos.

As seções seguintes deste capítulo estão destinadas a detalhar quais técnicas foram utilizadas, além de justificar seu uso e esclarecer como estas foram ajustadas para atender os requisitos da pesquisa, quando assim se fez necessário.

### **3.1 Descrição geral das etapas de trabalho**

Uma vez estabelecida a problemática inicial – de avaliar a percepção de vulnerabilidade socioambiental provocada pelas não conformidades de uma ETE na região em seu entorno, de modo a gerar uma hierarquia na priorização de intervenção, seja por parte da companhia de saneamento na melhoria de seus processos, seja por parte dos órgãos governamentais a que competem a função fiscalizatória destes empreendimentos – fez-se necessário definir quais as hipóteses e os diversos subsídios metodológicos a serem utilizados.

É importante ressaltar que a escolha do estudo de caso – justificada no texto introdutório deste capítulo – como estratégia da pesquisa pressupõe a possibilidade de coletar e tratar as informações necessárias para a composição dos diversos critérios utilizados, obedecendo as restrições de tempo e recursos, naturalmente finitos em um projeto de pesquisa (PMI, 2004). Foi, portanto, devido a valorosa disponibilidade oferecida pela Cagece enquanto organização e na figura de seus colaboradores – de modo que não somente possibilitou a visitação das ETEs e a obtenção dos dados requeridos de qualidade do efluente, mas que sobretudo

sempre mostrou-se prestativa e aberta ao diálogo – que se concretizou a possibilidade de construção e aplicação a metodologia proposta.

O processo de construção das hipóteses teve início de acordo com os indicativos bibliográficos, onde a literatura reporta que não somente a ausência de ETEs podem ocasionar grandes impactos na região em seu entorno (ITB, 2007; ITB 2013a; Teixeira 2014), como também problemas decorrentes de fatores operacionais (VILAROUCA, 2013; LINS, 2010) e que a vulnerabilidade de uma região é composta por uma série de fatores complexos, a incluir impactos socioambientais decorrentes das mais diversas atividades humanas (ESTEVES, 2011; OJIMA, 2012). Assim, uma vez estabelecida parceria com a Cagece e conhecendo melhor a realidade a ser abordada – e os possíveis insumos disponíveis para compor os dados buscados a posteriori – a construção da solução da problemática levantada foi melhor trabalhada desde as etapas iniciais.

O levantamento bibliográfico prévio buscou livros, artigos, periódicos, e documentos que relacionassem a vulnerabilidade socioambiental de uma região com os impactos decorrentes da operação de uma ETE. Nos bancos de dados científicos consultados, não foram encontrados trabalhos que estabelecessem como temática central a vinculação direta entre vulnerabilidade socioambiental e a atividade das ETES, entretanto constatou-se que há uma forte ligação entre o estudo da vulnerabilidade e os impactos gerados por atividades antrópicas, como por exemplo a poluição e a má prestação de serviços de saneamento básico, permitindo-nos construir um encadeamento lógico que relacione as duas áreas mencionadas.

Deste modo, aprofunda-se o entendimento no sentido que fatores associados à parcela da vulnerabilidade socioambiental de uma região que advém da implantação e operação de uma ETE podem ser insumos de um modelo que resulte no ordenamento de priorização de intervenção nas ETEs que apresentam problemas. Neste trabalho, o termo “intervenção” pode ser entendido como:

- a) uma ação por parte do órgãos licenciadores e fiscalizadores das atividades de uma ETE no sentido de priorizar sua ação fiscalizatória – no contexto do estudo de caso proposto, estas entidades são SEUMA e ACFOR;



- b) uma ação por parte da própria companhia local de saneamento, visando eliminar ou atenuar possíveis não conformidades identificadas nas ETEs – no contexto do estudo de caso a ser apresentado, a Cagece.

Uma vez amadurecida a problemática inicial, definidos os objetivos geral e específicos e consolidada parceria com a Cagece, compreendeu-se que a metodologia a ser proposta deveria incorporar critérios de diferentes naturezas, bem como a percepção da relevância destes critérios por profissionais que tenham no exercício da sua profissão ligação direta com a temática abordada. Assim, efetuou-se a busca por um modelo multicritério de apoio a decisão que fosse capaz de atender aos requisitos desta pesquisa. Mais informações a cerca da escolha do modelo, bem como a modelagem matemática aplicada neste estudo de caso de acordo com as nuances percebidas – sobretudo na construção dos critérios – são encontradas na seção 3.3 Modelo de apoio multicritério à decisão.

A coleta das informações seguiu os três princípios estabelecidos por Yin (2001) para garantir o controle de qualidade durante o processo de coleta e aumentar a confiabilidade das informações. São eles:

- a) utilização de várias fontes de evidências, como:
  - literatura científica;
  - entrevistas espontâneas;
  - documentos oficiais publicados por órgãos governamentais, como o Plano Municipal de Saneamento Básico da cidade de Fortaleza e o Censo Demográfico de 2010 do IBGE;
  - Registro de arquivos, como os que foram fornecidos pela Cagece;
- b) criação de um banco de dados para o estudo de caso: a compilação dos dados utilizados para alimentar o modelo multicritério que viabilizou a aplicação da metodologia proposta encontra-se no Apêndices C, D, E, F e G;
- c) manutenção do encadeamento de evidências, de sorte que um observador externo possa perceber que qualquer evidência

proveniente de questões iniciais da pesquisa leve às conclusões finais do estudo de caso.

Através do conhecimento de quais informações estariam prontamente disponibilizadas e quais demandariam visitas em campo às diversas ETEs ou aplicação de questionários, construiu-se as fronteiras da aplicação prática avaliadas nesta pesquisa – como por exemplo a escolha do município de Fortaleza e das ETEs que compõe o estudo de caso – que encontram-se descritas com mais riqueza nas seções seguintes deste capítulo e no Apêndice C.

A padronização da coleta de informações pertinentes ao estudo foi definida segundo a construção de duas ferramentas:

- a) ficha de avaliação das ETEs, para coletar informações de natureza ambiental, operacional e social de cada uma das ETEs participantes do estudo de caso – Apêndice A;
- b) questionário aplicado aos atores de decisão, com a finalidade de se obter a percepção dos mesmos quanto à relevância dos critérios utilizados – Apêndice B.

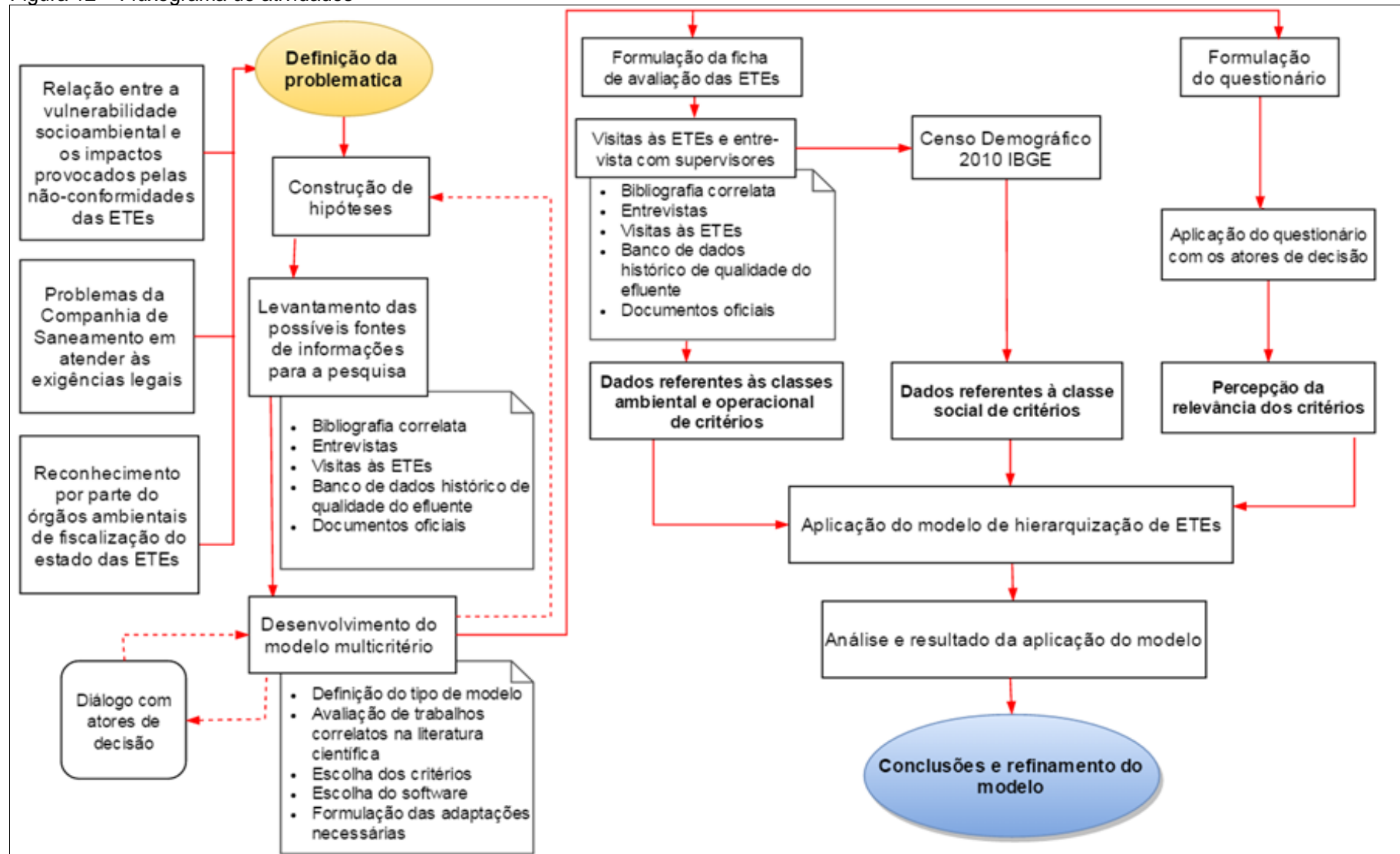
Os dados foram tratados segundo a metodologia multicritério desenvolvida exigia, especificada na seção 3.3.2 Modelagem matemática dos valores obtidos. Foi utilizada a versão acadêmica do software Visual PROMETHEE, versão 1.4.0.0., que implementa os dois primeiros métodos da família PROMETHEE. O programa não somente oferece uma série de recursos visuais para a compreensão dos resultados, como também uma alta versatilidade e fluidez em possíveis alterações de cenários que o usuário deseje fazer, mostrando-se robusto e prático para os objetivos estipulados. A seção 3.3.3 Software Visual Promethee detalha a fundamentação teórica das ferramentas do Visual PROMETHEE utilizadas durante esta pesquisa e o capítulo 4 Resultados exhibe os resultados finais encontrados após a implementação.

Pautado pelos objetivos deste trabalho e alinhando-os com o encadeamento lógico-matemático próprio do PROMETHEE II, foi possível constatar que a percepção da vulnerabilidade socioambiental dar-se a partir da comparação paritária entre as ETEs em estudo, como será visto. Deste modo, há de se observar que os valores finais gerados pelo software não são absolutos em si (não

representam uma visão isolada de cada ETE), mas sim dão significado ao que podemos chamar de **vulnerabilidade socioambiental relativa**, permitindo a hierarquização de prioridade de intervenção desejada.

Uma descrição das atividades realizadas durante a pesquisa encontra-se no fluxograma exibido na figura 12. As linhas pontilhadas indicam as fases em que houve realimentação de informações, a fim de tornar o modelo proposto mais representativo e aplicável.

Figura 12 – Fluxograma de atividades



Fonte: O autor.

## 3.2 Delimitação do escopo do estudo de caso

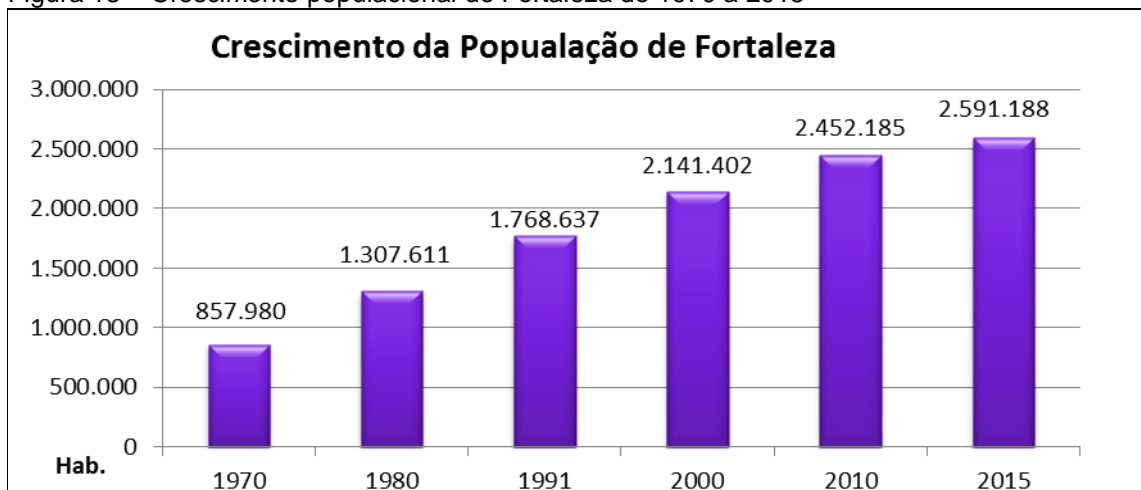
### 3.2.1 Caracterização do município de Fortaleza-CE

#### 3.2.1.1 Aspectos geográficos e socioeconômicos

Fortaleza, capital do estado do Ceará, está localizada na latitude 3°43'02" S e longitude 38°32'35" W e dispõe de uma área de 313,14 km<sup>2</sup>. Fortaleza conta atualmente com 119 bairros e faz limite ao norte com Oceano Atlântico e Caucaia; ao leste com Eusébio, Aquiraz e Oceano Atlântico; ao sul com Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga e Eusébio; e ao oeste com Caucaia e Maracanaú (CEARÁ, 2011), conforme apresentado na figura 14.

De acordo com o IBGE, Fortaleza é atualmente a quinta cidade mais populosa do Brasil e a segunda da região Nordeste, apresentado um significativo crescimento populacional nas últimas décadas, como aponta o gráfico exibido na figura 13 (IBGE, 2015). O crescimento populacional é especialmente impactante em Fortaleza, de modo que sua densidade demográfica de 7.786,52 habitantes/km<sup>2</sup> foi a maior dentre as capitais brasileiras registradas no Censo Demográfico de 2010 do IBGE (CEARÁ, 2012b).

Figura 13 – Crescimento populacional de Fortaleza de 1970 a 2015<sup>(1)</sup>

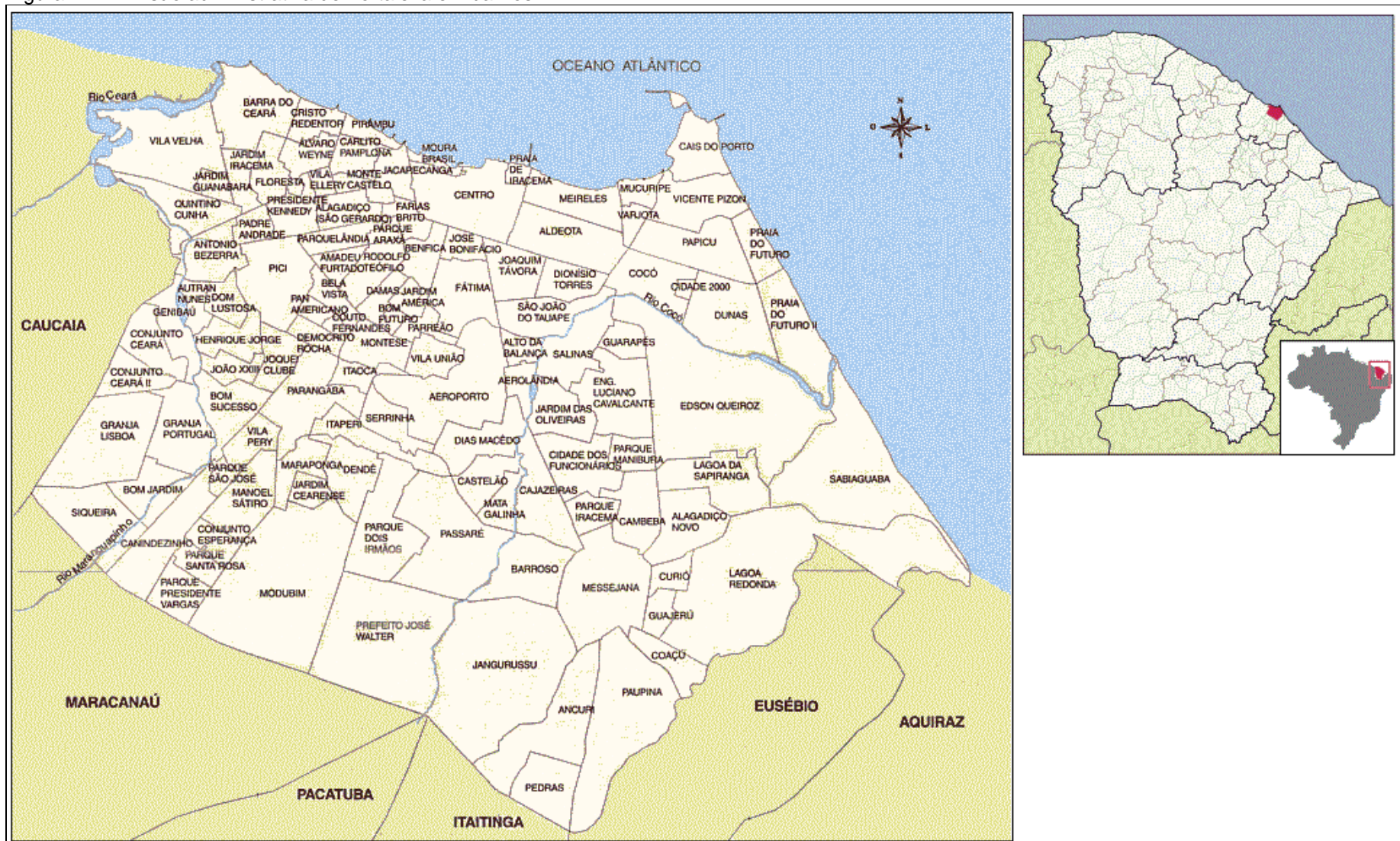


Fonte: Adaptado de Fortaleza, 2006 *apud* Santos, 2011

(1) O valor para 2015 é uma estimativa feita baseada nos valores anteriores (IBGE, 2015)

Gonçalves (2004) analisa que altos índices de concentração demográfica criam condições para o aparecimento de uma série de problemas ambientais que poderiam ser menos impactante em regiões menos densamente povoadas, propiciando deficiências mais acentuadas em setores como abastecimento de água,

Figura 14 – Divisão administrativa de Fortaleza em bairros



Fonte: IBGE, 2000.

esgotamento sanitário, resíduos sólidos, saúde pública, transporte, moradia etc. Meneleu e Gondim (2006 *apud* ARAÚJO, 2012) analisam que Fortaleza possui 30% da população do Ceará e somente 0,2% da área territorial do estado.

A migração foi um importante fenômeno social na formação da sociedade fortalezense e pode ser apontada como um dos fatores responsáveis pela intensificação dos problemas socioambientais. Grande parte do rápido crescimento da cidade de Fortaleza decorreu devido o fluxo migratório das populações do campo cearense, sobretudo aquelas que vinham pela ocorrência de secas, que sistematicamente aconteceram no espaço cearense e empobrecem ainda mais a população do campo (FORTALEZA, 2009). Santos (2006) afirma que esse fluxo migratório advém não somente dos índices pluviométricos naturalmente desfavoráveis, mas sobretudo da omissão por parte do poder público em estabelecer políticas agrícolas que valorizassem o trabalho do homem do campo, de modo que se registra no estado um retrocesso na atividade agrícola e um ganho de força por parte dos grandes grupos agroindustriais e indústrias de substituição.

As atividades econômicas do estado estão densamente concentradas em Fortaleza. Em 2010, Fortaleza registrou um PIB que ultrapassou os R\$ 37 bilhões, sendo que cerca de 3/4 deste valor advém da participação do setor de serviços (IBGE, 2016a). Conforme Costa e Dantas (2009), o setor de serviço modernizou-se e diversificou-se, principalmente para fins de apoio às atividades turísticas, instalando equipamentos hoteleiros modernos e de grande porte, com capacidade para a realização de grandes eventos.

Segundo o relatório das Nações Unidas “State of the World Cities 2010/2011: Bridging the Urban Divide”, Fortaleza figura-se como a quinta cidade mais desigual no mundo (UNHABITAT *apud* CEARÁ, 2012b). O crescimento econômico da capital cearense está diretamente associado ao agressivo processo de urbanização da cidade, onde se verifica a ocupação inadequada de grande parte dos espaços ambientalmente sensíveis, revelando um processo de desequilíbrio na rede urbana do município, o que tem influenciado diretamente no atual processo de deterioração dos recursos naturais existentes (FORTALEZA, 2003). Como explicam Carleial e Araújo (2010), a questão habitacional constitui um grave problema de Fortaleza, onde se observa um elevado número de aglomerados urbanos caracterizados pela falta de habitações dignas, coabitação e a inexistência de

infraestrutura básica. Os mesmo autores afirmam que essa situação é também encontrada nas demais metrópoles brasileiras e está relacionada ao desgaste e a precarização da classe trabalhadora, em face de uma lógica predominante, que é produtora de desigualdades e de concentração de renda.

Ribeiro (2009), que analisa a vulnerabilidade socioambiental da Região Metropolitana de Fortaleza por meio da superposição de análises de vulnerabilidade social e risco ambiental, identifica que as áreas em melhor situação são as que encontram-se na orla, entre o Mucuripe e a Praia de Iracema, além do Centro e seu entorno – bairros que se estendem do Cocó até o Alagadiço, de modo que a situação de vulnerabilidade tende a se agravar a partir do distanciamento desses bairros, revelando claramente um processo de segregação espacial. Ainda assim, é interessante perceber contrastes sociais geograficamente muito próximos:

Com a expansão da cidade, nos sentidos Sudoeste e Sudeste, novas áreas de especulação e também de núcleos favelados foram sendo constituídos. A distribuição das favelas no espaço urbano obedeceu à expansão da cidade, sendo que os núcleos mais antigos, localizados próximos ao centro, e os que estão situados em áreas de recente valorização, ainda permanecem resistindo em seus territórios, contra a pressão da especulação imobiliária, que se interessa por essas áreas (CARLEIAL; ARAÚJO, 2010).

Para Benevides (2009), esta demanda habitacional desordenada empurra grande parte da população para áreas com risco de deslizamentos, inundações, acidentes e incêndio devido a ocupação de encostas, barrancos, áreas de mangues e dunas, margens de córregos e lagoas (figuras 15 e 16). Segundo relatório de mapeamento de recursos hídricos feito no início de 2016 pela Defesa Civil de Fortaleza, foram identificadas 48 áreas consideradas de alto risco e outras 37 de médio risco nos 110 canais e lagoas catalogados (DEFESA, 2016).

### *3.2.1.2 Aspectos hidrográficos*

Os documentos oficiais publicados pela prefeitura de Fortaleza – sejam estes em parceria com a Cagece ou não – possuem algumas divergências entre si quanto à identificação das bacias hidrográficas que compõem o município de Fortaleza.



Figuras 15 e 16 – Famílias fortalezenses em condições de risco

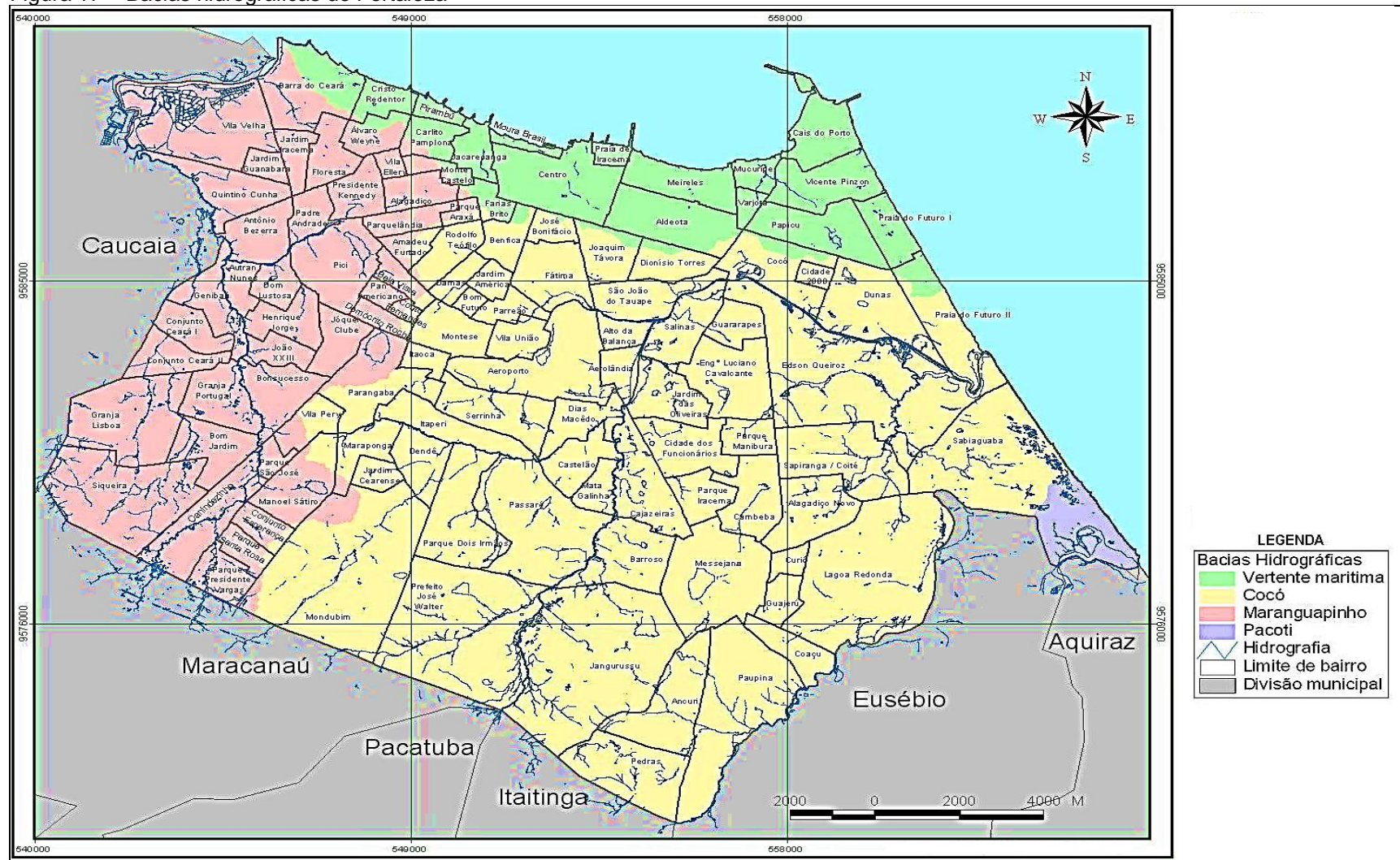


Fontes: TEIXEIRA, 2016. PIRAMBU, 2011.

Neste trabalho serão consideradas quatro bacias hidrográficas, de acordo com a Prefeitura de Fortaleza: bacia da Vertente Marítima, bacia do Maranguapinho/Siqueira, bacia do Cocó e bacia do Pacoti (figura 17). A título de informação complementar, é possível afirmar que as diferenças entre os documentos publicados pela Cagece e da prefeitura são:

- a) a mesma área que é identificada pela prefeitura como pertencente à bacia do Maranguapinho é denominada pela Cagece como bacia do Siqueira;
- b) segundo a Cagece, a região hidrográfica identificada apenas como bacia do rio Cocó pelas informações oficiais da prefeitura é dividida em duas bacias distintas: bacia do Cocó e bacia do Coaçú/Miriú;
- c) os documentos oficiais da Cagece não mencionam a bacia do Pacoti, situada ao extremo leste do município e identificada pela prefeitura; entretanto, para a companhia, a região referente a essa bacia está inserida dentro da bacia do Coaçú/Miriú.

Figura 17 – Bacias hidrográficas de Fortaleza



Fonte: BENTO, 2011.

A bacia da Vertente Marítima possui 34,54 km<sup>2</sup> e estende-se por grande parte do litoral de Fortaleza. Situada entre os rios Ceará e Cocó, é a única das quatro bacias que está totalmente inserida dentro da zona urbana do município. Apresenta topografia favorável ao escoamento das águas para o mar, seja diretamente ou através de riachos – onde os principais são os riachos Pajeú, Maceió, Corrente e Jacarecanga (FORTALEZA, 2003).

De acordo com o Diagnóstico das Atuais Condições de Drenagem do Município de Fortaleza (FORTALEZA, 2013a) – documento que compõe o Plano Municipal De Saneamento Básico de Fortaleza – a bacia da Vertente Marítima caracteriza-se por ser uma região predominantemente residencial e de elevada densidade populacional, o que resulta em uma ocupação generalizada da área, inclusive com invasões dos caminhos preferenciais das águas, de modo que se enxerga na especulação imobiliária uma das grandes culpadas pelo aterramento dos riachos e lagoas.

A bacia do Cocó é a maior das quatro bacias hidrográficas de Fortaleza, cobrindo uma área de 209,63 km<sup>2</sup> – 62,4% do município. Esta bacia também se estende pelos municípios vizinhos como Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga, Eusébio e Aquiraz, tendo como principal afluente o rio de mesmo nome, com cerca de 45 km de extensão. O rio Cocó nasce na Serra da Aratanha, no município de Pacatuba e deságua entre a Praia do Futuro e Sabiaguaba, em Fortaleza. Tem 29 afluentes na margem direita e 16 na esquerda, além de 15 açudes e 36 lagoas (COGERH, 2010 *apud* BENTO, 2011).

Segundo o Inventário Ambiental de Fortaleza (FORTALEZA, 2003), todos os cursos d'água desta bacia apresentam caráter intermitente, permanecendo secos durante a maior parte do ano, exceto próximo ao litoral onde os rios Cocó e Coaçu se tornam semi-perenes.

A bacia do Maranguapinho/Siqueira está localizada na porção oeste de Fortaleza, sendo a segunda maior bacia do município, ocupando uma área de 84,73 km<sup>2</sup> (FORTALEZA, 2013a) O rio Maranguapinho é o maior afluente do Rio Ceará e recebeu este nome por nascer na serra de Maranguape, município que integra a região metropolitana de Fortaleza. Ao longo de sua extensão de 34 km, o Maranguapinho também passa pelos municípios de Maracanaú e Caucaia até se

encontrar com o rio Ceará no Distrito de Antônio Bezerra, em Fortaleza. (FORTALEZA, 2013a).

O percurso feito pelo rio Maranguapinho abrange áreas de grandes concentrações industriais e populacionais, resultando em impactos ambientais de grandes proporções, incidindo diretamente na qualidade de vida das comunidades que residem em seu entorno (CARLEIAL; ARAÚJO, 2010).

Por fim, a bacia do Pacoti é, tratando-se especificamente do território fortalezense, a menor em extensão territorial. O rio Pacoti, seu principal manancial, nasce na Serra de Baturité e percorre 112,5 km até sua foz, na divisa entre os municípios de Fortaleza e Aquiraz (COGERH, 1999).

A região compreendida pela bacia do Pacoti apresenta particular importância ambiental, dada a sua geografia física caracterizada pela presença de dunas móveis – que fazem parte do Parque Natural Municipal das Dunas de Sabiaguaba, criado pelo Decreto Municipal nº 11.986/2006 – e pela Área de Preservação Ambiental (APA) municipal da Sabiaguaba, criada pelo Decreto Municipal nº 11.987/2006. (FORTALEZA, 2006).

As dunas móveis, em especial, são compostas por sedimentos que estão em constante mobilização devido a ausência de solo. Alguns dos possíveis efeitos nos sistemas ambientais dessa mobilidade são assoreamento de rios, aterramento de mangues, soterramento de paleodunas e desvio dos cursos d'água; já nos sistemas antropizados, pode-se verificar soterramento de vias de acesso e de moradias. Todos estes problemas listados são observados na APA da Sabiaguaba. (Fortaleza, 2009).

Além dos sistemas descritos, outra parcela significativa dos sistemas hídricos de Fortaleza são as lagoas. Carleial e Araújo (2010) lembram que Fortaleza poderia ter um grande potencial hídrico e diminuir os impactos da insuficiência de água em períodos prolongados de seca caso boas práticas de manejo e conservação fossem habitualmente aplicados.

### *3.2.1.3 Aspectos sanitários*

Segundo Nottingham (2011), as referências ao esgotamento urbano de Fortaleza são raras até o século XIX, uma vez que os avanços no atendimento

público à população foram lentos e deficientes até a segunda metade do século XX. Até então, conforme relata Ponte (2010), a maioria da população fortalezense ainda tinha a fossa rudimentar como principal instrumento de destinação de seus esgotos domésticos, muitas vezes construídas próximas de cacimbas e poços. Esta proximidade entre as fontes de obtenção de água e os depósitos de resíduos contribuía para o aumento na proliferação de doenças de veiculação hídrica, como a cólera.

De acordo com Bento (2011), foi a partir da consolidação de Fortaleza como capital e principal centro urbano cearense e, mediante o crescimento demográfico e econômico, que políticas de implantação de infraestruturas básicas ganham força, a fim de melhorar a vivência neste núcleo urbano.

Os levantamentos históricos apontados pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza de 2014 informam que Fortaleza teve projetado em 1911 seu primeiro sistema de esgotamento sanitário, que teve suas operações iniciadas em 1927 e cobria uma porção da região central da cidade enviando os efluentes coletados diretamente ao mar sem qualquer tratamento, na região da praia Formosa (FORTALEZA, 2014). A continuidade das ações de implementações de benfeitorias sanitárias coletivas seguiu de forma lenta e priorizando as regiões mais nobres da cidade.

Em 1971, quando apenas 8% da população contava com rede coletora de esgoto, foi criada a Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, através da Lei 9.499/71, sob a forma de empresa de economia mista (CAGECE, 2011).

O período de 1996 a 1998 mostrou-se um marco na recente história de Fortaleza quanto ao oferecimento do serviço de esgotamento sanitário, com a execução do projeto Sanear I, que elevou o atendimento com serviços de esgotamento sanitário de 18% para 60% – baseado na população da época – a partir da construção da Estação de Pré-condicionamento de Esgoto (EPC), automatizada e com capacidade para tratar 4,5 m<sup>3</sup>/s de esgoto. Atualmente, a EPC, em conjunto com redes coletoras, coletores-tronco, interceptores, estações elevatórias, linhas de recalque, estação de tratamento de odores e emissário submarino, constitui o chamado sistema integrado de tratamento, formando um sistema de disposição oceânica (CAGECE, 2010). De acordo com a Cagece,

Fortaleza conta com índices de cobertura de 98,64% para água e 57,10% para esgoto. (CAGECE, 2016a).

Progressivamente, grande parte do crescimento da cidade deu-se no sentido de afastar-se das regiões nobres no centro e litoral, observando-se um aumento significativo dos conjuntos habitacionais dos bairros periféricos. Alguns destes atualmente contam com o processo de coleta, tratamento e disposição concentrado em um mesmo local, constituindo-se assim os chamados sistemas isolados (FORTALEZA, 2014).

Analisando a cobertura do sistema de esgotamento sanitário do município de Fortaleza (figura 18), podemos perceber que o sistema integrado cobre toda a bacia da Vertente Marítima e parte das bacias do Cocó e do Siqueira.

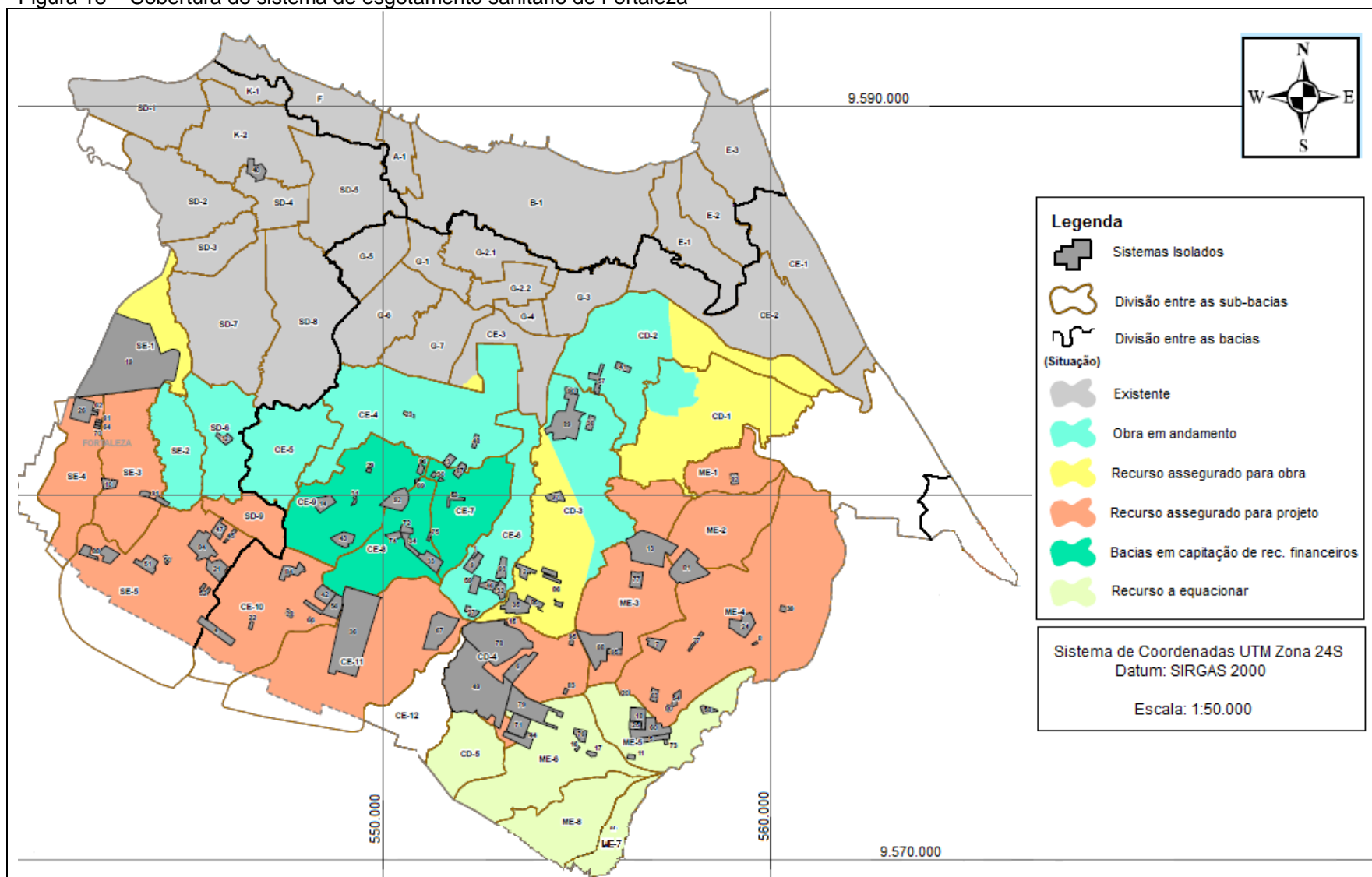
Outra informação trazida pela figura 18 é qual o estado das diversas regiões da cidade frente à existência ou não de rede coletora de esgoto, bem como sua situação quanto à captação de recursos para projetos e obras de coleta, transporte e tratamento de esgoto. Uma vez conhecendo a distribuição demográfica destas regiões, o Plano de Saneamento Básico do Município de Fortaleza (FORTALEZA, 2014) estima a quantidade de habitantes submetida a cada um destes status do sistema (tabela 8).

Tabela 8 – Situação da Ligação de Esgoto

Status do sistema	População (hab.)	Percentual (%)
Existente (incluindo sistemas isolados)	1.545.829	60,7
Em Andamento	305.759	12,0
Recurso Assegurado para Obra	115.422	4,50
Em Captação de Recursos Financeiros	90.390	3,60
Recurso assegurado para Projeto	418.880	16,5
Recursos a Equacionar	52.719	2,10
Demais Bacias	15.876	0,60
<b>Total</b>	<b>2.544.875</b>	<b>100</b>

Fonte: FORTALEZA, 2014

Figura 18 – Cobertura do sistema de esgotamento sanitário de Fortaleza



Fonte: FORTALEZA, 2013c. Adaptação própria.

Juntos, os sistemas isolados e o sistema integrado conseguem atender 57,10% da população fortalezense, contabilizando 388.711 imóveis ligados a rede de esgoto. Este número poderia crescer em cerca de 16%, caso os 63.642 imóveis – estimados por estudos da companhia – que estão em áreas com disponibilidade de rede de esgoto efetuassem a ligação (CAGECE, 2016b). A situação da ligação destes imóveis encontra-se representada na tabela 9.

Tabela 9 – Situação da Ligação de Esgoto em áreas com rede

Situação	Descrição	Número de imóveis
Ativo Normal	Ativas e individuais: rede convencional na via pública	315.416
Ativo Condominial	Ativas compartilhadas entre imóveis: com caixas coletoras nos quintais (fundo de lote);	36.803
Faturado para outro Imóvel	Ativas compartilhadas entre imóveis: caixas coletoras independentes;	13.95
Suspensão	Suspensas por solicitação de corte de água ou decisão judicial;	22.540
Sem Condição de Interligação	Disponíveis, mas sem condições de interligação (desnível de solo);	4.073
Tamponado	Interligadas mas bloqueadas pela companhia;	780
Ligado sem Interligação	Ligação com caixa instalada mas sem interligação ao imóvel;	20.854
Factível	Rede disponível sem existência de caixa para interligação	42.008
<b>Total de ligações</b>		
Imóveis Interligados à Rede		<b>388.711</b>
Imóveis Não Interligados à Rede		<b>63.642</b>

Fonte: CAGECE, 2016b.

Ao avaliar o processo de desenvolvimento urbano – e em particular o tocante ao serviço de esgotamento sanitário – é possível inferir que as características socioeconômicas das diversas regiões de Fortaleza estão associadas à observância da presença ou falta de soluções adequadas para o descarte e tratamento de efluentes, de modo que podemos destacar que:

- a) A área norte da cidade – sobretudo os bairros próximos ao litoral leste, caracterizados por uma elevada verticalização e alto poder aquisitivo, como por exemplo Meireles, Aldeota, Mucuripe e Varjota – já são contempladas pelo sistema integrado.
- b) Embora a área da bacia do rio Cocó em Fortaleza caracterize-se por ser a de menor densidade de ocupação em relação às demais, apresenta-se com maiores perspectiva de crescimento demográfico



(FORTALEZA, 2003). Isso pode ser analisado sob duas perspectivas diferentes:

– Nas regiões nobres que ainda não contam com rede coletora de esgotos, existe uma grande quantidade de empreendimentos particulares – sobretudo condomínios residenciais de alto padrão – que possuem suas próprias estações de tratamento de esgotos, licenciadas e fiscalizadas pela SEUMA e acompanhadas por um responsável técnico, o que representa um custo acessível a este perfil populacional;

– Nas regiões de condições mais precárias – sobretudo naquelas não contempladas pelo sistema integrado – os corpos hídricos da bacia do Cocó sofrem variados impactos decorrentes dos baixos percentuais de esgotamento sanitário e um significativo número de domicílios sem instalações sanitárias domiciliares, como observado nos bairros do Jangurussu, Barroso, Passaré, Castelão, Mata Galinha e Cajazeiras.

c) Na região compreendida pela bacia do Maranguapinho/Siqueira, também pode se observar uma grande quantidade de bairros com baixa cobertura de esgotamento e elevado adensamento populacional, sobretudo nas margens do rio Maranguapinho, tornando o rio um depósito de dejetos e resíduos sólidos (CARLEIAL; ARAÚJO, 2010).

### **3.3 Modelo de apoio multicritério à decisão**

#### **3.3.1 Etapa preliminar**

As características metodológicas anteriormente citadas (ver seção 3.1 Descrição geral das etapas de trabalho) apontaram para a necessidade da concepção de um modelo de apoio à decisão que fosse capaz de atender aos objetivos aqui propostos, respeitando as particularidades do cenário de variáveis consideradas. Para tanto, foi necessária a existência de uma etapa dita preliminar, que forneceu os insumos necessários para que o modelo pudesse ser desenvolvido a contento.

A etapa preliminar objetivou gerar uma maior compreensão do problema a ser resolvido. Embasado pelos fatores reportados na literatura científica que vinculam a vulnerabilidade socioambiental de uma região com as atividades antrópicas e as possíveis não conformidades que uma ETE pode apresentar durante sua operação, investigou-se como estas não conformidades poderiam ser identificadas, mensuradas e relacionadas à vulnerabilidade socioambiental do entorno de uma ETE para se estruturar um modelo de priorização de intervenção. Ratificando o conteúdo exposto anteriormente, é importante lembrar que nesta pesquisa o termo “intervenção” é entendido como uma ação por parte dos órgãos licenciadores e fiscalizadores das atividades de uma ETE no sentido de priorizar sua ação fiscalizatória ou por parte da própria companhia local de saneamento que procure eliminar ou atenuar possíveis não conformidades identificadas nas ETEs.

Para se compreender melhor o problema, foram realizadas visitas a algumas das ETEs da cidade de Fortaleza pertencentes à Cagece já identificadas no Plano Municipal de Saneamento Básico (FORTALEZA, 2013a) como estações que apresentam problemas diversos. Durante essas visitas foi verificada a ocorrência de não conformidades, tanto de natureza operacional como também aquelas associadas aos padrões de lançamento de efluente tratado exigidos pela legislação aplicável. Interagindo com os operadores e os supervisores das ETEs visitadas, percebeu-se que alguns problemas de ordem social também estavam diretamente ligados às atividades das estações. A figura 19 mostram algumas das não conformidades observadas durante as visitas da etapa preliminar.

Paralelo a estas ações de visitação, a problemática foi também levantada para profissionais ligados aos órgãos ambientais de licenciamento e fiscalização destes empreendimentos, os quais estão constantemente em contato com a realidade aqui investigada.

Portanto, antes da estruturação matemática do modelo foi preciso definir aspectos como o tipo de decisão, as alternativas a serem avaliadas, os critérios e os atores de decisão, conforme abordado nas seções seguintes.

Figura 19 – Parte dos problemas verificados durante visitas da etapa preliminar



Fonte: O autor.

### 3.3.1.1 Definição do tipo de decisão

A escolha e construção do processo decisório exige um entendimento integrado de diversos fatores, como os objetivos a serem alcançados, os tipos de recursos disponíveis, o conhecimento acerca do objeto de estudo, os fatores limitantes que cercam a problemática etc. Durante a etapa preliminar, algumas características do problema permitiram concluir que o mesmo poderia ser resolvido

segundo a aplicação de um modelo de Apoio Multicritério à Decisão (AMD). Gomes e Gomes (2014) elencam algumas destas características que puderam ser percebidas na problemática levantada e ratificam a escolha deste modelo:

- a) os critérios de resolução do problema são em número de, pelo menos, dois e conflitam entre si;
- b) tanto os critérios como as alternativas de solução não são claramente definidos e as consequências da escolha de uma dada alternativa com relação a, pelo menos um critério, não são claramente compreendidas;
- c) os critérios e as alternativas podem estar interligados, de tal forma que um dado critério parece refletir-se parcialmente em um outro, ao passo que a eficácia da escolha de uma dada alternativa depende de outra ter sido ou não escolhida, no caso, as alternativas não são mutuamente exclusivas;
- d) a solução do problema depende de um conjunto de pessoas, cada uma das quais tem seu próprio ponto de vista;
- e) alguns dos critérios são quantificáveis, ao passo que outros só o são através de julgamentos de valor, efetuados sobre uma escala.

O AMD pode ser concebido a partir de uma visão construtivista ou prescritivista. Conforme apresentado na seção 2.2.1.4 Tipos de paradigmas, uma das características do modelo construtivista é a interação que efetive a comunicação e a participação dos atores em todas as fases do processo decisório (ENSSLIN,1998). Na visão prescritivista, o facilitador reúne as informações que descrevem o problema – inclusive informações acerca da preferência dos decisores – e constrói um modelo que será proposto aos decisores, cabendo a estes concordarem ou não. Deste modo, a aplicação utilizada nesta pesquisa melhor se enquadra dentro do paradigma prescritivista.

Deve-se destacar que um dos principais fatores inerente ao AMD é a subjetividade (BANA E COSTA, 1992; GERSHON; GRANDZOL, 1994), de modo que são reportados diferentes juízos de valor pelos diversos atores de decisão. Esta característica foi observada durante a construção da metodologia proposta por esta pesquisa e confirma a assertividade na escolha do AMD.

Um problema de AMD que objetiva a priorização de alternativas é classificado como de hierarquia/sobreclassificação (GOMES; GOMES, 2014). Neste estudo de caso as ETEs foram hierarquizadas segundo a prioridade de intervenção.

Uma vez que foi considerado um número finito de ETEs, o problema é identificado como discreto. No caso de problemas com uma quantidade de alternativas infinitas ou muito grande o problema é classificado como contínuo e necessita de métodos de otimização multicritério ou métodos iterativos (CAMPOS, 2011).

Ao se adotar este tipo de metodologia é importante lembrar que a estruturação do modelo não pode ser concebida a partir de um modelo genérico, uma vez que se verifica a ausência de métodos puramente matemáticos (BANA E COSTA, 1992). No entanto, conforme expõem Gomes e Gomes (2014), ainda que a construção do modelo permita grande autonomia para quem o concebe, é preciso averiguar se o modelo proposto é capaz de ser aceito pelos decisores como um esquema de representação e organização dos elementos primários de avaliação, servindo de base à aprendizagem, à investigação, à comunicação e à discussão entre os decisores.

### *3.3.1.2 Definição dos participantes do processo decisório*

A proposta desta pesquisa de desenvolver uma metodologia multicriterial para hierarquizar a prioridade de intervenção nas ETEs segundo sua relação com a vulnerabilidade socioambiental visa fornecer uma ferramenta de trabalho para atender diversos tipos de grupos que atuam na área do esgotamento sanitário.

Assim, para o processo decisório foi feita a seleção de nove atores de decisão, oriundos de três diferentes grupos:

- a) gestores da companhia de saneamento local (Cagece);
- b) autoridades ambientais que atuam em órgãos de fiscalização, monitoramento e controle ambiental da cidade de Fortaleza;
- c) acadêmicos especialistas no tratamento de esgotos.

Dessa forma, foi possível obter as percepções daqueles que mantêm um contato direto com a realidade do tema pesquisado – e tenham qualificação técnica para responder com acurácia os questionamentos propostos, além de

disponibilidade para colaborar com a pesquisa. O quadro 6 objetiva descrever de forma sucinta o perfil técnico/profissional dos decisores, alocando-os segundo a sua respectiva classe.

Quadro 6 – Perfil técnico/profissional dos decisores

Classe de decisor	Perfil técnico/profissional
Gestores da Cagece	Engenheiro civil especialista em Saneamento Básico. Trabalha há 2 anos diretamente na gestão das ETES.
	Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Trabalha há 2 anos diretamente na gestão das ETES.
	Topógrafo com especialização em saneamento ambiental. Trabalha como supervisor das ETES há 7 anos, já exercendo outras funções correlatas.
Autoridades de órgãos ambientais	Engenheiro químico com especialização em saneamento ambiental. Trabalha há 10 anos na SEUMA exercendo funções de gerenciamento na Célula de Controle de Efluente.
	Engenheiro químico com especialização em saneamento ambiental. Longa experiência a frente de cargo gerencial na ACFOR.
	Engenheiro químico. Trabalha há 5 anos na SEUMA exercendo funções de licenciamento, fiscalizações e controle na Célula de Controle de Efluente.
Acadêmicos especialistas no tratamento de esgotos	Engenheiro Sanitarista e de Segurança do Trabalho, doutora em Recursos Hídricos, MBA em Gestão Empresarial, professor adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará
	Engenheiro civil, PhD em Saneamento Ambiental, professor adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará e consultor de empresas públicas e privadas na área de tratamento de esgoto
	Engenheiro civil, doutor em Saneamento Ambiental, professor adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Fonte: O autor.

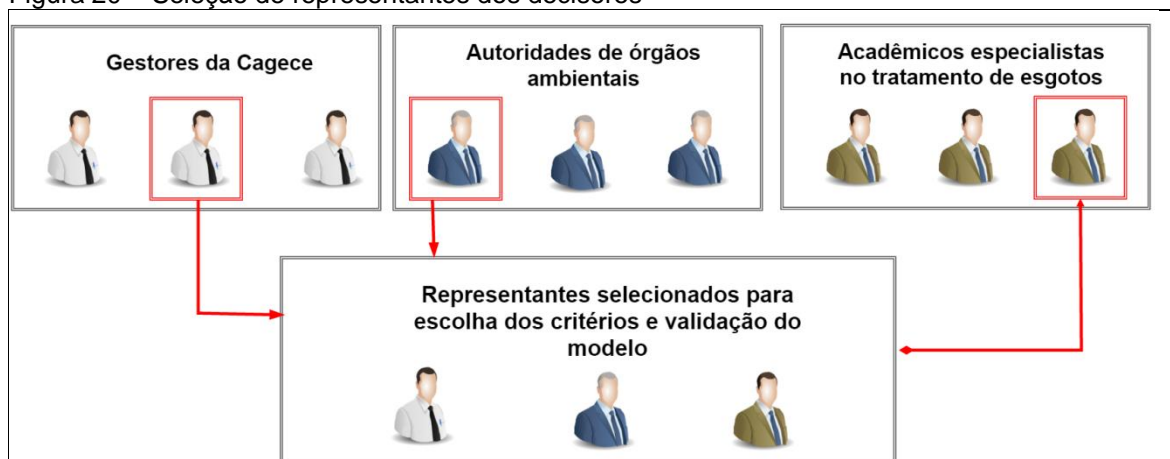
Vale ressaltar que para o processo de seleção de critérios e validação do modelo de AMD desenvolvido foi selecionado um representante de cada uma das classes de decisores; entretanto, na etapa em que se aplicou um questionário aos decisores para se perceber a relevância de cada um dos critérios, todos os nove atores de decisão selecionados foram requisitados. Estas duas temáticas também são detalhadas pelas seções a seguir.

### 3.3.1.3 Definição dos critérios

Esta seção apresenta o processo de seleção e validação dos critérios a serem utilizados no modelo de AMD, também incluindo um maior aprofundamento acerca da natureza particular de cada um dos critérios e fontes de obtenção dos mesmos. Já o tratamento analítico que integra os critérios selecionados ao modelo de AMD é encontrado na seção 3.3.2 Modelagem matemática dos valores obtidos.

Três representantes, cada um proveniente de uma classe distinta de decisores, foram particularmente consultados até que se chegasse ao modelo final, conforme exibido na figura 20. As entrevistas realizadas com os representantes foram pautadas sempre em como a operação de uma ETE – e conseqüentemente suas possíveis não conformidades – estariam relacionadas com a vulnerabilidade socioambiental da região que compreende a circunvizinhança desta ETE.

Figura 20 – Seleção de representantes dos decisores



Fonte: O autor.

As consultas foram realizadas em duas etapas distintas:

- a) Na etapa preliminar, o objetivo era contribuir no processo de entendimento da problemática abordada, tendo como resultado final a escolha dos critérios que seriam utilizados no modelo de AMD;
- b) Na etapa de validação do modelo cada um dos representantes deveria avaliar e, caso fosse necessário, sugerir alterações no modelo proposto, de modo que o mesmo deveria ser aperfeiçoado e novamente apresentado até que houvesse consenso pleno de sua capacidade representativa em atender aos objetivos desta pesquisa.

Na etapa de definição dos critérios, os decisores exprimiam suas percepções tendo por base não somente os dados já reportados pela literatura ou pelos documentos oficiais da prefeitura, mas tendo completo acesso às informações coletadas em campo, perfil das informações disponíveis nos bancos de dados da Cagece ou que poderiam ser cedidas pelos órgãos ambientais responsáveis pela fiscalização destes empreendimentos.

Deste modo, o processo de concepção dos critérios foi desenvolvido não somente segundo as características das ETEs em questão, mas também sempre considerando a viabilidade do mecanismo de obtenção das informações pertinentes.

Vista a amplitude do conceito de vulnerabilidade socioambiental, os critérios foram divididos em três classes: ambiental, operacional e social. O quadro 7 exhibe quais os critérios foram selecionados após o processo de análises e entrevistas com os atores de decisão selecionados.

Quadro 7 – Critérios avaliados pelos atores de decisão no questionário

<b>Classe de critério: Ambiental</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ pH;</li> <li>✓ Demanda química de oxigênio</li> <li>✓ Sólidos suspensos totais</li> <li>✓ Escherichia coli</li> </ul>
<b>Classe de critério: Operacional</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mau desempenho da unidade de desarenação;</li> <li>✓ Ocorrência de maus odores;</li> <li>✓ Problema com descarte de lodo (podem ser descargas posicionadas incorretamente, descarga insuficiente para boa operacionalização, leitos de secagem inadequados etc.);</li> <li>✓ Assoreamento ou presença de resíduos sólidos;</li> <li>✓ Problemas no estado de conservação das unidades de tratamento (falta de manutenção, problemas na concepção dos projetos, etc.);</li> <li>✓ Problemas no estado de conservação predial (estrutura física);</li> <li>✓ Problemas com a segurança (histórico de roubos, vandalismos, invasões, ameaças aos colaboradores etc.);</li> </ul>
<b>Classe de critério: Social</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Índice de Desenvolvimento Humano dos Bairros (calculado a partir de indicadores de renda, da educação e da longevidade encontrados no censo demográfico realizado no ano de 2010);</li> <li>✓ Percentual de domicílios ligados à rede geral de água do bairro em que a ETE está inserida;</li> <li>✓ Percentual de domicílios ligados à rede geral de esgoto do bairro em que a ETE está inserida;</li> </ul>

Fonte: O autor.



A definição dos critérios a serem utilizados revelou quais quesitos o modelo multicritério a ser desenvolvido deveria considerar; entretanto esta definição não consolida quais as formas de mensuração destes critérios, qual a importância relativa dos mesmos para os decisores ou como estes devem ser equacionados pelo modelo. Para tal, e recordando que no paradigma prescritivista os decisores não participam diretamente da construção do modelo, faz-se necessário que o facilitador conceba um modelo de AMD a ser avaliado e validado pelos decisores.

É possível concluir que o êxito na realização desta etapa foi fundamental não somente para o cumprimento das fases propostas no trabalho, mas como validação da aplicabilidade do modelo de AMD. É preciso que o processo de concepção aponte para critérios que possam ser avaliados de forma prática – conforme indicavam as informações levantadas durante visitas às ETEs e discussão com os especialistas; do contrário, teríamos um modelo puramente teórico e que não apresentaria possibilidade de aplicação em um estudo de caso, não sendo adequado para os fins desta pesquisa.

#### 3.3.1.3.1 Critérios ambientais

Tal como abordado pela seção 2.1.3 Legislação ambiental vinculada ao tratamento de esgotos, a Portaria nº.154/2002 da SEMACE é a legislação em instância estadual que dispõe os padrões de qualidade para efluentes líquidos tanto para as indústrias – ou qualquer fonte poluidora localizadas em áreas não dotadas de rede pública de esgoto provida de sistema de tratamento, como também para das instituições prestadoras de serviços públicos de esgotamento sanitário. Deste modo, foi a partir dos parâmetros exigidos por esta legislação que se buscou constituir o estudo de quais parâmetros ambientais iriam compor esta pesquisa.

É natural que no processo de construção do modelo multicritério, o facilitador busque encontrar um equilíbrio entre a quantidade de informações a serem utilizadas com suas respectivas disponibilidades e representatividades, de modo que no caso da caracterização do efluente tratado, por exemplo, podem-se eleger parâmetros específicos para representar a qualidade relativa de uma maneira geral, sempre salvaguardando as recomendações dadas pelos especialistas participantes do processo. Deste modo, a dinâmica do processo decisório resultou

na escolha de quatro parâmetros exigidos pela Portaria nº.154/2002 da SEMACE.

Foram eles:

- a. potencial hidrogeniônico (pH);
- b. Demanda Química de Oxigênio (DQO);
- c. Sólidos em suspensão totais (SST);
- d. coliformes fecais (*E. coli*).

#### 3.3.1.3.2 Critérios operacionais

Os critérios operacionais propostos visam identificar a observância de possíveis não conformidades nas quatro modalidades de ETEs que compõem o estudo de caso: decanto digestor, reatores UASB, lagoas de estabilização e lodos ativados.

O Diagnóstico das atuais condições de drenagem do município de Fortaleza (FORTALEZA, 2013a) – documento que integra o Plano Municipal De Saneamento Básico de Fortaleza – apresenta uma série de problemas identificados nas ETEs. Entretanto, para a construção da base de informações a ser utilizadas nesta pesquisa, cada uma das não conformidades propostas foi reavaliada juntamente com os supervisores das ETEs, a partir das observações em campo possibilitadas pelas visitas realizadas, de modo a fazer uma atualização dos problemas já retratados pelo referido documento, seja pela inclusão de novas situação adversas, seja pela retirada daquelas que já tiveram sua problemática sanada. Os critérios operacionais avaliados para cada estação foram:

- a) desempenho na unidade de desarenação;
- b) maus odores;
- c) descarte inadequado de lodo;
- d) assoreamento ou resíduos sólidos;
- e) estado de conservação das unidades de tratamento;
- f) estado de conservação predial;
- g) segurança.

Todas as estações avaliadas pelo estudo de caso possuem gradeamento com limpeza manual feita pelo próprio operador responsável da ETE, de modo que durante a avaliação prévia das unidades não foi relatado ou verificado problemas

nesta etapa do tratamento. Entretanto, a operação de desarenação mostrou-se em desconformidade com o esperado em muitas situações, seja pelo seu atual estado de operação, seja pela inexistência desta unidade. Por fim, como nenhuma das estações avaliadas conta com caixa de gordura, a análise do tratamento preliminar das ETEs aborda especificamente o desempenho na unidade de desarenação.

Foi verificado junto aos operadores e supervisores de cada uma das estações a ocorrência de histórico de maus odores. Estes são decorrentes de subprodutos do tratamento e das condições de operação, de modo que costumam causar desconforto na população que reside nas proximidades da estação. A ocorrência de maus odores nas estações de reator UASB também, quando é permanente, pode indicar vazamento do biogás do reator, falta ou mau funcionamento da campânula, dos defletores internos e de coletores de gás (FORTALEZA, 2013a).

Dentre os aspectos necessários para promover um satisfatório desempenho nas ETEs de reator UASB, é importante que os reatores possuam boa operacionalidade em todo o processo de descarte de lodo. Foi averiguada a ocorrência de descargas posicionadas incorretamente ou com erros de concepção, além de ser verificada a existência de leitos de secagem inadequados, seja por apresentarem-se colmatados ou por erros construtivos que impossibilitassem sua utilização adequadamente. O descarte de lodo também foi avaliado para as estações com tecnologias de decanto digestor e lodos ativados, enfocando em possíveis desconformidades em seu tratamento e disposição final.

O critério referente ao “assoreamento ou resíduos sólidos” buscou verificar a ocorrência de acúmulo de areia e outros detritos no fundo das lagoas de estabilização – o que gera uma diminuição do volume útil e conseqüentemente problemas operacionais (FORTALEZA, 2013a). Sabendo que comumente são encontrados sacos de lixo, tocos de madeira, pneus, estopas, cadeiras e sofás dentro das lagoas, também foi verificado se a estação em análise tinha problemas de despejo indevido de resíduos. Para as ETEs que utilizam as demais tecnologias, foram verificadas a existência de acúmulo de lixo, resíduo da construção civil ou podas de árvore depositados de forma inapropriada dentro da área pertencente à estação.

O critério “estado de conservação das unidades” avalia qual a condição das ETEs quanto à conservação das unidades de tratamento, considerando a escolha de materiais inadequados e de má qualidade e/ou a falta de manutenção, que pode fazer com que as estruturas estejam mais suscetíveis aos efeitos de degradação, como a corrosão, que diminuem a vida útil e comprometem o bom desempenho da estação (FORTALEZA, 2013a).

Na constituição do critério “estado de conservação predial” foi avaliado possíveis problemas de conservação da estrutura física das ETEs, como a existência de algum tipo de estrutura comprometida que oferecesse risco ao operador, crescimento de vegetação e acúmulo de entulho na área interna.

Quanto ao critério de segurança, as modalidades de vigilância investigadas foram eletrônica, uso de concertina e sensor ou presença de vigilante terceirizado. Já os problemas de segurança que foram alvo de pesquisa avaliaram possíveis históricos de invasões, vandalismo ou eminente risco ao operador e/ou equipamentos. Diante disto, formou-se uma classificação em três níveis de comprometimento, conforme visto a seguir:

- a) crítica: A estação não possui nenhum tipo de vigilância e sofre com problemas de invasão, vandalismo e eminente risco ao operador e/ou equipamentos;
- b) razoável: A estação não possui nenhum tipo de vigilância, entretanto não apresenta histórico de problemas com segurança ou a estação possui algum tipo de vigilância e apresenta histórico de problemas com segurança;
- c) satisfatória: A estação possui algum tipo de vigilância e não apresenta histórico de problemas com segurança.

#### 3.3.1.3.3 Critérios sociais

A composição dos critérios sociais a fim de se avaliar a correlação entre a vulnerabilidade socioambiental e a operação das ETEs foi baseada na análise de indicadores fornecidos pelo Censo Demográfico de 2010 do IBGE, o qual desagregou as informações socioeconômicas para todos os bairros existentes na capital.

É importante perceber que, ao utilizar-se esta base de dados – em detrimento aos possíveis dados que poderiam ser obtidos por outros estudos de vulnerabilidade socioambiental em Fortaleza (COSTA; DANTAS, 2009) – garante-se a possibilidade de reprodução do modelo de AMD aqui proposto em outras localidades, salvaguardadas as devidas alterações fruto de levantamento e discussão das informações do possível novo local, naturalmente esperadas pelos paradigmas científicos associados à ciência do apoio à decisão.

A compilação de dados dos valores de IDH de cada uma das localidades em que as ETEs estão inseridas foi feita a partir de um estudo realizado pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico (SDE) da Prefeitura de Fortaleza. (FORTALEZA, 2013b).

O referido estudo tem como base os dados do censo demográfico realizado no ano de 2010 e calcula o valor de IDH para cada um dos 119 bairros de Fortaleza, originando o chamado Índice de Desenvolvimento Humano dos Bairros (IDHB).

Considerando um espaço amostral com “n” bairros, a metodologia para o cálculo do IDHB pode ser fundamentada em duas etapas:

- a. definição dos valores máximos e mínimos dos indicadores que compõem as dimensões da renda<sup>2</sup>, da educação<sup>3</sup> e da longevidade<sup>4</sup>, de modo a transformar os indicadores em índices variando no intervalo entre 0 e 1, segundo equação 18;

$$\text{índice de dimensão } i = \frac{\text{Valor}_i - \text{Valor}_{\min}}{\text{Valor}_{\max} - \text{Valor}_{\min}} \quad \text{para } i = 1,2,3 \dots n \quad (18)$$

- b. agregação dos subíndices para produzir o IDHB, por meio da média geométrica dos índices das três dimensões, conforme equação 19;

$$\text{IDHB}_i = \sqrt[3]{i_{\text{Renda}} \cdot i_{\text{Educação}} \cdot i_{\text{Longevidade}}} \quad \text{para } i = 1,2,3 \dots n \quad (19)$$

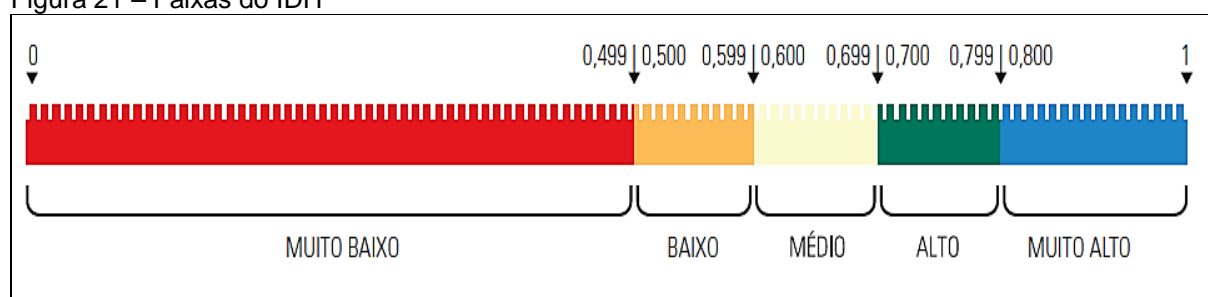
<sup>2</sup>Utilizada a variável Renda Média Mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade.

<sup>3</sup>Utilizada a variável Porcentagem da População de 10 anos ou mais alfabetizada.

<sup>4</sup>Utilizada a variável Porcentagem da População maior de 64 anos residente no bairro.

Vale ressaltar que apesar de utilizar metodologia semelhante ao cálculo do IDH para países, o PNUD adverte em seus manuais que não podem ser feitas comparações diretas entre os valores oficiais de IDH e outros índices correlatos, devido as adaptações metodológicas, neste caso, a nível municipal e de bairro (FORTALEZA, 2013b). Entretanto, a interpretação de comparações feitas entre valores de IDH municipal pode receber atribuições segundo faixas de valores (figura 21), de sorte que o mesmo raciocínio pode ser estendido para a comparação entre bairros, desta vez com o chamado IDHB.

Figura 21 – Faixas do IDH

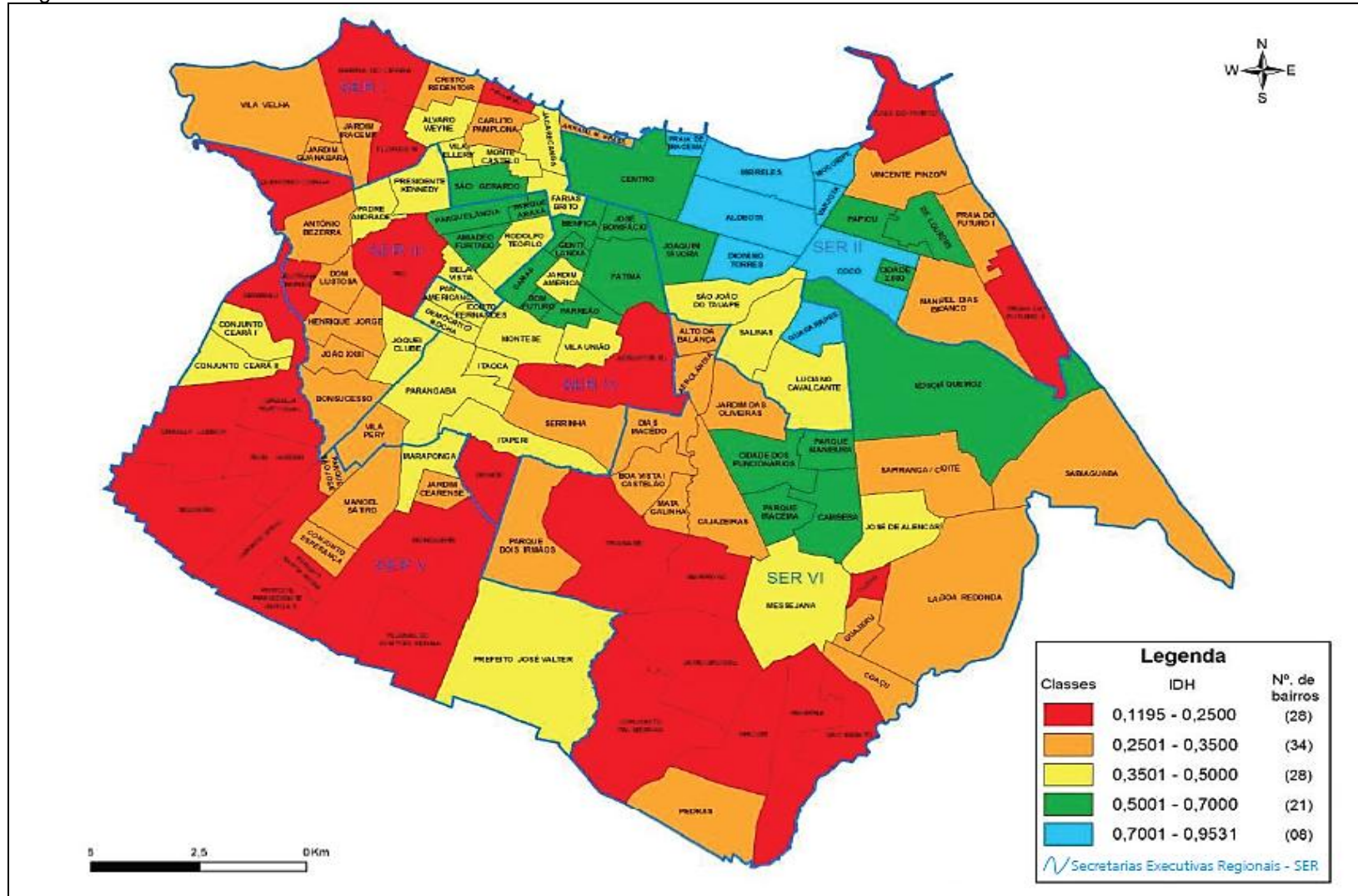


Fonte: IPEA, 2013

O mapa temático a seguir (figura 22) ilustra a classificação do IDHB segundo os níveis de desenvolvimento humano dos bairros em 2010<sup>5</sup>. É possível observar que muitos bairros apresentam condições de baixo IDHB, de modo que 28 bairros encontram-se com IDHB abaixo de 0,25, principalmente nas regiões mais afastadas da porção central-norte da cidade, que é contemplada pelo sistema integrado de tratamento de esgoto.

<sup>5</sup> A legenda foi elaborada utilizando o método de quebras naturais. Conforme Medeiros (*apud* FORTALEZA, 2013b), este método é baseado na variabilidade dos dados, minimizando a soma da variância dentro de cada uma das classes e maximizando entre as classes, tendo como consequência a homogeneidade interna dentro das mesmas e a formação de agrupamentos e padrões inerentes aos dados.

Figura 22 – IDHB de Fortaleza – 2010



Fonte: Fortaleza, 2013b.

Os dados utilizados para a composição dos critérios relativos aos percentuais de domicílios ligados a rede geral de água e rede de esgoto ou pluvial foram indicadores retirados do Censo Demográfico de 2010 do IBGE, de modo que foram previamente tratados pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) em estudo que traçou o Perfil Municipal de Fortaleza (CEARÁ, 2012a).

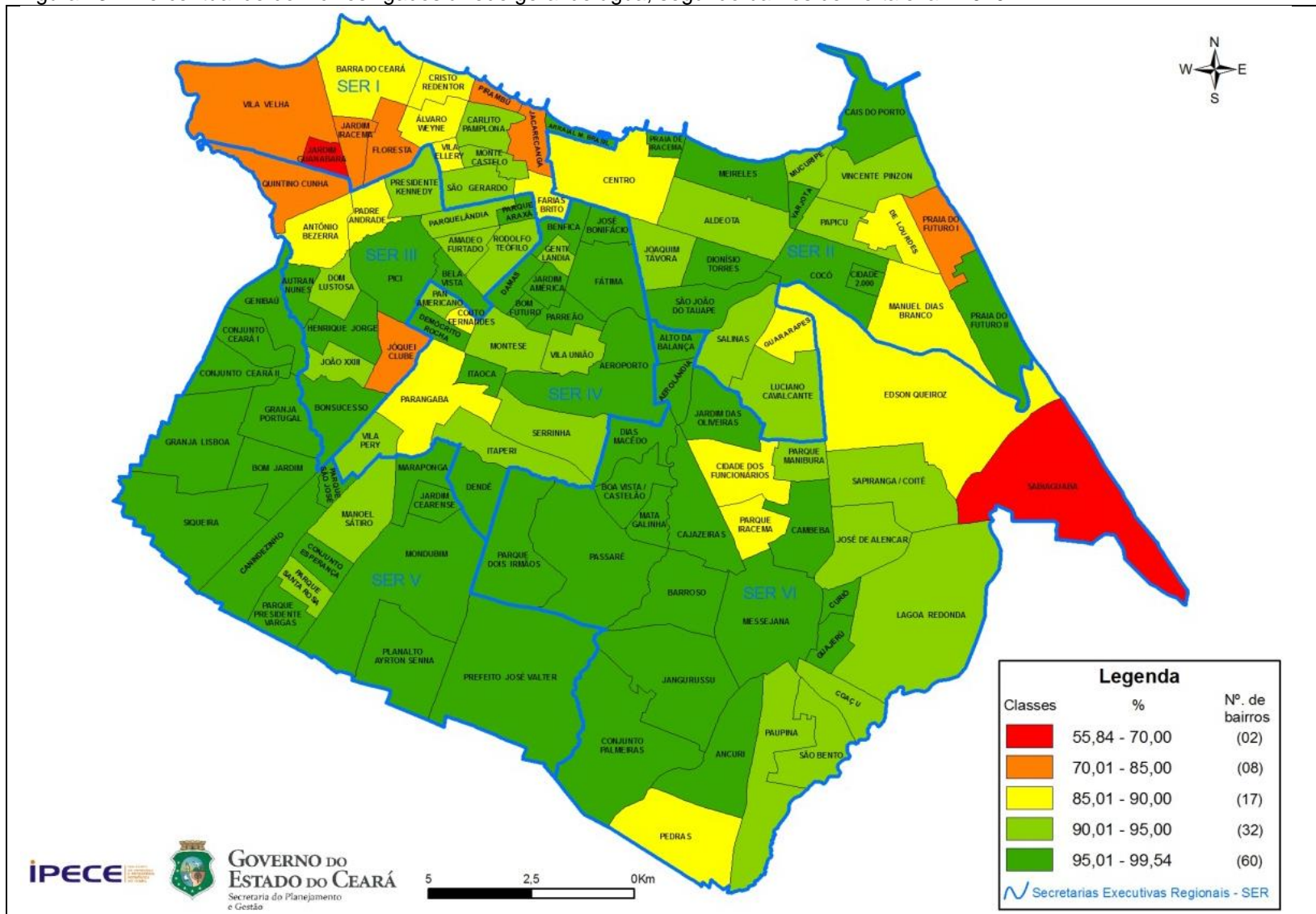
É importante lembrar que esta abordagem foi possível devido o Censo Demográfico de 2010 do IBGE ter tido como lócus geográfico a unidade territorial do bairro – gerando dados para cada um dos 119 bairros de Fortaleza e possibilitando desta forma o estudo e o entendimento da situação da cidade sobre os aspectos abordados.

Os mapas a seguir reproduzem o percentual de domicílios ligados à rede geral de água e de esgoto de acordo com a classificação proposta (figuras 23 e 24, respectivamente).

Para os três critérios da classe social, os valores absolutos extraídos diretamente das fontes citadas e os valores das variáveis do modelo de AMD relativos à classe social encontram-se no Apêndice G.

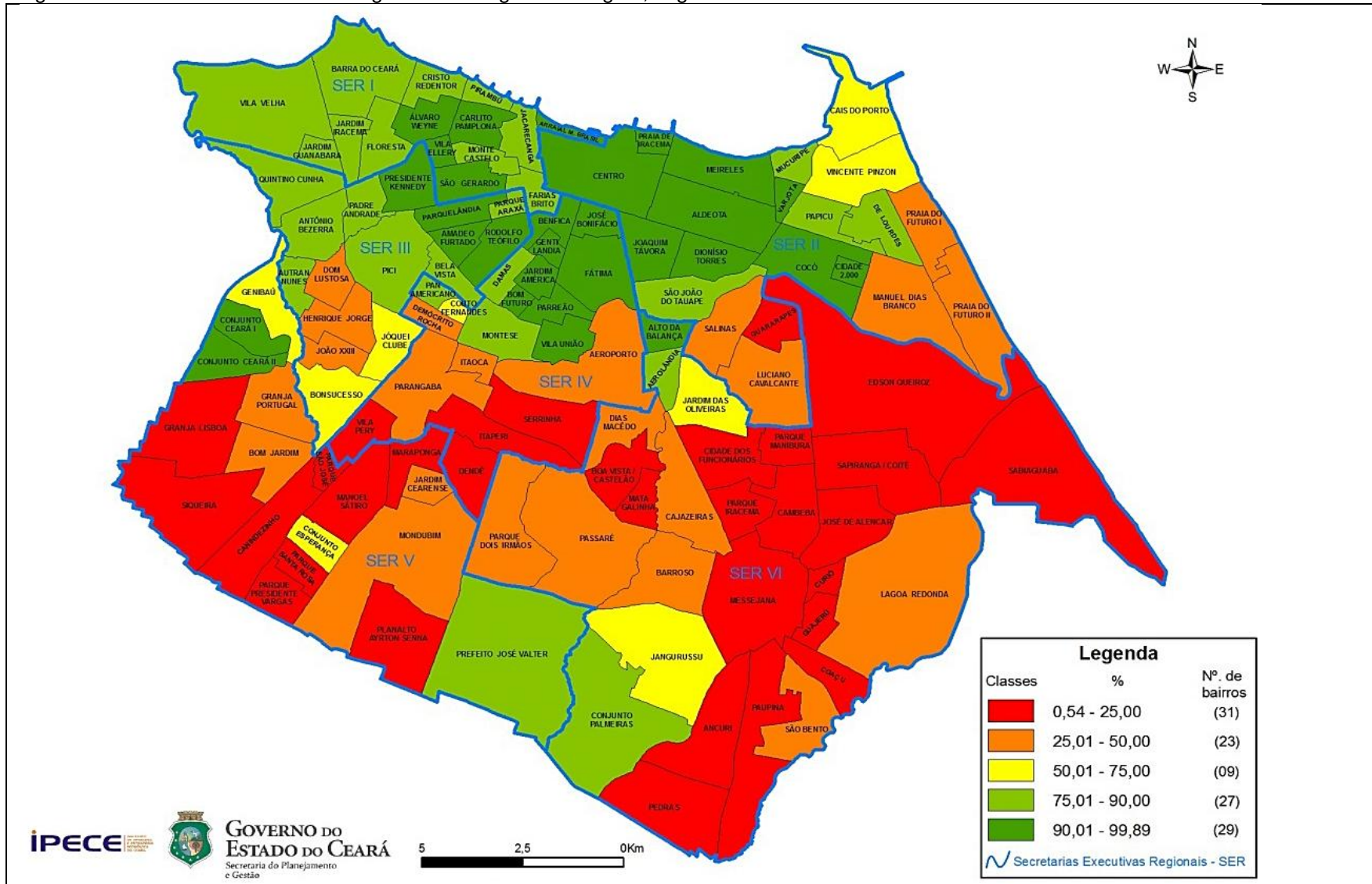


Figura 23 – Percentual de domicílios ligados à rede geral de água, segundo bairros de Fortaleza - 2010.



Fonte CEARÁ, 2012.

Figura 24 – Percentual de domicílios ligados à rede geral de esgoto, segundo bairros de Fortaleza – 2010



Fonte CEARÁ, 2012.

#### 3.3.1.4 Definição das alternativas

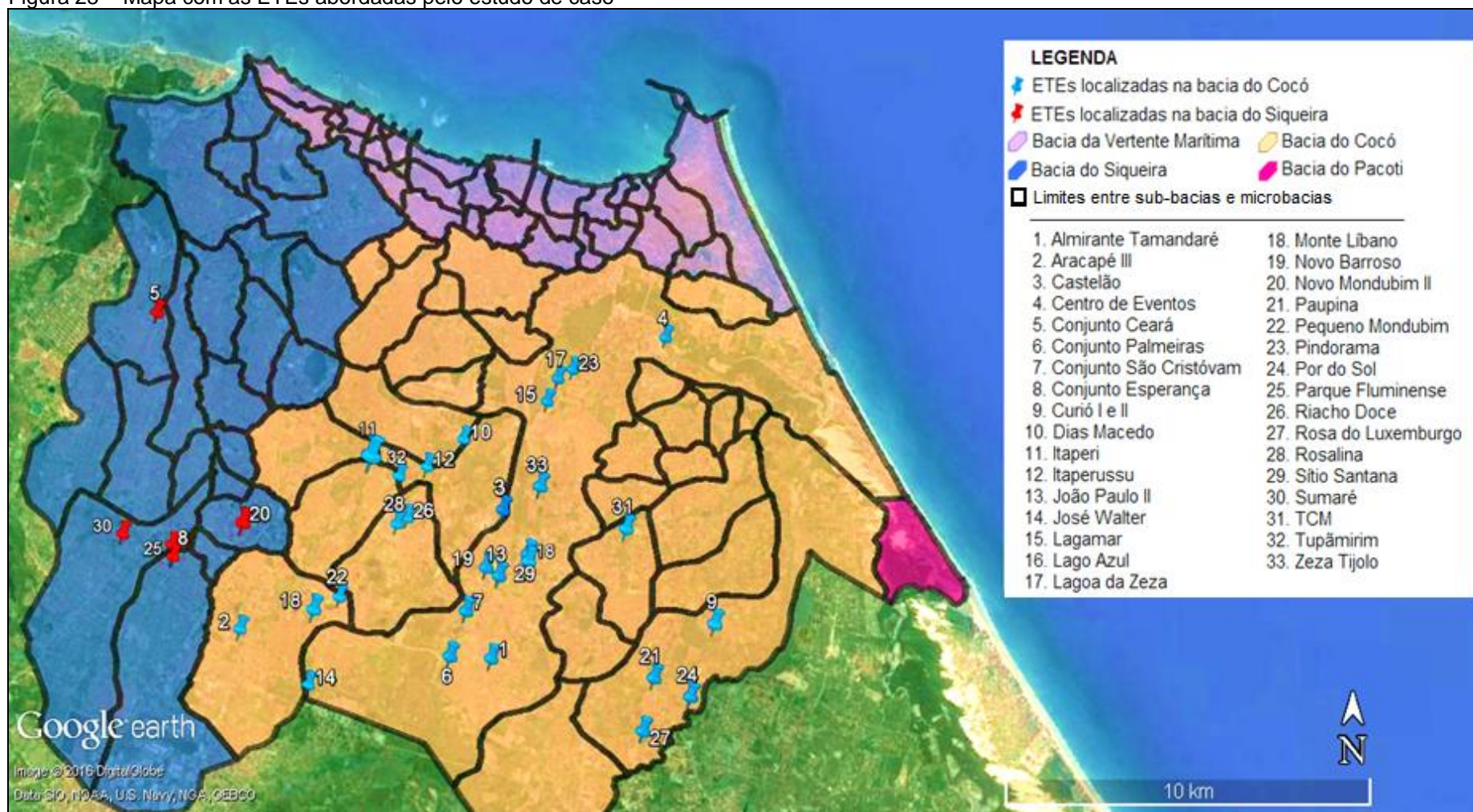
O Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza de 2014 (FORTALEZA, 2014) apontou a existência de 97 sistemas isolados em Fortaleza sob a responsabilidade de Cagece, que assume a manutenção e operação dos referidos sistemas.

Entretanto, alguns destes sistemas encontram-se desativados ou em processo de desativação, decorrente de causas diversas como a mudança de sua finalidade última (com adaptações de algumas ETEs para que estas se tornem apenas estações elevatórias) ou problemas relacionados à segurança que impossibilitaram a continuidade das operações. É importante ressaltar que alguns sistemas isolados foram desativados devido ao Programa de Infraestrutura Básica e Saneamento de Fortaleza (SANEFOR), de modo que algumas ETEs foram interligadas a rede coletoras e interceptores. (FORTALEZA, 2014).

A seleção de cada ETE dependeu diretamente da disponibilidade – por parte da Cagece ou da Prefeitura de Fortaleza – de uma série histórica mínima de amostras referentes aos dados qualitativos relacionados aos padrões de qualidade do efluente tratado, conforme exigido pela Portaria nº SEMACE 154/2002, para que se pudesse alimentar o modelo de AMD a ser criado, neste caso ao que se refere aos quatro critérios da classe ambiental. Uma vez verificada a impossibilidade de obtenção – ou até mesmo a sua inexistência – destas informações a contento, não foi possível integrar algumas ETEs ao escopo da pesquisa.

Assim, foram selecionadas 33 ETEs, contemplando as duas sub-bacias do Cocó e do Siqueira, com números de 28 e 5 ETEs avaliadas em cada uma delas, respectivamente. Estas ETEs estão mapeadas na figura 25 e identificadas com mais riqueza de detalhes no Apêndice C.

Figura 25 – Mapa com as ETEs abordadas pelo estudo de caso



Fonte: Elaboração própria, utilizando o Google Earth Pro 7.1.5.1557.

Para se fazer uma coleta padronizada de dados sobre as condições ambientais, operacionais e sociais em que estão inseridas as ETEs do estudo de caso, foi utilizada uma ficha de avaliação (vide Apêndice A). O procedimento de reunião das informações foi orientado conforme uma perspectiva sistêmica e holística, baseado naquilo que foi estabelecido nos objetivos e referencial teórico.

Assim, utilizou-se:

- a. observações em campo, com visitas às ETEs na presença do respectivo supervisor e também colhendo informação junto aos operadores;
- b. avaliação técnica por meio de laudos de controle de qualidade;
- c. pesquisa em documentos oficiais de domínio público divulgados pela Prefeitura de Fortaleza, especificamente referenciados quando citados;
- d. pesquisa em documentos de monitoramento e controle interno cedidos pela Cagece, sempre mantendo a observância do Termo de Responsabilidade Para Uso de Informações, relativo à implantação da política de Propriedade Intelectual na Cagece.

A identificação de cada uma das 33 unidades avaliadas contou com a reunião das seguintes informações:

- a) nome da estação;
- b) bacia a qual pertence – Cocó, Siqueira, Pacoti ou Vertente Marítima;
- c) endereço;
- d) tecnologia da ETE – UASB, decanto-digestor, lagoa de estabilização ou lodos ativados.

É importante ressaltar que também foram verificadas quais as variações adotadas dentro da tecnologia, como a disposição dos tipos e ordens das lagoas e a existência ou não de outras unidades de tratamento associadas aos reatores UASB. Todas estas informações estão apresentadas no Apêndice C.

### *3.3.1.5 Escolha do método multicritério*

De acordo com Vincke (1992), o AMD não deve representar somente uma técnica de agregação de preferência, mas sim dar suporte aos decisores para que compreendam melhor o problema, ficando claro que cada metodologia a ser

utilizada para se chegar nas respostas requeridas suscita um processo particular de resolução, podendo refletir inclusive no resultado final.

A escolha de um método de apoio à decisão deve ser embasada pelas características básicas do problema, como o tipo de problemática, os tipos de critérios e de alternativas, as formas com que as informações ao longo do processo decisório podem ser obtidas e os tipos de resultados esperados. Seguindo estas premissas básicas, o decisor pode deparar-se ainda com mais de um método disponível, uma vez que se sabe da grande variedade de métodos multicriterias já amplamente utilizados pela comunidade científica.

Para esta pesquisa, buscou-se um método que:

- a. trabalhasse com a problemática de hierarquização;
- b. fosse robusto o suficiente para uma grande quantidade de alternativas e de critérios;
- c. pudesse dividir as alternativas em classes, de acordo com a tecnologia de tratamento adotada;
- d. não exigisse que os decisores realizassem comparações par a par entre as alternativas, tendo em vista que a similaridade entre muitas delas certamente dificultaria muito esse processo.
- e. permitisse trabalhar com informações imprecisas, sobretudo no que se refere ao grau de importância atribuído aos critérios para os decisores;
- f. gerasse um ordenamento completo, sem gerar possíveis incompatibilidades entre as ações.

Assim, foi escolhido o método de sobreclassificação PROMETHEE II.

Conforme orienta Campos (2011), é fundamental que o decisor não escolha um método influenciado somente por sua popularidade ou facilidade de uso de um software, uma vez que a essência da metodologia multicritério é uma modelagem de preferência eficiente. Não obstante, foi pesquisado quais tipos de ferramentas computacionais poderiam servir de auxílio durante a etapa de implementação, sem comprometer todos os pressupostos anteriormente enunciados. A seção 3.3.3. Software Visual Promethee descreve de forma mais profunda as características do software auxiliar escolhido.

### **3.3.2 Modelagem matemática dos valores obtidos**

Conforme exposto na seção 3.3.1.3 Definição dos critérios, cada um dos 14 critérios selecionados (vide quadro 7) está inserido dentro de uma das três classes de critérios. A metodologia PROMETHEE apresenta boa versatilidade quanto à natureza dos critérios, de modo que se podem adotar tanto a inserção direta de critérios convencionais, como também os chamados “pseudocritérios” – neste caso, salvaguardado as prerrogativas lógicas de construção das funções utilidade pertinente aos mesmos.

Durante a etapa de diálogos com os atores de decisão – que teve por finalidade perceber as nuances da problemática para melhor construir um modelo multicriterial de apoio à decisão – foi observado que os três grandes eixos de investigação descritos pelas três classes de critérios avaliadas poderiam tornar-se pseudocritérios. Entendeu-se, portanto, que para cada classe de critérios – ambiental, operacional e social – deveria ser proposta uma função utilidade a fim de valorar cada um dos três pseudocritérios, de sorte que:

- a) suas variáveis seriam os respectivos critérios da classe em questão;
- b) as escalas de valoração de cada um dos critérios deveria ser normalizada;
- c) seu comportamento matemático deveria considerar as percepções dos atores de decisão frente ao grau de importância de cada critério.

O desenvolvimento destas equações também obedeceu às prerrogativas do paradigma prescritivista, onde o facilitador, a partir das inferências extraídas dos atores de decisão escolhidos para a etapa de construção do modelo, propõe um formato específico de equacionamento que deve ser posteriormente avaliado e validado pelos decisores.

A média das notas atribuídas a cada um dos critérios pelos atores de decisão, obtidas segundo à aplicação do questionário aplicado, foi usada para originar um parâmetro que é verificado em todas as funções utilidades propostas, denominado  $N$ ; sua diferenciação é dada de acordo com função utilidade em questão, de sorte que temos  $N_{AMB}$ ,  $N_{OPE}$  e  $N_{SOC}$ , respectivamente usados para os pseudocritérios ambiental, operacional e social. Um índice numérico subscrito a cada uma dessa variáveis, genericamente representado por  $i$ , é agregado a fim de se identificar qual critério em específico está sendo avaliado.

Os parâmetros utilizados dentro da classe ambiental dizem respeito a avaliação de DQO, pH, SST e *E. coli*. Foi levantado junto a CAGECE um histórico de qualidade do efluente tratado por cada uma das ETEs referentes ao período de março a novembro de 2015 que logo foi confrontado com os valores exigidos pela já anteriormente explicitada Portaria nº.154/2002.

Para cada um dos quatro critérios mencionados, foi formulado um Índice de Satisfação do Padrão de Lançamento (ISPL), que consiste no percentual de amostras avaliadas em que determinado critério ambiental estava em desacordo com o valor exigido legalmente. Portanto, para uma ETE  $j$  qualquer, podemos afirmar que o somatório que integra o produto das médias de notas dadas pelos decisores com os ISPLs de cada critério para cada estação avaliada resulta na função utilidade que valora o pseudocritério ambiental, conforme equação 20:

$$f_{AMB,j} = \sum_{i=1}^4 N_{AMB,i} \cdot ISPL_i \quad (20)$$

Desta forma, podemos relacionar tanto a frequência com que determinado critério é encontrado fora da especificação, segundo o espaço amostral apresentado, com também a média dos pesos atribuídos pelos atores de decisão a cada critério.

Na construção da função utilidade responsável por avaliar as características operacionais das ETEs foi usado um Índice de Não Conformidade (INC) para cada critério operacional  $i$ , que pode assumir valores discretos do intervalo fechado entre zero e 1. O enfoque avaliativo desta etapa está em consonância com as características dos critérios operacionais anteriormente descritos na seção 3.3.1.3.2. Critérios operacionais, que apresenta a abordagem de cada critério com maior riqueza de detalhes. Os valores que  $INC_i$  pode assumir são apresentados na tabela 10:



Tabela 10 – Valores assumidos pelo Índice de Não Conformidade durante a avaliação das características operacionais

CRITÉRIOS	DESCRIÇÃO	VALORES
Caixa de areia	✓ Não tem caixa de areia	1,0
	✓ Tem mas trabalha afogada	0,5
	✓ Tem e está bem operada	0
Histórico de Maus odores na ETE	✓ Sim	1,0
	✓ Não	0
Problemas com descarte de lodo	✓ Sim	1,0
	✓ Não	0
Assoreamento ou resíduos sólidos (lixo) no local	✓ Sim	1,0
	✓ Não	0
Estado de conservação das unidades	✓ Com problemas	1,0
	✓ Funcionando bem	0
Estado de conservação predial (estrutura física)	✓ Com problemas	1,0
	✓ Sem problemas	0
Segurança	✓ Com histórico de invasão e sem recurso de segurança	1,0
	✓ Com histórico de invasão, mas com recurso de segurança	0,5
	✓ Segura e sem histórico de invasão, depredação...	0

Fonte: O autor.

A função utilidade que valora o pseudocritério operacional é apresentada pela equação 21:

$$f_{OPE,j} = \sum_{i=1}^7 N_{OPE,i} \cdot INC_i \quad (21)$$

Diferentemente do ISPL que considera um histórico de laudos técnicos das ETEs, os valores de INC foram obtidos mediante a verificação dos itens avaliados em campo e das informações cedidas pelos gestores. Vale relembrar que a construção da lista de elementos operacionais a serem avaliados deu-se numa etapa prévia, que também contou com uma etapa de visitação em campo de algumas estações e com sugestões dos atores de decisão outrora descritos.

Para a concepção da função utilidade que valore o pseudocritério social não foi preciso o estabelecimento de um índice que normalizasse os valores dos critérios avaliados dentro do intervalo fechado de zero a um, tal como observado nos dois outros casos anteriores, uma vez que os valores dos critérios sociais adotados (aqui genericamente chamados de  $C_{SOC}$ ) já respondem dentro desta escala.

Entretanto, uma vez que todas as funções utilidade devem ser maximizadas pelo modelo multicritério de apoio à decisão aplicado, fez-se necessário adaptar-se a equação para que a mesma retornasse condições que reflitam maiores vulnerabilidades a medida que os valores calculados aumentem. Assim, esta função utilidade é apresentada na equação 22:

$$f_{SOC,j} = \sum_i^3 N_{SOC,i} \cdot (1 - C_{SOC,i}) \quad (22)$$

É interessante perceber que o formato das equações utilizadas direcionam o resultados para uma interpretação onde quanto mais alto o valor encontrado em determinado pseudocritério, pior a condição da ETE em questão na respectiva classe avaliada. Sendo assim, caso alguma estação, não apresente nenhuma inobservância legal dos parâmetros de efluente avaliados ou nenhuma desconformidade nos quesitos operacionais relevantes para esta pesquisa, as funções utilidade que descrevem as classes de critérios ambientais e operacionais terão “zero” como resultado, independentemente do valores médios das notas atribuídas pelos decisores, refletindo a existência de um eficiente tratamento do efluente aliado a boas condições operacionais.

Paralelo a isto, a função utilidade que considera os fatores sociais deve receber especial atenção, uma vez que mesmo que a ETE esteja em excelentes condições de tratamento do efluente e dos fatores operacionais avaliados, gerar-se-á um valor correspondente à sua condição social, ratificando a necessidade de avaliação dos valores finais sob uma visão holística, integrando o significado de cada um dos fluxos de preferência (unicriterial e multicriterial) para o alcance do objetivo pretendido.

Avaliações que simplesmente considerem a hierarquização matemática produzida pelo método PROMETHEE, sem ponderar as nuances das relações entre os três pseudocritérios podem produzir resultados distorcidos de priorização de intervenção, como num caso hipotético retratado a seguir, conforme tabela 11:

Tabela 11 – Comparativo entre funções utilidade de duas ETEs hipotéticas

	$f_{AMB}$	$f_{OPE}$	$f_{SOC}$	Ranking gerado
ETE A	0,0	0,0	8,0	1º
ETE B	2,0	3,0	0,0	2º

Fonte: O autor.

Neste exemplo, há uma equivocada apresentação do ordenamento de priorização de intervenção buscado nesta pesquisa, apesar de matematicamente correto, pois uma vez que a ETE A não apresentou deficiências nas características do efluente tratado ou nos aspectos operacionais avaliados, esta deveria ser classificada como uma ETEs que não necessita de intervenção, diferentemente da ETE B, que apresentou deficiências nos quesitos ambiental e operacional, mas que por estar situada numa região com melhores indicadores sociais que a ETE A, teve sua avaliação relativa deslocada para o 2º lugar.

A avaliação deste caso hipotético pode ser estendida a outras avaliações correlatas, sempre salvaguardando a observância de uma coerência técnica na indispensável interpretação global dos resultados. Portanto, o facilitador deve possuir capacidade de discernir, à luz dos objetivos buscados, o real significado dos valores obtidos, tanto nas funções utilidade, como no ordenamento final gerado pelo PROMETHEE, verificando-se aqui mais evidenciado o caráter de **apoio à decisão** que esta metodologia oferece.

Uma vez validado o emprego das funções utilidade para valorar os pseudocritérios utilizados, foi preciso definir qual tipo de função deveria descrever os critérios generalizados, definidos pela função  $P(d)$ .

A avaliação contextual feita sobre as relações esperadas entre as diversas alternativas indicaram que a adoção da função usual (tipo 1, figura 10) poderia comprometer a comparação relativa entre elas, de modo a não ser a mais indicada. Por exemplo, ao se estabelecer uma relação de dominância, para um problema com somente os critérios hipotéticos  $i$  e  $j$  de mesmo peso, onde as ações hipotéticas  $a$ ,  $b$  e  $c$  obedecem as seguintes relações:

$$aP_i b \quad (a \text{ sobreclassifica } b \text{ em } i) \quad (23)$$

$$bP_i c \quad (b \text{ sobreclassifica } c \text{ em } i) \quad (24)$$

$$bP_j a \quad (b \text{ sobreclassifica } a \text{ em } j) \quad (25)$$

$$aP_jc \quad (b \text{ sobreclassifica } c \text{ em } i) \quad (26)$$

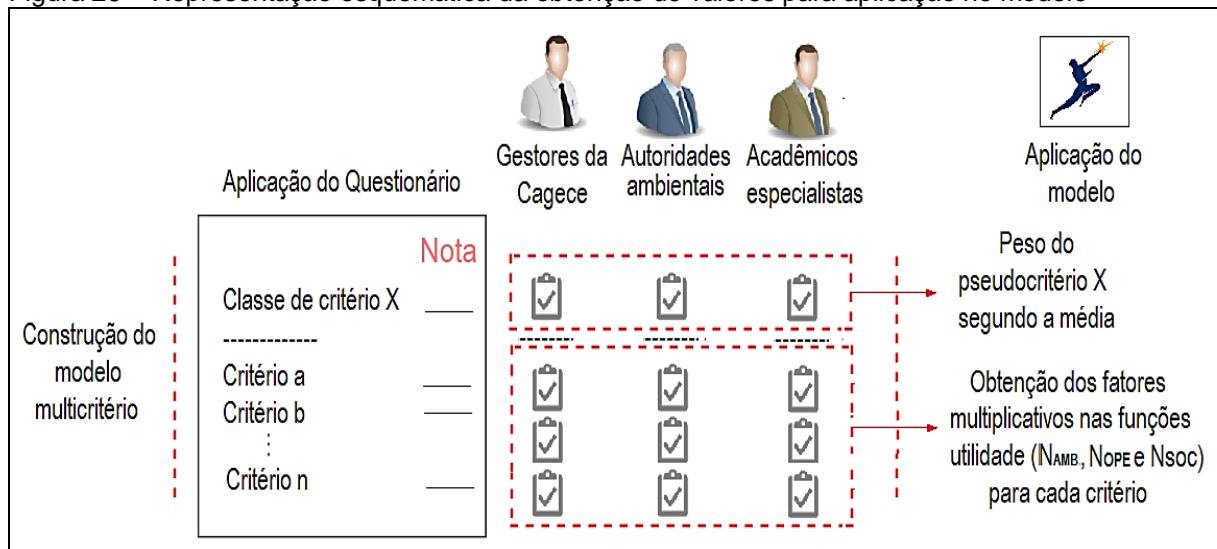
Ao se utilizar a função usual neste caso, teríamos uma baixa sensibilidade relativa ao quanto uma alternativa é preferível a outra no critério  $i$ , tendo portanto a adoção do mesmo valor de  $P(d) = 1$  para qualquer caso de preferência. Neste sentido, haveria um empate no ordenamento geral entre as opções  $a$  e  $b$ , fato este que deve ser evitado. Assim, ao se substituir a função usual pela função V-shape (tipo 3, figura 10) inserimos uma componente  $p$  que faz com que a função  $P(d)$  possa agora assumir qualquer valor entre 0 e 1, a depender somente do  $p$  escolhido e da diferença entre os valores comparados, melhorando a qualidade das informações geradas.

Deste modo, o valor assumido por “ $p$ ” que maximiza a sensibilidade de leitura das diferenças entre ETEs, respeitando a condição de evitar a concepção do referido erro para quaisquer combinações de valores assumidos pelas funções utilidade é a diferença entre o maior ( $M_p$ ) e o menor ( $m_p$ ) valor apresentado no pseudocritério:

$$p = M_p - m_p \quad (27)$$

Por fim, o peso de cada pseudocritério será atribuído segundo a média das notas dadas pelas diferentes classes de decisores durante a avaliação dos quesitos “classe de critério”, uma vez que o questionário aplicado para se conhecer seus sistemas de valores pediu que fossem analisadas a importância de cada critério para sua respectiva classe e a importância de cada classe para a compreensão da vulnerabilidade socioambiental relativa em si, separadamente. A figura 26 explicita a forma de obtenção destes valores

Figura 26 – Representação esquemática da obtenção de valores para aplicação no modelo



Fonte: O autor.

### 3.3.3 Software Visual Promethee

Vários softwares antecederam a versão hoje disponibilizada do Visual PROMENTHEE. O primeiro deles a efetivamente conseguir fornecer uma interface gráfica e interativa para a representação do método de apoio à decisão multicritério Promethee foi o software PromCalc, desenvolvido na década de 1990 por Bertrand Mareschal e Jean-Pierre Brans, utilizando-se ainda de uma aplicação em MS-DOS (BARBERIS *et al.*, 2013).

Nos anos 2000, um grande avanço foi conseguindo em se estabelecer o Decision Lab 2000, o primeiro software de apoio à decisão multicritério profissional em plataforma Windows. Partindo das contribuições do Decision Lab 2000, outros softwares foram propostos como o D-Sight e Smart Picker Pro, mas que não eliminaram as necessidade que suscitaram ao desenvolvimento do Visual Promethee. (MARESCHAL, 2014).

O Visual PROMETHEE começou a ser desenvolvido em 2010 por Bertrand Mareschal, pretendendo enfatizar a qualidade e consistência da interface com o usuário, dos aspectos visuais, além de prezar por mecanismos que facilitem a correta utilização do software. (BARBERIS *et al.*, 2013). Algumas de suas possibilidades são (MANUAL, 2013):

- a) Identificar a melhor decisão possível;
- b) possíveis decisões do melhor para o pior;

- c) Classificar itens em classes predefinidas, como por exemplo: os clientes ruins, bons clientes, excepcional clientes;
- d) Visualize problemas de decisão ou de avaliação para melhor compreender as dificuldades em tomar boas decisões;
- e) Atingir decisões consensuais quando vários decisores têm pontos de vista conflitantes;

Dentre as possibilidades/ apresentadas, o software escolhido foi o Visual PROMETHEE, versão acadêmica 1.4.0.0. Além dos atributos anteriormente citadas, o software também reúne as seguintes características (MANUAL, 2013):

- a. possui versão livre, eliminando um possível custo de licença – o download gratuito bem como as instruções para instalação e uso podem ser encontradas em [www.visualpromethee.com/software.html](http://www.visualpromethee.com/software.html);
- b. apresenta capacidade de processamento apropriada para o estudo em questão, tendo em vista a quantidade de critérios e de alternativas;
- c. apresenta capacidade de trabalhar com diversos cenários, de modo que cada um destes possa representar a visão de cada um dos grupos de atores de decisão, bem como a compilação destas visões em um cenário geral;
- d. é reconhecido pela comunidade científica – MARESCHAL (2016) contabilizou 1484 papers relacionados a metodologia PROMETHEE-GAIA com mais da metade dos trabalhos publicados nos últimos 5 anos – de modo que é notório seu uso em outros trabalhos que envolvam tomada de decisão e problemas de engenharia;
- e. possui os tipos de análise requeridas, inclusive ferramentas de análise de sensibilidade e estatística descritiva associada a cada critério;
- f. é compatível para instalação em Windows XP, Vista, 7, 8 ou superior;
- g. possui recurso de auxílio para a escolha da função de preferência a ser utilizada em cada critério;
- h. disponível em linguagem acessível (inglês);
- i. oferece interface de uso simplificado.

### 3.3.3.1 Recursos disponíveis

O Visual PROMETHEE é um software que oferece diversas abordagens, modelos e métodos para lidar com a avaliação de problemas que envolvam muitos critérios, de modo que muitas vezes temos objetivos múltiplos e conflitantes. Para tal, oferece uma série de recursos visuais que permitem ao decisor compreender como alternativas, critérios, cenários e fluxos de preferência estão integrados, também permitindo uma análise de sensibilidade. O Anexo C faz uma compilação de algumas ferramentas de análise disponíveis no Visual PROMETHEE.

## 4 RESULTADOS

Uma vez que o grande conjunto de dados referentes aos aspectos ambientais, operacionais e sociais das 33 ETEs selecionadas por este estudo foi tratado segundo as proposições metodológicas descritas anteriormente, as próximas seções dedicam-se a apresentar os resultados oriundos tanto de uma análise particular do comportamento dos critérios, classes de critérios e sistemas de valores dos decisores utilizados, bem como da aplicação do software Visual PROMETHEE.

A fim de se obter uma visualização dos resultados mais conveniente para cada tipo de análise a ser exibida – sobretudo ao ser feito uso das ferramentas do Visual PROMETHEE – a identificação de cada ETE poderá ser feita pelo seu nome usual ou pela sua respectiva numeração atribuída, ambas informações correlacionadas no Apêndice C.

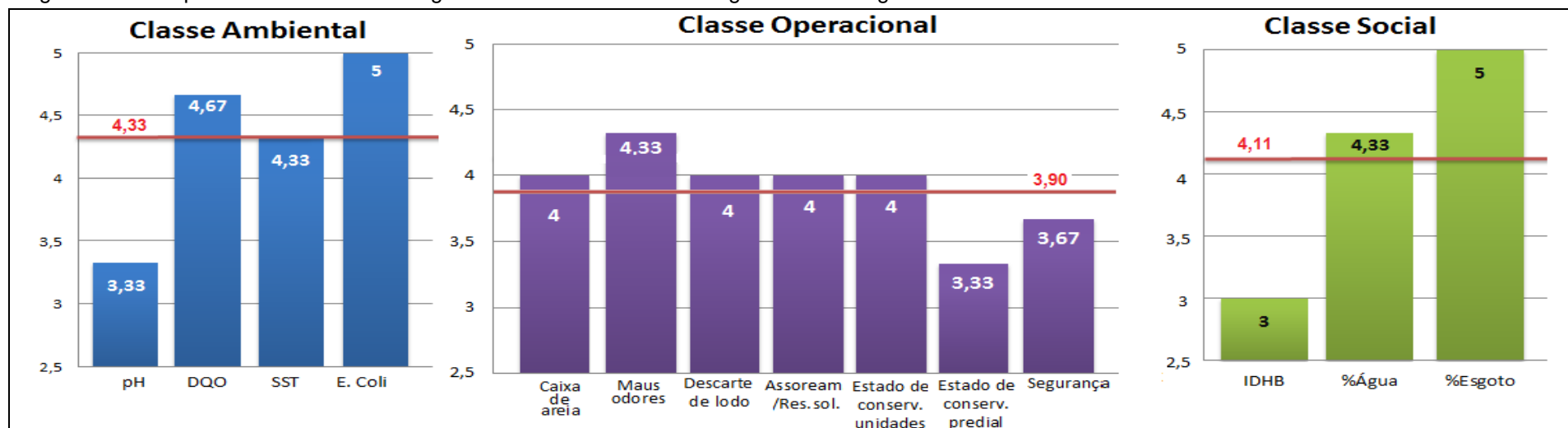
### 4.1 Análise dos sistemas de valores dos decisores

O resultado primário da aplicação do questionário final para inferir como se comportam os sistemas de valores dos diferentes decisores incluídos neste processo, bem como as médias associadas a cada critério e classe de critério encontram-se no Apêndice D – Ponderações definidas pelos decisores. A seguir, são apresentados, para cada classe de critério, a ordem de importância de cada um dos critérios avaliados, para cada classe de decisores, individualmente (figuras 27 a 29) e de acordo com as pontuações médias globais obtidas (figura 30). Os valores médios de cada classe estão destacados em vermelho.

Avaliando o sistema de valores atribuídos à classe ambiental, podemos perceber que os três grupos de decisores apresentaram a mesma escala decrescente de importância dos critérios: *E. coli*, DQO, SST e pH. Esta informação remete a ideia que a importância relativa destes critérios está bem fundamentada e que profissionais de diferentes nichos profissionais os percebem de maneira semelhante, mediante as prerrogativas de avaliação que consideram a vulnerabilidade socioambiental.

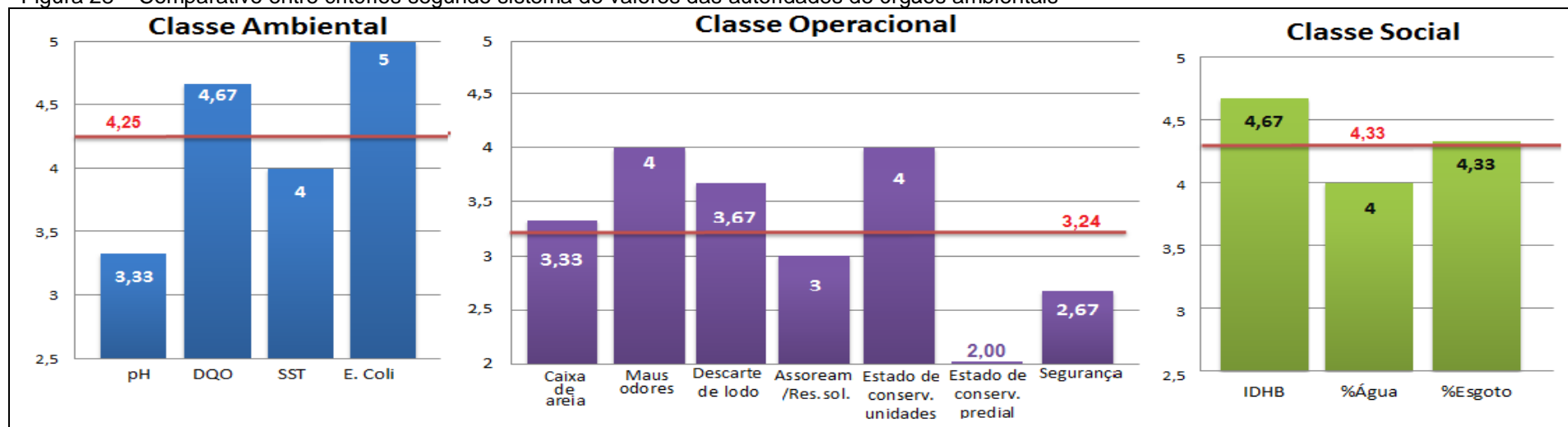


Figura 27 – Comparativo entre critérios segundo sistema de valores dos gestores da Cagece



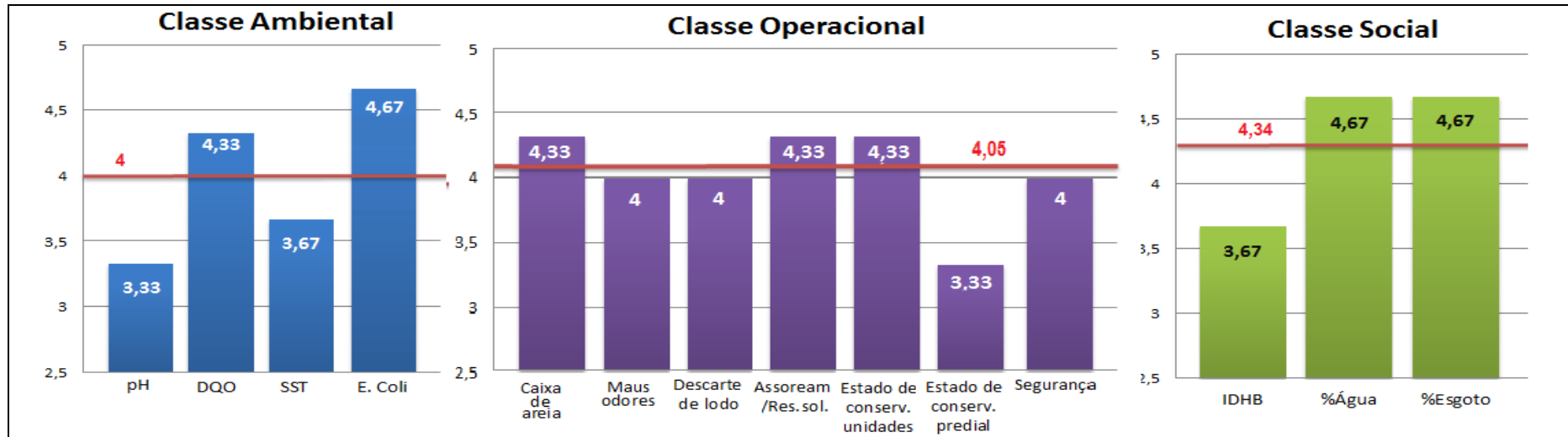
Fonte: O autor.

Figura 28 – Comparativo entre critérios segundo sistema de valores das autoridades de órgãos ambientais



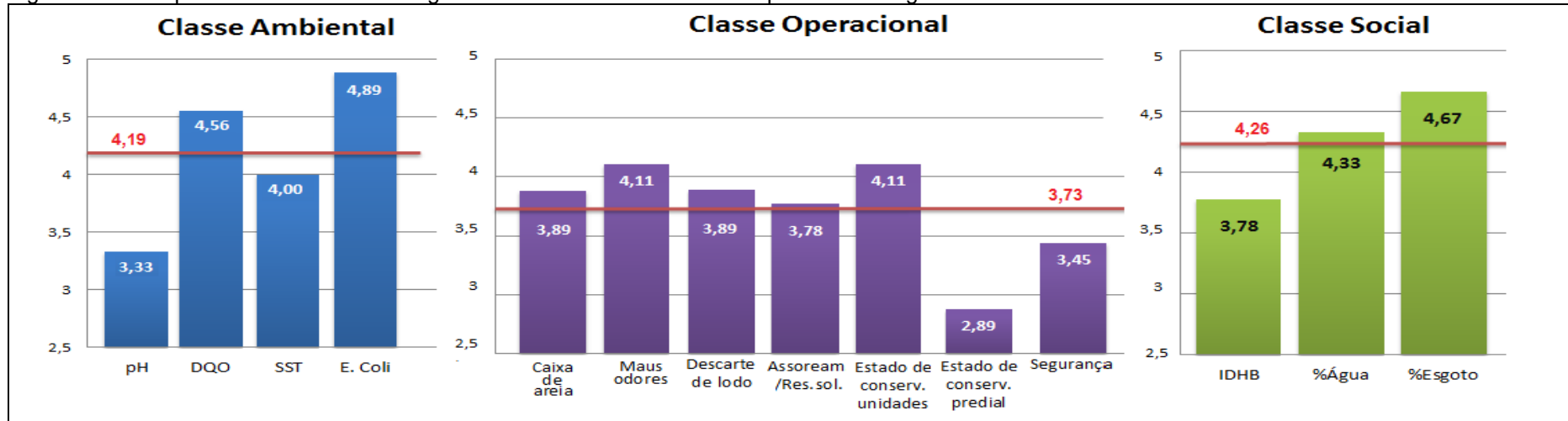
Fonte: O autor.

Figura 29 – Comparativo entre critérios segundo sistema de valores dos acadêmicos especialistas



Fonte: O autor.

Figura 30 – Comparativo entre critérios segundo sistema de valores obtidos pelas médias globais



Fonte: O autor.

Na classe operacional, é possível perceber que as inferências dos gestores da Cagece e dos acadêmicos especialistas convergem para designar todos os critérios desta classe – exceto o critério “estado de conservação predial” – com valores próximos de importância, de sorte que todos estes valores estão em torno de 4, com variações de apenas 0,33 para mais ou para menos. Já na avaliação das médias geradas a partir dos sistemas de valores das autoridades de órgãos ambientais, o critério “estado de conservação predial” continua a assumir a menor importância relativa dentre os critérios desta classe, entretanto os demais critérios não apresentam valores próximos de importância, conforme verificado para as duas outras classes de decisores.

A fim de explicar este comportamento, uma observação mais detalhada das notas atribuídas especificamente para a classe de critérios operacionais – Apêndice D. Um dos decisores, identificado por D5 na referida planilha, atribuiu notas significativamente mais baixas para todos os critérios da classe operacional (exceto para o critério “estado de conservação das unidades”), quando comparado com os demais colegas da mesma classe, resultando num rebaixamento da média destes critérios.

Entretanto, o comparativo entre critérios operacionais segundo sistema de valores obtidos pelas médias globais (figura 30), permite perceber que o modelo proposto foi capaz de atenuar um comportamento excepcionalmente irregular de atribuição de notas, uma vez que o comportamento geral destes critérios assemelha-se muito mais com aquilo proposto pela média dos gestores da Cagece e dos acadêmicos especialistas, do que pela média das autoridades ambientais.

Por fim, na classe social também podemos observar relativa proximidade entre os sistemas de valores dos gestores da Cagece e dos acadêmicos especialistas, onde os principais critérios foram os relativos ao percentual de domicílios ligados à rede geral de esgoto e de água do bairro em que a ETE está inserida. Na média das autoridades ambientais, percebemos uma atribuição de maior relevância para o critério “IDHB”, provavelmente decorrente de serem estes profissionais os que estão inseridos mais fortemente no contexto dos processos de desenvolvimento urbano de maneira mais holística, devido o perfil de suas atividades.

## 4.2 Análise dos resultados de cada classe de critério

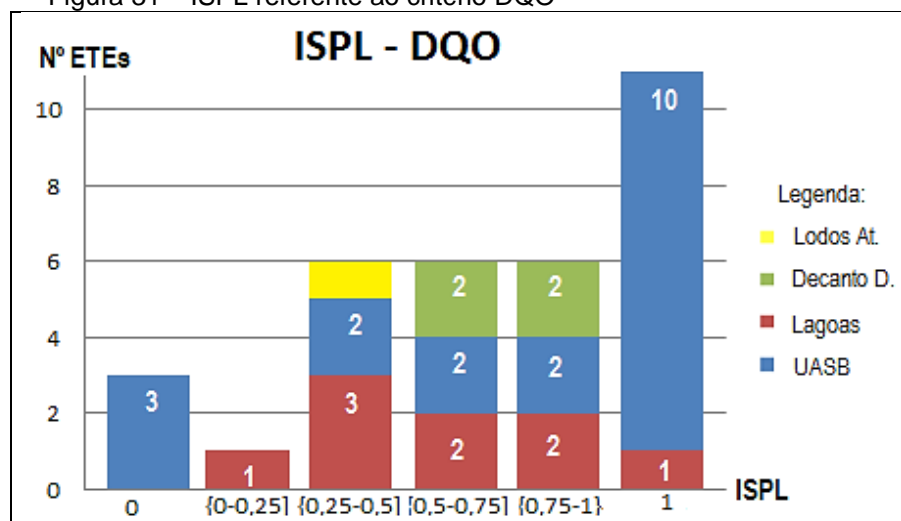
### 4.2.1 Classe ambiental

Mediante o levantamento do histórico de dados de qualidade do efluente tratado, a análise de cada ETE resultou na geração do ISPL para cada um dos quatro critérios da classe ambiental, segundo um levantamento dos dados disponíveis pela Cagece referentes ao período de março a novembro de 2015. Recordemos que o valor atribuído ao ISPL de cada critério indica o percentual de amostras desconformes dentro do período contemplado pelos históricos avaliados.

O Apêndice E exibe os dados de ISPL e os resultados da aplicação da função utilidade ambiental, tomando em conta os valores médios das notas dadas por cada classe de decisores (separadamente) e, ao final, utilizando a média geral das notas atribuídas para cada um dos quatro critérios. As figuras 31, 32 e 33 apresentam os resultados de ISPL em formato de histograma para os critérios DQO, SST e *E. coli*.

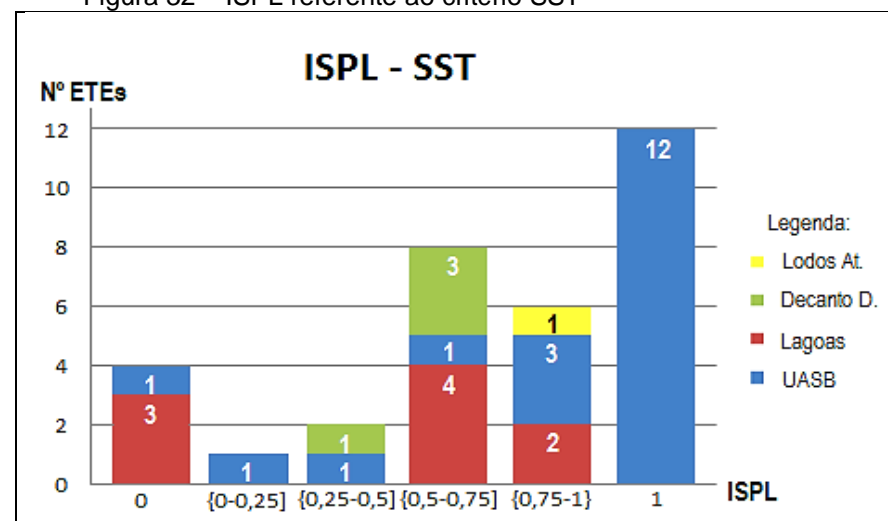
Não foi gerado gráfico semelhante para o critério “pH”, uma vez que o mesmo apresentou conformidade quase unânime em todas as ETEs avaliadas, de sorte que somente dois resultados – ambos na ETE João Paulo II, relativos aos meses de março e abril – estavam fora da faixa padronizada pela Portaria SEMACE nº. 154/02 (CEARÁ, 2002). Ainda que se consideradas outras legislações correlatas, como, por exemplo, a Resolução Nº 357/05 do COEMA (BRASIL, 2005), não teríamos alterações nos resultados gerados pelo modelo, dados os valores que foram observados. Durante a construção dos valores da função utilidade, este resultado implica numa nulidade dos pesos atribuídos pelos decisores para o critério “pH” – exceto quando feito o cálculo para a ETE João Paulo II, evidentemente – tendo em vista a forma assumida pela função utilidade ambiental (equação 20).

Figura 31 – ISPL referente ao critério DQO



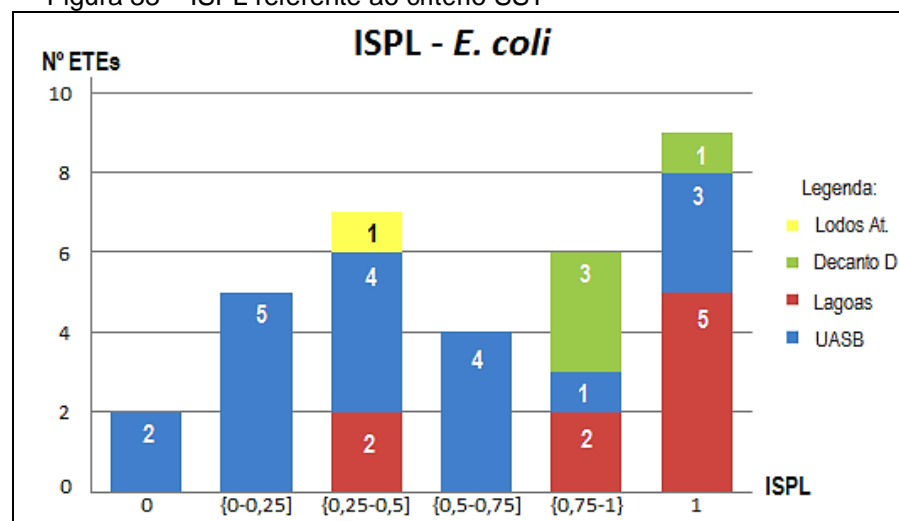
Fonte: O autor.

Figura 32 – ISPL referente ao critério SST



Fonte: O autor.

Figura 33 – ISPL referente ao critério SST



Fonte: O autor.

Uma avaliação conjunta das figuras 31, 32 e 33 com o Apêndice E permite-nos compreendermos melhor o comportamento do desempenho das ETEs, propiciando um cenário para melhor discussão de suas particularidades.

Assim, a avaliação do critério “DQO” indicou 3 ETEs que não apresentaram nenhuma desconformidade nos históricos de qualidade dos efluentes analisados. Foram elas: Castelão, Centro de Eventos e TCM. Em contrapartida, 11 ETEs apresentaram todos os resultados avaliados acima do permitido legalmente: Conjunto São Cristovão, Curió I e II, Dias Macedo, Itaperí, Lago Azul, Lagoa da Zeza, Novo Mondubim II, Pindorama, Pôr do sol, Rosalina e Zeza Tijolo. Ainda para este critério, 69,7% das ETEs apresentaram ISPL acima de 0,5 (mais de 50% dos históricos analisados em desconformidade).

Nos históricos referentes ao critério “SST”, 4 ETEs apresentaram valor de ISPL nulos (todas as amostras conformes): Castelão, Conjunto Palmeiras, Parque Fluminense e Tupãmirim; entretanto, outras 12 ETEs apresentaram todos os resultados desconformes: Curió I e II, Dias Macedo, Itaperí, Lago Azul, Novo Mondubim II, Pindorama, Pôr do sol, Rosalina, Aracapé III, Riacho Doce, Rosa de Luxemburgo, Sítio Santana. Ainda para este critério, 75,7% das ETEs apresentaram ISPL acima de 0,5.

Os resultados referentes ao critério “*E. coli*” exibiram duas estações sem histórico de desconformidade (Lago azul e Rosa do Luxemburgo) e 9 ETEs com todas as amostras desconformes: Almirante Tamandaré, Conjunto Ceará, Conjunto São Cristovão, Conjunto Esperança, Curió I e II, José Walter, Lagamar, Lagoa da Zeza, Rosalina. Ainda para este critério, 57,6% das ETEs apresentaram ISPL acima de 0,5.

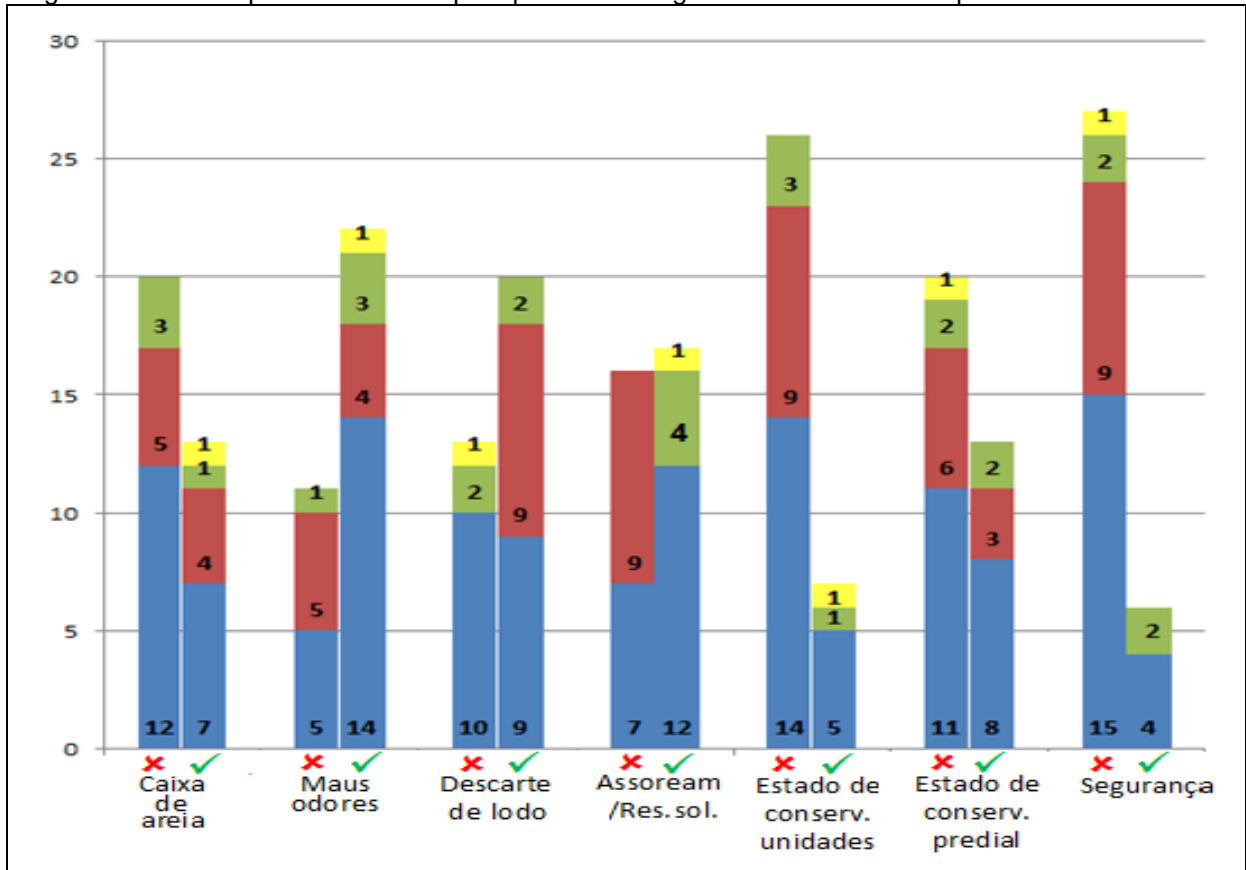
De modo geral, as estações apresentaram preocupantes resultados quanto ao atendimento dos padrões legalmente exigidos a que estão submetidas, comprometendo a qualidade dos respectivos corpos receptores em que desaguam e da população que faz uso dos mesmos direta ou indiretamente.

#### **4.2.2 Classe operacional**

A avaliação das características operacionais das ETEs foi padronizada através da utilização do INC para cada um dos sete critérios operacionais,

detalhados na seção 3.3.2 Modelagem matemática dos valores obtidos. O desempenho das ETEs por tipo de tecnologia frente aos critérios operacionais é exibido na figura 34. Vale ratificar que das 33 ETEs, 19 são reatores UASB, 9 são lagoas de estabilização, 4 são decanto digestores e uma é lodos ativados.

Figura 34 – Desempenho das ETEs por tipo de tecnologia frente aos critérios operacionais



Fonte: O autor.

Legenda: ■ Lodos ativados; ■ Decanto digestor; ■ Lagoa de estabilização; ■ UASB;

No critério “caixa de areia”, 60,6% das estações apresentaram desconformidade, de modo que destas 60% são UASB, 25% são lagoas de estabilização e 15% são decanto digestor. É importante destacar a importância de uma adequada etapa preliminar para o tratamento, uma vez que a baixa eficiência desta etapa pode comprometer as etapas subsequentes. Algumas estações estavam operando com a caixa de areia afogada e/ou com os dois canais paralelos utilizados ao mesmo tempo ou estavam em desconformidade com a NBR 12209 (ABNT, 1992), que estabelece que unidades desarenadoras com sistemas de remoção manual devem ser projetados com dois canais paralelos (figura 35)

Figura 35 – Unidade desarenadora operando em desconformidade



Fonte: O autor

Quanto aos maus odores, um terço das estações apresentaram algum histórico de desconformidade, conforme relatado pelo supervisor técnico presente nas ETEs visitadas ou pelos históricos arquivados referentes ao mesmo período avaliado para os critérios ambientais (março a novembro de 2015). É importante ressaltar que este critério é especialmente significativo para as ETEs que utilizam lagoas de estabilização, sendo que nas demais tecnologias avaliadas este problema apresentou-se em ocasiões pontuais – e com o problema sendo resolvido em curto prazo – enquanto que nas lagoas, quando constatada esta não conformidade, tem-se registro de intervalos de tempo mais significativos, causando desconforto aos trabalhadores e à população próxima de forma prolongada.



Na avaliação do critério “descarte de lodo” não foram inclusas as lagoas de estabilização, uma vez que a aferição deste critério remeteu somente às demais tecnologias, conforme seção 3.3.1.3.2 Critérios operacionais. Nas estações com tecnologia de reatores UASB, as desconformidades deste critério remetem em alguns casos não somente à problemas de ordem operacional, mas também de problemas de concepção e/ou execução da construção dos leitos de secagem, tornando difícil – ou mesmo impossibilitando – o correto descarte do lodo, como na figura 36, onde os leitos de secagem foram construídos com um significativo desnível, de modo a dificultar a remoção do lodo dos leitos quando necessário. Em alguns outros casos, foi verificado um elevado grau de colmatação do leito de secagem, impossibilitando a infiltração de líquidos e a correta operacionalidade destas unidades (figura 37).

Figura 36 – Erro construtivo nos leitos de secagem



Fonte: O autor.

Figura 37 – Leitões de secagem colmatados



Fonte: O autor.

O critério de “assoreamento e resíduos sólidos” unificou a avaliação de duas possíveis desconformidades, de modo que, naturalmente, a avaliação do assoreamento somente foi possível para as ETEs de lagoas de estabilização e a presença de resíduos sólidos inapropriados – lixo, resíduo da construção civil ou podas de árvore dentro da área pertencente à estação – pode ser avaliado em todas as estações estudadas. É preocupante constatar que todas as ETEs que utilizam lagoas de estabilização apresentaram pelo menos uma de suas lagoas assoreadas, e algumas delas também apresentaram acúmulo de resíduos em seu entorno.

O acúmulo de resíduos apresenta risco não somente à boa operacionalidade das ETEs, como também à própria saúde dos trabalhadores da estação e da população que vive em seu entorno, visto que o mesmo diminui a salubridade do ambiente e pode-se configurar como um propício meio para a proliferação de vetores de doenças (figuras 38, 39 e 40).

Figura 38, 39 e 40– Acúmulo de resíduos em ETEs



Fonte: O autor.

A avaliação do “estado de conservação das unidades” buscou diagnosticar problemas devido à utilização de materiais de baixa qualidade e problemas decorrentes da falta de boa operacionalidade ou falta de manutenção. Quanto aos materiais utilizados, não foram encontrados problemas. Os reatores UASB, por exemplo, são construídos em polímero reforçado com fibra de vidro (identificado na figura 41 por PRFV), o que garante a uma boa resistência à corrosão.

Figura 41 – Especificações técnicas de reator UASB com destaque para material PRFV

PRODUTO <b>REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE</b>			Identificação da empresa
MODELO <b>RAN - 2044</b>	SÉRIE <b>059/2011</b>	VAZÃO <b>1,60</b> m <sup>3</sup> /h	
DIMENSÕES <b>Ø2.000x4.400mm</b>	CAPACIDADE <b>12.250</b> LITROS	PESO VAZIO/CHIEIO <b>709/13.579</b> Kg	
PRESSÃO DE PROJETO <b>ATM.</b>	PRESSÃO DE TESTE <b>ATM.</b>	PRESSÃO DE TRABALHO <b>ATM.</b>	
DATA DE FABRICAÇÃO <b>ABR/2011</b>	O.P. <b>110340520201</b>	MATERIAL DE FABRICAÇÃO <b>PRFV</b>	
CONTEÚDO <b>ESGOTO</b>	LOCAL DE INSTALAÇÃO <b>TRIBUNAL DE CONTAS DO CEARÁ - CE</b>		
CONCENTRAÇÃO <b>100%</b>	<b>ETE BIOLÓGICA</b>		TAG <b>RA</b>

Fonte: O autor.

Entretanto, a segunda vertente deste critério – diagnóstico da falta de boa operacionalidade ou falta de manutenção – apresentou muitos resultados em desconformidade. No caso das ETES que operam com lagoas de estabilização, todas apresentaram um ou mais problemas operacionais desta ordem, como por exemplo entupimentos nos dispositivos de entrada (o que prejudica a uniformidade de distribuição do esgoto na lagoa), crescimento da vegetação, proliferação de insetos e falta de manutenção quanto a retirada de lodo, após exceder a capacidade de acúmulo estabelecida em projeto (figuras 42, 43 e 44).

Três das quatro ETES com decanto digestores avaliadas neste critério também apresentaram desconformidade, dando indícios de sobrecarga de vazão e falta de manutenção adequada (figura 45).

No caso das ETES que operam com reatores UASB<sup>6</sup>, muitas delas apresentaram falta de registro de avaliações de quantidade e atividade da biomassa presente no reator e/ou formação recorrente de espuma (figura 46).

<sup>6</sup> É importante ressaltar que como nenhuma dessas ETES faz a medição ou tratamento dos gases produzidos – de modo que a avaliação desta condição foi discutida com os tomadores de decisão durante a construção metodológica – este ponto não foi considerado durante o estudo, tendo em vista seus objetivos finais de hierarquização da condição de vulnerabilidade socioambiental.

Figura 42 – Lagoa anaeróbia com elevado grau de comprometimento



Fonte: O autor.

Figura 43 – Densa vegetação sob lagoa de estabilização



Fonte: O autor.

Figura 44 – Vegetação no talude das lagoas



Fonte: O autor.

Figura 45 – Transbordamento de efluente em ETE com decanto digestor



Fonte: O autor.

Figura 46 – Elevada e recorrente formação de espuma



Fonte: O autor.

O critério “estado de conservação predial” avaliou possíveis problemas de conservação da estrutura física das ETEs, como a existência de algum tipo de estrutura comprometida que oferecesse risco ao operador, crescimento de vegetação em demasia ou a existência de alguma irregularidade de que comprometesse a estrutura civil da estação. As ETEs em desconformidade quanto a este critério não apresentaram estruturas comprometidas de risco iminente, mas sim pequenos reparos que devem ser executados para um oferecimento de melhores condições de trabalho e padronização das estações como deseja a Cagece. Problemas como portões desnivelados, problemas de alagamentos após chuvas ou de árvores com crescimento exacerbado que danificam o espaço em seu entorno (figura 47).

Figura 47 – Crescimento prejudicial da vegetação



Fonte: O autor.

No critério “segurança”, mais de 80% das estações apresentaram alguma desconformidade, segundo os parâmetros explicitados na metodologia. Foram relatados históricos de roubos, vandalismos, invasões para utilização do espaço para uso de drogas (figura 48), além de observado que várias estações não oferecem dispositivos de segurança como vigilância eletrônica, uso de concertina e sensor ou presença de vigilante terceirizado.



Figura 48 – Exemplos de vandalismo nas ETES



Fonte: O autor

Conforme mostrado na seção 3.3.2 Modelagem matemática dos valores obtidos, O INC dos critérios “caixa de areia” e “segurança” pode assumir o valor intermediário de 0,5, quando verificadas situações específicas que o justifique. Deste modo, a análise destes dois critérios pode ser decompostas, exibindo separadamente os resultados desconformes (figura 49 e 50).

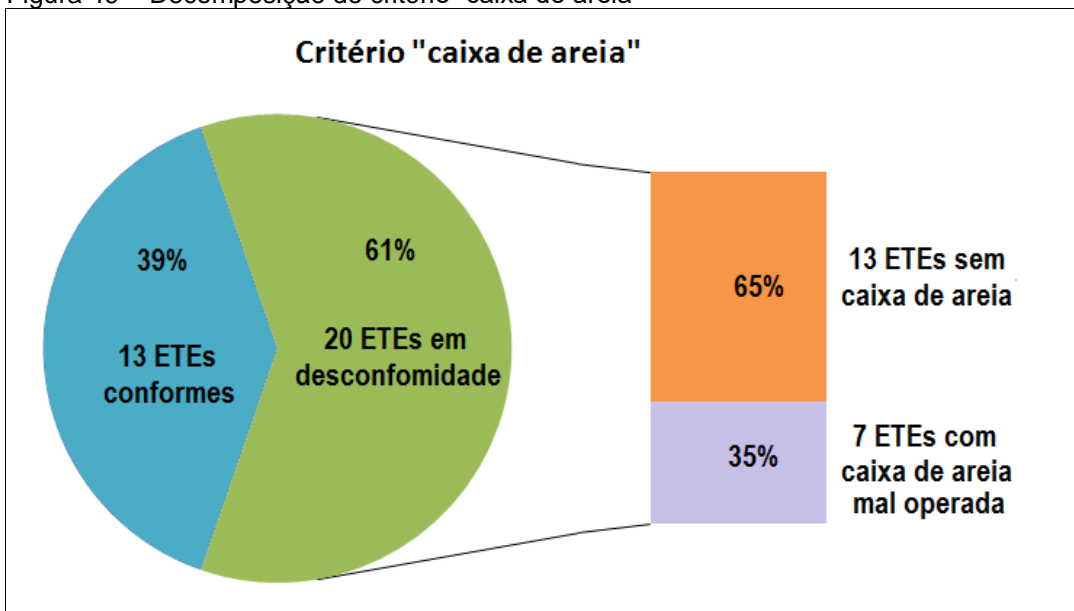
Na decomposição do critério “caixa de areia” (figura 49), das 20 ETES em desconformidade, 7 delas possuem caixa de areia, mas estão com má condições de operação – seja trabalhando “afogada”, seja funcionando com grande quantidade de areia a ser removida – ou em desconformidade com a NBR 12209. Outras 13 estações não apresentaram unidade desarenadora em seu tratamento preliminar<sup>7</sup>

Na decomposição do critério “segurança” (figura 50), das 27 ETES em desconformidade, 11 delas estão avaliadas como situação “razoável” – onde a estação não possui nenhum tipo de vigilância, mas também não apresenta histórico

<sup>7</sup> Quando indagados pelo motivo da falta de unidade desarenadora, justificativas como a proximidade de estações elevatórias que já apresentavam caixa de areia antecedendo à ETE foram recorrentes. Mesmo de posse desta informação, os tomadores de decisão assinalaram que a falta de uma unidade desarenadora na própria estação é grave e, no tocante a avaliação da vulnerabilidade socioambiental das ETES para hierarquização, a condição descrita anteriormente não seria considerada.

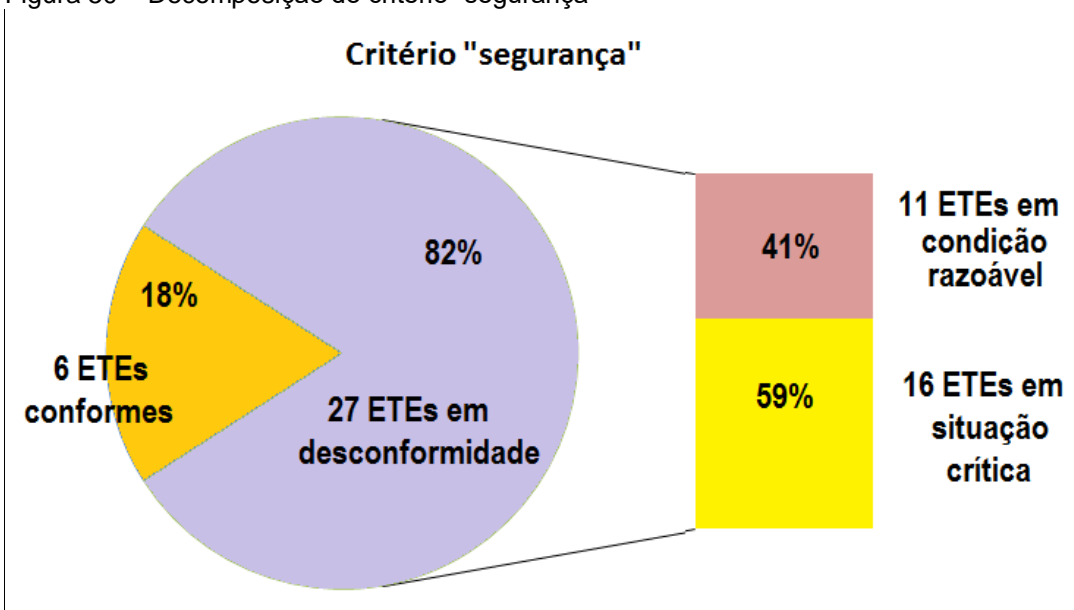
de problemas com segurança; ou a estação possui algum tipo de vigilância e apresenta histórico de problemas com segurança– e 16 em situação “crítica” – onde a ETE não possui nenhum tipo de vigilância e sofre com problemas de invasão, vandalismo e eminente risco ao operador e/ou equipamentos.

Figura 49 – Decomposição do critério “caixa de areia”



Fonte: O autor.

Figura 50 – Decomposição do critério “segurança”



Fonte: O autor.

### 4.2.3 Classe social

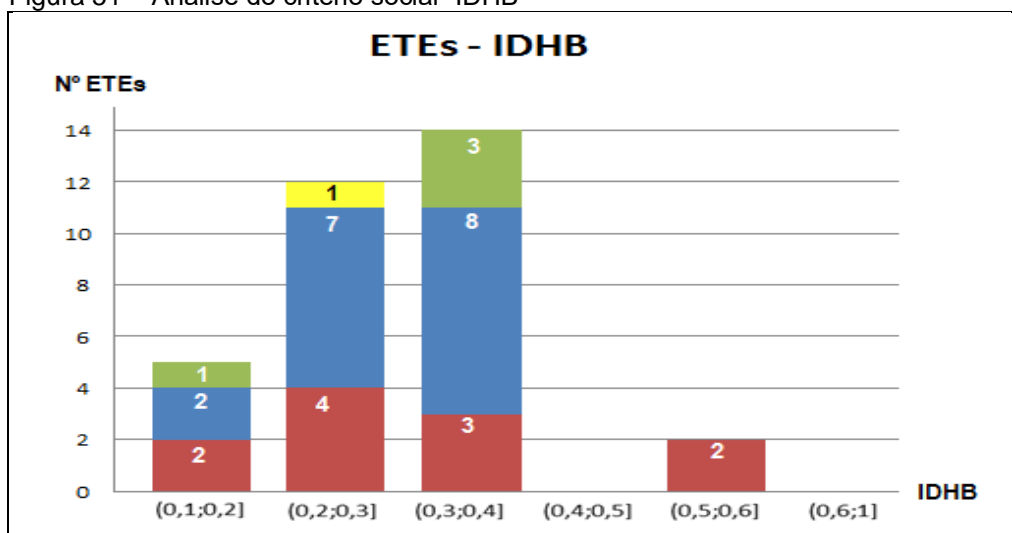
Como visto, a análise da correlação entre a vulnerabilidade socioambiental e a operação das ETEs considerou não somente os parâmetros de qualidade ambiental ou a verificação das boas condições operacionais, mas também a caracterização social em seu entorno, avaliando 3 pontos específicos:

- Índice de Desenvolvimento Humano dos Bairros (IDHB), calculado a partir de indicadores de renda, da educação e da longevidade encontrados no censo demográfico realizado no ano de 2010;
- Percentual de domicílios ligados à rede geral de água do bairro em que a ETE está inserida;
- Percentual de domicílios ligados à rede geral de esgoto do bairro em que a ETE está inserida.

É importante salientar que a construção destes parâmetros dependeu exclusivamente do bairro onde a ETE está localizada, uma vez que os valores utilizados são obtidos de acordo com o Censo Demográfico de 2010 do IBGE, propositalmente não exigindo nenhum estudo adicional mais específico da localidade em que a metodologia for aplicada, conferindo-lhe reprodutibilidade de princípios e, quando convir, parâmetros.

Fazendo uso da classificação proposta pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (figura 23), a análise do primeiro critério mencionado nesta classe revela que 31 ETEs (94%) encontram-se em regiões de IDHB muito baixo e outras duas (6%) em regiões de IDHB baixo (figura 51).

Figura 51 – Análise do critério social “IDHB”



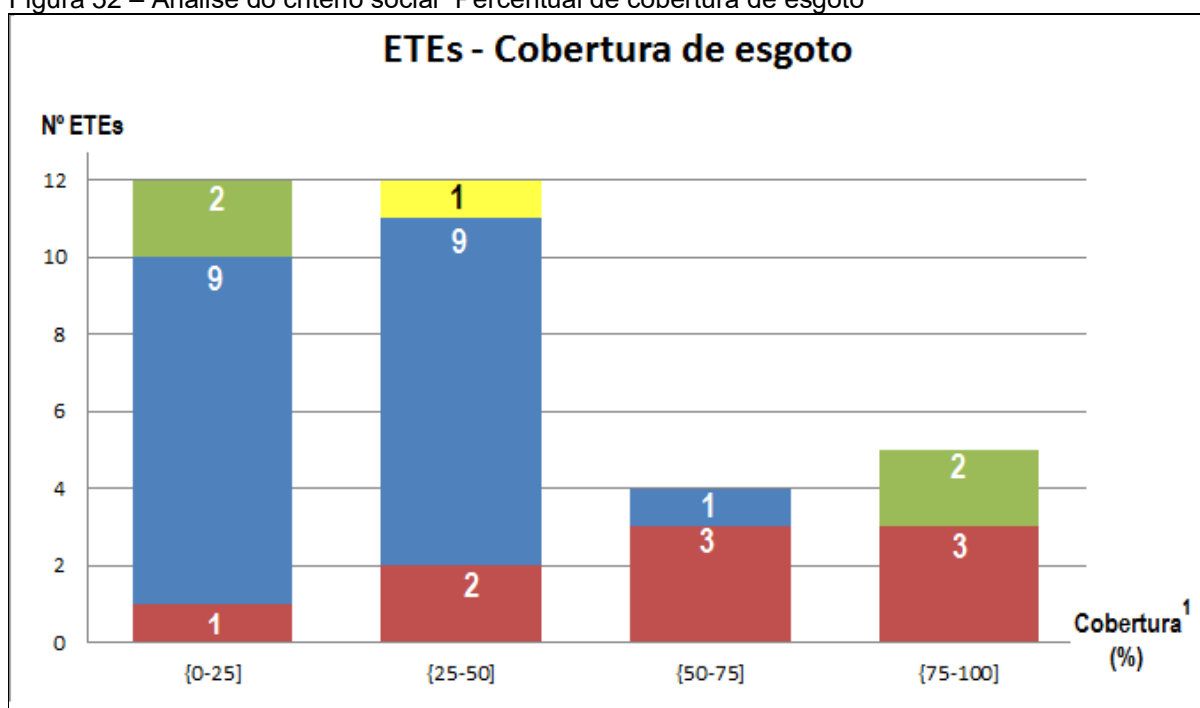
Fonte: O autor.

Legenda: ■ Lodos ativados; ■ Decanto digestor; ■ Lagoa de estabilização; ■ UASB;

Valores tão baixos de IDHB decorrem de um processo de desenvolvimento urbano que se afastou das áreas mais antigas e de melhores condições socioeconômicas da cidade de Fortaleza – localizadas mais próximas do litoral e em grande parte contempladas pelo sistema de esgotamento integrado, que utiliza a disposição oceânica dos efluentes – e não ofereceu, em proporção satisfatória, iniciativas ou políticas voltadas para o desenvolvimento socioambiental destas regiões. As ETEs Lago Azul, Sítio Santana, João Paulo II, Sumaré e Conjunto Palmeiras estão localizadas em bairros com os piores valores de IDHB utilizados neste estudo – abaixo de 0,20 – e devem ser avaliadas com especial atenção, revelada a criticidade inerente destas regiões.

O levantamento de dados referentes ao critério “percentual de domicílios ligados à rede geral de esgoto do bairro em que a ETE está inserida” mostrou uma diversificação de resultados, de modo que há pelo menos 4 ETEs em cada uma das faixas percentuais selecionadas (figura 52).

Figura 52 – Análise do critério social “Percentual de cobertura de esgoto”



Fonte: O autor

(1): Referente ao percentual de cobertura de esgotamento no bairro em que se localiza a ETE

Legenda: ■ Lodos ativados; ■ Decanto digestor; ■ Lagoa de estabilização; ■ UASB;

Entretanto, há uma tendência de localização das ETEs em bairros com elevados déficits de rede de esgotamento sanitário, com 12 ETEs em bairros que

apresentam cobertura entre 25 e 50% e outras 12 ETEs em bairros em que a cobertura não ultrapassa 25%. As cinco estações localizadas em bairros com percentual de cobertura acima de 75% foram Conjunto Ceará, Conjunto Palmeiras, José Walter, Monte Líbano e Pequeno Mondubim.

Os dois bairros melhor avaliados quanto ao IDHB segundo os valores exibidos no Apêndice G – 0,5224 para Luciano Cavalcante e 0,5176 para Cambeba – estão associados a baixos índices oficiais de rede coletora de esgoto – 29,45% e 21,68%, respectivamente – devido a uma especificidade verificada nestas regiões: algumas regiões nobres de Fortaleza que ainda não contam com rede coletora de esgotos, apresentam uma grande quantidade de empreendimentos particulares – sobretudo condomínios residenciais de alto padrão – que possuem suas próprias estações de tratamento de esgotos, licenciadas e fiscalizadas pela SEUMA e acompanhadas por um responsável técnico, o que representa um custo acessível a este perfil populacional. Assim, justifica-se os baixos valores de cobertura de rede de esgotamento em áreas nobres da cidade.

A utilização do critério “percentual de domicílios ligados à rede geral de água do bairro em que a ETE está inserida” mostrou-se pouco influente na compilação final dos resultados, uma vez que todos os bairros apresentam elevados índices de cobertura; mas continua pertinente para uma compreensão holística não somente da problemática relativa ao ordenamento de priorização das ETEs em Fortaleza, como também do próprio comportamento metodológico de variáveis com essa característica, de sorte que em outro contexto (estudo de caso diferente).

### **4.3 Aplicação numérica do modelo**

A compilação das informações provenientes dos sistemas de valores dos decisores e das avaliações de critérios ambientais, operacionais e sociais – seguindo a padronização construída na etapa metodológica – forneceu os insumos necessários para a aplicação numérica do modelo proposto, de sorte que foram gerados os valores das funções utilidade para cada um dos pseudocritérios relativos a cada uma das 33 ETEs avaliadas. Os valores das funções utilidade encontram-se nos Apêndices E, F e G, respectivamente para os pseudocritérios ambiental, operacional e social.

Com o auxílio do software Visual PROMETHEE (figura 53), foi obtido o ordenamento de priorização de intervenção nas ETEs, ranqueando as estações em ordem de maior prioridade, conforme exibido na tabela 12. Todos os valores de fluxo líquido uni e multicriterial exibidos foram obtidos utilizando dados do sistema de valores que considera a média aritmética dos pesos dados pelos decisores.

Figura 53 – Interface do Software Visual PROMETHEE

The screenshot shows the 'Visual PROMETHEE Academic - ETES - função utilidade.vpg (saved)' window. The interface includes a menu bar (File, Edit, Model, Control, PROMETHEE-GAIA, GDSS, GJS, Custom, Assistants, Snapshots, Options, Help) and a toolbar. The main window is divided into several sections:

- Criteria Selection:** 'Média Global' is selected. Three pseudocriteria are active: 'AMBIENTAL', 'OPERACIONAL', and 'SOCIAL'. Each has a 'unit' and a 'Cluster/Group' color indicator (grey, cyan, and blue respectively).
- Preferences:** A table of preference functions for each criterion.
 

	AMBIENTAL	OPERACIONAL	SOCIAL
Min/Max	max	max	max
Weight	4,56	4,44	4,22
Preference Fn.	V-shape	V-shape	V-shape
Thresholds	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	12,36	23,56	4,70
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a
- Statistics:** Summary statistics for each criterion.
 

	AMBIENTAL	OPERACIONAL	SOCIAL
Minimum	1,09	0,00	2,58
Maximum	13,45	23,56	7,28
Average	8,91	13,86	5,54
Standard Dev.	3,16	6,62	1,09
- Evaluations:** Results for five ETEs across the three criteria.
 

ETEs	AMBIENTAL	OPERACIONAL	SOCIAL
Almirante Tamandará	10,16	10,72	6,04
Aracapé III	9,08	14,67	6,50
Castelão	1,09	0,00	6,95
Centro de Eventos	2,62	0,00	6,57
Cj. Ceará	9,65	12,39	2,58

Annotations in the image include red arrows pointing to 'Pseudocritérios', 'Diferenciação dos pseudocritérios por cor', 'Média dos pesos dados as 3 classes de critérios', 'Função para descrever critério generalizado', 'Obtenção de P(d) pela máxima diferença', 'Diferenciação dos tipos de ETEs por cor', and 'Utilização de 4 diferentes cenários'. Red circles highlight the 'V-shape' preference function, the '4,70' preference value, the '2,58' and '7,28' minimum/maximum values, and the 'Média Global' tab at the bottom.

Fonte: O autor

As cinco ETEs com maior urgência de intervenção segundo este sistema de apoio à decisão foram Curió I e II, Por do Sol, Lagoa da Zeza, Pindorama e Novo Barroso, todas operando com tecnologia UASB. De fato, estas ETEs apresentaram elevados valores de ISPL (média de 0,89, excetuando-se a análise referente ao pH) e diversas desconformidades operacionais (média de 6,2 desconformidades, para um máximo de 7), conforme verificado nos Apêndices E e F, respectivamente.

Tabela 12 – Ordenamento de priorização das ETEs gerado pelo Visual PROMETHEE

Ranking Global	ETE	Tipo <sup>1</sup>	Fluxo Líquido Unicriterial			$\phi$	$\phi+$	$\phi-$	Ranking por classes de decisores <sup>2</sup>			Máxima variação
			$\phi_{AMB}$	$\phi_{OPE}$	$\phi_{SOC}$				C1	C2	C3	
1	Curió I e II	UASB	0,3788	0,2661	0,1105	0,2553	0,2725	0,0172	■	■	■	0
2	Por do Sol	UASB	0,2428	0,3561	0,1105	0,2386	0,2538	0,0152	■	■	■	0
3	Lagoa da Zeza	UASB	0,3417	0,4242	-0,2173	0,191	0,2727	0,0818	■	■	■	0
4	Pindorama	UASB	0,1785	0,3369	-0,0253	0,1666	0,2126	0,046	■	▼ 1	▼ 1	1
5	Novo Barroso	UASB	0,1083	0,271	0,1105	0,1637	0,1967	0,033	■	▼ 1	▲ 1	1
6	Sumaré	DD	0,0555	0,0305	0,3828	0,1516	0,2087	0,0571	▼ 3	▲ 2	▼ 1	3
7	Riacho Doce	UASB	0,2383	0,2005	-0,0049	0,148	0,1962	0,0483	■	▼ 4	▲ 1	4
8	Paupina	UASB	-0,0391	0,3561	0,1105	0,1414	0,1971	0,0557	■	▲ 1	■	1
9	Rosalina	UASB	0,3788	-0,1156	0,1507	0,1399	0,21	0,0701	▲ 3	▼ 1	■	3
10	Lagamar	LE	0,2531	0,3367	-0,2173	0,131	0,2171	0,0861	▼ 1	▲ 2	▼ 6	6
11	Cj. São Cristóvão	LE	0,2306	0,0205	0,1105	0,1217	0,1716	0,0499	▲ 1	▲ 2	▲ 1	2
12	Aracapé III	UASB	0,0138	0,0351	0,211	0,0839	0,1515	0,0676	■	▼ 1	■	1
13	Pq. Fluminense	LE	-0,2963	0,3415	0,2	0,0764	0,1938	0,1174	▼ 3	▲ 1	▲ 2	3
14	Zeza Tijolo	UASB	0,1934	0,1008	-0,0876	0,0726	0,1524	0,0799	▲ 1	▼ 1	▲ 1	1
15	Conj. Esperança	LE	0,0561	0,3561	-0,2081	0,0725	0,176	0,1035	▲ 1	▲ 1	▲ 1	1
16	Dias Macedo	UASB	0,0217	0,0303	0,1105	0,0529	0,1274	0,0744	▲ 1	▼ 1	▲ 1	1
17	João Paulo II	LE	0,0781	0,1032	-0,0962	0,0309	0,1256	0,0947	▼ 1	▲ 1	▼ 4	4
18	Almirante Tamandaré	DD	0,1039	-0,1375	0,1105	0,0249	0,1209	0,0959	▲ 1	■	▲ 1	1
19	Novo Mondumbim	UASB	0,0614	-0,2712	0,2	-0,0061	0,1243	0,1304	■	▼ 1	▲ 1	1
20	Itaperí	UASB	0,1066	-0,3515	0,2134	-0,0132	0,1327	0,1459	■	▼ 1	▲ 1	1
21	Sítio Santana	UASB	-0,131	0,0181	0,0208	-0,0325	0,0963	0,1288	▼ 1	▲ 2	▲ 1	2
22	Lagoa Azul	UASB	-0,0292	-0,1375	0,0208	-0,0496	0,0873	0,1369	▼ 1	■	▼ 1	1
23	Jose Walter	LE	0,1697	0,1032	-0,4508	-0,0507	0,1271	0,1778	▼ 2	■	▼ 4	4
24	Itaperussu	LA	-0,1481	-0,2007	0,1507	-0,0704	0,0929	0,1633	■	▼ 1	▲ 2	2
25	Tupãmirim	LE	-0,4808	0,0205	0,1507	-0,1109	0,0985	0,2094	▲ 2	▲ 1	▼ 1	2
26	Monte Líbano	DD	0,1379	-0,0524	-0,4508	-0,1139	0,0941	0,2081	▲ 1	▼ 1	▲ 2	2

27	Rosa do Luxemburgo	UASB	-0,2467	-0,2202	0,1105	-0,1238	0,0754	0,1992	▲ 1	▲ 1	▲ 2	2
28	Cj. Ceará	LE	0,0616	-0,0646	-0,6489	-0,2076	0,0748	0,2823	■	▼ 1	■	1
29	Cj. Palmeiras	LE	-0,4809	0,1008	-0,2866	-0,2235	0,0672	0,2907	■	▲ 1	■	1
30	Pequeno Mondumbim	DD	-0,0241	-0,4366	-0,4508	-0,2988	0,0397	0,3386	■	▼ 2	■	2
31	Centro de Eventos	UASB	-0,5253	-0,6068	0,2266	-0,3127	0,076	0,3886	▼ 1	▲ 1	■	1
32	TCM	UASB	-0,3566	-0,6068	0,0234	-0,3194	0,0406	0,36	▲ 1	▼ 1	■	1
33	Castelão	UASB	-0,6525	-0,6068	0,3099	-0,3299	0,0996	0,4296	■	▲ 2	■	2

Fonte: Elaboração própria

Legenda: (1): DD: Decanto-digestor; LE: lagoas de estabilização; LA: lodos ativados

(2): C1: Gestores da Cagece; C2: Autoridades ambientais; C3 Especialistas acadêmicos;

■ Não houve alteração; ▲ Subida de posição; ▼ Queda de posição



Ainda na tabela 12, pode-se verificar qual comportamento que o ordenamento de priorização das ETEs teria apresentado caso somente uma classe de decisores tivesse sido consultada na construção dos sistemas de valores. Esta análise é feita para cada uma das três classes e as indicações das posições hipotéticas são relativas às posições efetivamente encontradas.

Nesta conjuntura, a média aritmética da máxima variação de posicionamentos nos rankings encontrada foi de 1,76, o que constitui um indicativo que se utilizados os sistemas de valores das diferentes classes de decisores isoladamente dos demais não produziram resultados muito destoantes entre si, haja vista a expressiva quantidade de alternativas do problema. As três ETEs com maior prioridade – Curió I e II, Por do Sol e Lagoa da Zeza – obteriam as mesmas classificações e outras 15 ETEs iriam variar somente uma posição no ranking, para mais ou para menos. Um afastamento pontual desta análise foi verificado para a ETE Lagamar, que caso analisada somente pela classe dos especialistas acadêmicos ocuparia a 16ª posição no ranking, enquanto o resultado efetivo a classifica em 10ª.

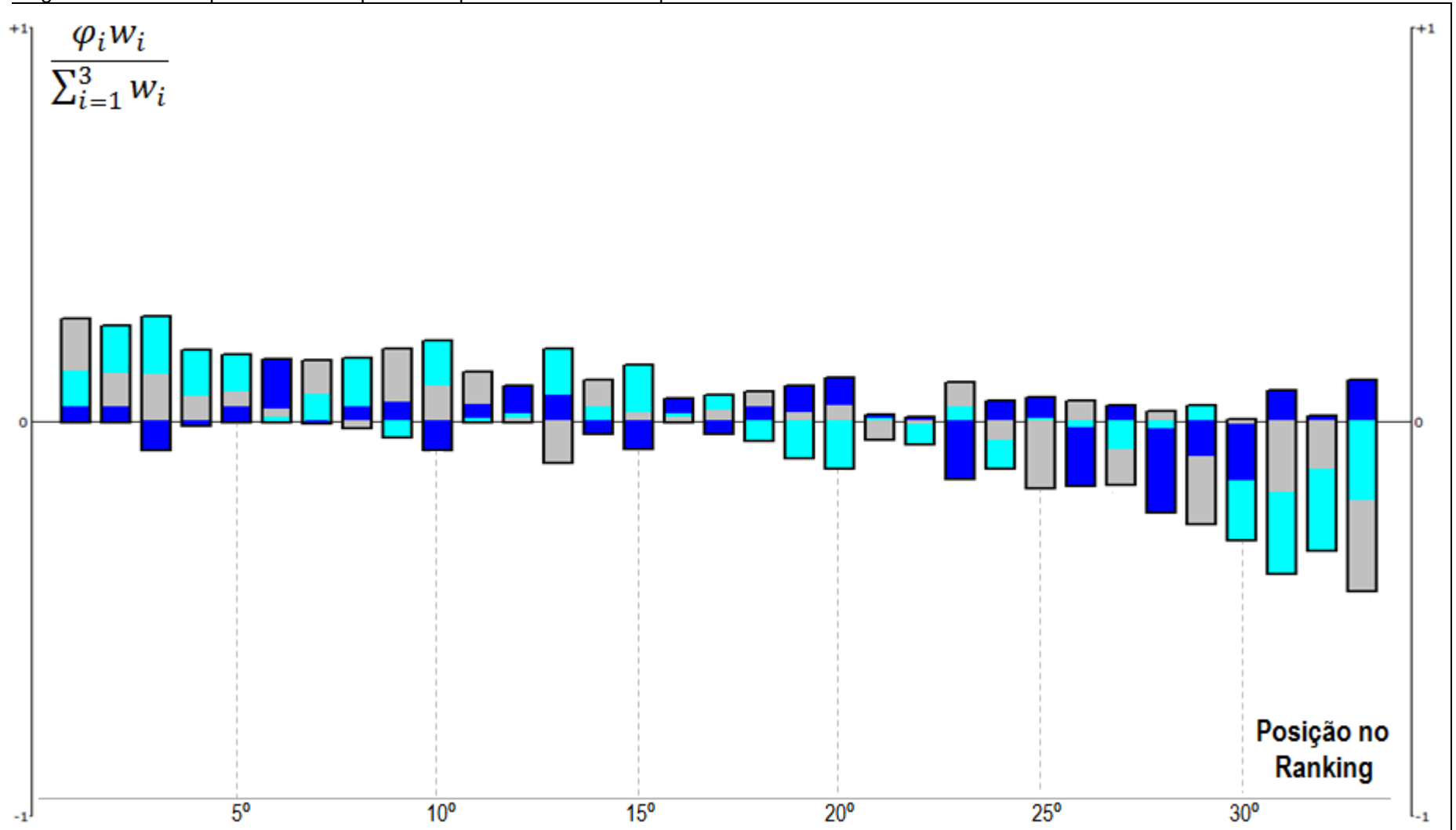
A análise GAIA – que transforma um espaço vetorial de  $n$  dimensões (sendo  $n$  o número de critérios) em bidimensional, de modo que toda alternativa pode ser representada por um vetor – não se mostrou visualmente oportuna para uma análise pontual de cada alternativa, devido a elevada quantidade de alternativas do problema e a sobreposição destas no plano GAIA. Entretanto, não houve perdas de compreensão dos resultados, uma vez que foi oportuna a utilização de outras ferramentas, como a “arco-íris”<sup>8</sup>, descrita no Anexo C.

Na figura 54 podemos observar a influência de cada pseudocritério isoladamente na construção do valor de fluxo final  $Phi$ , responsável por fazer o ordenamento final das alternativas. Deve-se lembrar que a construção dos valores assumidos pelos pseudocritérios de cada alternativa é vinculada às demais alternativas; portanto, um pseudocritério que apresente valor negativo no gráfico não necessariamente indica boas condições no respectivo quesito avaliativo, mas sim que as condições desta ETE é, no geral, relativamente melhor que as demais, de modo a contribuir negativamente no valor de fluxo total.

---

<sup>8</sup> Originalmente identificada pelo software por sua nomenclatura em inglês, *rainbow*.

Figura 54 – Fluxo líquido unicriterial para cada pseudocritério obtido pela ferramenta “arco-íris”



Fonte: O autor

Legenda: ■ Pseudocritério ambiental; ■ Pseudocritério operacional; ■ Pseudocritério social

Ainda sobre a figura 54, a utilização da função V-shape para descrever os critérios generalizados resulta em valores menores de fluxo – quando comparada com a função chamada usual, mais recorrente em outros estudos – o que visualmente na ferramenta “arco-íris” pode dificultar a interpretação, se observada isoladamente. Isto é decorrente da própria característica matemática da função, que utiliza valores pertencentes ao intervalo  $[0, 1]$ , proporcionalmente baseada na máxima diferença observada de valores e não somente na existência de uma diferença, como na função usual. Entretanto, esta abordagem evita a ocorrência de erros como os descrito na seção 3.3.2.

## 5 CONCLUSÃO

O ordenamento na priorização de intervenção em ETEs que apresentem desconformidades de naturezas diversas, sendo que em cada dimensão podem ser mais ou menos complexos e/ou danosos, mostrou-se ser uma problemática passável de resolução a partir de uma metodologia multicritério fundamentada em um paradigma prescritivista. Utilizar o conceito abrangente, mas que ao mesmo tempo fornece a profundidade necessária, da vulnerabilidade socioambiental permitiu integrar diferentes dimensões (e conseqüentemente os critérios associados a estas), compilando-os por meio do encadeamento lógico-matemático próprio da metodologia proposta.

De fato, constatou-se que a metodologia de apoio à decisão proposta conseguiu não somente construir uma técnica de seleção, ponderação e equacionamento lógico de critérios consensualmente validados por todos os representantes das classes de decisores, bem como equalizar possíveis discrepâncias advindas de uma atribuição de valor pontualmente destoante para algum dos critérios. Ainda dentro desta temática, é importante destacar que a condução do processo de concepção e maturação do modelo permitiu que se chegasse em parâmetros que facilitem a reprodutibilidade dos princípios metodológicos propostos, salvaguardadas as devidas exigências de um paradigma prescritivista.

É imprescindível ratificar o caráter recomendativo da metodologia proposta e aplicada, característica intrínseca do paradigma adotado. Assim, durante uma possível adoção dos resultados gerados para o ordenamento de priorização de intervenção nas ETEs, pode ainda existir alterações segundo fatores externos aos compilados pelos critérios propostos, como vontade política, reajustamento estratégico/organizacional interno da companhia ou dos órgãos fiscalizatórios, priorização de áreas específicas do município, dentre outros.

## REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, M. et al. **Juventude, violência e vulnerabilidade social na América Latina: desafios para políticas públicas**. Brasília: UNESCO, 2002.

ANDRADE NETO, C. O.; CAMPOS, J. R. In: CAMPOS, J. R. (Coord). **Tratamento anaeróbio de esgotos por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. 1. ed. Rio de Janeiro, 1999.

ALENCAR, L. H. **Avaliação e gestão de projeto na construção civil com apoio do método multicritério PROMETHEE**. Programa de pós-graduação em engenharia de produção. UFPE, 2003.

ALVES, P. F.; MELLO, A. Y. I.; D'ANTONA, A. D.; CARMO, R. L. Vulnerabilidade socioambiental nos municípios do litoral paulista no contexto das mudanças climáticas. **XVII Encontro Nacional de Estudos Populacionais**, Caxambu-MG, 2010.

ALVES, H. P. F. Metodologias de integração de dados sociodemográficos e ambientais para análise da vulnerabilidade socioambiental em áreas urbanas no contexto das mudanças climáticas. In: HOGAN, D.; MARANDOLA JR., E. (Orgs.). **População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais**. Campinas: Núcleo de Estudos de População – Nepo/Unicamp; Brasília: UNFPA, 2009, p. 75-105.

ARAÚJO, L. H. S. **Diagnóstico georreferenciado do uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente (APP) da sub-bacia B1, bacia do rio Cocó, Fortaleza-Ce**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2012.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12209. Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 13969 – Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, Construção e Operação**. 60p., Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 7229 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. 15p., Rio de Janeiro, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR 9648. Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.

BANA E COSTA, C. A. **Structuration, Construction et Exploitation d'un Modèle Multicritère d'Aide à la Décision**. 1992.

BANA E COSTA, C. A., PIRLOT, M. Thoughts on the Future of the Multicriteria Field: Basic Convictions and outlines for a General Methodology. In: **Clímaco, J. (Ed.): Multicriteria Analysis**. Berlin: Springer, 1997.

BARBERIS, G. F.; RÓDENAS, M. C. E.; CENTENO, M. C. G.; SÁNCHEZ, S. R. Aplicación del VISUAL PROMETHEE: planteamiento y resolución de un problema real de Decisión Multicriterio. **XXI Jornadas ASEPUMA – IX Encuentro Internacional Anales de ASEPUMA** nº 21: 413. 2013

BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de metodologia: um guia para a iniciação científica**. São Paulo: Makron Books, 2000.

BENEVIDES, A. Diagnóstico sócioambiental das áreas de risco em Fortaleza Ceará. **XII Encuentro de Geógrafos de América Latina**. Montevideo, abril de 2009.

BENTO, V. R. S. **Centro e periferia em Fortaleza sob a ótica das disparidades na infraestrutura de saneamento básico**. Dissertação de Mestrado Acadêmico em Geografia. Universidade Estadual do Ceará Fortaleza, 2011.

BEZERRA, M. E. E. **Cenário do tratamento de esgoto através de tanque séptico + filtro anaeróbio em Fortaleza**. Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2004.

BOUYSSOU, D. Building criteria: A prerequisite for MCDA. In **C.A. Bana e Costa, editor, Readings in Multiple Criteria Decision Aid**, pages 58-80. Springer-Verlag, Berlin, 1990.

BRANS, J.P.; MARESCHAL, B.; VINCKE, P. PROMETHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis. In **J.P Brans, editor, Operational Research, IFORS 84**, pages 477--490. North Holland, Amsterdam, 1984

BRANS, J.P.; MARESCHAL, B.; The promethee-gaia decision support system for multicriterial investigation. In: **Proceedings of the international conference en multiple decision making**. Coimbra, 1994.

BRANS, J.; MARESCHAL, B. The PROMETHEE methods. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys**. New York: Springer, 2005. Cap. 5, p. 163-195.

BRASIL. 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, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 377/2006 – Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2006a.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 430/2011 – Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, 2011a.

BRASIL. **Guia para a elaboração de planos municipais de saneamento**. BERNARDES, R. S; SCÁRDUA, M. P; CAMPANA, N. A. (Org.). Brasília: Ministério das Cidades, 2006b.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 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 no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasil, 2007.

BRASIL. Ministério das Cidades. Curso a distância – planos de saneamento básico. **Módulo 1 – O saneamento básico no Brasil: aspectos fundamentais**. Brasília, 2015

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **NOTA TÉCNICA Nº 492/2010: Indicadores de Custos de Referência e de Eficiência Técnica para análise técnica de engenharia de infraestrutura de saneamento nas modalidades abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Brasília, 2011b.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Política e Plano Municipal de Saneamento Ambiental: Experiências e recomendações**. 2. ed. Brasília, 2011c.

BRASIL. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB. 2013.** Ministério das Cidades. Brasília, 2013.

CAGECE, Companhia de Água e Esgoto do Ceará. **Histórico do Sistema de Esgotamento Sanitário de Fortaleza. 2011.** Disponível em: <<http://www.cagece.com.br/2013-01-28-19-22-58/macrossistema/3-histria>>. Acesso em: 22 maio 2016.

\_\_\_\_\_. **Índice de cobertura.** 2016a. Disponível em: <<http://www.cagece.com.br/numeros/indice-de-cobertura>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

\_\_\_\_\_. **Relatório anual 2013.** Publicado em 11 fev. 2015. Disponível em: <<http://www.cagece.com.br/publicacoes/relatorio-anual#>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

\_\_\_\_\_. **Saneamento Básico: um compromisso de todos por mais qualidade de vida.** 2016b. Disponível em: <[http://www.cagece.com.br/2015-11-10-20-11-45/2016-05-05-13-27-20/ceara/download/146\\_4353a6d7591732d76b43d993d80467be](http://www.cagece.com.br/2015-11-10-20-11-45/2016-05-05-13-27-20/ceara/download/146_4353a6d7591732d76b43d993d80467be)> Acesso em: 18 jun. 2016.

CALIJURI, M. C; CUNHA, D. G. F. (Coord.). **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CAMPOS, V. R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento.** Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo.** 1. ed. Rio de Janeiro, PROSAB/FINEP. 1999.

CARLEIAL, A. N.; ARAÚJO, A. M. M. (Org.). **Atlas de Fortaleza 2000.** Fortaleza: EdUECE, 2010.

CASTRO, M.; PEIXOTO, M. N. O.; PIRES DO RIO, G. A. Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. **Anuário do Instituto de Geociências,** Rio de Janeiro: UFRJ, v. 28, n. 2, p. 11-30, 2005.

CEARÁ. Governo do Estado do Ceará. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. **Portaria n.º154/2002 – Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras.** Fortaleza, 2002.

\_\_\_\_\_. Governo do Estado do Ceará. Conselho Estadual de Meio Ambiente. **Resolução COEMA Nº20/2009. Estabelece critérios e diretrizes para instalação de estação de tratamento de esgoto do tipo tanque séptico [...].** Fortaleza, 2009.



\_\_\_\_\_. Governo do Estado do Ceará. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE. Informe nº 44. **Perfil Municipal de Fortaleza Tema IX: As Condições Domiciliares dos Bairros**. 2012a.

\_\_\_\_\_. Governo do Estado do Ceará. Secretaria do Planejamento e Gestão. Governo do Estado do Ceará. IPECE. **Perfil Básico Municipal 2011 FORTALEZA**. Fortaleza: IPECE, 2011.

\_\_\_\_\_. Governo do Estado do Ceará. Secretaria do Planejamento e Gestão. Governo do Estado do Ceará. IPECE. **Perfil socioeconômico de Fortaleza**. Fortaleza: IPECE, 2012b.

CEBR. Centre for Economics and Business Research. **Most rich countries in 2011**. 2011. Disponível em: <<http://www.cebr.com>>. Acesso em: 16 mar. 2016

CERON, L. P. Efluentes: Resolução CONAMA 430/2011, o que mudou? **Revista TAE**. 2012.

CHENICHARO, C. A. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte, 2001.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. Vol. 5. UFMG. Belo Horizonte, 1997.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas. Relatório de Fase I. Diagnósticos e estudos básicos. Tomo I**. 1999.

CORDEIRO, B. S. (Coord.). **Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de saneamento básico**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2009.

COSTA, E. S. **Proposta de protocolo para projeto de engenharia de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo**. Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia Ambiental. Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

COSTA, M. C. L.; DANTAS, E. W .C. (Org.). **Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza**. Edições UFC. Fortaleza, 2009.

**DEFESA Civil de Fortaleza mapeia 48 áreas tidas como de alto risco.** O Povo, Fortaleza, 15 janeiro 2016. Disponível em: <<http://www.opovo.com.br/>>. Acesso em: 25 jun. 2016.

DEMO, P. **Metodologia do conhecimento científico.** São Paulo: Atlas, 2000.

DESCHAMPS, M. V. **Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba. 2004.** Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004

DOS SANTOS, A. B. **Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos.** Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007.

ENNES, Y. M. **Vulnerabilidade dos sistemas de água potável e de esgotos sanitários, da cidade brasileira de Belo Horizonte, frente a inundações e a chuvas intensas.** 1998. Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org/acrobat/vulner.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

ENSSLIN, E. R. **Modelo para identificação de oportunidades de aperfeiçoamento para docentes do EPS / UFSC.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia De Produção. UFCS, 1998.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G. N.; NORONHA, S. M. **Apoio a decisão: Metodologias para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas.** Florianópolis, 2001.

ESTEVES, C. J. O. Risco e vulnerabilidade socioambiental: aspectos conceituais. **Cad. IPARDES.** v. 1, n. 2. Curitiba-PR, 2011.

FANTINATTI, P. A. P.; ZUFFO, A. C.; FERRÃO, A. M. A. (Org.). **Indicadores de sustentabilidade em engenharia: como desenvolver.** Editora Elsevier. Rio de Janeiro, 2015.

FILHO, A. S. **Tratamento terciário de efluente de uma indústria de refrigerantes visando ao reuso – um estudo de caso.** Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Escola de Química, 2009.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006.

FONTANA, H. **Pós-tratamento de esgoto sanitário com biofiltro aerado submerso preenchido com carvão granular: desempenho técnico e estudo de viabilidade econômica.** Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em

Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007

FORTALEZA. Prefeitura de Fortaleza. **Diagnóstico das atuais condições de drenagem do município de Fortaleza.** Plano Municipal De Saneamento Básico de Fortaleza. 2013a.

\_\_\_\_\_. Prefeitura de Fortaleza. **Diagnóstico geoambiental do município de Fortaleza. Subsídios ao macrozoneamento ambiental e à revisão do plano diretor participativo – PDPFor.** 1ª Edição. 2009.

\_\_\_\_\_. Prefeitura Municipal de Fortaleza. **Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico. Desenvolvimento humano, por bairro, em Fortaleza.** 2013b.

\_\_\_\_\_. Prefeitura de Fortaleza. **Secretaria municipal do meio ambiente. Inventário ambiental de Fortaleza: relatório de andamento I.** 2003.

\_\_\_\_\_. Prefeitura de Fortaleza. **Diagnóstico do Sistema de Esgotamento Sanitário Revisado. Plano Municipal De Saneamento Básico de Fortaleza: Convênio de Cooperação Técnica entre Companhia de Água e Esgoto Do Ceará – Cagece e Agência Reguladora de Fortaleza – ACFOR.** 2014.

\_\_\_\_\_. Prefeitura de Fortaleza. **Plano de Gestão Integrada da Orla Marítima. Projeto Orla Fortaleza.** Fortaleza, 2006.

\_\_\_\_\_. Prefeitura de Fortaleza. **Prognóstico dos serviços de esgotamento sanitário. Plano Municipal De Saneamento Básico de Fortaleza.** 2013c.

FUNTOWICZ, S.O.; RAVETZ, J.R. Emerging complex system. **Futures.** 26(6): 568-582. 1994

GALVÃO JÚNIOR, A. C.; MORENO, J.; MAGALHÃES, C. A. C. Avaliação dos sistemas de tratamento por decantodigestores seguidos de filtros anaeróbios, em comunidades atendidas pela unidade de negócio do médio Tietê : SABESP. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21.,** 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES, 2001.

GERSHON, M.; GRANDZOL, J. Multiple Criteria Decision Making, **Quality Progress,** January, 69-73, 1994.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

GONÇALVES, C. W. P. **O Desafio Ambiental**. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GONÇALVES, R.F.; ZEGHAL, S.; SAMMUT, F.; ROGALLA, F. Remoção de nutrientes de águas residuárias através de biofiltros submersos de alta taxa. In: Anais do 17o. **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. ABES, Natal-RN. pp. 3-20, 1993.

GONÇALVES, R.F.; REBOUÇAS, T. C.; MIRAVAL, D. O. BIANCHI,G.; BAZZARELLA, B. B. Caracterização e tratamento de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial após segregação In. AIDIS; **Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Sección Uruguay. Rescatando antiguos principios para los nuevos desafíos del milenio. Montevideo**, AIDIS, 2006

GTZ – GESELLCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT. **Capacity Building for Ecological Sanitation: Ecosan Resource Material**. CD-ROM. Eschborn, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades. Infográficos: despesas e receitas orçamentárias e PIB**. 2016a. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/economia.php>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

\_\_\_\_\_. **Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2015**. 2015.

\_\_\_\_\_. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. 2016b. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/898#resultado>>. Acesso em: 7 abr. 2016.

IMF. **International Monetary Fund. World Economic Outlook**. 2015.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Desenvolvimento humano, IDH e IDHM**. 2013. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/141125\\_atlas\\_introducao](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/141125_atlas_introducao)> Acesso em: 6 ago. 2016.

ITB – Instituto Trata Brasil. **Esgotamento sanitário inadequado e impactos na saúde da população**. 2013a. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/>>. Acesso em: 4 set. 2016.

\_\_\_\_\_. **Estudo destaca benefícios com a expansão saneamento no Brasil**. CEBDS, 2013b. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. **Ociosidade das Redes de Esgotamento Sanitário no Brasil.** 2015. . Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/>>. Acesso em: 3 set. 2016.

\_\_\_\_\_. **Saneamento e Saúde.** Coordenação Marcelo Côrtes Neri. Rio de Janeiro: FGV/IBRE, CPS, 2007.

JACOBI, P. Impactos socioambientais urbanos – do risco à busca de sustentabilidade. In: MENDONÇA, F. A. (org.). **Impactos Socioambientais Urbanos.** Curitiba: UFPR, 2004.

JANNUZZI , P. M. ; MIRANDA , W. L. de ; SILVA , D. S. G. **Análise multicritério e tomada de decisão em políticas públicas: aspectos metodológicos, aplicativo operacional e aplicações.** Informática Pública , Belo Horizonte , ano 11 , n. 1 , p. 69 - 87 , 2009 .

JENKS, G. The data model concept in statistical mapping. **International Cartographic Association ed. International Yearbook of Cartography** 7, p. 186 - 190, 1967.

JONES, D. “Environmental hazards in the 1990s: problems, paradigms and prospects”. **Geography**, 1993.

JONES, M. H. Las decisiones del ejecutivo. Eduardo Lobaton [tradução]. México: **Continental**, 1964.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 3. ed. Rio de Janeiro: **ABES**, 1995.

KUNH, T. S. **The structure of Scientific Revolutions.** Chicago: University of Chicago Press, 1996.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

**LEGISLAÇÃO.** Companhia de Água e Esgoto do Ceará. 26 ago. 2011. Disponível em: <<http://www.cagece.com.br/a-empresa/legislacao>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

LETTINGA G. Introduction. In: **International course on anaerobic treatment.** Wageningen: Wageningen Agricultural University / IHE Delft, 1995.

LINS, G. A. **Impactos ambientais em estações de tratamento de esgoto (ETES).** Programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental. Escola Politécnica e Escola de Química. UFRJ, 2010.

LOURENÇO, J.; ALENCAR, J. L.; VASCONCELOS, R. F. V.; DO VALE, Y.M. A. L. **Identificação de fatores de vulnerabilidade ambiental na floresta do Louzeiro em Campina Grande-PB. 2013.** Disponível em: <<http://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/6429/4856>>. Acesso em: 05 Abr. 2016.

MANUAL, **Visual PROMETHEE 1.4. 2013.** Disponível em: <[www.promethee-gaia.net](http://www.promethee-gaia.net)>. Acesso em: 05 Ago. 2016.

MARA, D. D. Proposed design for oxidation ponds in hot climates. **Journal of the Environmental Engineering Div. ASCE**, 101, 206. 1975.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, 2004.

MARESCHAL, B.; BRANS, J. P. Geometrical representations for MCDA. **European Journal of Operational Research**, v. 34, p. 69-77, 1988.

MARESCHAL, B. **The History of PROMETHEE-based software.** 2014. Disponível em <[www.promethee-gaia.net/history.html](http://www.promethee-gaia.net/history.html)> Acesso em: 7 ago. 2016.

MARESCHAL, B. **The PROMETHEE Bibliographical Database.** 2016. Disponível em <[www.promethee-gaia.net/bibliographical-database.html](http://www.promethee-gaia.net/bibliographical-database.html)> Acesso em: 6 fev. 2017.

MARTINS, A. G. **Avaliação do Sistema de Tratamento de Esgoto Doméstico Instalado em Empreendimentos da Cidade de Manaus.** Programa de Mestrado Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano da Universidade Federal do Pará, 2014

MENDONÇA, F. A. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Desenvolvimento e Meio Ambiente, Curitiba**: ed. da UFPR, v. 10, p. 139-148, 2004.

MENDONÇA, F. A; LEITÃO, S. A. M. Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. **GeoTextos**, vol. 4, n. 1 e 2, 2008.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.** New York: McGraw-Hill, 2003.

METZGER, M. J. et al. **The vulnerability of ecosystem services to land use change.** Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006.

MIRANDA NETO, **Manoel José de. Pesquisa para o planejamento: métodos e técnicas.** Rio de Janeiro: FGV, 2005.

NASCIMENTO, M. S. F.; FERREIRA, O. M. **Tratamento de esgoto urbano: comparação de custos e avaliação da eficiência.** Goiânia, 2007.

NOTTINGHAM, P. C. **Sistema de esgotamento sanitário de Fortaleza – interceptor oceânico.** 2011. Disponível em: <<http://www.fortalezanobre.com.br/2011/05/sistema-de-egotamento-sanitario-de.html>>. Acesso em: 15 Jun. 2016.

NUNES, T.; ROSA, J. S.; MORAES, R. F. (Org.). Ministério do Meio Ambiente. **Sustentabilidade urbana: impactos do desenvolvimento econômico e suas consequências sobre o processo de urbanização em países emergentes.** Saneamento básico. Volume 2. Brasília, 2015.

NUVOLARI, A; TELLES, D.D; RIBEIRO, J.T; MIYASHITA, N.J; RODRIGUES, R.B; ARAUJO, R. **Esgoto Sanitário: Coleta Transporte Tratamento e Reúso Agrícola.** Editora: Edgard Blücher, São Paulo - SP, 2003.

OJIMA, R.; A vulnerabilidade socioambiental como conceito interdisciplinar: avanços e potencialidades para pensar mudanças ambientais. **Revista Cronos**, v. 13, n. 1, p. 110-120, 2012.

OLIVEIRA, S. M. A. C. **Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos.** Tese. Belo Horizonte, 232 p., 2006.

OLIVEIRA, S. L. A. **Confiabilidade operacional de Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI) de refinaria de petróleo: estudo de caso.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2014.

OTTERPOHL, R.U. Black, brown, yellow, grey - the new colors of sanitation. **Water**, v. 21. 2001

**PIRAMBU, reino da pobreza e exclusão social. Fortaleza em fotos.** Publicado em 23 dezembro 2011. Disponível em <<http://www.fortalezaemfotos.com.br/2011/12/pirambu-reino-da-pobreza-e-exclusao.html>> Acesso em: 07 jul. 2016.

PIVELI, R. P. Concepção das estações de tratamento de esgotos. Material didático do curso Internacional de técnicas de Tratamento de esgoto, promovido pela da JICA (**Japan International Cooperation Center**), Franca SP, 2006.

PMI. Project Management Institute. **PMBOK. Um guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos**. 3. ed. Newton Square: Project Management Institute, 2004.

PNUD. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2007/2008 – Combater as mudanças climáticas: solidariedade humana em um mundo dividido**. Nova York: PNUD, 2007.

PONTE, S. R. **Fortaleza Belle Époque: reforma urbana e controle social 1860-1930**. 4 ed. Fortaleza: Demócrito Rocha, 2010.

PORTO, M. F. S. **Uma ecologia política dos riscos: princípios para integramos o local e o global na promoção da saúde e da justiça ambiental**. Editora Fiocruz. Rio de Janeiro, 2012.

PROSAB. **Programa de Pesquisas em Saneamento Básico**. 2013. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/historico-de-programa/prosaba>>. Acesso em: 14 set. 2016

RAVINDRAN, A.; PHILLIPS, D. T.; SOLBERG, J. J. **Operations Research, Principles and Practice**, 2. ed. New York: John Wiley, 1987.

REAMI, L. **Aplicação de métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão para escolha de tecnologia de tratamento de esgoto: Estudo de caso de Restinga SP**. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. 2011.

RIBEIRO, L. C. Q. (Coord.). **Vulnerabilidade Socioambiental das Regiões Metropolitanas Brasileiras**. Observatório das Metrôpoles – IPPUR/FASE. 2009.

ROCHA, M. S. **Classificação multicritério de projetos de novos negócios: uma aplicação do método TODIM-FSE**. Dissertação de Mestrado Profissional em Economia do IBMEC. Rio de Janeiro, 2014.

ROCHA, M. C. S. P. **Métodos de Classificação Multicritério com classes parcialmente ordenadas**. Doutorado em Gestão - Ciência Aplicada à Decisão. Faculdade de Coimbra. Coimbra, 2011.

ROSSONI, H. A. V. **Fatores condicionantes da presença de diferentes modelos de prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil: uma análise quantitativa**. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG, 2015.



ROY, B. Multicriteria methodology for decision aiding. **Netherland: Kluwer academic publishers**, 1996.

SANTOS, J. O. **Vulnerabilidade ambiental e áreas de risco na Bacia hidrográfica do rio Cocó: Região Metropolitana de Fortaleza-CE**. 2006. 216 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2006.

SANTOS, J. O. **Fragilidade e riscos socioambientais em Fortaleza-CE: contribuições ao ordenamento territorial**. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

SILVEIRA, A. G. M. **Análise de eficiência e confiabilidade em sistemas de baixo custo de tratamento de esgotos do tipo lagoas de estabilização**. Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará. 2011.

SILVESTRE, M. E. D. Código de 1934: água para o brasil industrial. **Revista geopaisagem**. v. 7, n. 13, 2008.

SNIS – **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2014. Brasília, fevereiro de 2016.

SOUSA, A. C. A. **Política de Saneamento no Brasil: atores, instituições e interesses**. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2011.

TEIXEIRA, A.: **19 mil famílias vivem em área de risco em Fortaleza, diz Defesa Civil**. Jornal G1 Ceará, publicado em 16 janeiro 2012. Disponível em <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2012/01/19-mil-familias-vivem-em-area-de-risco-e-m-fortaleza-diz-defesa-civil.html>> Acesso em: 7 jul. 2016.

TEIXEIRA, J. C., OLIVEIRA, G.S., VIALI, A. M., MUNIZ, S. S.; Estudo do impacto das deficiências de saneamento básico sobre a saúde pública no Brasil no período de 2001 a 2009. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 19, n. 1, p. 87-96, 2014.

UHR, J. G. Z.; SCHMECHEL, M.; UHR, D. A. P. Relação entre saneamento básico no Brasil e saúde da população sob a ótica das internações hospitalares por doenças de veiculação hídrica. RACEF – **Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace**. v. 7, n. 2, p. 01-16, 2016.

VERÓL, A. P.; VOLSCHAN JR., Inventário e análise de padrões de lançamento de esgotos sanitários: visão nacional e internacional. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo, 2012.

VEYRET, I. **Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007.

VILAROUCA, J. S. **Avaliação do impacto ambiental do destino final do lodo de fossas sépticas nas estações de tratamento de esgotos na ETE São Cristóvão, Fortaleza-CE**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

VINCKE, P. Multicriteria decision aid. **Bruxelles: Jonh Wiley & Sons**, 1992.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol.1. 3ª Ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Lagoas de estabilização**. Volume 3, 2. ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Lodos ativados**. Vol. 4. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 1997.

WHO – **World Health Organization. Water, Sanitation and Hygiene Links to Health – Facts**. 2004. Disponível em: <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/facts2004/en](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/en)>. Acesso em: 12 abr. 2016.

YIN, Robert K. **Estudo de caso – planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman. 2001.

ZANIN, R. A. **Seleção de processos de tratamento de esgoto sanitário utilizando análise multicritério**. Universidade da Região de Joinville, 2011.

## APÊNDICE A – FICHA DE AVALIAÇÃO DAS ETES

### Identificação do empreendimento

1. Nome da estação: \_\_\_\_\_
2. Bacia a qual pertence:   ( ) Siqueira   ( ) Cocó   ( ) Coaçu/Miriú
3. Endereço: \_\_\_\_\_
4. Tecnologia utilizada:  
    ( ) Decanto-digestor associado a filtro anaeróbio  
    ( ) Reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)  
    ( ) Lagoas de estabilização  
    ( ) Lodo ativado
5. Observações quanto à existência e disposição das unidades de tratamento: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### Parâmetros Operacionais

1. Quanto às condições do tratamento preliminar  
Existe caixa de areia?  
    ( ) Sim, em bom funcionamento   ( ) Sim, em mau funcionamento.   ( ) Não.
2. Há histórico de maus odores?   ( ) Sim.   ( ) Não.
3. Há problemas com descarte de lodo?   ( ) Sim.   ( ) Não.   ( ) Não se aplica.
4. Há problemas de assoreamento ou acúmulo de resíduos sólidos:  
    ( ) Sim.   ( ) Não.
5. Existência de zonas mortas:   ( ) Sim.   ( ) Não.   ( ) Não se aplica.
6. Há problemas no estado de conservação das unidades?   ( ) Sim.   ( ) Não.
7. Há problemas no estado de conservação predial?   ( ) Sim.   ( ) Não.
8. Quanto a segurança:
  - a. Apresenta vigilância eletrônica, uso de concertina e sensor ou presença de vigilante terceirizado?   ( ) Sim.   ( ) Não.
  - b. Apresenta histórico de invasões, vandalismo ou eminente risco ao operador e/ou equipamentos?   ( ) Sim.   ( ) Não.

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO

Este questionário é parte de um instrumento de coleta de dados para avaliar na percepção dos gestores da Companhia de Água e Esgoto do Ceará, autoridades ambientais e acadêmicos especialistas no tratamento de esgotos como os fatores ambientais, operacionais e sociais de uma ETE interferem na vulnerabilidade socioambiental das comunidades na qual a ETE está inserida.

A maioria dos autores define vulnerabilidade como a incapacidade de responder de maneira positiva a situações adversas do meio ou a maior probabilidade de sofrer riscos tanto sociais como ambientais<sup>9</sup>.

A avaliação dos critérios – bem como também das classes dos critérios – deve ser feita segundo o grau de importância de cada um destes na composição da vulnerabilidade socioambiental associada a uma região impactada pelas atividades de uma ETE, tomando em conta os possíveis impactos decorrentes das não-conformidades associadas a estes critérios. A escala de importância e sua respectiva quantidade de pontos é dada a seguir:

Grau de importância	Pontuação
Muito baixa	1
Baixa	2
Média	3
Alta	4
Muito alta	5

Todos os dados fornecidos são tratados em caráter confidencial. Os respondentes não são identificados, sendo as respostas do questionário de uso exclusivo para os propósitos da pesquisa.

<sup>9</sup>COSTA, M. C. L.; DANTAS, E. W. C. (Org.). Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza. Edições UFC. Fortaleza, 2009.

### **Identificação do ator de decisão**

Assinale a alternativa que identifica a classe de decisores a qual o respondente pertence:

- ( ) Gestor da Companhia de Saneamento (Cagece).
- ( ) Autoridade ambiental.
- ( ) Acadêmico especialista no tratamento de esgotos.

### **Quanto às classes dos critérios**

Neste trabalho, os critérios foram divididos em três classes, conforme identifica os itens abaixo. Avalie, segundo a escala de pontuação anteriormente apresentada, a importância de cada uma destas classes na composição da vulnerabilidade socioambiental decorrente dos riscos e impactos relacionados às atividades de uma ETE:

Classes dos critérios	Pontuação
Ambiental	
Operacional	
Social	

### **Quanto aos critérios ambientais, operacionais e sociais**

1. De acordo com os padrões de lançamento exigidos na Portaria SEMACE nº154/2002, avalie a importância relativa dentro da classe ambiental de cada um dos seguintes parâmetros para a composição da vulnerabilidade socioambiental decorrente dos riscos e impactos relacionados às atividades de uma ETE na região em seu entorno:

- a. pH: \_\_\_\_\_
- b. DQO: \_\_\_\_\_
- c. SST: \_\_\_\_\_
- d. *E. coli*: \_\_\_\_\_

2. Avalie a importância relativa dentro da classe operacional de cada um dos seguintes problemas para a composição da vulnerabilidade socioambiental decorrente dos aos riscos e impactos relacionados às atividades de uma ETE na região em seu entorno:
- a. Mau desempenho da unidade de desarenação: \_\_\_\_\_
  - b. Ocorrência de maus odores: \_\_\_\_\_
  - c. Problema com descarte de lodo (podem ser descargas posicionadas incorretamente, descarga insuficiente para boa operacionalização, leitos de secagem inadequados etc.): \_\_\_\_\_
  - d. Assoreamento ou presença de resíduos sólidos: \_\_\_\_\_
  - e. Presença de zonas mortas nos sistemas de lagoas de estabilização: \_\_\_\_\_
  - f. Problemas no estado de conservação das unidades de tratamento (falta de manutenção, problemas na concepção dos projetos, etc.): \_\_\_\_\_
  - g. Problemas no estado de conservação predial (estrutura física): \_\_\_\_\_
  - h. Problemas com a segurança (histórico de roubos, vandalismos, invasões, ameaças aos colaboradores etc.): \_\_\_\_\_
3. Avalie a importância relativa dentro da classe social de cada um dos seguintes indicadores para a composição da vulnerabilidade socioambiental decorrente dos aos riscos e impactos relacionados às atividades de uma ETE na região em seu entorno:
- a. Índice de Desenvolvimento Humano dos Bairros (calculado a partir de indicadores de renda<sup>10</sup>, da educação<sup>11</sup> e da longevidade<sup>12</sup> encontrados no censo demográfico realizado no ano de 2010): \_\_\_\_\_
  - b. Percentual de domicílios ligados à rede geral de água do bairro em que a ETE está inserida: \_\_\_\_\_
  - c. Percentual de domicílios ligados à rede geral de esgoto do bairro em que a ETE está inserida: \_\_\_\_\_

---

<sup>10</sup> Utilizada a variável Renda Média Mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade.

<sup>11</sup> Utilizada a variável Porcentagem da População de 10 anos ou mais alfabetizada.

<sup>12</sup> Utilizada a variável Porcentagem da População maior de 64 anos residente no bairro.

### APÊNDICE C – IDENTIFICAÇÃO DAS ETES

Nº.	ETE	Tipo	Descrição sucinta	Bacia	Endereço
1	Almirante Tamandaré	DD	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 módulos na seguinte situação cada: 02 decanto-digestores seguido de 02 filtros anaeróbios e cloro (granulado).	Cocó	Rua Gergelim, s/n - Messejana
2	Aracapé III	UASB	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 reatores UASB em paralelo e cloro (granulado).	Cocó	Rua Ferdinandes A. Sousa, 1001 - Mondubim
3	Castelão	UASB	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 reator UASB em paralelo seguidos cada com 01 FSA, 01 decantador lamelar, 01 tanque de contato e 02 filtros de areia, e cloro (granulado).	Cocó	Rua R, s/n – Boa Vista
4	Centro de Eventos	UASB	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 reator UASB em paralelo seguidos cada com 01 FSA 01 tanque de contato e 01 adensador, e cloro (granulado). Desidratação em filtro prensa	Cocó	Rua Governador Manoel de Castro Filho, sn – Edson Queiroz
5	Cj. Ceará	LE	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 03 bombas submersíveis, com 03 lagoas facultativas em paralelo.	Siqueira	Av. E, 460 - Conj. Ceará
6	Cj. Palmeiras	LE	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas instaladas em poço seco, com 01 lagoa anaeróbia, seguida de 01 facultativa e 02 de maturação, todas em série.	Cocó	Rua Serra Azul, 15 - Conj. Palmeiras II
7	Cj. São Cristovão	LE	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas instaladas em poço seco, com 01 lagoa anaeróbia, seguida de 01 facultativa e 02 de maturação, todas em série. Recebe dejetos dos caminhões Limpa Fossas.	Cocó	Av. Jornalista Tomaz Coelho, s/n- Conj. São Cristovão- Messejana

8	Conj. Esperança	LE	Estação de tratamento de pequeno porte com 01 lagoa facultativa.	Siqueira	Rua Paranaguá n/n
9	Curió I e II	UASB	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 04 reatores UASB em paralelo e cloro (granulado).	Cocó	Rua Lucimar de Oliveira, 450 Esquina com a Rua Gerson Cardoso – Curió
10	Dias Macedo	UASB	Estação de tratamento composta por grade, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 reator UASB e cloro (granulado).	Cocó	Rua Marechal Bitencourt, 541- Dias Macedo
11	Itaperí	UASB	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 reator UASB e cloro (granulado).	Cocó	Rua João de França, s/n - ( esq. Rua Americo Vespucio ) - Itaperi
12	Itaperussu	LA	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, poço de sucção e 02 bombas submersíveis, seguido 02 reatores de Lodos de Aeração Prolongada, Decantador Secundário e Cloro (granulado).	Cocó	Rau 06, s/n Parque Dois Irmãos
13	João Paulo II	LE	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 lagoa facultativa.	Cocó	Rua Erisa Martins, 921 - João Paulo II - Jangurussú
14	José Walter	LE	Estação de tratamento composta por 01 lagoa facultativa seguida de 02 lagoas de maturação em série.	Cocó	Av. dos Expedicionários, S/N
15	Lagamar	LE	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 lagoa facultativa.	Cocó	Rua do Manguê, 201- Conj.Tancredo Neves
16	Lago Azul	UASB	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 reatores UASB em paralelo e cloro (granulado).	Cocó	Rua 08, s/n - Barroso
17	Lagoa da Zeza	UASB	Estação de tratamento composta por 02 reatores UASB de (concreto) em paralelo e cloro (granulado).	Cocó	Rua Eng. Nereu Barreira, s/n - Tancredo Neves( Esquina com Rua Eng. Silvio Egidio)
18	Monte Líbano	DD	Estação de Tratamento composta por tanque séptico modificado e filtro anaeróbio.	Cocó	Rua Monte Líbano, 1164 – José Walter
19	Novo Barroso	UASB	Estação de tratamento composta por grade, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 03 reatores UASB em paralelo e cloro (granulado).	Cocó	Rua Emiliano de Almeida Braga, 980 – Messejana



20	Novo Mondubim II	UASB	Estação de tratamento composta por grade, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 reator UASB e cloro (granulado).	Siqueira	Trav. Melquides,264- Mondubim
21	Paupina	UASB	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 03 reator UASB em paralelo e cloro (granulado).	Cocó	Rua Barão de Aquiraz, 2100 – Messejana
22	Pequeno Mondubim	DD	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 módulos na seguinte situação: 02 decanto-digestor seguido de 02 filtros anaeróbios em paralelo e cloro (granulado).	Cocó	Av. Bernardo Manoel, 12138- Conj. José Walter
23	Pindorama	UASB	Estação de tratamento composta por grade, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 reator UASB e cloro (granulado).	Cocó	Rua Pindorama, s/n Esquina com a Rua Julia Sales - Luciano Cavalcante.
24	Pôr do sol	UASB	Estação de tratamento de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 03 reatores UASB em paralelo e cloro (granulado).	Cocó	Rua Nelson Mandela, 695 Esquina com a Rua Zumbi - Messejana
25	Pq. Fluminense	LE	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas instaladas em poço seco, com 01 lagoa anaeróbia seguida de 01 facultativa e 01 maturação, em série.	Siqueira	Rua Cagila Sousa, s/n ( esq. Rua K ) - Pq. Santa Rosa -Mondubim
26	Riacho Doce	UASB	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 reatores UASB em paralelo e cloro (granulado).	Cocó	Rua 15, 32 - Passaré(próximo a FEBEMCE)
27	Rosa de Luxemburgo	UASB	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 reator UASB, filtro submerso aerado, decantador lamelar e cloro (granulado).	Cocó	Rua 14, s/n- Paupina- Messejana
28	Rosalina	UASB	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 reator UASB e cloro (granulado).	Cocó	Rua de pedestre 01 – conjunto Rosalina -Jardim União
29	Sítio Santana	UASB	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 reator UASB e cloro (granulado).	Cocó	Rua Icarassú Sn – Barroso

30	Sumaré	DD	Estação de tratamento composta por grade, caixa de , poço de sucção, 02 bombas submersíveis, e sistema de tratamento em paralelo de 4 decanto-digestores e 4 filtros anaeróbios e cloro (granulado).	Siqueira	Rua Nilton Montenegro, 550 – Canindezinho
31	TCM	UASB	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 reator UASB, filtro submerso aerado, 01 decantador e cloro (granulado).	Cocó	Av. Gen. Afonso Albuquerque Lima, S/N, Centro Adm. Gov. Virgílio Távora.
32	Tupãmirim	LE	Estação de tratamento composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas instaladas em poço seco, com 01 lagoa facultativa aerada, 01 facultativa secundária, e 02 de maturação em série.	Cocó	Rua 136, s/n - Parque Dois Irmãos
33	Zeza Tijolo	UASB	Estação de tratamento composta por grade, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 reator UASB e cloro (granulado).	Cocó	Rua Tainá Pires, s/n Esquina com a Rua José Alberto Sá Pires-Qd.12- Cajazeiras

Fonte: Elaboração própria baseada em documentos internos da Cagece

Legenda: DD: Decanto-digestor; LE: lagoas de estabilização; LA: lodos ativados.

### APÊNDICE D – SISTEMAS DE VALORES DOS DECISORES

CRITÉRIO/CLASSE		Notas dadas pelos decisores												MÉDIA GLOBAL
		Gestores da Cagece				Autoridades de órgãos ambientais				Acadêmicos especialistas				
		D1	D2	D3	MÉDIA	D4	D5	D6	MÉDIA	D7	D8	D9	MÉDIA	
AMB.	CLASSE	5	5	5	5	5	5	3	4,33	5	4	4	4,33	4,56
	pH	3	3	4	3,33	4	1	5	3,33	4	3	3	3,33	3,33
	DQO	5	4	5	4,67	5	4	5	4,67	5	4	4	4,33	4,56
	SST	4	4	5	4,33	4	3	5	4	4	4	3	3,67	4,00
	<i>E. Coli</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4,67	4,89
OPER.	CLASSE	4	3	5	4	5	4	5	4,67	4	5	5	4,67	4,44
	Caixa de areia	4	4	4	4	3	2	5	3,33	4	4	5	4,33	3,89
	Maus odores	3	5	5	4,33	5	3	4	4	3	5	4	4	4,11
	Descarte de lodo	5	4	3	4	4	2	5	3,67	3	5	4	4	3,89
	Assoream./Res. sol.	4	4	4	4	4	1	4	3	4	4	5	4,33	3,78
	Estado de conserv. unidades	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	3	4,33	4,11
	Estado de conserv. predial	4	3	3	3,33	2	1	3	2	3	4	3	3,33	2,89
Segurança	4	4	3	3,67	3	2	3	2,67	4	5	3	4	3,44	
SOCIAL	CLASSE	4	4	4	4	5	5	4	4,67	4	5	3	4	4,22
	IDHB	3	3	3	3	4	5	5	4,67	3	4	4	3,67	3,78
	%Água	4	4	5	4,33	3	4	5	4	4	5	5	4,67	4,33
	%Esgoto	5	5	5	5	4	4	5	4,33	4	5	5	4,67	4,67

### APÊNDICE E – RESULTADOS: CRITÉRIOS AMBIENTAIS

ETE	ISPLi = AMOSTRAS DESCONFORMES/TOTAL				Famb			
	pH	DQO	SST	E. Coli	Gestores da CAGECE	Autoridades Ambientais	Especialistas acadêmicos	MÉDIA GLOBAL
Almirante Tamandaré	0	0,667	0,556	1	10,522	10,339	9,599	10,156
Aracapé III	0	0,875	1	0,222	9,526	9,196	8,495	9,076
Castelão (Boa Vista)	0	0	0	0,222	1,110	1,110	1,037	1,086
Centro de Eventos	0	0	0,111	0,444	2,701	2,664	2,481	2,615
Cj. Ceará	0	0,556	0,556	1	10,004	9,821	9,118	9,649
Cj. Palmeiras	0	0,333	0	0,333	3,220	3,220	2,997	3,147
Cj. São Cristóvão	0	1	0,556	1	12,077	11,894	11,041	11,674
Conj. Esperança	0	0,444	0,667	1	9,962	9,741	9,040	9,583
Curió I e II	0	1	1	1	14,000	13,670	12,670	13,450
Dias Macedo	0	1	1	0,125	9,625	9,295	8,584	9,171
Itaperí	0	1	1	0,333	10,665	10,335	9,555	10,188
Itaperussu	0	0,428	0,889	0,333	7,513	7,220	6,671	7,136
João Paulo II	0,222	0,556	0,556	0,889	10,188	10,005	9,339	9,846
José Walter	0	0,889	0,5	1	11,317	11,152	10,354	10,944
Lagamar	0	0,778	0,889	1	12,483	12,189	11,301	11,994
Lago Azul	0	1	1	0	9,000	8,670	8,000	8,560
Lagoa da Zeza	0	1	0,889	1	13,519	13,226	12,263	13,006
Monte Líbano	0	0,778	0,667	0,889	10,966	10,746	9,968	10,563
Novo Barroso	0	0,667	0,875	0,75	10,654	10,365	9,602	10,209
Novo Mondubim II	0	1	1	0,222	10,110	9,780	9,037	9,646
Paupina	0	0,833333	0,888889	0,222222	8,852	8,558	7,908	8,442

Pequeno Mondubim	0	0,667	0,444	0,778	8,927	8,781	8,151	8,622
Pindorama	0	1	1	0,5	11,500	11,170	10,335	11,005
Pôr do sol	0	1	1	0,666667	12,333	12,003	11,113	11,820
Pq. Fluminense	0	0,222	0	0,888889	5,481	5,481	5,112	5,359
Riacho Doce	0	0,75	1	0,888889	12,277	11,947	11,069	11,767
Rosa de Luxemburgo	0	0,428571	1	0	6,331	6,001	5,526	5,954
Rosalina	0	1	1	1	14,000	13,670	12,670	13,450
Sítio Santana	0	0,375	1	0,333333	7,748	7,418	6,850	7,340
Sumaré	0	0,778	0,556	0,778	9,931	9,747	9,043	9,576
TCM	0	0	0,285714	0,714286	4,809	4,714	4,384	4,636
Tupãmirim	0	0,333	0	0,333333	3,222	3,222	2,999	3,148
Zeza Tijolo	0	1	0,75	0,75	11,668	11,420	10,585	11,228

Legenda: ■ Decanto digestor; ■ Lagoa de estabilização; ■ UASB; ■ Lodos ativados

### APÊNDICE F – RESULTADOS: CRITÉRIOS OPERACIONAIS

ETE	Resultados (0; 0,5;1)							Fope			
	1	2	3	4	5	6	7	Gestores da CAGECE	Autoridades Ambientais	Especialistas acadêmicos	MÉDIA GLOBAL
Almirante tamandaré	0,5	0	0	0	1	1	0,5	10	11	11,167	10,722
Aracapé III	0	0	1	0	1	1	1	14	15	15	14,667
Castelão (Boa Vista)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Centro de Eventos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cj. Ceará	0	0	0	1	1	1	0,5	11,167	13,833	12,167	12,389
Cj. Palmeiras	1	0	0	1	1	1	0,5	15,5	16,833	16,167	16,167
Cj. São Cristovão	0	1	0	1	1	0	1	13,667	16,667	12,667	14,333
Conj. Esperança	1	1	1	1	1	0	1	22	23	21	22
Curió I e II	1	1	1	0	1	1	0,5	19,167	19,833	20,833	19,944
Dias Macedo	1	0	0	0	1	1	1	14,333	14,667	14,667	14,556
Itaperí	0	0	1	0	0	0	0,5	6,1667	5,5	5,833	5,833
Itaperussu	0	0	1	0	0	1	0,5	8,833	8,833	10,167	9,278
João Paulo II	0,5	0	0	1	1	1	1	15,5	17,5	15,667	16,222
José Walter	0,5	0	0	1	1	1	1	15,5	17,5	15,667	16,222
Lagamar	1	1	0	1	1	1	1	20,667	23	21	21,556
Lago Azul	0,5	1	0	0	1	0	0,5	10,333	11,667	10,167	10,722
Lagoa da Zeza	0,5	1	1	1	1	1	1	22,5	24,833	23,333	23,556
Monte Líbano	0,5	0	0	0	1	1	1	12,167	13,167	12,667	12,667
Novo Barroso	1	0	1	1	1	1	0,5	19,5	20,167	20,5	20,056
Novo Mondubim II	1	0	1	0	0	0	0	8,333	6,333	8,333	7,667
Paupina	1	1	1	1	1	0	1	22	23	21	22
Pequeno Mondubim	0	0	1	0	0	0	0	4	3,333	4,333	3,889
Pindorama	1	1	0	1	1	1	1	20,667	23	21	21,556

Pôr do sol	1	0	1	1	1	1	1	21,667	22,333	22	22
Pq. Fluminense	0	1	1	1	1	1	1	20,333	23,333	21,333	21,667
Riacho Doce	1	0	1	0	1	1	1	18,333	18	19	18,444
Rosa de Luxemburgo	0	0	0	0	1	1	0,5	7,833	9,5	9,167	8,833
Rosalina	0	0	1	0	1	0	1	11,333	11,667	10,667	11,222
Sítio Santana	0,5	0	0	1	1	1	0,5	13,333	15,333	14,167	14,278
Sumaré	1	1	1	0	1	0	0	14,333	14,333	15	14,556
TCM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tupãmirim	0	1	0	1	1	0	1	13,667	16,667	12,667	14,333
Zeza Tijolo	1	0	0	1	1	1	0,5	15,5	16,833	16,167	16,167

Legenda: ■ Decanto digestor; ■ Lagoa de estabilização; ■ UASB; ■ Lodos ativados

- (1) Caixa de areia
- (2) Maus odores
- (3) Problemas com descarte de Lodo
- (4) Assoreamento ou resíduos sólidos
- (5) Estado de conservação das unidades
- (6) Estado de conservação predial
- (7) Segurança

### APÊNDICE G – RESULTADOS: CRITÉRIOS SOCIAIS

ETE	Bairro	Critérios			Fsoc			
		IDH-B <sup>1</sup>	%E <sup>2</sup>	%A <sup>2</sup>	Gestores da CAGECE	Autoridades Ambientais	Especialistas acadêmicos	MÉDIA GLOBAL
Almirante Tamandaré	Messejana	0,3757	24,25	96,59	5,808	6,332	5,983	6,041
Aracapé III	Mondumbim	0,2328	26,63	97,08	6,097	6,876	6,373	6,449
Castelão (Boa Vista)	Castelão	0,2550	13,23	97,99	6,661	7,317	6,875	6,951
Centro de Eventos	Edson Queiroz	0,3503	21,69	89,36	6,326	6,851	6,533	6,570
Cj. Ceará	Conj. Ceará	0,3617	96,94	99,3	2,098	3,139	2,516	2,584
Cj. Palmeiras	Conj. Palmeiras	0,1195	83,07	97,36	3,602	4,948	4,142	4,231
Cj. São Cristovão	Messejana	0,3757	24,25	96,59	5,808	6,332	5,983	6,041
Conj. Esperança	Conj. Esperança	0,2880	61,33	97,83	4,164	5,085	4,517	4,589
Curió I e II	Messejana	0,3757	24,25	96,59	5,808	6,332	5,983	6,041
Dias Macedo	Dias Macedo	0,2710	32,95	96,35	5,698	6,454	5,973	6,041
Itaperí	Itaperi	0,3684	19,01	92,06	6,288	6,775	6,466	6,510
Itaperussu	Parque Dois Irmaos	0,2511	30,85	96,14	5,872	6,646	6,153	6,224
João Paulo II	Jangurussu	0,1721	59,51	98,11	4,590	5,694	5,013	5,099
José Walter	José Walter	0,3953	76,31	97,85	3,092	3,935	3,423	3,483
Lagamar	Jardim das Oliveiras	0,2700	64,68	96,75	4,097	5,067	4,477	4,547
Lago Azul	Barroso	0,1869	48,72	96,15	5,170	6,171	5,554	5,632
Lagoa da Zeza	Jardim das Oliveiras	0,2700	64,68	96,75	4,097	5,067	4,477	4,547
Monte Líbano	José Walter	0,3953	76,31	97,85	3,092	3,935	3,423	3,483
Novo Barroso	Messejana	0,3757	24,25	96,59	5,808	6,332	5,983	6,041



Novo Mondubim II	Mondumbim	0,2328	26,63	97,08	6,097	6,876	6,373	6,449
Paupina	Messejana	0,3757	24,25	96,59	5,808	6,332	5,983	6,041
Pequeno Mondubim	José Walter	0,3953	76,31	97,85	3,092	3,935	3,423	3,483
Pindorama	Luciano Cavalcante	0,5224	29,45	92,49	5,286	5,586	5,394	5,422
Pôr do sol	Messejana	0,3757	24,25	96,59	5,808	6,332	5,983	6,041
Pq. Fluminense	Mondumbim	0,2328	26,63	97,08	6,097	6,876	6,373	6,449
Riacho Doce	Passaré	0,2247	46,62	97,81	5,090	6,019	5,436	5,515
Rosa de Luxemburgo	Messejana	0,3757	24,25	96,59	5,808	6,332	5,983	6,041
Rosalina	Parque Dois Irmãos	0,2511	30,85	96,14	5,872	6,646	6,153	6,224
Sítio Santana	Barroso	0,1869	48,72	96,15	5,170	6,171	5,554	5,632
Sumaré	Canindezinho	0,1363	14,92	98,87	6,894	7,763	7,190	7,282
TCM	Cambéba	0,5176	21,68	96,15	5,530	5,799	5,603	5,644
Tupãmirim	Parque Dois Irmãos	0,2511	30,85	96,14	5,872	6,646	6,153	6,224
Zeza Tijolo	Cajazeiras	0,3045	47,6	98,48	4,772	5,577	5,066	5,138
Legenda: ■ Decanto digestor; ■ Lagoa de estabilização; ■ UASB; ■ Lodos ativados (1) Fortaleza, 2013b. (2) Ceará, 2012a								

## ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO ATENDIMENTO E DO DÉFICIT DE ACESSO AOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO

COMPONENTE <sup>1</sup>	ATENDIMENTO ADEQUADO	DÉFICIT	
		Atendimento precário	Sem atendimento
ABASTECIMENTO DE ÁGUA	– Fornecimento de água potável por rede de distribuição ou por poço, nascente ou cisterna, com canalização interna, em qualquer caso sem intermitências (paralisações ou interrupções).	– Dentre o conjunto com fornecimento de água por rede e poço ou nascente, a parcela de domicílios que: – Não possui canalização interna; – recebe água fora dos padrões de potabilidade; – tem intermitência prolongada ou racionamentos. – Uso de cisterna para água de chuva, que forneça água sem segurança sanitária e, ou em quantidade insuficiente para a proteção à saúde.	Todas as situações não enquadradas nas definições de atendimento e que se constituem em práticas consideradas inadequadas <sup>3</sup>
		– Uso de reservatório abastecido por carro pipa	
ESGOTAMENTO SANITÁRIO	– Coleta de esgotos, seguida de tratamento; – Uso de fossa séptica <sup>2</sup>	– Coleta de esgotos, não seguida de tratamento; – Uso de fossa rudimentar.	
	– Coleta direta, na área urbana, com frequência diária ou em dias alternados e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos; – Coleta direta ou indireta, na área rural, e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos.	Dentre o conjunto com coleta, a parcela: – na área urbana com coleta indireta ou direta, cuja frequência não seja pelo menos em dias alternados; – e, ou, cuja destinação final dos resíduos seja ambientalmente adequada.	

Fonte: BRASIL, 2013.

(1) Em função de suas particularidades, o componente drenagem e manejo de águas pluviais urbanas teve abordagem distinta.

(2) Por “fossa séptica” pressupõe-se a “fossa séptica sucedida por pós-tratamento ou unidade de disposição final, adequadamente projetados e construídos”.

(3) A exemplo de ausência de banheiro ou sanitário; coleta de água em cursos de água ou poços a longa distância; fossas rudimentares; lançamento direto de esgoto em valas, rio, lago, mar ou outra forma pela unidade domiciliar; coleta indireta de resíduos sólidos em área urbana; ausência de coleta, com resíduos queimados ou enterrados, jogados em terreno baldio, logradouro, rio, lago ou mar ou outro destino pela unidade domiciliar.

## ANEXO B – PRINCIPAIS LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS A SEREM OBSERVADAS PELA CAGECE

LEGISLAÇÃO	DESCRIÇÃO
Instância Federal	
CONAMA n.º 357/2005	Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento e estabelecimento das condições e padrões de lançamento de efluentes
CONAMA n.º 430/2011	Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357/2005
CONAMA n.º 377/06	Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário.
Portaria MS n.º 518/2004	Atualiza normas de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, publicado pelo Ministério da Saúde.
Lei n.º 4.147/2001	Dispõe sobre a Política Nacional de Saneamento, seus instrumentos e dá outras providências
Lei n.º 11.445/2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico
Instância Estadual	
Decreto n 12.844/78	Aprova o Regulamento Geral de Prestação de Serviços de Água e de Esgoto Sanitário do Estado do Ceará, a cargo da CAGECE.
Resolução ARCE Nº. 24	Disciplina a qualidade da água e de esgotos.
Resolução ARCE Nº. 25	Estabelece as condições gerais na prestação e utilização dos serviços públicos de fornecimento de água e coleta de esgoto.
Resolução ARCE Nº. 26	Disciplina os procedimentos gerais na prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário
Resolução COEMA Nº20/2009	Estabelece critérios e diretrizes para instalação de estação de tratamento de esgoto do tipo tanque séptico associado a filtro anaeróbio para habitações de interesse social, localizadas em áreas desprovidas de sistema público de esgoto.
Instância Municipal	
Portaria SEMACE nº154/2002	Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras
Resolução ARFOR nº. 02/2006	Estabelece as condições gerais na prestação e utilização dos serviços públicos de abastecimento de água tratada e esgotamento sanitário do município de Fortaleza.
Lei Municipal nº 5.530/81	Artigo dispendo sobre a obrigatoriedade do uso da rede pública de esgotamento sanitário.

Fonte: adaptado de Legislação, 2011.

## ANEXO C – Principais recursos visuais disponíveis pelo Visual PROMETHEE

Recurso disponível	Descrição
Ordenamento parcial	Apresenta visual do método PROMETHEE I. É feita uma ordenação parcial com duas colunas paralelas que representam os valores de fluxo positivo (Phi+) e de fluxo negativo (Phi-) para cada alternativa analisada, sendo orientadas para que as melhores pontuações estejam mais acima. A ordenação neste caso é dita parcial, pois caso a linha que une Phi+ e Phi- de uma alternativa intercepte outra, isto indica que entre as alternativas em questão não há relação de predominância absoluta e, portanto, não podemos dizer que uma alternativa é claramente preferível a outra.
Ordenamento total	Exposição visual do método PROMETHEE II. A coluna apresenta valores de -1.0 a +1.0, de modo que cada alternativa é posicionada segundo a soma de Phi+ e Phi-, chegando ao valor de fluxo total da alternativa. Esta forma de avaliação garante que se chegue em ordenamento total dentre as alternativas, salvo os casos em que se observe valores iguais de fluxo total.
Diamante	Combina os ordenamentos feitos em PROMETHEE I e II. O eixo vertical representa o ordenamento total e as barras simétricas a 45° do eixo vertical representam os valores de Phi+ e Phi-. Desta forma, se pode apreciar mais facilmente os valores de fluxo
Tabela	Exibe em formato de tabela os valores de fluxo positivo, negativo e total de cada alternativa, já prontamente ordenadas.
Arco-íris	Para cada ação é desenhada uma barra. As diferentes fatias de cada barra são coloridas de acordo com os critérios. Cada fatia é proporcional à contribuição de um critério (valor de fluxo vezes o peso do critério) para o escore de fluxo líquido da ação. As fatias positivas (ascendentes) correspondem a boas características, enquanto as fatias negativas (descendentes) correspondem a fraquezas – segundo o sistema de valores adotado. Desta forma, o equilíbrio entre fatias positivas e negativas é igual ao escore Phi total.
Perfil de ação	Mostra os fluxos totais de cada critério para uma alternativa escolhida
“Walking weights”	Consiste de uma boa ferramenta de análise de sensibilidade, permitindo alterações rápidas no peso atribuído aos critérios, variando em percentual a importância relativa entre os critérios.
Intervalos de estabilidade	Ferramenta de análise de sensibilidade que exhibe a variação do ordenamento das alternativas de acordo com a importância relativa de um único critério por vez, sendo que ele tem peso 0% na barra da esquerda e 100% na barra da direita. Ainda é possível ver para que faixa de variação de peso o ordenamento total permanece inalterado
Comparação de cenários	Compara o ordenamento feito pelo PROMETHEE II entre dois cenários distintos
“Bank adviser”	Compara uma ação em específico com todas as outras de uma determinada classe, mostrando seus novos valores de fluxo e seu ordenamento relativo

GAIA	Transforma um espaço vetorial de $n$ dimensões (sendo $n$ o número de critérios) em bidimensional, de modo que toda alternativa pode ser representada por um vetor.
GAIA Webs	Integra a visualização da teia de aranha com o plano GAIA, permitindo ver a interferência de cada critério em particular com uma alternativa a ser escolhida. Critérios que expressam preferências similares são posicionados próximos na teia.

Fonte: Adaptado de MANUAL, 2013. BARBERIS *et al.*, 2013